

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de  
l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**Faculté de Technologie**



**Mémoire de Fin d'Étude**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Technologie**

**Filière : Génie Électrique**

**Spécialité : Réseaux Électriques**

**Thème**

**Dispatching Economique par Utilisation  
des Méthodes d'intelligence artificielle**

Réalisé par :

Obeidi haythem abdellilah

chabbi Mohammed fouad

Encadré par :

Dr.GACEM Abdelmalek

**Soutenu en septembre 2020**

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de  
l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**Faculté de Technologie**



**Mémoire de Fin d'Étude**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Technologie**

**Filière : Génie Électrique**

**Spécialité : Réseaux Électriques**

**Thème**

**Dispatching Economique par Utilisation  
des Méthodes d'intelligence artificielle**

Réalisé par :

Obeidi haythem abdellilah

chabbi Mohammed fouad

Encadré par :

Dr.GACEM Abdelmalek

**Soutenu en septembre 2020**

# Résumé

Habituellement, Le problème de la répartition économique d'énergie a pris une importance considérable avec l'apparition de la crise d'énergie nécessitant des combustibles de plus en plus chers. Il faut donc planifier les puissances actives et réactives de chaque centrale électrique, de telle sorte que le coût total de fonctionnement du réseau et les émissions des gaz toxiques dans l'atmosphère entier soit minimal. D'une autre façon, il faut varier les puissances actives et réactives des générateurs dans certaines limites afin de satisfaire la demande particulière de la charge avec un coût minimal du combustible et minimiser les émissions dans l'atmosphère. Ce processus est appelé l'écoulement de puissance optimal, et parfois, il est connu comme le problème du Combined economic emission dispatch CEED.

Le calcul de la répartition optimale de la puissance au niveau d'un réseau électrique, emploie des techniques de programmation mathématique standard. Parfois ces techniques ne sont pas convenables pour traiter certaines considérations pratiques rencontrées dans les systèmes de puissance, dans ces conditions on propose dans ce travail l'application des méthodes d'optimisation d'Essaim de Particules (PSO), ant loin optimisation et la méthode hybride La méthode développée a été testée sur des réseaux électriques standard à moyenne échelle (3unités et 6 unités et 10 unités ). Les résultats de programmation confirment l'efficacité de cet algorithme à résoudre les problèmes d'optimisation.

**Les mots clés:** L'écoulement de puissance optimal (OPF), L'émission de gaz, CEED, Méthode d'optimisation d'Essaim de Particules (PSO), ant loin optimisation (ALO)

## ملخص

عادة ، اكتسبت مشكلة التخصيص الاقتصادي للطاقة أهمية كبيرة مع بداية أزمة الطاقة التي تتطلب وقودًا باهظ التكلفة بشكل متزايد. لذلك من الضروري تخطيط القوى النشطة والتفاعلية لكل محطة طاقة ، بحيث تكون التكلفة الإجمالية لتشغيل الشبكة وانبعثات الغازات السامة في الغلاف الجوي بأكمله ضئيلة. بطريقة أخرى ، من الضروري تغيير القوى النشطة والتفاعلية للمولدات ضمن حدود معينة من أجل تلبية الطلب الخاص بالحمل بأقل تكلفة للوقود وتقليل الانبعثات في الغلاف الجوي. تسمى هذه العملية بالتدفق الأمثل للطاقة ، وفي بعض الأحيان تُعرف بمشكلة إرسال الانبعثات الاقتصادية المجموعة CEED.

يستخدم حساب التوزيع الأمثل للطاقة في شبكة كهربائية تقنيات البرمجة الرياضية القياسية. في بعض الأحيان ، لا تكون هذه التقنيات مناسبة للتعامل مع بعض الاعتبارات العملية التي يتم مواجهتها في أنظمة الطاقة ، وفي ظل هذه الظروف نقترح في هذا العمل تطبيق طرق تحسين سرب الجسيمات (PSO) ، وتحسين النمل البعيد والطريقة. هجين تم اختبار الطريقة المطورة على شبكات كهربائية قياسية متوسطة الحجم (3 وحدات و 6 وحدات و 10 وحدات). تؤكد نتائج البرمجة فعالية هذه الخوارزمية في حل مشكلات التحسين.

# REMERCIEMENTS

*Je tiens à exprimer en tout premier lieu ma profonde gratitude à mon encadreur Dr. Gacem Abdelmalek pour m'avoir encadré, orienté et guidé afin de réaliser ce travail. Je le remercie pour ses encouragements continuels qui ne cessaient de me remonter le moral pendant les moments difficiles et pour l'énorme soutien scientifique et moral qu'il a su m'accorder pendant ces t cinq années.*

*J'adresse aussi mes vifs remerciements à mon cher père et à ma chère mère pour leur encouragement et le soutien affectif et matériel qu'ils m'ont apporté tout au long de mon existence.*

*Je remercie aussi mes frères, mes sœurs, mes chers, mes collègues, mes enseignants, ainsi que toutes les personnes qui m'ont apporté un soutien moral de loin ou de près.*

# Dédicaces

Je dédie le fruit de mon travail à mes chers  
parents qu'ils m'ont aidés et supportés toute  
ma vie, A mes frère et ma SŒUR AMANI  
POUR LEUR SOUTIEN moral À TOUTE ma cher  
famille

A TOUS QUI m'ont encouragé et aidé dans la réalisation de ce projet

tous mes amies avec lesquelles j'ai partagé mes  
moments

A TOUS mes collègues de promotion 2020

 haythem

# Dédicaces

Je dédie le fruit de mon travail à mes chers  
parents qu'ils m'ont aidés et supportés toute

*ma vie, A mes frère et ma SŒUR AHLAM*

*POUR LEUR SOUTIEN moral À TOUTE ma cher*

*famille*

*A TOUS QUI m'ont encouragé et aidé dans la réalisation de ce projet*

*tous mes amies avec lesquelles j'ai partagé mes*

*moments*

*A TOUS mes collègues de promotion 2020*

 *fouad*



# Sommaire

## Sommaire

Résumé	
Remerciements	
Dédicaces	i
Sommaire	v
Liste des Symboles et Acronymes	vii
Liste des Figures	ix
Liste des Tableaux	1
Introduction Général	

## Chapitre I

### Etat de l'art d'écoulement de puissance

I.1 Introduction	3
I.2 but de l'étude d'écoulement de puissance	3
I.3 Modélisation des éléments du réseau électrique	3
I.3.1 Générateur de puissance	3
I.3.2 Ligne de transport	4
I.3.3 Charges électriques	4
I.3.4 Eléments shunt	5
I.4 Problème de l'écoulement de puissance	5
I.4.1 classification des jeu de barre	6
I.5 formulation des équations de écoulement de puissance	6
I.5.1 Les équation au j.d.b de charge	8
I.5.2 Equation de l'écoulement de puissance dans les lignes	9
I.4.3 Les pertes de puissance dans lignes	9
I.5.4 Quelque observation sur les équation de l'écoulement de puissance	10
I.6 Classification des variable des équation de réparation de charge	10
I.6.1 Variable de perturbation (variable non contrôlées )	10
I.6.2 Variable d'états.	11
I.6.3 Variable de contrôle	11
I.7 Méthode numérique itérative	11
I.7.1 Méthode de newten-raphson	11
I.7.1.1 Résolution d'une équation à une variable unique non linéaire	12
I.7.1.2 Résolution d'une système d'équation a ((n)) variable non linéaire	12
I.8 Conclusion	14

## Chapitre II

### Dispatching économique

II.1 Introduction :	16
II.2 Aperçu sur l'architecture des réseaux électriques	16
II.3 La stratégie du fonctionnement des centrales électriques	17
II.3.1 Unités de charge de base	17
II.3.2 Unités intermédiaires	17
II.3.3 Unités de pointes	18
II.3.4 Unité de reserve	18
II.4 Dispatching économique	18
II.4.1 Définition dispatching économique	18
II.4.2 L'objectif du dispatching économique	20
II.4.3 La fonction coût et Incrémentation du coût	20
II.4.3.1 La fonction coût	20
II.4.3.2 Incrémentation du coût	21
II.5 Les contraintes	21
II.5.1 Contraintes d'égalité	22
II.5.1.1 Cas d'un système sans pertes	22
II.5.1.2 Cas d'un système avec pertes	22
II.5.2 Contraintes d'inégalité	22
II.6 Formulation mathématique du problème dispatching économique	22
II.6.1 Dispatching économique sans pertes	23
II.6.1.1 Méthodes graphique du problème dispatching économique	23
II.6.1.2 Méthodes lagrangien	24
II.6.2 Dispatching économique avec pertes	25
II.6.2.1 Calcule les pertes	26
II.6.2.2 Incrémentation des pertes de transmission	26
II.6.2.3 La résolution du problème	26
II.7 Le modèle mathématique de dispatching environnemental	29
II.8 Le coût du combustible avec l'effet d'ouverture des vannes	29
II.9 Conclusion	30

## Chapitre III

### Méthodes d'Optimisation Globales

III .1 Introduction	32
III .2 les éléments d'optimisation	32
III .3 Classification de méthode d'optimisation	33
III .3.1 méthode d'optimisation mathématique (exacte)	34
III .3.2 méthode d'optimisation approchées	35
III .3.2.1 les méthode heuristiques	35
III .3.2.2 le méthode méta-heuristique	35
III .4 Classification de méthode méta-heuristique	37
III .4.1 méthodes meta-heuristique à parcours	38
III .5 Optimisation par essaim de particulaire	38
III .5.1 principe de Caractéristique	38
III .5.2 topologie de voisinage	40
III .5.3 étape de la méthode d'optimisation par essaim de particule	42
III .6 optimisation ant lion (ALO)	44
III .6.1 marche aléatoire de fourmis	44
III.6.2 piège dans les fosses de fourmis	45
III .6.3 piège de construction	45
III .6.4 glisser les fourmis ver ant lion	45
III .6.5 attraper des proies et reconstruire la fosse	46
III .6.6 Elitisme	46
III .7 Conclusion	47

## Chapitre IV Résultats et Interprétation

IV.1 Introduction	49
IV.2 L'objectif de chapitre	49
IV.2.1 Optimisation mono-objectif	50
IV.2.1.1 Minimisation du coût de production	50
IV.2.1.2 Minimisation d'émission	50
IV.2.2 Valeurs des paramètres d'un PSO	51
IV.3 Résultats Obtenues	51
IV.3.1 Réseau 3 unités	51
IV.3.1.1 Optimisation du coût de production	51
IV.3.1.2 Convergence du coût de production	52
IV.3.2 Réseau 6 unités	52
IV.3.2.1 Optimisation du coût de production	53
IV.3.2.2 Convergence du coût de production	55
IV.3.2.3 Optimisation du coût d'émission	55
IV.3.2.4 Convergence du coût d'émission	57
IV.3.3 Réseau 10 unités	57
IV.3.3.1 Optimisation du coût de production	57
IV.3.3.2 convergence du cout de production	59
IV.3.3.3 optimisation du coût d'émission	59
IV.3.3.4 convergence de cout d'émission	61
IV.5 Conclusion	65
Conclusion Général	66
Bibliographie	68
Annexe A	72
Annexe B	72
Annexe C	

## Liste de Figures

### Chapitre I : Répartition des charges électriques

<b>Figure I.1</b> modèle de générateur	4
<b>Figure I.2</b> : modèle de ligne de transport	4
<b>Figure I.3:</b> modèle d'une charge électrique	5

### Chapitre II: Dispatching économique

<b>Figure(II.1)</b> : stratégie de fonctionnement des centrales suivant la demande de puissance électrique	17
<b>Figure(II.2):</b> Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique.	19
<b>Figure(II.3):</b> Le coût de carburant en fonction de la puissance générée.	20
<b>Figure(II.4):</b> La courbe de l'accroissement du coût de combustible.	21
<b>Figure(II.5):</b> La méthode graphique de résolution de l'D.E sans pertes.	24
<b>Figure(II.6):</b> L'organigramme de méthode de lagrangien avec pertes.	29
<b>Figure(II.7):</b> L'effet d'ouverture des vannes.	30

### Chapitre III: Méthodes d'optimisation méta-heuristiques

<b>Figure(III.1)</b> : Eléments indispensable pour l'optimisation	33
<b>Figure(III.2)</b> : Schéma de classification des méthodes d'optimisation.	34
<b>Figure(III.3)</b> : Minimum local et minimum global.	36
<b>Figure(III.4)</b> : Représentation simplifiée d'une approche méta- heuristique.	37
<b>Figure(III.5)</b> : Classification des Méta-heuristiques	37
<b>Figure(III.6)</b> : Schéma de principe du déplacement d'une particule	41
<b>Figure(III.7)</b> : Trois topologies du voisinage différentes.	41
<b>Figure(III.8)</b> : Organigramme de la méthode PSO.	43
<b>Figure(III.9)</b> : Organigramme de la méthode ALO.	

### Chapitre IV: Résultats Et Interprétation

<b>Figure(IV.1):</b> Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 3 unités par Hybride	52
<b>Figure(IV.2):</b> Schéma unifilaire du réseau à 6 unité	53
<b>Figure(IV.3):</b> Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 6 unités par Hybride	55

## Liste de figures

---

- Figure(IV.4):** Evolution du coût de émission pour le réseau électrique à 6 unités par Hybride. 57
- Figure(IV.5):** Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 10 unités par hybride 59
- Figure(IV.6):** Evolution du coût d'émission pour le réseau électrique à 10 unités par hybride 61

## Liste des Symboles et Acronymes

### Liste des Symboles

$V_{\min}, V_{\max}$	Respectivement limites (minimale et maximale) de la tension
$Q_{\min}, Q_{\max}$	Respectivement limites (minimale et maximale) de La puissance réactive
J.d.B	Jeu de barre
P	La puissance active
Q	La puissance reactive
$P_G$	La puissance produit par le centrale
$P_L$	Les pertes de transport énergie électrique
$P_D$	La puissance totale demandée
$Q_L$	Perte réactive de consommation
P	variables de perturbation
X	variables d'état
U	variables d'commande
$A_{ij}$	le déphasage du déphaseur de la puissance active
$\Pi$	modèle la ligne électrique
$V_{bus}$	Vecteur tension aux J.d.B
$V_i$	Module de la tension au noeud i
$I_{bus}$	Vecteur courant aux J.d.B
$Y_{bus}$	Matrice admittance
$Z_{bus}$	Matrice impedance
I	Numéro du J.d.B
$I_i$	Courant injecte a J.d.B «i»
S	Puissance apparent
Ng	Nombre de noeuds de génération
J, J <sub>1</sub> , J <sub>2</sub> , J <sub>3</sub> , J <sub>4</sub>	Matrice jacobéenne
$\delta_{ij}$	l'argument de l'élément Y(i, j) de la matrice admittance
Réf	Référence
$p_i$	Puissance Active nette injectée au jeu de barre i
$Q_i$	Puissance Réactive nette injectée au jeu de barre i
$F_{ip}$	Perte active
$F_{iq}$	Perte reactive
$Y_{ij}$	Eléments complexes de la matrice admittance
$\alpha, \beta$ et $\gamma$ ou $a_i, b_i$ et $c_i$	Les coefficients constants propres du centrale
$P_{gi}$	La puissance produit par le centrale i
$P_{gi \min}$	Limite minimale de production de la puissance générée d'une centrale i
$P_{gi \max}$	Limite maximale de production de la puissance générée d'une centrale i
$C_i$	Le coût du production de centrale «i»

## Liste des Symboles et Acronymes

---

$\frac{dC_i}{dP_{gi}}$	Le coût incrémental du i-ème générateur (CI)
$H P_{gi}$	La contrainte d'égalité
$\lambda$	le multiplicateur de Lagrange
$N_g$	Nombre des générateurs
$L$	la fonction de Lagrange
$B_{ij}, B_{io}$ et $B_{oo}$	coefficients de pertes (constantes réelles)
$\frac{\partial P_L}{\partial p_{gi}}$	L'incrémental des pertes de transmission (ITL)
$f_i$	facteur de pénalité
$\Delta\lambda$	La variation de $\lambda$
$E$	L'erreur de calcul
$e_i$ et $d_i$	Les coefficients du coût avec effet de l'ouverture des vannes de générateur
$I$	
$\alpha, \beta, \mu, \gamma$ , et $\zeta$	Coefficients d'émission des gaz toxiques
$\vec{V}_k$	vitesse d'une particule à l'itération k
$\vec{W}$	Coefficient d'inertie d'une particule
$\vec{P}_{g_{best}}$	Meilleure position de tout l'essaim
$\vec{P}_{best}$	Meilleure position d'une particule
$\vec{r}_1$	Nombres aléatoire avec une répartition uniforme entre 0 et 1
pu	Per unit (unité relative)

N-R	Newton-Raphson
G-S	Gauss-Seidel
D.E	Dispatching Economique.
OPF	Optimal Power Flow (Ecoulement de Puissance Optimal)
AG	Algorithme Génétique
PSO ou	Algorithmes Essaims Particulaires
OEP	
CEED	Combined Economic Emission Dispatch
MW	Méga Watt
\$/h	Dollar par heure
ton/h	tonne par heure
AIS	Artificial Immune system
ALO	Ant loin optimisation
HALOPSO	Hybride (ALO_PSO)

## Liste des Tableaux

### Chapitre IV: Résultats Et Interprétation

<b>Tableau(IV.1):</b> Paramètres de simulation d'algorithme PSO	51
<b>Tableau(IV.2):</b> Les données coûts de production du réseau électrique à 3unités	51
<b>Tableau(IV.3):</b> Puissances et coûts de production du réseau électrique à 3unités	51
<b>Tableau(IV.4):</b> Les données des fonctions de coût du réseau électrique à 6 unités	53
<b>Tableau(IV.5):</b> Puissances et coûts de production du réseau électrique à 6 unités	54
<b>Tableau(IV.6):</b> Les données du cout de émission du réseau électrique à 6 unités	55
<b>Tableau(IV.7):</b> Puissances et coûts de émission du réseau électrique à 6 unités	56
<b>Tableau(IV.8):</b> Les données coûts de production du réseau électrique à 10 unités	58
<b>Tableau(IV.9):</b> Puissances et coûts de production du réseau électrique à 10 unités	58
<b>Tableau(IV.10):</b> Les données coûts de émission du réseau électrique à 10 unités	60
<b>Tableau(IV.11):</b> Puissance et coûts de émission du réseau électrique à 10 unités	60



# Introduction Générale

## Introduction Générale

Le rôle principal de toute entreprise chargée de la production d'énergie électrique est d'assurer à tout moment, et en tout lieu, la couverture des demandes des utilisateurs en puissances actives et réactives. L'entreprise doit en outre garantir une qualité acceptable de la puissance avec un coût d'exploitation réduit. Pour bien exploiter un réseau électrique donné, il faut tout d'abord résoudre les problèmes d'ordre technique et économique. Souvent, on se trouve confronté à un problème, qui est celui de la répartition économique des puissances. Au début, la solution utilisée consiste à charger ou à faire produire au maximum les unités ayant le meilleur rendement. Cette solution n'est pas rentable puisque l'abus de fonctionnement des machines diminue leurs durées de vie et par conséquent, les frais d'entretien et de maintenance augmentent considérablement. L'extension et la complexité du réseau, laisse le choix aux chercheurs pour le développement de nouvelles méthodes afin de contribuer à l'allègement de ce problème[01].

L'objectif principal de ce travail est l'étude et l'analyse de la répartition optimale de puissance. La fonction objective qu'on veut minimiser est la fonction coût de production des puissances actives des générateurs. L'optimisation par essais particuliers (OEP) (Particle Swarm Optimization), l'optimisation ant lion (ALO) et l'optimisation hybride (HALOPSO) a été appliquée pour la résolution de ce nouveau problème d'optimisation. Les méthodes proposées ont été simulées dans l'environnement Matlab, et testées sur plusieurs réseaux standard. Ainsi en évalué de la performance de la méthode étudiée par la variation des variables de commande de cette méthode et la présentation des recommandations concernant la performance de cette méthode et comparai des résultats obtenus par la méthode OEP avec d'autres méthodes classiques et métaheuristiques. Afin en tenant compte des pertes de puissance active et les déviations des tensions aux niveaux des jeux de barres.

L'exploitation du grand développement du domaine informatique et l'apparition des nouvelles générations d'ordinateurs plus rapides et plus puissants, ont conduit à une étude plus profonde et un calcul plus précis et rigoureux du réseau électrique, en général cette étude est divisée en quatre chapitres:

# Introduction Générale

---

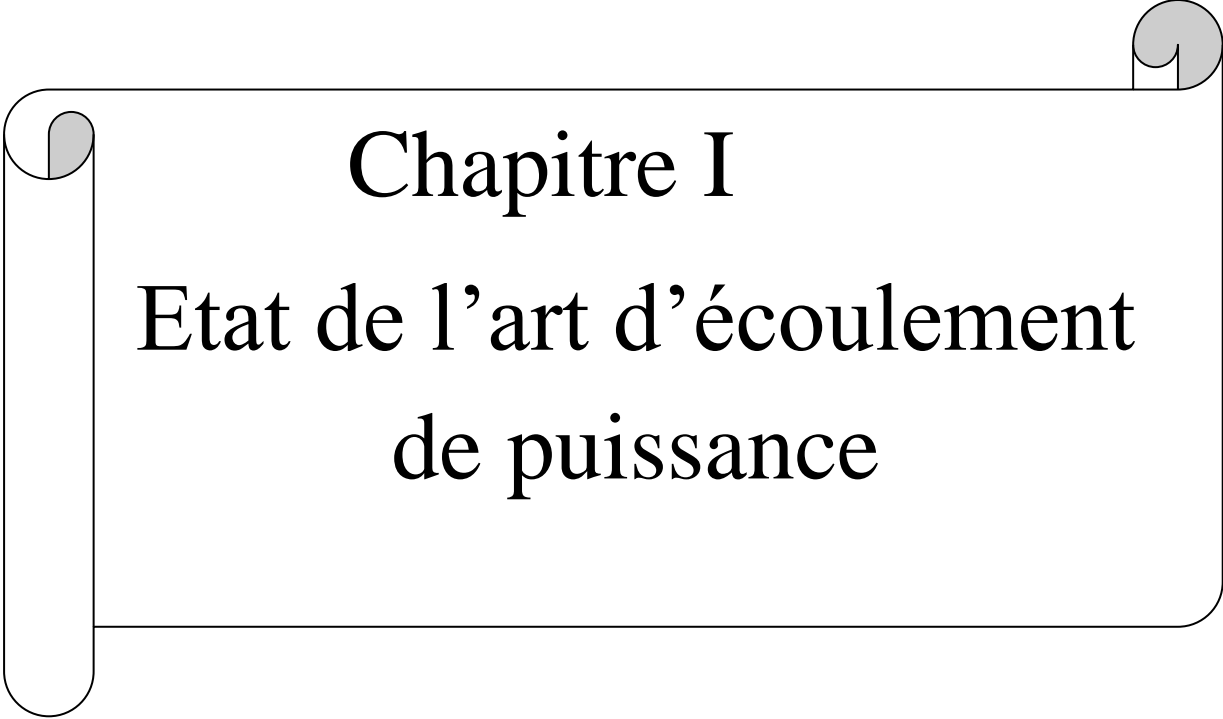
**Le premier chapitre:** est consacré à l'étude et l'analyse de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques par les méthodes itératives (en particulier la méthode de Newton-Raphson), ainsi que la méthode la plus utilisée pour la résolution de ce problème, et ce la dans le but d'avoir une exploitation économique conduisant à une meilleure utilisation de ces sources.

**Le deuxième chapitre:** donne une idée générale sur le dispatching économique, son objectif, mode d'exploitation des unités des générations, le dispatching économique dans les réseaux sans pertes ou avec pertes, et quelques définitions et donne une démonstration intuitive et mathématique du critère à incrémentation égale utilisé dans les réseaux sans pertes, ainsi que la technique du facteur de pénalité et dispatching économique un dispatching environnemental pour des émissions des gaz à effet serre, Le coût du combustible avec l'effet d'ouverture des vannes et dispatching dynamique.

**Le troisième chapitre:** est consacré à donné un aperçu sur méthodes à une présentation des nouvelles techniques appliquées pour résoudre le problème de dispatching économique et dites d'intelligence artificielle et des méthodes méta heuristiques en se servant de la technique l'essaim de particule (PSO) et la technique de ant loin optimisation (ALO)

**Le quatrième chapitre:** On va tester le programme qu'est le dispatching économique optimal et l'écoulement de puissance en utilise les trois algorithmes l'essaim de particules (PSO) et ant loin optimisation et la méthode hybride (ALO\_PSO) sur des réseaux électriques de 3 unités, 6 unités, 10unités. Les résultats obtenus sont également analysés.

Enfinement nous terminerons ce mémoire par une conclusion et différentes perspectives de recherche qui nous semblent intéressantes pour la continuité de ce travail.



**Chapitre I**  
**Etat de l'art d'écoulement  
de puissance**

## 1.1 Introduction

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à calculer les tensions du réseau électrique pour des extrémités spécifiées et des conditions données aux jeux de barres. Il est énoncé par la spécification des charges en mégawatts et en méga vars qui doivent être alimentées à certains jeux de barres et par les puissances générées et les modules de tension aux restes des jeux de barres. Une description totale de la topologie du système en utilisant leurs impédances (admittances) est nécessaire. Les tensions calculées sont utilisées pour déterminer toutes les autres grandeurs telles que les courants dans les lignes de transport, les puissances et les pertes de puissances. [04]

## 1.2 But de l'étude d'écoulement de puissance

L'étude de l'écoulement de puissance est une étape primordiale de toute analyse sérieuse d'un réseau électrique. En effet, elle nous permet de calculer les grandeurs d'un réseau en régime permanent équilibré à savoir les modules et phases des tensions en tout point du réseau. A partir de ces dernières, on peut calculer les courants dans les lignes de transport, les puissances actives et réactives transitées et les pertes de puissances provoquées lors du transport d'énergie électrique. Cette analyse est très importante pour les études, la planification et l'exploitation d'un réseau électrique [04]

## 1.3 Modélisation des éléments du réseau électrique

Un réseau électrique contient un ensemble de composants qu'il faut modéliser pour pouvoir établir les équations qui régissent le comportement du système. [16]

Les éléments qui interviennent dans le problème de répartition de charge sont ceux qui sont exposés à des hautes tensions et à des forts courants, à savoir : générateurs de puissance (machine synchrone), charges électriques, lignes de transports, transformateurs de puissances et compensateurs statiques [02]

### 1.3.1 Générateur de puissance

Le générateur peut être modelé comme une source de puissance  $P_g$  et un niveau de tension  $V_g$  constants (jeu de barres PV) car cet élément du system est utilisé pour offrir une puissance donnée sous une tension fixe (régulateur de tension). Dans ce modèle, les puissances active et réactive du générateur sont maintenues dans certaines limites pour représenter les contraintes mécaniques et les courants électriques du système. [03]



Figure I.1 modèle de générateur

## 1.3.2 Ligne de transport

Une ligne électrique entre les nœuds  $i$  et  $j$  sera donc représentée par le schéma en  $\pi$  comme indiqué sur la figure (I-3) comprenant une impédance série ou longitudinale  $Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$  (avec  $R_{ij}$  et  $X_{ij}$  respectivement résistance totale et inductance totale de la ligne) et une admittance en parallèle  $y_{10} = y_{20} = (G + jB)$ , avec ( $G$  et  $B$  étant respectivement la conductance totale et la susceptance totale d'ordre direct de la ligne) [04].

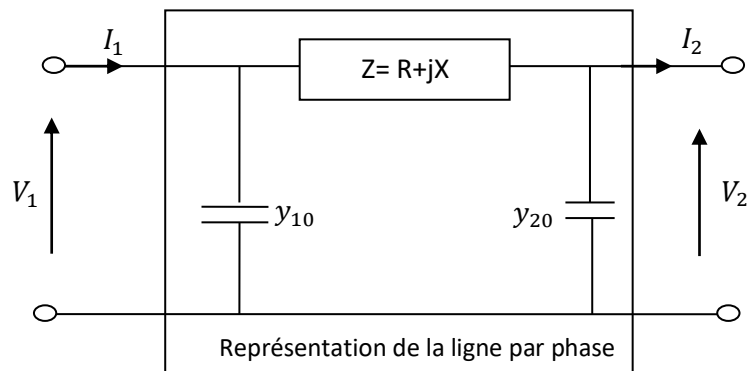
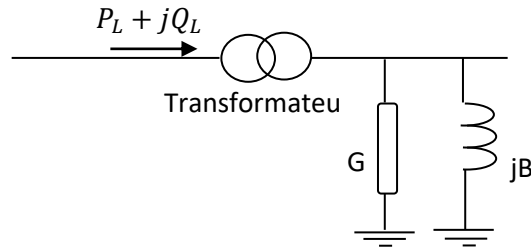


Figure I.2 : modèle de ligne de transport

## 1.3.3 Charges électriques

Les charges électriques en haute tension reflètent souvent des postes de répartition (sous-stations) qui alimentent des réseaux de distribution. Ces charges sont connectées au réseau à travers des transformateurs munis de prises réglables en charge où, le niveau de tension de la charge est maintenu pratiquement constant elle s'écrit comme suit :

$$Z_{ch} = R_{ch} + jX_{ch} \quad (\text{I.1})$$



**Figure I.3:** modèle d'une charge électrique

### 1.3.4 Eléments shunt

Dans la plupart des cas, les éléments shunts sont des dispositifs destinés à la compensation de l'énergie réactive et la tenue de la tension, à savoir : batteries de condensateurs et inductances fixes, compensateurs synchrones ou compensateurs statiques (SVC) [29]. Chaque élément connecté au réseau sera modélisé, suivant le cas, par une admittance équivalente ou une

## 1.4 Problème de l'écoulement de puissance

Il y a quatre grandeurs fondamentales associées à chaque jeu de barre  $i$  du réseau, à savoir module de tension, phase de tension, puissance active injectée et puissance réactive injectée  $Q_t$ . Pour chaque jeu de barre, deux variables doivent être spécifiées au préalable et les deux autres sont à calculer. Les modules et les phases des tensions inconnues sont appelés variables d'état, les puissances active et réactive injectée sont appelées variables de contrôle. L'état du système n'est déterminé qu'après avoir calculer les valeurs des variables d'état. Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les jeux de barres du système sont classés en trois catégories :

### 1.4.1 Classification des jeux de barre.

Pour chaque jeu de barre, deux variables doivent être spécifiées au préalable et les deux autres sont à calculer. Donc, on peut classer les jeux de barres comme suit

#### Jeu de barres de référence :

Ce jeu de barre connu aussi par le jeu de barre balancier (slack bus), a le rôle de fournir la puissance supplémentaire nécessaire pour compenser les pertes de transmission, car

# Chapitre I Etat de l'art d'écoulement de puissance

---

celles-ci ne sont pas connues d'avance.

En plus, ce jeu de barre sert de référence pour les phases des tensions. Par convention, ce jeu de barre est identifié par le jeu de barre  $N^0=1$ , dont le module et la phase de tension sont toujours spécifiés  $V_1 = 1$  p.u. et  $\delta_1 = 1$  .

Donc, les puissances  $P_i$  et  $Q_i$  sont inconnues, du fait que  $P_{G1}$  et  $P_{G2}$  ne sont pas spécifiées d'avance. Par conséquent, les équations d'équilibre de puissance pour le jeu de barre 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

## **Jeu de barre à tension contrôlée :**

Chaque jeu de barre du système dont la module de tension est maintenue constant, est considérée comme un jeu de barre à tension contrôlée ou jeu de barre générateur. Ce type de jeux de barres peut inclure des jeux de barres auxquels des générateurs, des batteries de condensateurs, des compensateurs statiques (SVC) ou des transformateurs avec prise réglable sont raccordés. Au niveau de ce jeu de barre, et sont des grandeurs spécifiées. Donc, n'est pas connue à l'avance étant donné que est inconnue. Par conséquent, seule l'équation d'équilibre de puissance active est incluse dans la formulation du problème. [18]

La valeur correspondante de  $\delta_i$  est calculée par l'algorithme de l'écoulement de puissance. Une fois la solution du problème est obtenue,  $Q_i$  est calculée d'après

## **Jeu de barre de charge :**

Chaque jeu de barre du système dont l'injection des puissances actives et réactives sont données, est considéré comme un jeu de barres de charge. Donc, il est évident que les deux équations d'équilibre de puissance pour chaque jeu de barre de charge sont explicitement considérées dans la formulation du problème. La procédure de l'écoulement de puissance donne les valeurs de  $V_i$  et  $\delta_i$ .

## **1.5 Formulation des équations de l'écoulement de puissance**

Dans cette partie, toute les grandeurs sont exprimées en valeurs relatives (système per unit ou p.u.), à partir d'une puissance apparente triphasées de base et de la tension nominale composée de chaque jeu de barre, avec une tension de base par niveau de tension.

Pour un réseau électrique avec  $N$  jeux de barres, les équations des tensions nodales du système sont exprimées par la relation matricielle :

## Chapitre I Etat de l'art d'écoulement de puissance

---

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & Y_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (I.2)$$

ou encore :  $I_{bus} = Y_{bus}V_{bus}$

où :  $I_{bus} = [I_1 \dots I_n]$  est le vecteur  $N-1$  des courants complexes injectés à chaque jeu de barres,

$V_{bus} = [V_1 \dots V_N]$  est le vecteur  $N-1$  des tensions complexes de chaque jeu de barre et  $Y_{bus}$  est la matrice admittance nodale  $N*N$  du système.

La matrice admittance nodale est formée sur la base des composants du réseau électrique (lignes de transmission, transformateurs, batteries de condensateurs et réactances), Chaque composant du réseau peut être connecté entre deux jeux de barres  $i$  et  $m$ , ou entre un jeu de barre  $i$  et le jeu de barres de référence (jeu de barre 0). Les éléments de la matrice admittance peuvent être obtenus en fonction des admittances des composants du réseau, en appliquant les règles suivantes :

$Y_{ii}$ : L'élément diagonal, est égal à la somme des admittances de tous les composants connectés au jeu de barre  $i$ , soit :

$$Y_{ii} = \sum_{m=0, m \neq i}^N Y_{im} \quad (I.3)$$

$Y_{im}$ , l'élément hors diagonale, est égal à la somme négative des admittances de tous les composants connectés entre les jeux de barres  $i$  et  $m$ , c'est à dire :

$$Y_{im} = - \sum_{m=i} Y_{im} \quad (I.4)$$

D'après l'équation le courant net injecté à un jeu de barre  $i$ , peut s'écrire :

$$I_i = \sum_{m=1}^N Y_{im} V_m \quad (I.5)$$

tel que:  $i = 1, 2, \dots, N$

Les grandeurs complexes  $Y_{im}$  et  $V_m$  sont représentées sous la forme polaire ou rectangulaire suivantes

$$V_m = V_m \cos \delta_m + j V_m \sin \delta_m = e_m + j f_m \quad (I.6)$$

$$Y_{im} = Y_{im} \cos \theta_{im} + j Y_{im} \sin \theta_{im} = G_{im} + j B_{im} \quad (I.7)$$

Où  $\delta_m$  est la phase de la tension au jeu de barres  $m$  (mesurée par rapport à une certaine référence des phases),  $\theta_{im}$  est la phase (ou l'argument) de l'élément  $im$  de la matrice

## Chapitre I Etat de l'art d'écoulement de puissance

admittance  $e_m$  et  $f_m$  sont, respectivement, la partie réelle et la partie imaginaire de  $V_m$ ;  $G_{im}$  et  $B_{im}$  sont, respectivement, la partie réelle (ou conductance) et la partie imaginaire (ou susceptance) de  $Y_{im}$ .

L'expression de la puissance apparente  $S_i$  injectée à un jeu de barre  $i$  s'obtient par :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i = V_t \sum_{M=1}^N Y_{im} V_{im} \quad (I.8)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

où  $P_i$  et  $Q_i$  sont, respectivement, l'injection des puissances active et réactive au jeu de barre  $i$ . En remplaçant l'équation on obtient :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \cos(\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \\ Q_i = \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \sin(\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (I.9)$$

Cet ensemble de  $2N$  équations non linéaires constitue la forme polaire des équations de l'écoulement de puissance [30]. Pour un profil de tension et une topologie du réseau donné, ces équations donnent les injections de la puissance active et la puissance réactive au niveau d'un jeu de barre  $i$ . Ces dernières sont décrites par les relations :

$$\begin{cases} P_i = P_{Gi} - P_{Di} \\ Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \end{cases} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, N \\ i = 1, 2, \dots, N \end{matrix} \quad (I.10)$$

où  $P_{Gi}$ ,  $Q_{Gi}$ ,  $P_{Di}$  et  $Q_{Di}$  sont, respectivement, la puissance active générée, la puissance active demandée, la puissance réactive générée et la puissance réactive demandée au jeu de barres  $i$ . Finalement, les équations d'équilibre de puissance sont de la forme :

$$\begin{cases} P_i = P_{Di} + \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \cos(\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \\ Q_i = Q_{Di} + \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \sin(\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \end{cases} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, N \\ i = 1, 2, \dots, N \end{matrix} \quad (I.11)$$

### 1.5.1 Les équations aux J.d.B de charge

Les puissances active et réactive à chaque J.d.B «  $i$  » sont :

$$P_i - jQ_i = V_i^* \cdot I_i \quad (I.12)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*}$$

Dans la formulation de l'équation du réseau, si les éléments shunts de mise à la terre sont inclus dans la matrice des paramètres l'équation donne le courant total au J.d.B. D'un autre côté, si les éléments shunts du réseau ne sont pas inclus. Le courant total au J.d.B « i » est :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - Y_i \cdot V_i \quad (I.13)$$

$Y_i$  : Admittance totale shunt au J.d.B « i ».

$Y_i \cdot V_i$  : Courant de shunt circulant du J.d.B « i » vers la terre

### 1.5.2 Equations de l'écoulement de puissances dans les lignes

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

Le courant de la branche entre les deux jeux de barres i et k, qui a le sens positif de i vers k est donné par :

$$I_{ik} = (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i Y_p \quad (I.14)$$

Avec  $Y_{ik}$  : l'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et k  $Y_p$  : l'admittance shunt au jeu de barres i

$V_i Y_p$  : la contribution shunt du courant au jeu de barres i.

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* I_k \quad (I.15)$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i^* V_i Y_p$$

$$P_k - jQ_k = V_k^* (V_k - V_i)Y_{ik} + V_k^* V_k Y_p$$

La valeur des pertes de puissance dans la ligne entre les deux jeux de barres i et k est la somme algébrique de la répartition des puissances déterminées à partir des relations

### 1.5.3 Les pertes de puissance dans lignes

Au niveau de J.d.B la puissance apparente nette est la différence entre la puissance générée et la puissance demandée. Pour un J.d.B «i»[04].

On a :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di}$$

Avec :

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} = F_{ip}$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} = F_{iq}$$

$$\sum P_i = \sum F_{ip} = \sum P_{Gi} - \sum P_{Di} \quad (I.16)$$

$$\sum Q_i = \sum F_{iq} = \sum P_{Gi} - \sum P_{Di} \quad (I.17)$$

Le système d'équation (I.13) exprime l'expression des pertes. Où bien on peut calculer les pertes par une autre méthode, on calcule les pertes au niveau des lignes puis la somme donne l'expression des pertes:

$$\begin{cases} P_{Lij} = P_{ij} + P_{ji} \\ Q_{Lij} = Q_{ij} + Q_{ji} \end{cases} \quad (I.18)$$

## 1.5.4 Quelques observations sur les équations de l'écoulement de puissance

Les observations concernant les équations du système sont :

- Les équations sont algébriques car elles représentent un système qui travaille en régime permanent.
- Les équations son non linéaires, donc il est très difficile d'avoir des solutions analytiques, mais on peut obtenir facilement une solution numérique.
- L'équilibre des puissances actives donne :

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} = \sum_{i=1}^n P_{Di} + \sum_{i=1}^n P_{Li} \quad (I.19)$$

## 1.6 Classification des variables des équations de répartition charge

### 1.6.1 Variables de perturbation (Variables non contrôlées)

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

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \end{bmatrix} \quad (I.20)$$

## 1.6.2 Variables d'états.

Ce sont les variables  $(V_1 V_2 \delta_1 \delta_2)$  Soit  $X$  un vecteur appelé vecteur d'état :

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (I.21)$$

## 1.6.3 Variables de contrôle.

Ce sont les puissances de source  $P_{g1} P_{g2} Q_{g1} Q_{g2}$

$$P = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ Q_{g1} \\ Q_{g2} \end{bmatrix} \quad (I.22)$$

## 1.7 Les méthodes numériques itératives

La modélisation mathématique des systèmes non linéaires qu'il fallait résoudre pour l'étude du phénomène de la répartition de charge, consiste à faire appel aux outils mathématiques tels que, les méthodes itératives approximatives par ce que pour les systèmes

- la méthode itérative de Gauss.
- la méthode itérative de Gauss-Siedel
- la méthode de Newton-Raphson.
- la méthode de relaxation ou technique des résidus.

Pour notre travail on a choisi la méthode de NEWTON- RAPHSON.

### 1.7.1 Méthode de Newton – Raphson

Cette méthode implique des résolutions répétées d'un système d'équations linéaires, qui sont une approximation linéaire du système original d'équations non linéaires décrit par Cette approximation linéaire est obtenue par un développement en série de Taylor de ces deux expressions .On est ainsi conduit à formuler le système linéaire[01]





# Chapitre I Etat de l'art d'écoulement de puissance

En supposant que la matrice  $w(x^{(0)})$  est régulière, on obtient

$$\Delta x^{(0)} = -w^{-1}(x^{(0)}) \cdot f(x^{(0)}) \quad (I.34)$$

Par conséquent:

$$x^{(1)} = x^{(0)} - w^{-1}(x^{(0)}) \cdot f(x^{(0)})$$

En général:

$$x^{(P+1)} = x^{(P)} - w^{-1}(x^{(P)}) \cdot f(x^{(P)})$$

$P = 0, 1, 2, \dots, k_{max}$  . - Critère d'arrêts des itérations :

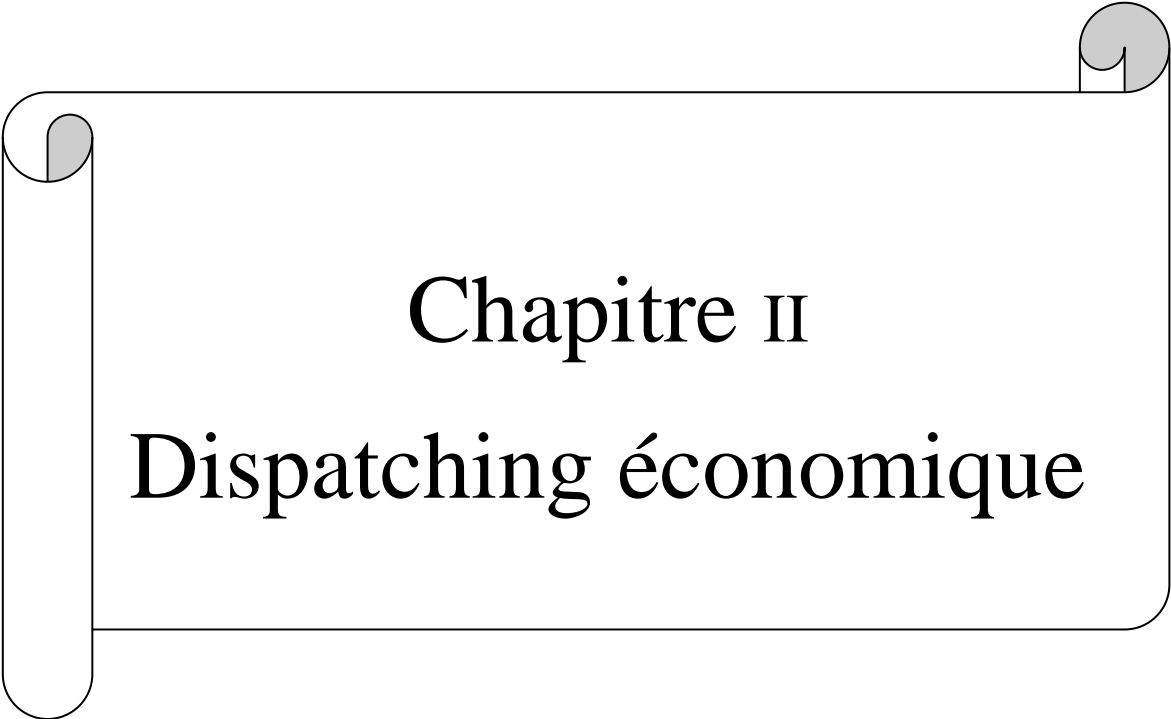
On arrête les opérations par l'un des tests suivants :

- $|x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}| < \varepsilon$
- $\frac{|x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}|}{x_i^{(k+1)}} < \varepsilon$
- $|f_i(x^{(k+1)})| < \varepsilon$
- $K > K_{max}$

Où  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ , sont des bornes supérieures de l'erreur fixées a priori et  $k_{max}$  est le nombre maximum admissible d'itérations.

## 1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté des informations et analysé le problème de la répartition des charges électrique, et a montré de la méthode numérique que traite le problème d'écoulement de la puissance peut être donc résolu par la technique NEWTON RAPHSON que converge avec une mémé vitesse, mesurée par le nombre d'itérations, pour les larges et courts système, en moins 4 à 5 itérations en général. Le problème le plus important dans l'industrie d'électricité est de réduire au maximum le coût de la production de l'énergie électrique générée par l'ensemble des centrales interconnectées. Ce problème ne peut être résolu par l'écoulement de puissance mais par l'optimisation de l'écoulement de puissance. Au chapitre suivant, on va parler sur dispatching économique par utilisation des méthodes classique les plus répondues ont été étudiée avec et sans considération de pertes.



Chapitre II

Dispatching économique

## II.1 Introduction :

La répartition optimale de puissance a le même sens que le dispatching économique (DE) ou l'optimisation de l'écoulement de puissance. La solution du problème de l'DE revient à résoudre les équations de l'écoulement de puissance en minimisant l'utilisation du combustible des centrales électriques

Une grande variété de techniques et de méthodes a été appliquée pour résoudre le problème de la répartition optimale de la charge ; depuis que cette problématique est devenue une vraie préoccupation qui nécessite un suivi continu et une actualisation des recherches à fin d'aboutir à des meilleurs résultats.

## II.2 Aperçu sur l'architecture des réseaux électriques

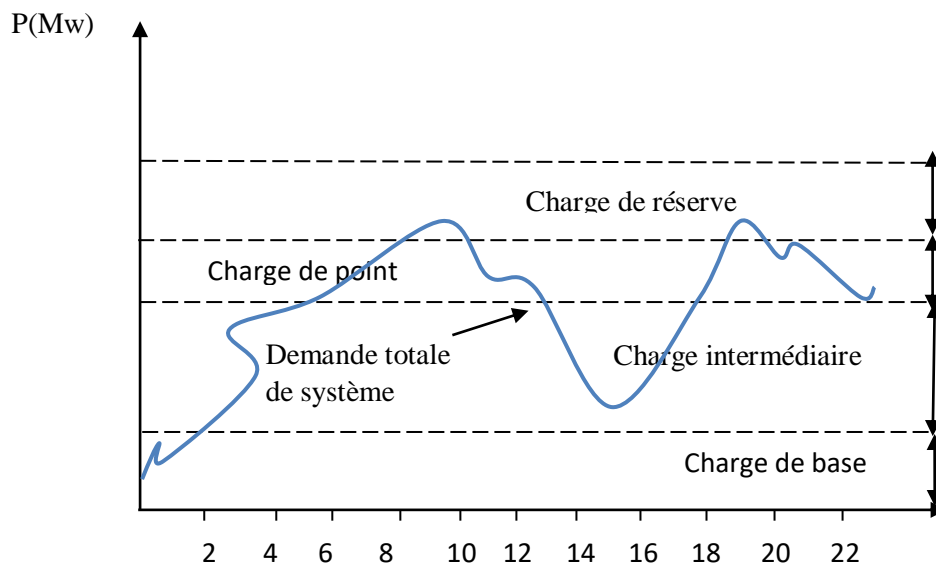
Le réseau à très haute tension THT (400 KV, 225KV) d'interconnexion internationale forme un ensemble maillé sur lequel sont raccordées les grandes centrales (centrales nucléaires de 1000 MW, par exemple). Il est complété par le réseau de répartition (60 à 150 KV) souvent exploité en poches reliées au niveau supérieur de tension et sur lequel se raccordent des centrales électriques de moins de puissances, ainsi que les grands utilisateurs industriels. On trouve en suite un réseau de distribution (de 20 KV à 400 V) desservant la clientèle (petites et moyennes entreprises, commerces, secteur résidentiel). Ce réseau de distribution est généralement de structure radiale, éventuellement bouclé dans des zones urbaines pour assurer la continuité de service, voire bouclé même en basse tension dans certaines grandes villes. Le coût d'un réseau bouclé est plus élevé par la complexité du contrôle et de la protection, mais ce type de réseau se caractérise par une meilleure continuité de service.

L'alimentation d'une grande agglomération se fait en général par une boucle à 380 kV ou 225 kV alimentée par le réseau d'interconnexion et sur laquelle sont raccordés des postes abaisseurs vers le réseau de répartition. Sur ce réseau de répartition sont branchés des postes abaisseurs (postes de répartition) vers le réseau de distribution (15 kV à 20 kV), qui est bouclé et enfin le réseau basse tension de structure radiale alimentant les consommateurs (en triphasé ou en monophasé)[12].

## II.3 La stratégie du fonctionnement des centrales électriques

Il existe un nombre infini des formes de fonctionnement pour assurer un chargement précis d'un système. On distingue chacune des unités de génération en désignant les

puissances spécifiques de chacune d'elles en MW ou en MVA. Des générateurs qui fonctionnent à 100% de leurs capacités pendant 24 heures supportent la charge de base. Des générateurs intermédiaires commandés fonctionnent la plupart du temps mais pas nécessairement sous une charge totale. On procède au couplage des unités des pointes à la ligne pendant des heures chaque jour. On a besoin d'une capacité de réserve pour affronter les cas d'urgences[13].



**Fig(II.1) :** stratégie de fonctionnement des centrales suivant la demande de puissance électrique

### II.3.1 Unités de charge de base

Les unités nucléaires sont généralement rangées dans cette catégorie à cause du besoin de conservation de l'équilibre thermique entre le réacteur atomique et le générateur de vapeur, il est préférable de stabiliser les puissances actives délivrées pour ce genre d'unités à un niveau constant dans la mesure de possible et faire fonctionner les unités dans des valeurs constantes de puissance[13].

### II.3. 2 Unités intermédiaires

Quand il faut organiser les puissances actives délivrées, on préfère utiliser les unités fonctionnant hydrauliquement, car on contrôle l'énergie générée par celles-ci en jouant sur le débit d'eau entrant à la turbine. Les centrales électriques ne sont pas toutes hydrauliques, mais on utilise des centrales thermiques contrôlables. A cause des constantes de temps thermiques d'un système à vapeur, il est toujours nécessaire d'organiser ces centrales dans les limites de

## Chapitre Dispatching économique

---

leurs moyennes maximales. C'est-à-dire la moyenne où l'on peut varier le niveau d'énergie ou de puissance en MW par minute[13].

### II.3. 3 Unités de pointes

Les générateurs entraînés par des turbines à gaz peuvent répondre à l'augmentation de la charge avec une grande vitesse; pour cela, ils sont utilisés fréquemment pour les heures de pointes, mais lorsqu'on dispose des générateurs entraînés hydrauliquement ceux-ci sont préférés en premier lieu. Les centrales de pointes doivent être mises en marche dans un délai très court, elle utilise donc des moteurs à diesel, des turbines à gaz, des moteurs à air comprimé ou des turbines hydrauliques à réserve pompée. Remarquons que la période d'amorçage est de 4 à 8 heures pour les centrales thermiques et de quelques jours pour les centrales nucléaires. Il n'est donc pas économique d'utiliser ces centrales pour fournir la puissance de pointe[13].

### II.3.4 Unité de réserve

La gamme des générateurs demandés peut être constituée de générateurs conservés à la sortie partielle (capacité de réserve) ou des générateurs intermédiaires à des degrés différents de disposition. Le coût d'énergie varie en grande partie en fonction du dollar par (MW heures) entre les différentes unités précédentes. L'unité de pointe est considérée la plus chère, car elle n'est pas exploitée toujours et on peut s'abstenir d'acheter ce type d'unités pour des années en minimisant le pic de demande par le contrôle de la charge. Il est primordial pour n'importe quelle entreprise de production d'énergie électrique de conserver les unités mixtes convenables et cela ne soit pas due seulement à la variation de l'énergie demandée par heure, mais il est obligatoire de procéder régulièrement à la maintenance de toutes les centrales électriques. En ce qui concerne les centrales nucléaires, il faut les alimenter en combustible. La réussite de l'unité productrice d'énergie à gérer les différentes unités dépend essentiellement de sa capacité à réaliser le compromis entre la génération de l'énergie et la demande de la charge non pas pour 24 heures mais pour des années entières[14].

## II.4 Dispatching économique

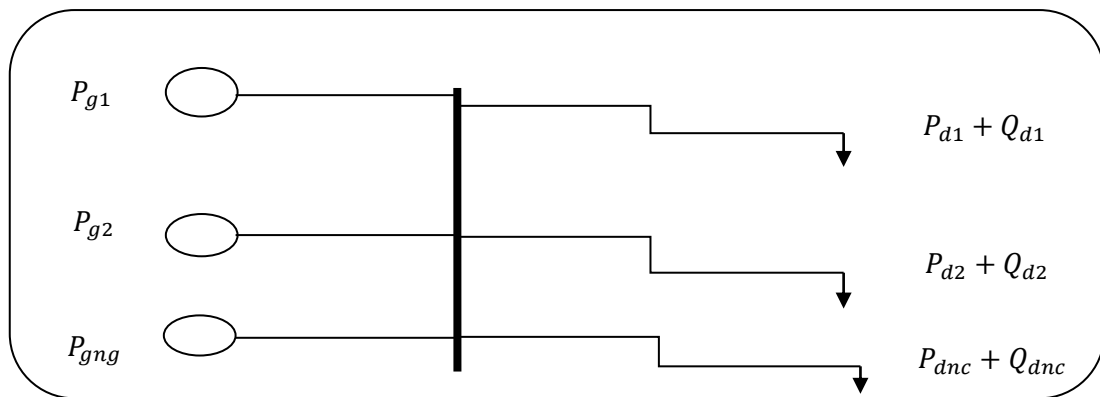
### II.4.1 Définition dispatching économique

Les centrales électriques connectées au réseau sont appelées à produire suffisamment de puissance pour répondre à la demande des charges. Cette demande varie considérablement durant les journées et les saisons, et les coûts de production d'énergie diffèrent aussi d'une centrale à une autre, selon le type et l'efficacité. Par conséquent, il est indispensable de

## Chapitre Dispatching économique

répartir la capacité de génération d'une manière à satisfaire la demande avec un minimum de coût.

Le problème de répartition des charges sur les différentes unités de production est appelé dispatching économique. Ce problème consiste à optimiser les coûts de production d'énergie. Un dispatching économique obéit à un planning pour le lendemain et un planning du jour.



**Figure(II.2):** Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique.

Un planning du lendemain sert à définir les unités de génération pour chaque heure sur les bases des critères suivants :

- Estimation de la demande
- Les limites maximale et minimale de puissance de chaque unité de production
- Le temps de démarrage de chaque unité
- Le coût de production de chaque unité (coût de la matière première, efficacité)
- Le coût de démarrage. [23]

Le dispatching journalier sert à contrôler les écoulements de puissance d'heure en heure pour maintenir la fréquence et la tension dans des limites acceptables, et ce par:

- Ajustement de la production par un contrôle automatique de génération (AGR, Automatico generation control) ;
- Modification de la topologie du réseau ;
- Compensation des puissances réactives
- Délestage de charge si nécessaire. [23]

Le dispatching économique ( The Economic Dispatch ) est la génération, la répartition et l'exploitation à coût minimal de l'énergie électrique dans un réseau de puissance électrique, nous pouvons encore dire que c'est un problème d'optimisation qui est basé essentiellement

sur la répartition la plus économique de la puissance active produite par les groupes de génération existant dans un réseau électrique ; en satisfaisant toute la demande et en tenant compte des contraintes types égalité et inégalité des groupes. L'outil d'optimal dispatch (OD) est utilisé très près du temps réel entre 5 et 15 min où les prévisions deviennent de plus en plus précises et lancé à des intervalles réguliers. Ça sert à déterminer le niveau de production définitif des unités qui sont disponibles à ce moment où déjà démarrées. [24],[25]

### II.4.2 L'objectif du dispatching économique

L'objectif est de résoudre le problème économique de production de l'énergie électrique, c'est-à-dire de minimiser le coût total du combustible nécessaire pour cette production qui se présente sous forme d'une fonction non linéaire, en tenant compte de certaines contraintes de type égalité et de type inégalité.[16].

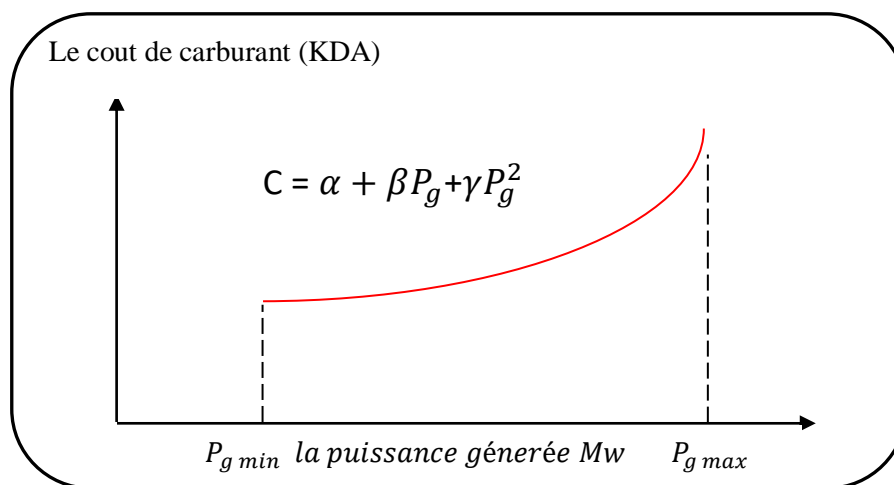
### II.4.3 La fonction coût et Incrémentation du coût

#### II.4.3.1 La fonction coût

Le coût de production d'une centrale est généralement modélisé par une fonction polynomiale du second degré en PG (puissance active générée par la centrale) dont les coefficients sont des constantes propres à chaque centrale[17][18].

$$C = \sum_{i=1}^{ng} C_i(P_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta P_{gi} + \gamma P_{gi}^2) \text{ [$/h]} \quad (\text{II.1})$$

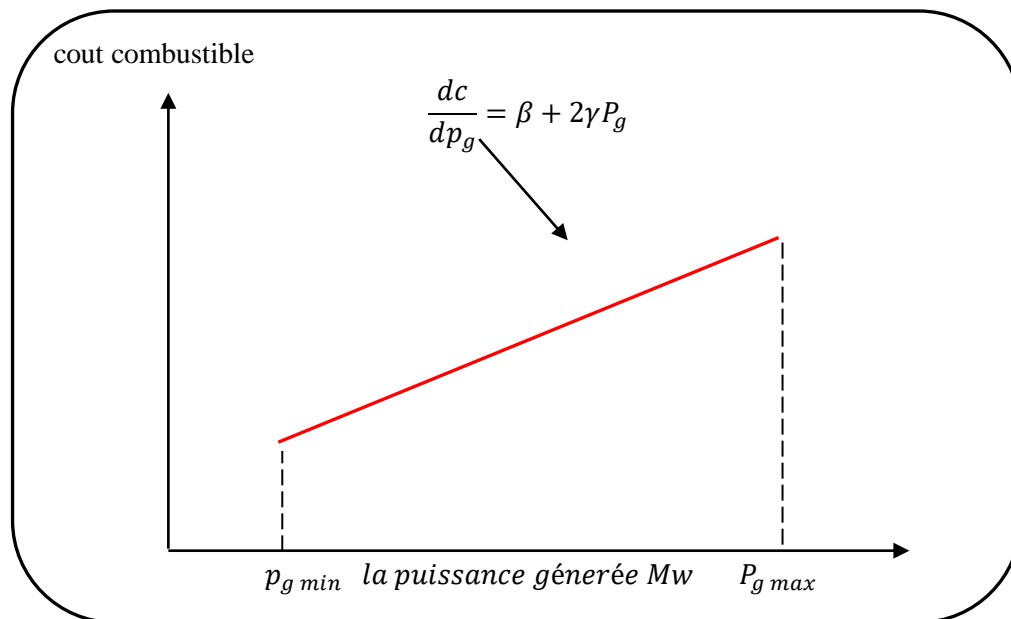
Où  $\alpha_i$   $\beta_i$   $\gamma_i$ , sont des coefficients constants propres au générateur i. La relation entre le coût de production et la puissance de sortie est appelée « courbe de coût »  $C_i=(P_{gt})$



Figure(II.3): Le coût de carburant en fonction de la puissance générée

### II.4.3.2 Incrémentation du coût

La dérivée partielle  $dC_i$  d  $P_{gi}$  avec  $(i=1,2,\dots,n)$  de la fonction de cout s'appelle l'incrémentation du coût du générateur  $i$ . Elle représente la tangente de la courbe qui lie le coût et la puissance générée comme elle est montrée sur la (Figure II.4). Son unité s'exprime en (\$ /KWh), pour les grands générateurs l'unité est (\$/MWh)[16][18].



**Figure(II.4):** La courbe de l'accroissement du coût de combustible.

Les points d'intersection de cette ligne avec les courbes du cout d'accroissement originales sont les valeurs optimales de la solution. Pour obtenir les puissances optimales des générateurs, il suffit de tracer des lignes verticales descendantes à partir des courbes du cout d'accroissement des générateurs[18].

### II.5 Les contraintes

Les puissances actives générées optimales correspondant à un coût minimal, doivent obligatoirement respecter les contraintes de type égalité et inégalité. Les contraintes de sécurité expriment qu'en cas de perte d'un ou plusieurs ouvrages de production et/ou de transport, le réseau continue à fonctionner dans des limites admissibles[19].

### II.5.1 Contraintes d'égalité

Le choix optimal des puissances générées doit obéir à l'équilibre statique de l'énergie dans le système électrique. Ces contraintes sont représentées par des équations non linéaires de l'écoulement puissance[19].

On peut dire que les contraintes d'égalités vérifient la lois de Kirchhoff, bilans d'énergie[15].

#### II.5.1.1 Cas d'un système sans pertes

Dans ce cas, la seule contrainte est que la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la charge totale de système[20].

$$\sum_{i=1}^k P_{gi} = P_d \quad (\text{II. 2})$$

#### II.5.1.2 Cas d'un système avec pertes

Dans ce cas, la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la somme de la puissance demandé par la charge de système et les pertes de transmission de cette puissance[16].

$$\sum_{i=1}^k P_{gi} = \sum_{i=1}^k P_d + P_L \quad (\text{II. 3})$$

### II.5.2 Contraintes d'inégalité

Les contraintes d'inégalité de l'OPF reflètent les limites sur le dispositif physique dans systèmes d'alimentation aussi bien que les limites créées pour assurer la sécurité de système .Le plus habituel les types de contraintes d'inégalité sont des limites supérieures de tension des jeux de barres de générations et les jeux de barres de charge, aussi les limites minimal de tension des jeux de barres à quelques générateurs, les limites de chargement maximum de ligne et les limites de appareils et les outils de réglage[21].

## II.6 Formulation mathématique du problème dispatching économique

Le problème du dispatching économique consiste à minimiser le coût total du combustible (C),n sujet à une seule contrainte d'égalité qui est la somme de toute les puissances générées est égale à la puissance totale demandée (Pd)[01].

Mathématiquement on peut écrire:

Minimiser :

$$C = \sum_{i=1}^{ng} C_i(P_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + \beta P_{gi} + \gamma P_{gi}^2) \quad (\text{II. 4})$$

Sujet a la containtes :

$$\sum_{i=1}^k P_{gi} = P_d \quad (\text{II. 5})$$

Dans la pratique, chaque puissance générée ( $P_{gi}$ ) est limitée par une limite inférieure ( $P_{gi \min}$ ) et une autre supérieure ( $P_{gi \max}$ ), ce qui donne la contrainte d'inégalité suivante.

$$P_{gi \min} < P_{gi} < P_{gi \max} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

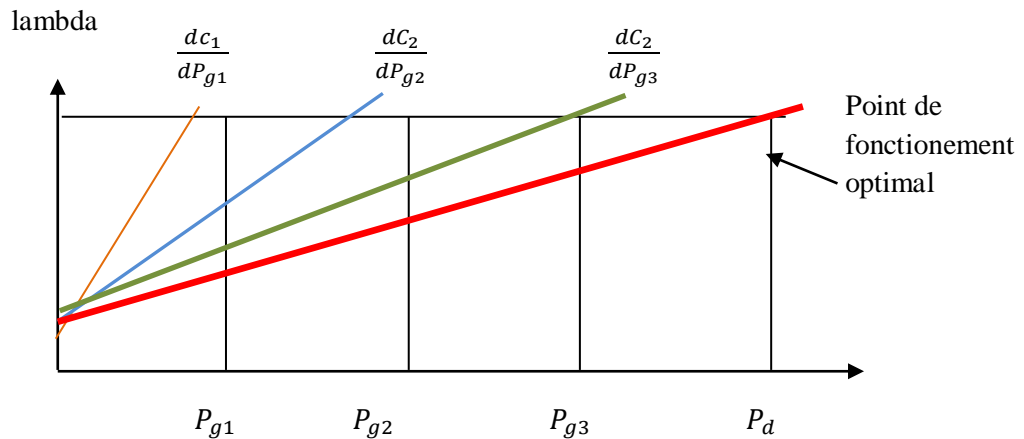
### II.6.1 Dispatching économique sans pertes

La solution du dispatching économique est obtenue à l'aide de deux types de méthodes d'optimisation, le premier type utilise le gradient (fonction de Lagrange) comme: La méthode de Kuhn-Tucker et la méthode de gradient. Le deuxième type utilise les itérations (minimisation sans gradient): la méthode d'itération de Lambda. Dans certains cas on peut considérer le problème de dispatching comme linéaire par parties (Piecewise linear).

Si on considère le problème du dispatching comme un problème linéaire on utilise la programmation linéaire[22].

#### II.6.1.1 Méthodes graphique du problème dispatching économique

Le problème du dispatching économique peut être résolu par une méthode graphique, en traçant la courbe d'accroissement du cout  $\lambda = f(P_{gi})$ , pour chaque générateur et sur le même plan. En ajoutant graphiquement les valeurs des puissances, on aboutit à une seule courbe résultante représentant le coût d'accroissement total de tous les générateurs. La valeur de la charge totale ( $P_d$ ) peut être prise comme point de départ d'une ligne verticale, tirée jusqu'à ce que la ligne du coût d'accroissement totale soit traversée. Cette valeur de la traversée (Optimum) est prise comme point de début d'une ligne horizontale allant vers la gauche. Cette ligne indique la valeur optimale de lambda ( $\lambda^*$ ) pour toutes les puissances actives des générateurs.



**Figure(II.5):** La méthode graphique de résolution de l'D.E sans pertes.

Les points d'intersection de cette ligne avec les courbes du coût d'accroissement originales sont les valeurs optimales de la solution. Pour obtenir les puissances optimales des générateurs, il suffit de tracer des lignes verticales descendantes à partir des courbes du coût d'accroissement des générateurs[18].

### II.6.1.2 Méthode lagrangien

Le système des équations (II.1) et (II.3) est un problème d'optimisation non linéaire avec contraintes, qui doit être résolu par le développement d'une fonction qui s'appelle la fonction de Lagrange[01][18]. Pour obtenir l'extremum d'une fonction objective, on doit ajouter la fonction de contrainte à la fonction objective, par la multiplication par un coefficient qui s'appelle le multiplicateur de Lagrange, qui est préalablement indéterminé.

La fonction augmentée de Lagrange du problème est donnée:

$$\sum_{i=1}^{ng} (a + \beta_i P_{gi} + \gamma P_{gi}^2) + \lambda (P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi}) \quad (II.6)$$

Les conditions d'optimalités nécessaires sont les équations suivantes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial P_{gi}} = \beta_i + 2\gamma_i P_{gi} - \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = 0 \\ P_{gi}^{min} < P_{gi} < P_{gi}^{max} \end{array} \right. \quad (II.7)$$

On peut résoudre ce système d'équations d'ordre  $B_{00}, B_{ij}$  par la substitution des valeurs  $P_{gi}$  des premières équations dans l'avant dernière équation

$$P_{gi} = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i}; i = 1; ng \quad (\text{II.8})$$

$$\sum_{i=1}^{ng} \frac{\lambda}{2\gamma_i} = P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \quad (\text{II.9})$$

La valeur optimale de lambda déterminée de l'équation (II.10) est comme suit:

$$\lambda = \lambda_{opt} = \left( P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \right) / \sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2\gamma_i} \quad (\text{II.10})$$

La valeur numérique optimale de lambda peut être remplacée dans l'équation (II.10) pour obtenir toutes les valeurs optimales des puissances générées :

$$P_{gi} = P_{gopt_i} = \frac{1}{2\gamma_i} \left( \left( \left( P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i} \right) / \sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2\gamma_i} \right) - \beta_i \right); i = 1, ng \quad (\text{II.11})$$

### II.6.2 Dispatching économique avec pertes

Deux approches sont essentiellement utilisées pour la solution de dispatching économique avec pertes, la première est le développement d'une expression mathématique des pertes en fonction des puissances de sortie de chaque unité de production (comme celle de beta coefficient). La deuxième approche consiste à utiliser les équations de l'écoulement de puissances optimal (optimal power flow)[11].

#### A-Considération des pertes constant

Dans ce cas, la valeur de pertes se rassembler avec la puissance demandée totale et le problème sera étudié comme le cas sans pertes[01].

#### B-Pertes variables

Nous devenons à développer une expression mathématique des pertes de puissances actives, en fonction des puissance actives des générateurs[01].

### II.6.2.1 Calcule les pertes

Il existe deux approches générales pour calculer les pertes[16]: On calcule les pertes de transmission par les méthodes de calcul de l'écoulement de puissance N-R ou G-S.

La méthode de «formule des pertes» est basée sur l'approximation des pertes totales de puissance active par une fonction directe des puissances actives des générateurs ( $P_{gi}$ ), donnée par l'équation suivante.

$$P_i = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} B_{ij} P_{gi} P_{gj} + \sum_{i=1}^{ng} B_{io} P_{gi} + B_{00} \lambda \quad (\text{II. 12})$$

Où

$P_{gi}$  : puissance active du générateur i

$B_{00}$ ,  $B_{ij}$  et  $B_{io}$  coefficients de pertes (constantes réelles).

Les coefficients de pertes sont des constantes réelles spécifiques au réseau étudié, et sont calculés en fonction de la matrice impédance du réseau, des puissances actives et réactives demandées et des tensions. Dans la littérature, Il existe beaucoup de formules pour le calcul des coefficients de pertes.

### II.6.2.2 Incrémentation des pertes de transmission

Soit  $P_L$  Les pertes totales dans les lignes de transmission. La dérivée partielle  $\delta P_L$  et  $\delta P_{Gi}$  sont appelées l'incrémentation des pertes de transmission (ITL), elle représente la variation des pertes totales liée à la variation de la puissance générée par le générateur (i) [15].

### II.6.2.3 La résolution du problème

Pour résoudre le problème du dispatching économique avec pertes, on peut formuler le Lagrangien avec pertes comme suit [16]:

$$L = F(P_{gi}) + \lambda H(P_{gi}) \quad (\text{II. 13})$$

Où  $H(P_{gi})$  : est la contrainte d'égalité.

$$H(P_{gi}) = P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = 0 \quad (\text{II. 14})$$

$$L = \sum_{j=1}^{ng} C_i(P_{gi}) + \lambda \cdot (P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi}) \quad (\text{II. 15})$$

Pour Minimisé la fonction de lagrangien il faut que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\delta L}{\delta P_{gi}} = \beta_i + 2\gamma_i - \lambda \left( \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} - 1 \right) = 0 \\ \frac{\delta L}{\delta \lambda} = P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} \end{array} \right\} \quad (\text{II. 16})$$

$$P_{g(\min)} \leq P_{gi} \leq P_{g(\max)} \quad i= 1,2,3 \dots \dots ng$$

$$\frac{dC_i}{dP_{gi}} = \lambda \cdot \left( 1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right) \Rightarrow \lambda = \left( 1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right)^{-1} \cdot \frac{dC_i}{dP_{gi}} \quad (\text{II. 17})$$

$$\lambda = f_i \cdot \left( \frac{dC_i}{dP_{gi}} \right) \quad (\text{II. 18})$$

$$\text{ou: } f_i \cdot \left( \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right)^{-1} \quad (\text{II. 19})$$

$f_i$  : représente le facteur de pénalité de central  $i$ .

Donc, pour pénaliser les centrales qui produisent de la puissance dont le transit provoque des pertes importantes, nous multiplierons les coefficients de leur fonction de coût par un facteur de pénalité  $f_i$

Par les mêmes étapes du dispatching sans pertes on trouve que:

$$P_{gi} = \frac{\lambda f_i^{-1} - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (\text{II. 20})$$

$$P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \lambda \sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i} + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i} = 0 \quad (\text{II. 21})$$

$$\lambda = \frac{P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i}} \quad (\text{II. 21})$$

$$P_{gi} = \left[ \frac{1}{2\gamma_i} \left( \left( \frac{P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i}} \right) f_i^{-1} - \beta_i \right) \right] \quad (\text{II. 22})$$

Le problème devient plus difficile à résoudre car, suite à l'introduction du terme de pertes les équations de stationnarité du Lagrangien deviennent des équations couplées.

$$P_L = F(P_{g1}, P_{g1}, P_{g3} \dots \dots P_{ng}) \quad (\text{II. 23})$$

Donc, il faut utiliser une méthode itérative pour calculer chaque puissance sous les étapes suivants:

**L'étape 1:** Calculer des valeurs initiales des puissances générées par la méthode de lagrangien sans pertes.

**L'étape 2:** Remplacement des puissances générées dans la formule des pertes.

**L'étape 3:** calcule des coefficients  $\frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}}$  ensuite, l'évaluation des facteurs de pénalités de tous les générateurs.

**L'étape 4:** Calculer  $(\gamma^{(k)})$  correspondant.

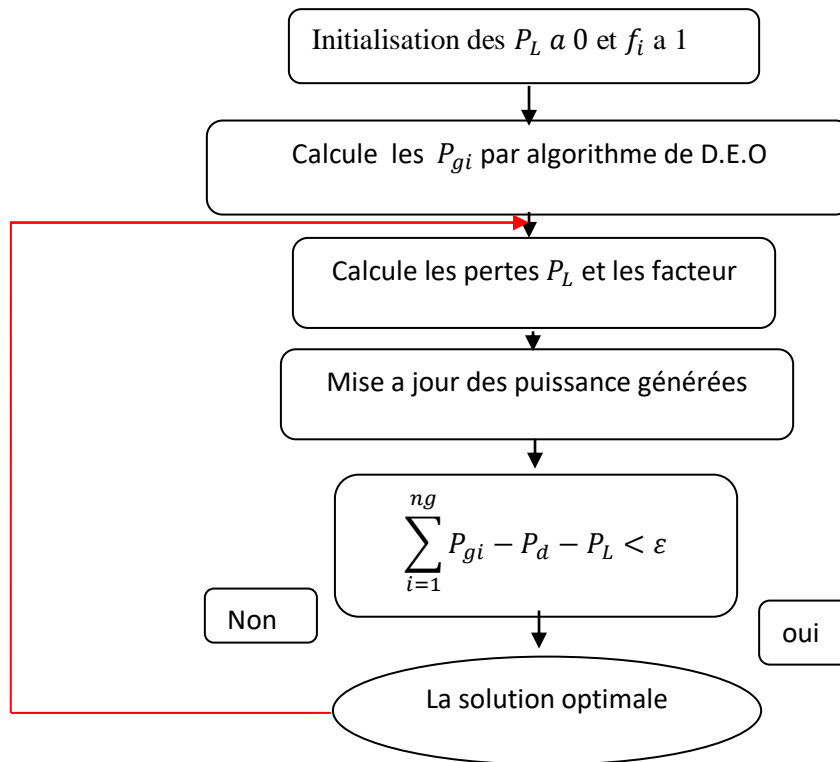
**L'étape 5:** Mise à jour des  $P_{gi}$ .

**L'étape 6:** Vérifier que:  $(\sum_{i=1}^{ng} P_{gi} - P_d - P_L < \varepsilon)$

Si oui: On passe à l'étape (7).

Si non: On retourne à l'étape (2).

**L'étape 7:** On calcule le coût de chaque central puis le coût total qui représente la solution optimale du problème.



**Figure(II.6):** L'organigramme de méthode de lagrangien avec pertes.

### II.7 Le modèle mathématique de dispatching environnemental

La combustion des fiouls dans les centrales thermiques contribue à la pollution atmosphérique par leur émission gazeuse. Il y a de diverses émissions nocives produites aux centrales mais les principaux polluants gazeux sont les oxydes d'azote (NOX), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Le dioxyde de soufre, et le dioxyde de carbone dépendent beaucoup du type de carburant utilisé dans la production d'électricité. La fonction des émissions comprend deux termes, un terme polynomial et un terme exponentiel[23]. La quantité des émissions des gaz toxiques peut être mathématiquement représentée comme fonction des puissances électriques générées

Les paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\gamma$ , et  $\zeta$  sont déterminés par des techniques d'interpolation basées sur des données réelles. L'expression analytique de cette fonction de l'unité  $i$  est la suivante[24]:

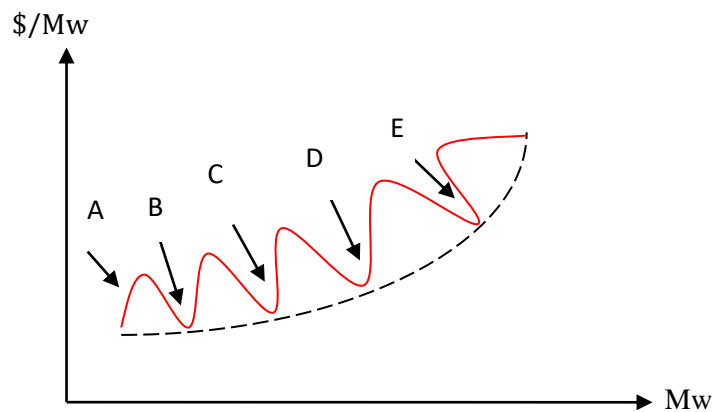
$$E_i(P_i) = a_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2 + u_i \exp(\zeta_i P_{gi}) \quad \text{ton/hr} \quad (\text{II. 24})$$

### II.8 Le coût du combustible avec l'effet d'ouverture des vannes

D'habitude, les grandes centrales thermiques disposent de plusieurs vannes d'admission de vapeur, qui sont utilisées pour le contrôle de la puissance délivrée par l'unité. Chaque fois que l'on commence à ouvrir une vanne d'admission, on enregistre une augmentation soudaine des pertes et il en résulte alors des ondulations dans la courbe de coût du combustible. Avec l'ouverture graduelle de la vanne, ces pertes diminuent progressivement jusqu'à ce que la vanne soit complètement ouverte [23]

La figure(II.9) montre la courbe de coût typique d'une unité thermique avec cinq vannes d'admission de vapeur.

**A:** Valve primaire **B:** valve secondaire **C:** Valve tertiaire **D:** Valve quaternaire **E:** Valve Quinaire



**Figure(II.7):** L'effet d'ouverture des vannes.

L'effet d'ouverture de vanne est souvent modélisé en ajoutant une composante sinusoïdale à la fonction quadratique de base

$$E_i(P_i) = a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i + e_i \sin(f_i(P_{i \min} - P_i)) \quad (\text{II. 25})$$

$a_i$   $b_i$   $c_i$   $e_i$   $f_i$   $P_i$  sont les coefficients de coût de l'unité génératrice  $i$

### II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé la formulation mathématique générale du problème de la répartition optimale de puissance, qui se traduit par un problème d'optimisation d'une fonction objective sujet à des contraintes. La plupart des équations formulant ce problème sont non linéaire, de ce fait, il est nécessaire d'utiliser une technique de programmation non linéaire pour la résolution du problème.



# Chapitre III

## Méthodes d'intelligence artificielle

## III.1 Introduction

Les ingénieurs se heurtent quotidiennement à des problèmes de complexité grandissante, qui surgissent dans des secteurs très divers, comme l'écoulement de puissance optimal, la conception de systèmes de commande et de diagnostic..etc. Le problème à résoudre peut souvent être considéré comme un problème d'optimisation dans lequel on définit une ou plusieurs fonctions objectifs, ou fonctions de coût, que l'on cherche à minimiser (ou maximiser) par rapport à l'ensemble des paramètres concernés. Vu les inconvénients des méthodes classiques que nous avons abordé au chapitre précédant, la résolution d'un tel problème a conduit les chercheurs à proposer des méthodes de résolution de plus en plus performantes, parmi lesquelles on peut citer les méta-heuristiques. Ces dernières qui comprennent aussi la logique flou [25], la méthode de recherche Tabou [26] les algorithmes d'optimisation par essaims de particules , les algorithmes génétiques ...etc, présentent des caractéristiques communes, qui sont:

- Raisonnement par analogie avec les systèmes réels (physique, biologie, éthologie, · · etc ).
- Stochastiques.

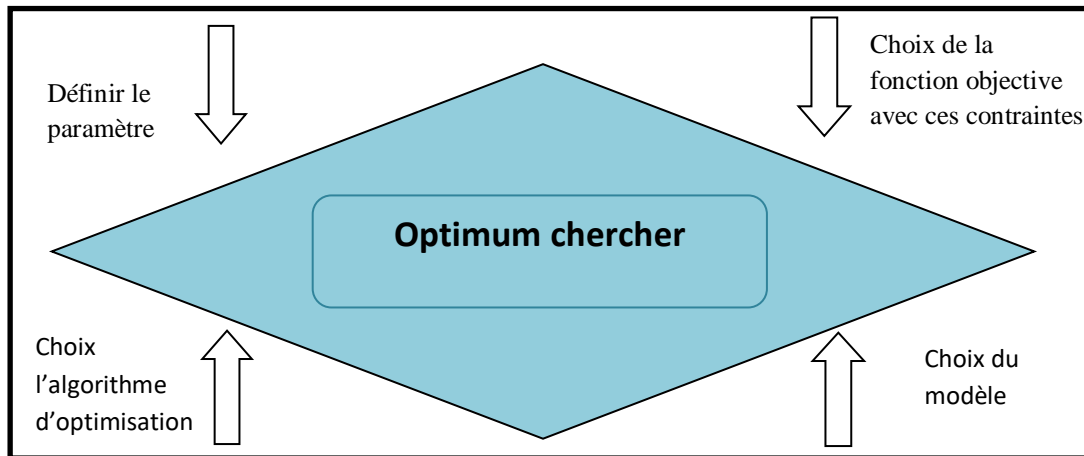
et partagent aussi les mêmes inconvénients :

- Difficulté de réglage des paramètres de la méthode.
- Temps de calcul élevé.

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à l'étude des algorithmes ant loin, les algorithmes d'optimisation par essaims de particules et les algorithmes hybride (HALOPSO) qui ont connu ces dernières années un développement considérable grâce à l'augmentation vertigineuse de la puissance des calculateurs numériques.

## III.2 Les éléments d'optimisation

L'optimisation est une des approches mathématiques consacré à l'étude du (ou des) minimum(s) / maximum(s) d'une fonction à une ou plusieurs variables sur un certain domaine de définition, et pour mener à bien une opération, plusieurs éléments sont indispensables et conditionnent la solution trouvée. La figure suivante présente les quatre éléments essentiels à la résolution d'un problème d'optimisation.



**Figure(III.1):** Eléments indispensable pour l'optimisation

En général, un grand nombre de paramètres sont indispensables, il faut être capable de définir les paramètres utiles à l'optimisation, certains paramètres ont une influence sur la fonction choisie. Etant donné le coût des simulations, seuls les paramètres influents sont à retenir[25]:

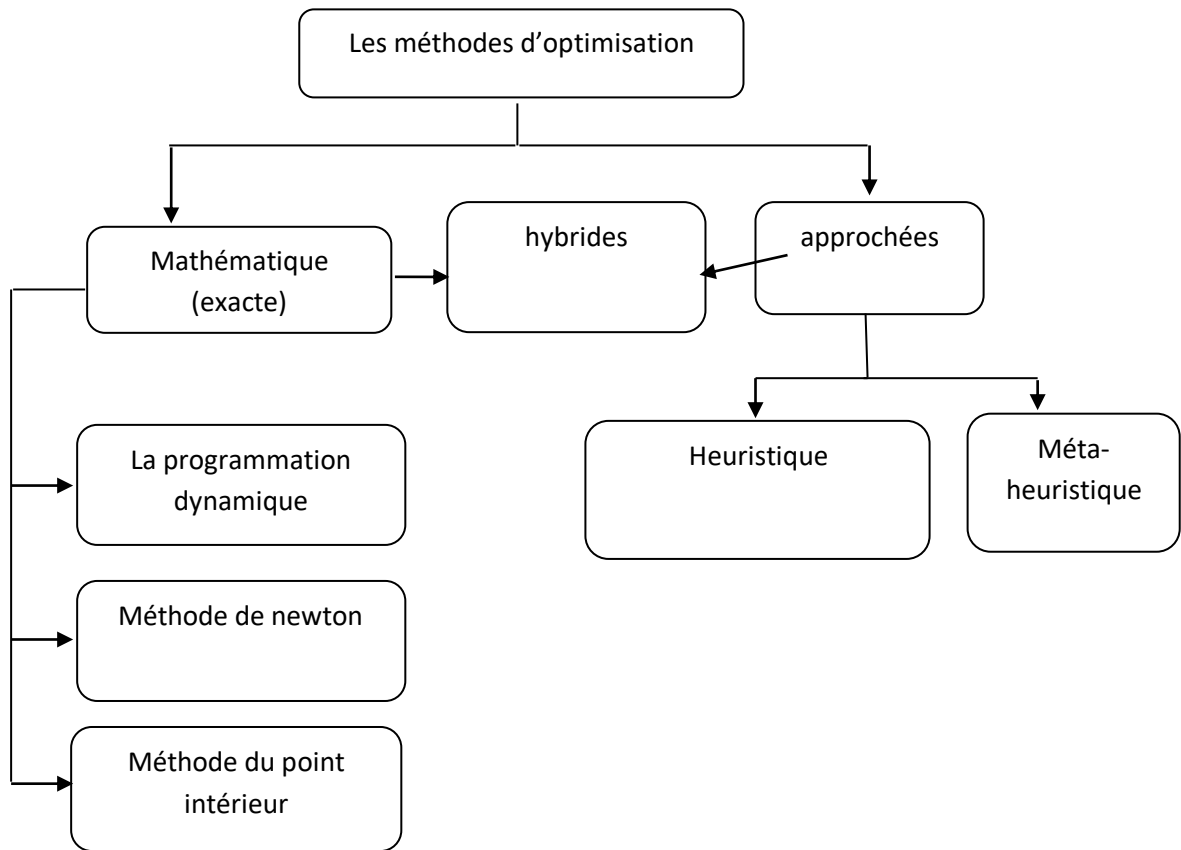
- **Une fonction objective** : définit l'objectif à atteindre, la définition de cette fonction est en fait un problème délicat car le problème est formulé en un problème d'optimisation par l'intermédiaire de la fonction objective, c'est elle qui est au centre de l'optimisation, c'est donc d'elle que dépend la pertinence de la solution.
- **Un modèle** : précis, robuste et malléable du système étudié est indispensable, ce modèle doit être utilisable sur un domaine d'étude le plus large possible.
- **Un algorithme d'optimisation** : permet de trouver la solution.

### III.3 Classification de méthodes d'optimisation:

On peut classer les différentes méthodes d'optimisation en fonction de leurs caractéristiques et ils peuvent être réparties en deux catégories[25]:

- Méthodes exactes.
- Méthodes approchées.

La figure (III.2) présente une classification des méthodes d'optimisation largement utilisés par les experts pour résoudre les différents problèmes complexes liés aux différents domaines de technologie.



**Figure(III.2):** Schéma de classification des méthodes d'optimisation.

### III.3.1. Les méthodes d'optimisation mathématique (exacte)

Les méthodes exactes fournissent systématiquement une solution (optimale) au problème traité si une telle solution existe. Dans le cas contraire, ce type de méthode permet d'affirmer qu'il n'existe pas de solution au problème traité[26].

Sans doute, la plus part des techniques de programmation mathématiques publiées dans la littérature ont été appliquées au problème de dispatching économique, toutefois, les techniques les plus intéressantes sont [25].

- Les approches basées sur la technique du gradient réduit.
- La technique de programmation quadratique.
- Les méthodes Newtoniennes.
- La méthode de programmation linéaire.
- Les méthodes de points intérieurs.

### III.3.2 Les méthodes d'optimisation approchées

Les méthodes approchées fournissent une solution approchée au problème traité. Elles sont en général conçues de manière à ce que la solution obtenue puisse être située par rapport à la valeur optimale : de telle méthodes permettent d'obtenir des bornes inférieures ou supérieures de la valeur optimale tel que [26]:

- Les méthodes Heuristiques.
- Les méthodes Méta –heuristiques.

#### III.3.2.1 Les méthodes heuristiques

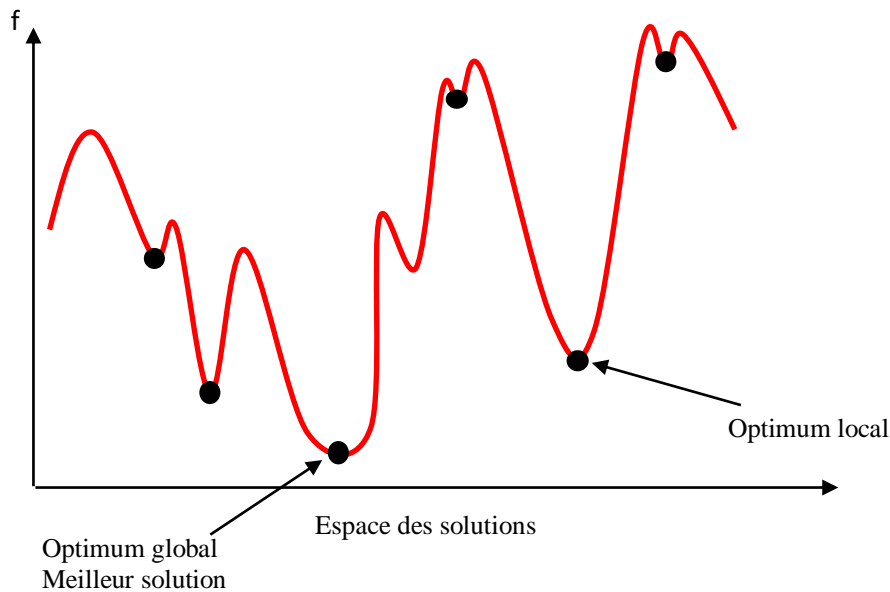
Le terme heuristique dérive du grec ancien heuriskêin qui signifie « trouver ».Il qualifie tout ce qui sert à la découverte et à l'exploitation.

Une heuristique est un algorithme qui fournit rapidement une solution approchée et réalisable, pas nécessairement optimale, pour un problème d'optimisation difficile. Cette méthode approximative est le contraire d'un algorithme exact qui donne une solution optimale pour un problème donné [25].

#### III.3.2.2 Les méthodes méta-heuristiques:

Les méta -heuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes Génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis, des sauts de grenouilles, des lucioles ou de l'optimisation par essaims de particules).

Le principe des méta –heuristiques est de minimiser ou de maximiser une fonction objectif. Leur avantage est de trouver un minimum global à un problème de minimisation et de ne pas rester bloqué sur un minimum local[27]



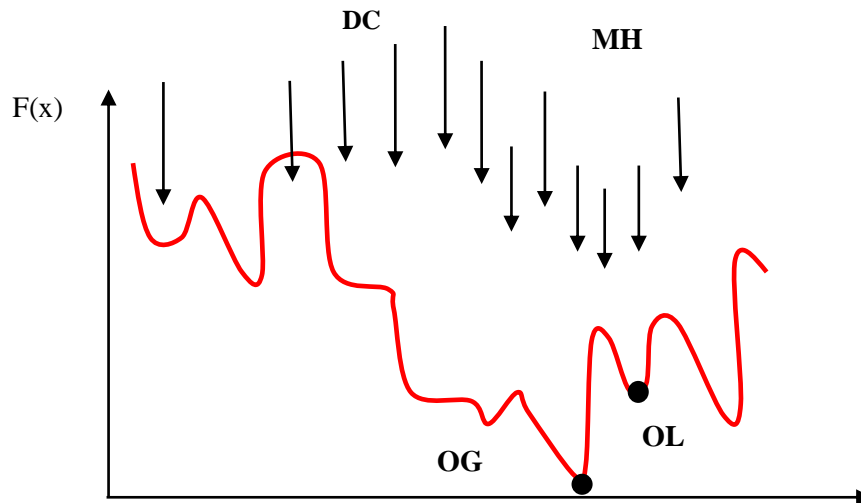
**Figure(III.3):** Minimum local et minimum global.

Il existe un grand nombre de méta-heuristiques d'optimisation. Elles se distinguent classiquement en deux groupes:

les méthodes locales et les méthodes de recherche globale[22].

- A partir d'un point de départ quelconque, les méthodes locales permettent d'obtenir le minimum local le plus proche du point de départ. Elles essaient toujours d'améliorer la solution courante et sont donc incapables de s'extraire d'un minimum local puisque cela impliquerait d'accepter de dégrader la solution courante.
- Les méthodes globales (Tabou, recuit simulé, algorithmes évolutionnaires, etc.) possèdent un mécanisme leur permettant de s'extraire des minima locaux. Elles sont plus adaptées à l'exploration globale de l'espace de recherche le plus souvent au détriment de l'exploration locale.

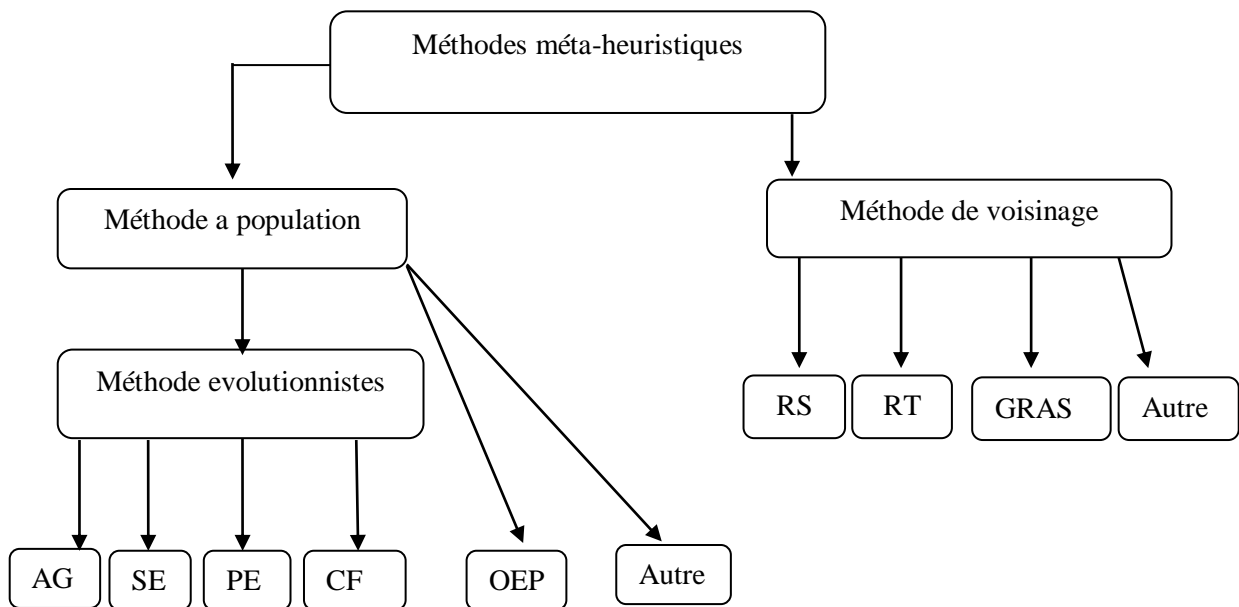
Dans la Figure.( III.4) les méta-heuristiques (MH) tentent de trouver l'optimum global (OG) D'un problème d'optimisation ( $f(x)$ ) difficile (avec par exemple des discontinuités (DC)), sans être piégé par les optima locaux (OL)[27].



**Figure(III.4):** Représentation simplifiée d'une approche méta- heuristique.

## III.4. Classification des méthodes méta-heuristiques

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur une classification qui distingue les méthodes à recherche locale (de voisinages) se basant sur une solution unique et celles faisant évoluer une population de solution que nous allons opter pour faire une illustration adapter à notre problème (Figure III.5)[25].



**Figure(III.5):** Classification des Méta-heuristiques

Où :

- CF : Colonie de Fourmies
- AG : Algorithmes Génétique
- SE : Stratégies d'Evolution
- PE : Programmation Evolutionnaire
- OEP : Optimisation par Essaim de Particules
- RS : Recuit Simulé
- RT : Recherche Taboue
- GRASP: Greedy Randomized Adaptive search Procedure

### III.4.1 Méthodes méta-heuristiques à parcours

Pour ce type de méta heuristiques, on utilise un parcours pour avoir un optimum. A 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 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 regroupe par exemple le Recuit Simulé (RS), la Recherche Taboue (RT), et la méthode GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure )[24]..

- unique. Ce parallélisme implicite permet de proposer plusieurs solutions différentes en fin d'exécution.
- Il n'est pas nécessaire de savoir formaliser le problème. Seul l'évaluation de la solution doit pouvoir être faite. Les algorithmes génétiques utilisent des règles de transition probabilistes, et non déterministes, ce qui permet d'extraire des optima locaux

### III.5 Optimisation par essaim de particulaire

Les algorithmes « d'optimisation par essaim de particules » (Particle Swarm Optimization (PSO) introduits pour la première fois par Kennedy et Eberhart [Kennedy, 1995 ; Eberhart 2001] sont inspirés des déplacements collectifs observés chez certains animaux sociaux tels que les poissons et les oiseaux migrateurs. En effet, il est étonnant de voir comment ces animaux se déplacent en groupe dans une seule direction, se divisent parfois en plusieurs groupes afin d'éviter un obstacle ou un prédateur, puis reforment un groupe compact. Avec des règles locales très simples comme « rester proche des autres individus », « aller dans la

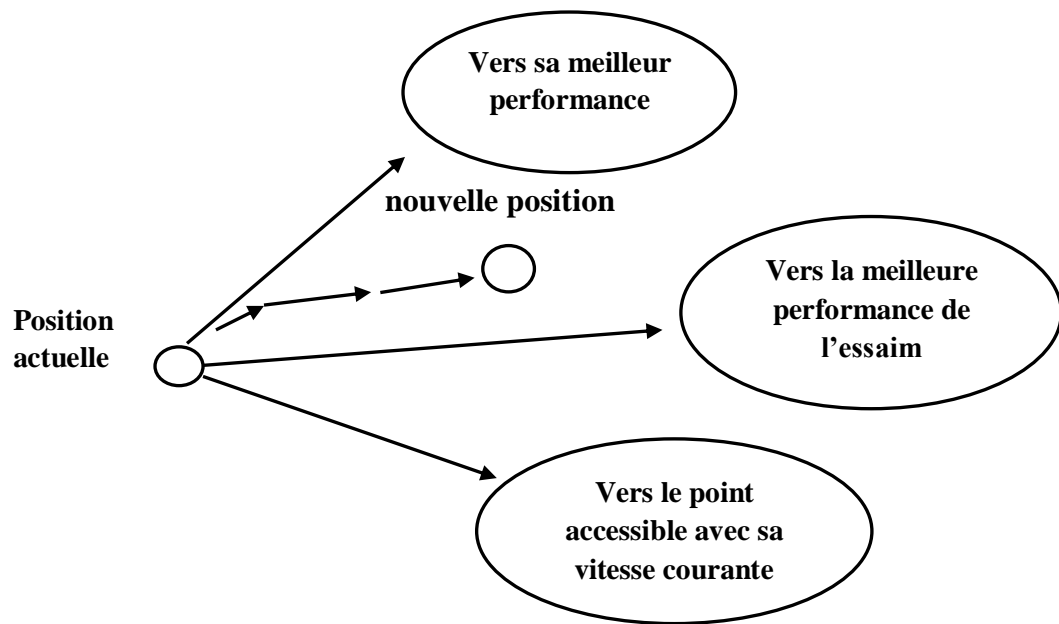
même direction », « aller à la même vitesse », ces animaux sont capables d'éviter un prédateur par des mouvements d'explosion puis re-forment le groupe originel, tout en maintenant la cohésion du banc. Dans l'algorithme à essaim de particules, les individus de l'algorithme sont appelés particules et la population est appelée essaim [28].

### III.5.1 Principe Caractéristiques

L'optimisation par essaim de particules repose sur un ensemble d'individus originellement disposés de façon aléatoire et homogène, que nous appèlerons dès lors des particules, qui se déplacent dans l'hypermespace de recherche et constituent, chacune, une solution potentielle. Chaque particule dispose d'une mémoire concernant sa meilleure solution visitée ainsi que la capacité de communiquer avec les particules constituant son entourage. À partir de ces informations, la particule va suivre une tendance faite, d'une part, de sa volonté à retourner vers sa solution optimale, et d'autre part, de son mimétisme par rapport aux solutions trouvées dans son voisinage.

À partir d'optimums locaux et empiriques, l'ensemble des particules va, normalement, converger vers la solution optimale globale du problème traité. Ce modèle présente quelques propriétés intéressantes, qui en font un bon outil pour de nombreux problèmes d'optimisation, particulièrement les problèmes fortement non linéaires, continus ou mixtes (certaines variables étant réelles et d'autres entières) :

- Il est facile à programmer, quelques lignes de code suffisent dans n'importe quel langage évolué.
- Il est robuste (de mauvais choix de paramètres dégradent les performances, mais n'empêchent pas d'obtenir une solution).



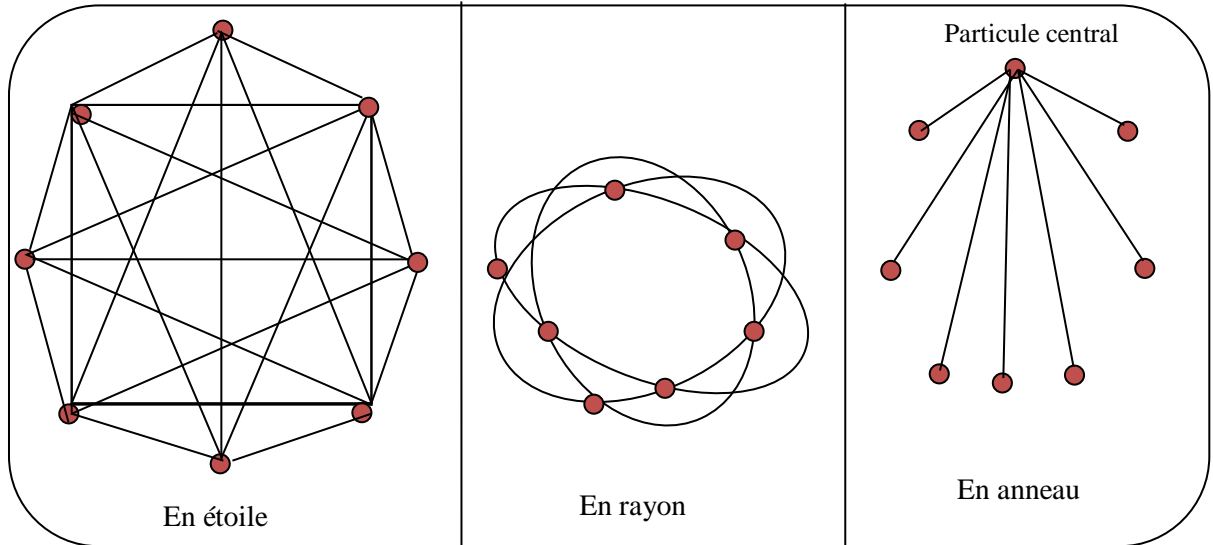
**Figure(III.6):** Schéma de principe du déplacement d'une particule

Signalons, de plus, qu'il existe des versions adaptatives qui évitent même à l'utilisateur la peine de définir les paramètres (taille de l'essaim, taille des groupes d'informatrices, coefficients de confiance). L'une de ces méthodes (Tribes) est décrite en détail dans un des documents téléchargeables à partir du site du séminaire OEP'03. Son code source est disponible via le site Particle Swarm Central.

### III.5.2 Topologie du voisinage

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Les particules à l'intérieur d'un voisinage communiquent entre-elles. 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 [15] :

- Topologie en étoile : chaque particule est reliée à toutes les autres. l'optimum du voisinage est l'optimum global.
- Topologie en anneau : chaque particule est reliée à  $n$  particules (en général,  $n=3$ ), c'est la topologie la plus utilisée.
- Topologie en rayon : les particules ne communiquent qu'avec une seule particule centrale



**Figure(III.7):** Trois topologies du voisinage différentes.

Comme les algorithmes génétiques, PSO Démarre le processus d'optimisation par une population des solutions aléatoires qui se déplacent dans l'espace de recherche. La position de chaque particule est représentée par ses coordonnées suivant les deux axes XY et également par sa vitesse qui est exprimée par  $V_x$  (la vitesse suivant l'axe x) et  $V_y$  (la vitesse suivant l'axe y) [25]. Le déplacement de chaque particule dans l'espace de recherche, est basé sur sa position actuelle et la mise à jour de sa vitesse.

$$S_i^{k+1} = S_i^k + v_i^{k+1} \quad (\text{III. 1})$$

Telle que :

$S_i^{k+1}, S_i^k$  : Position de la particule i à l'itération k + 1 et k respectivement.

$v_i^{k+1}$  : Vitesse de la particule i à l'itération k + 1

Chaque particule dans l'essaim, change sa vitesse suivant deux informations essentielles. Une, est liée à son expérience personnelle, qui est la meilleure position trouvée par la particule durant le processus de recherche  $p_{best}$ . La deuxième information, concernant la meilleure position trouvée par les voisins (lbest) (ou par tout l'essaim, dans la version globale de l'algorithme  $g_{best}$ ). Cette information est obtenue à partir de la connaissance de la façon dont les autres agents ont exécuté leurs recherches

Le principe de changement de la vitesse est défini par l'équation (III.2)

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1rand_1 \times (pbest_i - S_i^k) + c_2rand_2 \times (gbest_i - S_i^k) \quad (\text{III. 2})$$

- $v_i^k$ : Vitesse de l'agent  $i$  à l'itération  $k$ ,
- $w$ : Fonction de pondération,
- $c_i$ : Facteurs de pondération,
- $rand$ : Nombre aléatoire entre 0 et 1,
- $S_i^k$ : Position actuelle d'agent  $i$  à l'itération  $k$
- $pbest_i$ : Meilleure position trouvée par la particule  $i$  jusqu'ici,
- $gbest_i$ : Meilleure position trouvée par l'essaim jusqu'ici.

La fonction de pondération  $w$  est donnée par l'équation suivante:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (III.3)$$

- $w_{max}$ : Poids initial.
- $w_{min}$ : Poids final.
- $iter_{max}$ : Nombre d'itérations maximum.
- $iter$ : Itération courante.

La fonction de pondération  $w$  joue un rôle important dans la procédure de recherche. Elle garantit un équilibre entre la recherche locale et la recherche globale, un bon choix de cette fonction augmente l'efficacité de la méthode pour avoir une solution globale. L'expérience a montré que la diminution linéaire de la valeur de  $w$  de 0.9 à 0.4 au cours de la procédure de recherche donne des meilleurs résultats.

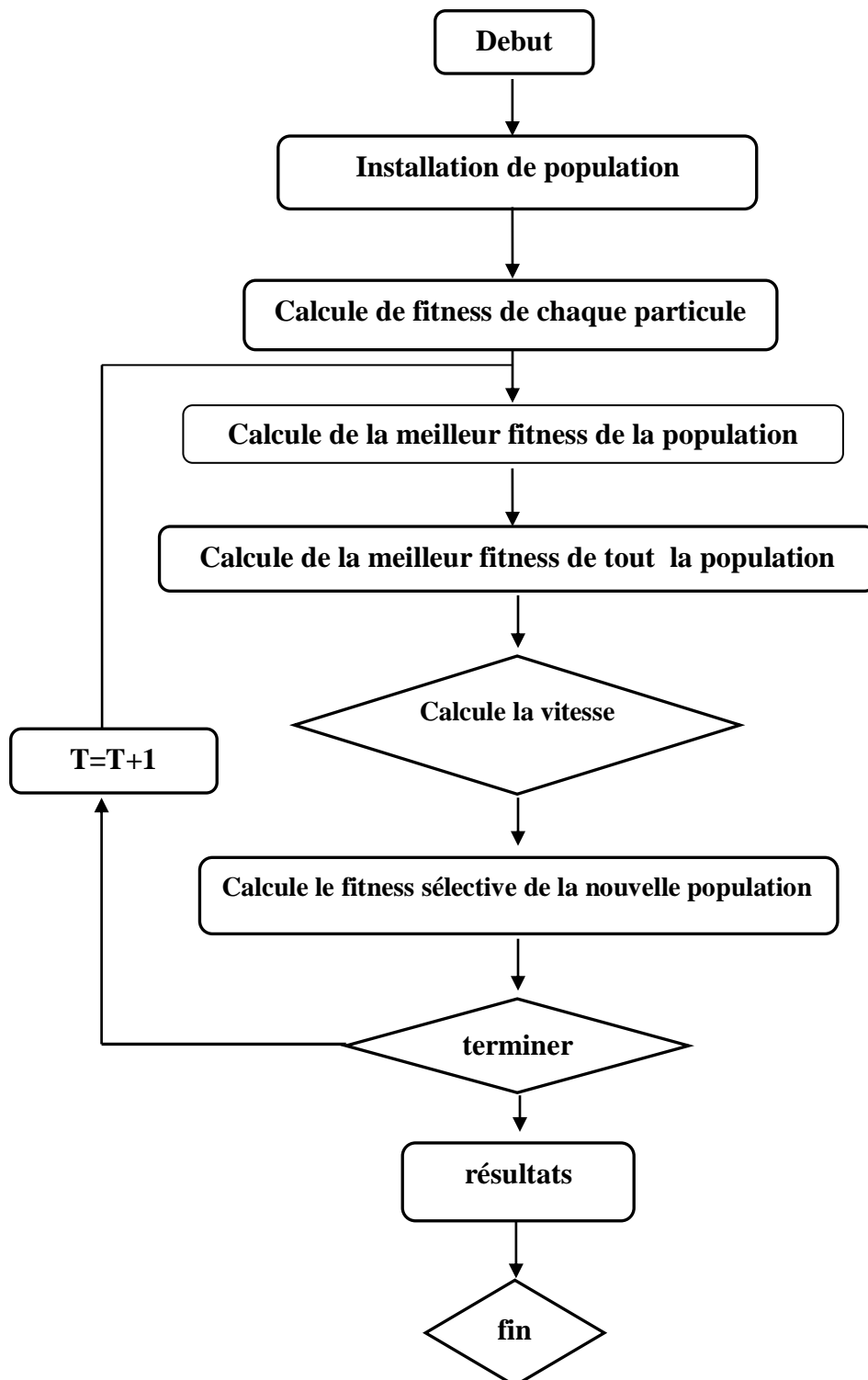
### III.5.3 Étapes de la méthode d'optimisation par essaim de particules

- **1ère étape**: Initialisation des coefficients  $C_1$  et  $C_2$ , le coefficient d'inertie ( $W$ ).
- **2ème étape**: La création de la population initiale aléatoirement et le calcul de la fitness de chaque particule ( $p_{best_i}$ ): la meilleure position de la particule  $i$  dans la population actuelle; ( $p_{gbest}$ ): la meilleure position dans toute les populations (la meilleure des meilleures).
- **3ème étape**: Le calcul de la nouvelle vitesse et nouvelle position de chaque particule par l'utilisation des formules.
- **4ème étape**: Le calcul de la meilleure fitness de la population initiale et comparer par la précédente pour trouver la meilleure de toute les populations ( $p_{gbest}$ )
- **5ème étape**: incrémentation du nombre d'itération  $t = t+1$ .
- **6ème étape**: Si un critère d'arrêt est satisfait alors passer à la 7ème étape.

## Chapitre III Méthodes d'intelligence artificielle

Autrement, aller à la 3<sup>ème</sup> étape.

- **7<sup>ème</sup> étape** : La position enregistrée dans ( $p_{g_{best}}$ ) est la solution optimale.



Figure(III.8): Organigramme de la méthode PSO.

### III.6 Ant Lion Optimizer

Ant Lion Optimizer (ALO) est un nouvel algorithme inspiré de la nature proposé par Sayedali Mirjalili en 2015 [19]. L'ALO L'algorithme émule le mécanisme de chasse des antlions dans la nature. L'algorithme comporte cinq étapes principales telles que marche aléatoire des fourmis, construction de pièges, piégeage des fourmis dans des pièges, capture de proies et reconstruction de pièges. Les Antlions appartiennent à la famille des Myrméléonidé et à l'ordre des neuroptères (insecte à ailes en filet). Le cycle de vie des fourmiliers comprend deux phases: larves et adultes. Ils chassent principalement dans les larves et se reproduisent à l'âge adulte. Une larve de fourmiliers creuse un fosse en forme de cône dans le sable en se déplaçant le long d'un chemin circulaire et en jetant du sable à l'aide de mâchoires massives. Après avoir creusé le piège, les larves se cachent sous le fond du cône et attendent que l'insecte soit piégé dans la fosse. Quand une proie dans attrapé, il sera tiré et consommé. Après cela, les fourmiliers jettent les restes hors de la fosse et améliorent la fosse pour la prochaine chasse.[41]

#### III.6.1 Marche aléatoire des fourmis

L'algorithme ALO imite l'interaction entre les fourmis lions et les fourmis dans le piège. Pour de tels modèles d'interaction, les fourmis sont nécessaires pour se déplacer dans l'espace de recherche et les fourmis sont autorisés à les chasser et à devenir plus en forme à l'aide de pièges. Depuis les fourmis se déplacer de manière stochastique dans la nature lors de la recherche de nourriture, une marche aléatoire est choisie pour le mouvement des fourmis de modélisation comme suit:

$$x(t) = [0, \text{cums}(2r(t_1)) - 1, \text{cums}(2r(t_2)) - 1 \dots \dots, \text{cums}(2r(t_n)) - 1] \quad (\text{III.4})$$

où *cums* calcule la somme cumulée et *r* (t) est défini comme suit:

$$r(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } rand > 0.5 \\ 0, & \text{if } rand < 0.5 \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

La position des fourmis est stockée et utilisée pendant le processus d'optimisation dans la matrice suivante:

$$M_{ant} = \begin{bmatrix} ant_{1,1} & ant_{1,2} & \dots & ant_{1,d} \\ ant_{2,1} & ant_{2,2} & \dots & ant_{2,d} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ ant_{n,1} & ant_{n,2} & \dots & ant_{n,d} \end{bmatrix} \quad (\text{III.6})$$

## Chapitre III Méthodes d'intelligence artificielle

où,  $M_{ant}$  est une matrice pour enregistrer la position de chaque fourmi,  $ant_{ij}$  est la valeur de la  $j$ -ème variable (dimension) de la  $i$ -ème fourmi,  $n$  est le nombre de fourmis, et  $d$  est le nombre de variables. Pendant le processus d'optimisation, la matrice  $M_{ant}$  sauvegardera la position de toutes les fourmis (variables de toutes les solutions). La marche aléatoire des fourmis est normalisée pour les maintenir en mouvement dans l'espace de recherche en utilisant l'équation suivante:

Où  $a_i$  indique le minimum de marche aléatoire de la  $i$ -ème variable,  $d_i$  est le maximum de marche aléatoire dans la  $i$ -ème variable,  $c_i^t$  est le minimum de la  $i$ -ième variable à la  $t$ -ième itération, et  $d_i^t$  indique la  $i$ -ième variable maximale à la  $t$ -ième itération.

$$X_i^t = \frac{(X_i^t - a_i) \times (d_i - c_i^t)}{(d_i^t - a_i)} + c_i \quad (\text{III. 7})$$

### III.6.2. Piégeage dans les fosses de fourmis

Les équations suivantes sont utilisées pour représenter mathématiquement le modèle des fosses d'antlions.

$$C_i^t = Anlion_j^t + C^t \quad (\text{III.8})$$

$$d_i^t = antlion_j^t + d^t \quad (\text{III.9})$$

où  $C^t$  est le minimum de toutes les variables à la  $t$ -ième itération,  $d^t$  indique le vecteur comprenant le maximum de toutes les variables à la  $t$ -ième itération,  $C_i^t$  est le minimum de toutes les variables pour la  $i$ -ème fourmi,  $d_i^t$  est le maximum de toutes les variables pour la  $i$ -ème fourmi, et  $Antlion_j$  montre la position du  $j$ -ième antlion sélectionné à la  $t$ -ième itération.

### III.6.3 Piège de construction

La capacité de chasse du lion de fourmi est modélisée par l'opérateur de la roue de roulette pour sélectionner les lions de fourmis en fonction de leur aptitude pendant l'optimisation. Ce mécanisme donne de grandes probabilités aux lions de fourmis plus aptes à attraper des proies.[41]

### III.6.4 Glisser les fourmis vers Ant Lion

Les lions fourmis sont capables de construire des pièges proportionnels à leur forme physique et les fourmis sont nécessaires pour se déplacer au hasard. Une fois la fourmi est

dans le piège, les lions fourmis tireront du sable vers le centre de la fosse. Ce comportement fait glisser la fourmi piégée dans le prendre au piège. Le rayon des promenades aléatoires des fourmis est représenté par (10) et (11),

$$c^t = \frac{c^t}{I} \quad (\text{III. 10})$$

$$d^t = \frac{d^t}{I} \quad (\text{III. 11})$$

où  $I$  est un rapport,  $c^t$  est le minimum de toutes les variables à la  $t$ -ième itération,  $d^t$  indique le vecteur comprenant le maximum de toutes les variables à la  $t$ -ième itération. Ces équations réduisent le rayon de mise à jour des positions des fourmis et imitent la manière glissante des proies à l'intérieur des fosses.

### III.6.5 Attraper des proies et reconstruire la fosse

La dernière phase de la chasse est lorsque la fourmi atteint le fond de la fosse et est piégée dans la mâchoire du lion. Le lion fourmi attire la fourmi à l'intérieur du sable et consomme son corps. On suppose que la capture de proies se produit lorsque les fourmis deviennent plus en forme (va à l'intérieur du sable) que son lion fourmi correspondant. Ant lion est nécessaire pour moderniser son emplacement à la dernière position de la chassé la fourmi pour améliorer ses chances d'attraper de nouvelles proies.

Il est représenté par l'équation suivante :

$$Antlion_j^t = Ant_i^t, \text{ if } f(Ant_i^t) > f(Antlion_j^t) \quad (\text{III. 12})$$

où  $t$  est l'itération courante,  $Antlion_j^t$  indique la position du  $j$ -ème antlion sélectionné à la  $t$ -ième itération, et  $Ant_i^t$  indique la position de la  $i$ -ème fourmi à la  $t$ -ième itération.

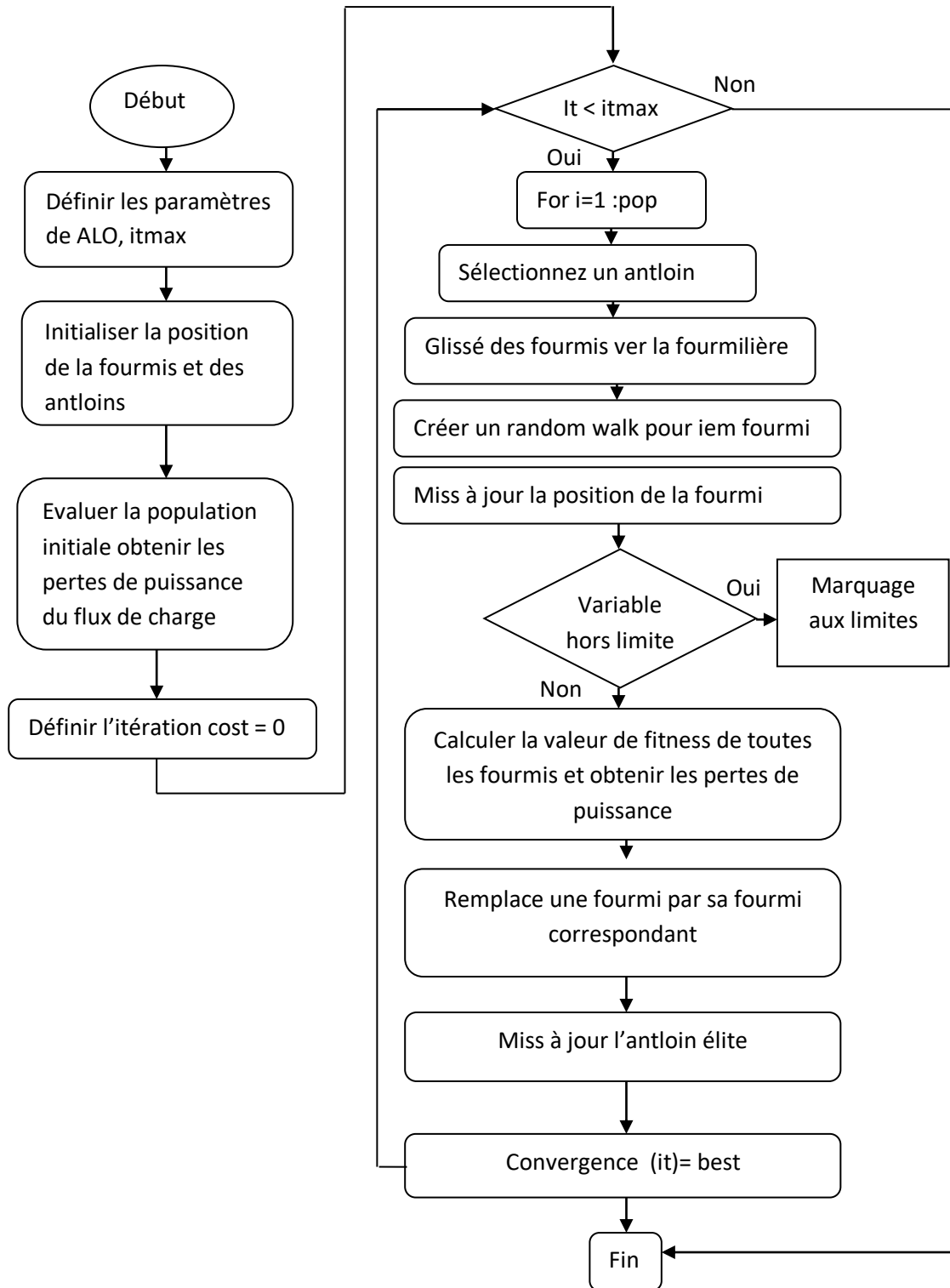
### III.6.6 Élitisme

Le meilleur lion fourmi obtenu à chaque itération est conservé comme élite, le lion fourmi le plus apte. Le lion fourmi le plus apte devrait pouvoir affecter les mouvements de toutes les fourmis lors des itérations. On suppose que chaque marche aléatoire de fourmis autour d'un ion de fourmi choisi en la roue de la roulette et l'élite instantanément comme suit:

$$Ant_i^t = \frac{R_A^t + R_E^t}{2} \quad (\text{III. 13})$$

## Chapitre III Méthodes d'intelligence artificielle

où  $R_A^t$  est la marche aléatoire autour de l'antlion sélectionné par la roue de roulette à la  $t$ -ième itération,  $R_E^t$  est la marche aléatoire autour de l'élite à la  $t$ -ième itération, et  $Ant_i^t$  indique la position de la  $i$ -ème fourmi à la  $t$ -ième itération.

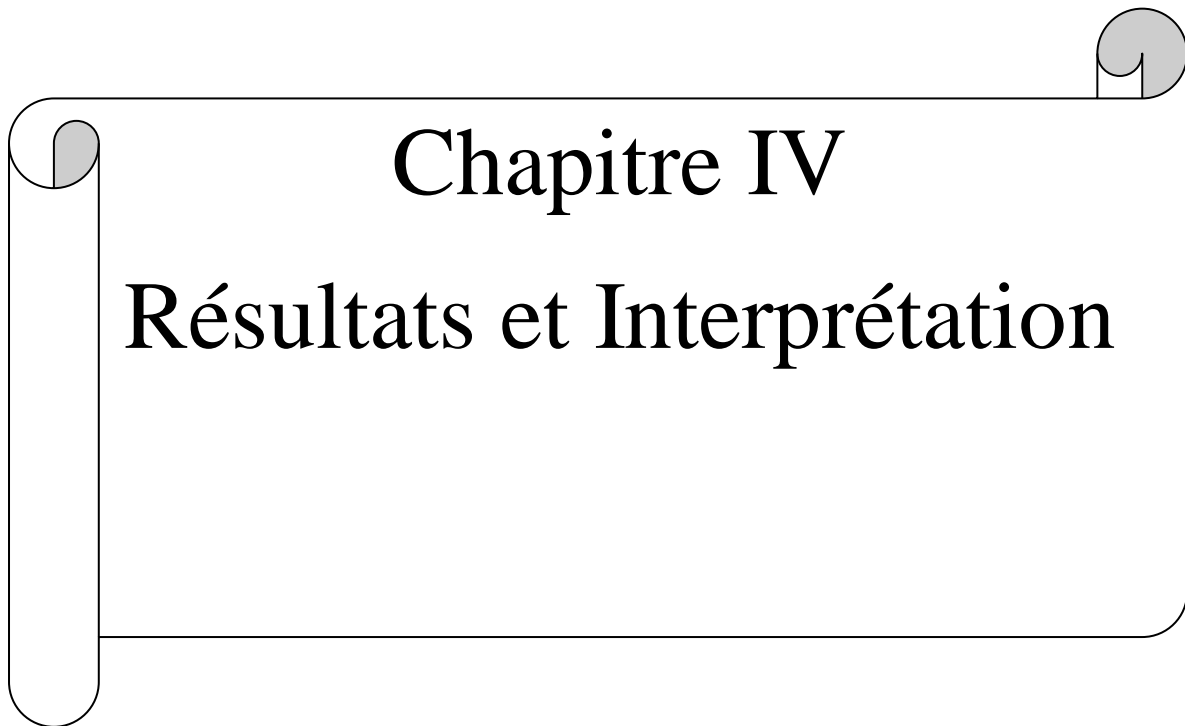


Figure(III.9): Organigramme de la méthode ALO.

### III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en l'étude les mécanismes des méthodes méta heuristiques. Il nous a permis de mieux saisir les concepts utilisés par les algorithmes méta-heuristiques et leurs utilisations possibles. Et l'étude Optimisation Ant Lion (ALO), essaim particule(PSO) et le hybride (HALOPSO). Ainsi que leurs application pour la résolution de problème de répartition optimale de la puissance électrique.

Le chapitre suivant se propose d'appliquer ces méthodes. Elles seront testées et discutées sur des fonctions tests ainsi que pour petits exemples de la répartition optimale de la puissance dans le système électrique



# Chapitre IV

## Résultats et Interprétation

## IV.1 Introduction

Nous avons assisté ces dernières années à une croissance très rapide des travaux utilisant la technique méta heuristique et d'intelligence artificielle dans les systèmes électriques. Cela est dû à la simplicité de leurs mécanismes, la facilité de leur mise en application et leur efficacité même pour les problèmes complexes. Ce chapitre est consacré au test des algorithmes cités ci-après sur des réseaux électriques de petites et moyennes échelles.

- Nous avons traité le problème d'optimisation de la fonction d'émission des gazes toxiques et la fonction de coût vers l'environnement sur un premier réseau test de 3 unités, 6 unités ou 30 jeux de barre et 10 unités.
- Nous avons de calcul mais dans notre cas on va utiliser des Coefficients B pour résoudre ce problème.
- Nous avons appliquée l'algorithme d'optimisation par Essaim de Particules pour la résolution du problème de répartition optimale de puissance avec plusieurs fonctions objectives. Les tests seront effectués sur des réseaux électriques de petites et moyennes échelles. ces algorithmes ont été développés dans l'environnement MATLAB version 7.12, et exécutés par un microprocesseur Pentium i3 avec 8 Gb de RAM et CPU 2.53 GHZ.

## IV.2 L'objectif de chapitre

On a vu que la solution du problème de l'OPF revient à déterminer un état de fonctionnement « optimal » du système de puissance. Les différentes d'intelligence artificielle du problème de l'OPF, sont définies par le choix des fonctions à minimiser, des différentes contraintes. L'inconvénient des techniques méta heuristiques pour la résolution du problème de l'OPF, est le traitement rigide des contraintes qui doivent être constamment satisfaites. En pratique, les contraintes d'un système électrique réel peuvent être divisées en deux groupes: les limites physiques de commande et les limites de fonctionnement. les limites physiques sur les variables de commande ne peuvent pas être dépassées[24].

Nous essayons d'expérimenter avec les deux méthodes pour trouver des solutions et chercher le plus bas niveau de coût et le plus rapide.

$$\sum_{i=1}^k P_{gi} = P_D + P_L$$

Chaque puissance active générée ( $P_{gi}$ ) est limitée par une limite inférieure  $P_{gi\ min}$  est une limite

supérieure  $P_{gi\ max}$

$$P_{gi\ min} < P_{gi} < P_{gi\ max}$$

### IV.2.1 Optimisation mono-objectif

A l'aide d'un Logiciel MATLAB et grâce à un programme réaliser à l'environnement de ce dernier qui fait appel à des fonctions et des instructions; afin d'exécuter une optimisation mono objectif de l'une des fonctions soit un cout de génération, émission des gaz toxiques dans un réseau électrique qui sont présenté par le système de l'écoulement de puissance[40].

#### IV.2.1.1 Minimisation du coût de production

Les générateurs à combustibles distincts possèdent différents coûts pour fournir la même système ne peut pas produire de l'électricité au plus bas coût et qu'un générateur bon marché ne peut pas être le plus rentable. Puisqu'un générateur qui se trouve trop loin du centre de la charge donne des pertes de transmission énormes, et donc le rend peu économique de fonctionner.

La première fonction d'objectif c'est la minimisation du coût total de puissance active générée par des unités de productions[40]

$$f(x) = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta P_{gi} + \gamma P_{gi}^2) [$/h]$$

Pour les réseaux électriques à grande puissance la fonction s'écrit sous la forme:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b P_{gi} + c P_{gi}^2 + e_i \sin[f_i (P_{gi} - P_{gi}^{min})])$$

$f(P_g)$ : c'est la somme des fonctions du coût de combustible pour toutes les centrales électriques,  $P_{gi}$  puissances active générée par les génératrices thermiques.

#### IV.1.1.2 Minimisation d'émission

Le total des émissions, tels que le SO<sub>2</sub> ou de NO<sub>x</sub>, libéré par la combustion de combustibles fossiles dans les centrales thermiques, peut être défini comme la somme d'une fonction quadratique et une fonction exponentielle. Dans ce travail seulement l'émission du à NO<sub>x</sub> est prise en compte. La formulation mathématique de cette fonction est illustrée comme suit[40]:

$$E_i = (P_i) = \alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2 + \mu_i \exp(\zeta_i P_{gi}) \text{ Ton/hr}$$

Avec  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\gamma$ , et  $\zeta$  sont les coefficients des émissions de pollution pour l'unité  $i$ .  $E(P_g)$  valeur d'émission en (tonne /h).  $P_{gi}$  est la puissance active générée par les génératrices thermiques.

## Chapitre IV Résultats et Interprétation

### IV.2.2 Valeurs des paramètres d'un PSO :

**Tableau(IV.1):** Paramètres de simulation d'algorithme PSO.

Paramètre	
Taille de population	40
Nombre maximum de générateur	[50-100]
$W_{max}$ et $W_{min}$	[0.9-0.5]
$C_1 = C_2$	1

### IV.3 Résultats Obtenues

#### IV.3.1 Réseau 3 unités

##### IV.3.1.1 Optimisation du coût de production

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissance actives et réactives des trois générateurs sont donnés dans le tableau(IV.2).

**Tableau(IV.2):** Les données coûts de production des du réseau électrique à 3unités.

J.D.B	Pg[MW]		Coefficient de cout		
	$P_{min}$ (MW)	$P_{max}$ (MW)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1	50	250	0.00525	8.663	328.13
2	5	150	0.00609	10.04	136.91
3	15	100	0.00592	9.76	59.16

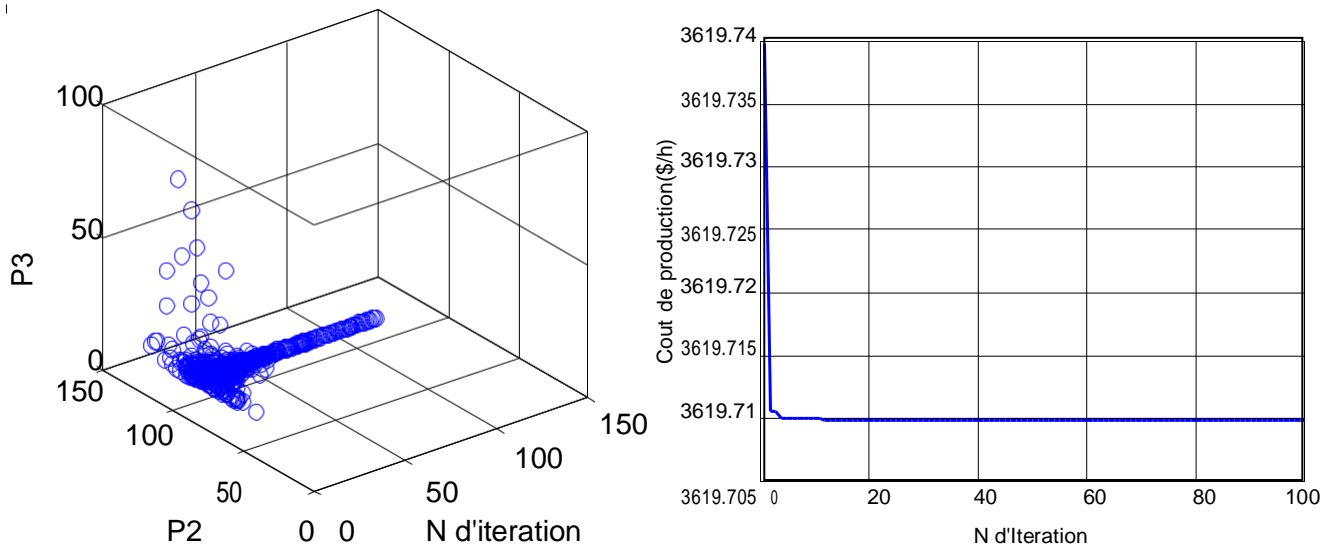
**Tableau(IV.3):** Puissances et coûts de production du réseau électrique à 3unités.

J.D.B	Pg[MW]		
	HYBRIDE (ALO-PSO)	PSO	ALO
1	207.6645	205.223	198.7575
2	87.26585	84.567	77.99225
3	15.00007	10.50	35.19886
Puissance totale générée(MW)	309.9304	310.82	320.9486
Puissance totale demandée(MW)	300	300	300
Perte de active de puissance(MW)	9.9304	10.82	20.948
Cout de production (\$/h)	3619.861	3717.2	3624.44

La valeur des pertes de puissance totale générée qui réside dans le réseau vaut 309.9304 MW en utilisant Coefficients B de pour le problème de l'écoulement de puissance et perte 9.9304 MW. obtenus par utilisation de l'algorithme hybride (ALO\_PSO) proposé comparé avec l'auteur de méthodes ALO et PSO dans la référence[41].qui est très proche à la valeur optimal obtenu

Le tableau(IV.3) représente la valeur de la fonction coût optimisé et les valeurs de fonctions non optimisées; les pertes de puissance totale où le coût optimisé est 3619.8607 \$/h. par contre le tableau(IV.3) représente les puissances générées par chaque centrale dans chaque JB de génération où la grande puissance est celle de JB n°1.

### IV.3.1.2 Convergence du coût de production



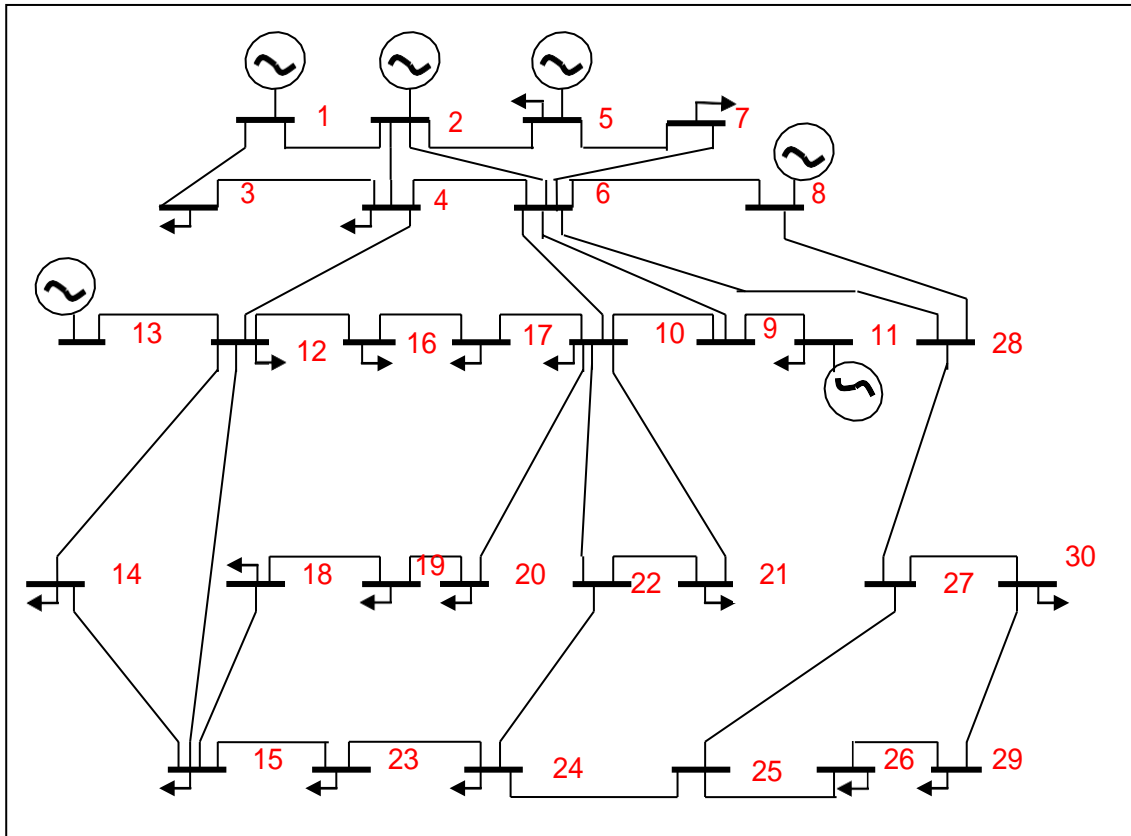
**Figure(IV.1):** Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 3 unités par hybride.

#### Interprétation

Alors on peut dire que les résultats obtenus concernant la minimisation de la fonction coût sont des valeurs optimales respectant les contraintes de l'écoulement de puissance tel que les tensions ainsi que les puissances générés par chaque centrale et les puissances transitées.

### IV.3.2 Réseau 6 unités

Le troisième test est accompli sur un réseau électrique, Constitué de 30 jeux de barres, 41 lignes électriques, 6 générateurs, et 24 charges, puissance demandée pour ce réseau test vaut 283.4 MW[01].



**Figure(IV.2):** Schéma unifilaire du réseau électrique à 6 unités.

### IV.3.2.1 Optimisation du coût de production

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissances actives des six générateurs sont donnés dans le tableau (IV.4).

**Tableau(IV.4):** Les données des fonctions de coût des 6 unités.

J.D.B	$P_{gi}$		Coefficients de coût		
	$P_{min}(MW)$	$P_{max}(MW)$	A	B	C
1	5	150	10	200	100
2	5	150	10	150	120
3	5	150	20	180	40
4	5	150	10	100	60
5	5	150	20	180	40
6	5	150	10	150	100

## Chapitre IV Résultats et Interprétation

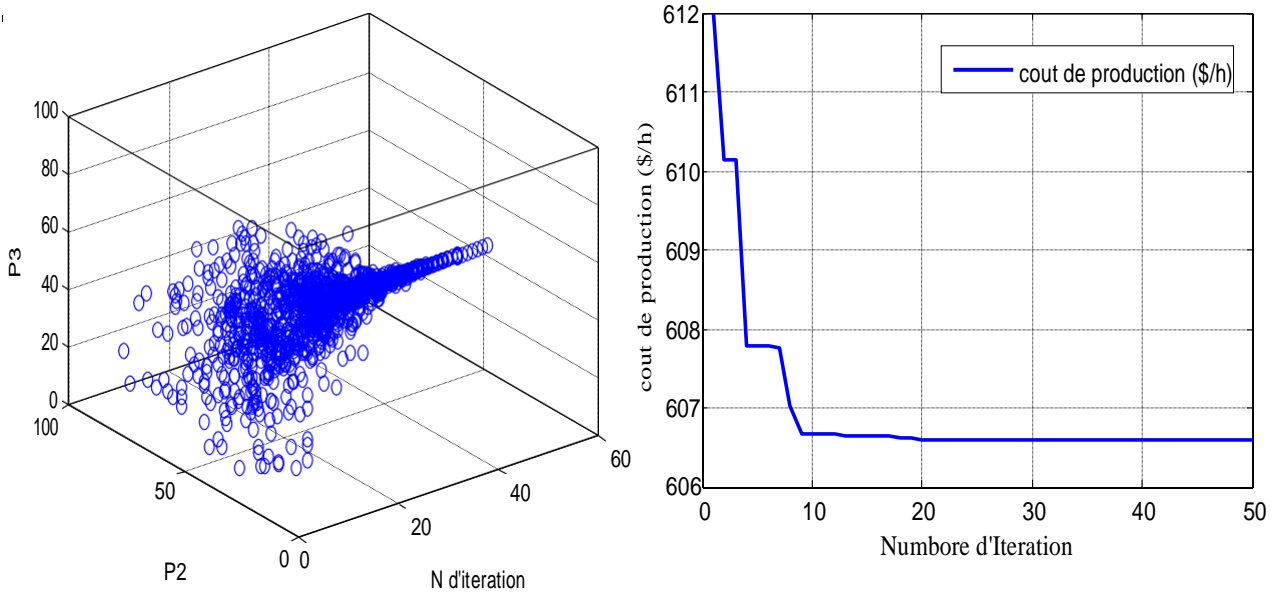
**Tableau(IV.5):** Puissances et coûts de production du réseau électrique à 3unités.

J.D.B	Pg[MW]		
	PSO	ALO	HALPSO
1	12.227638	16.0319	12.227638
2	28.85501	30.5815	28.85501
3	57.88242	54.4322	57.88242
4	99.1980	99.2138	99.1980
5	52.95685	49.7909	52.95685
6	34.54637	36.3301	30.54637
Puissance totale générée (MW)	286.24	286.3804	282.24
Puissance totale demandée (MW)	283.40	283.40	283.40
Pertes totales de puissance(MW)	2.8400	2.9810	2.8010
Coût de production (\$/h)	607.6017	607.0666	606.6017

La valeur des pertes de puissance totale générée qui réside dans le réseau vau **283.40** MW en utilisant la méthode B Coefficients de pour le problème de l'écoulement de puissance le perte **2.8010** MW. La valeur optimale du coût obtenu égale à **606.6017** \$/h. qui exprime un bon résultat de minimisation de coût de production par apport au cas d'optimisation mono-objectif pour les autres fonctions « les pertes de transmission».

Donc un résultat acceptable de la minimisation d'une fonction cout est obtenus égale à **606.6017** \$/h, cette valeur est très proche aux résultats récent obtenus dans la référence [06].

## IV.3.2.2 Convergence du coût de production



**Figure(IV.3):** Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 6 unités par hybride.

### Interprétation

Alors on peut dire que les résultats obtenus concernant la minimisation de la fonction coût sont des valeurs optimales respectant les contraintes de l'écoulement de puissance tel que les tensions ainsi que les puissances générés par chaque centrale et les puissances transitées.

### IV.3.2.3 Optimisation du coût d'émission

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissances actives des six générateurs sont donnés dans le tableau(IV.6).

**Tableau(IV.6):** Les données du cout de émission du réseau électrique à 6 unités.

J.D.B	$P_{gi}$		Coefficients de coût				
	$P_{min}(MW)$	$P_{max}(MW)$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\xi$	$\lambda$
1	5	50	4.091	-5.554	6.490	02.000	2.857
2	5	60	2.543	-6.047	5.638	0.0005	3.333
3	5	100	4.258	-5.094	4.586	0.00001	8.000
4	5	120	5.326	-3.500	3.380	0.002	2.00
5	5	100	4.258	-4.586	4.586	0.000001	8.000
6	5	60	5.131	-5.555	5.151	0.00001	6.667

## Chapitre IV Résultats et Interprétation

**Tableau(IV.7):** Puissances et coûts de émission du réseau électrique à 6 unités.

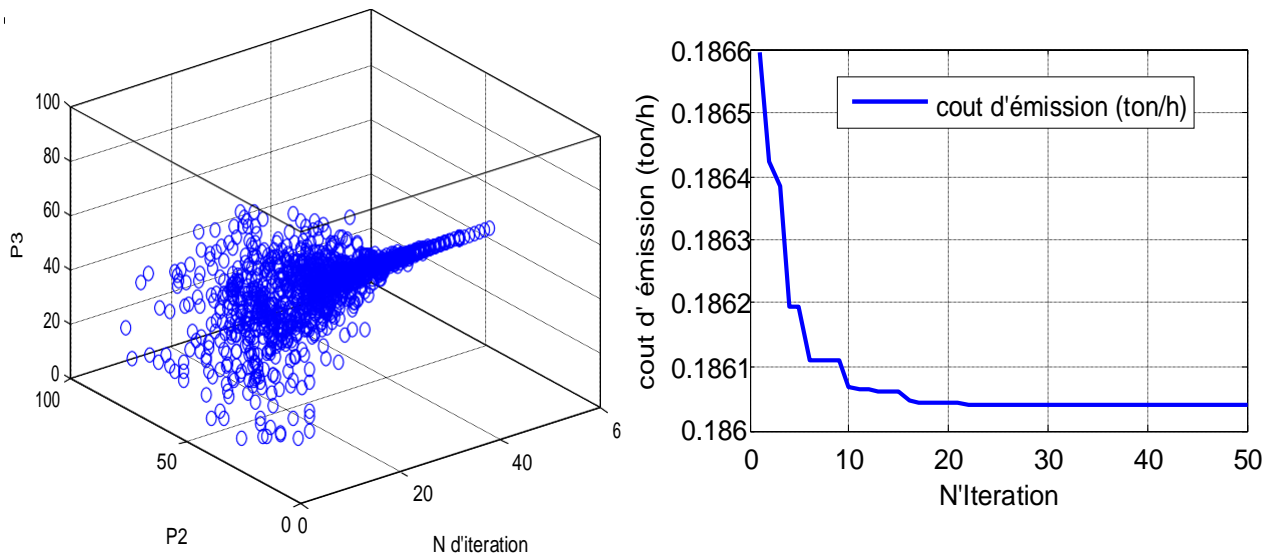
J.D.B	Pg[MW]		
	PSO	ALO	HYBRID(PSO_ALO)
1	39.69302	59.5305	29.6932
2	49.87841	72.7325	39.8781
3	50.83168	49.9855	55.8318
4	46.09951	34.9630	36.0991
5	50.91119	29.9832	40.9119
6	49.87426	39.8718	59.8746
Puissance totale générée (MW)	287.290	287.0665	286.288
Puissance totale demandée(MW)	283.400	283.40	283.40
Perte de active de puissance (MW)	3.89000	3.6666	2.88
Cout de émission (ton/h)	0.19604	0.1955	0.18604

La valeur des pertes de puissance totale générée qui réside dans le réseau vau **283.40** MW en utilisant Coefficients B de pour le problème de l'écoulement de puissance et perte **2.88** MW.

Le tableau (IV.7) représente la valeur de la fonction de émission optimisé **0.18604** ton/h et les valeurs de fonctions non optimisées les pertes de puissance totale où le coût optimisé. par contre le tableau (IV.7) représente les puissances générées par chaque centrale dans chaque JB de génération où la grande puissance est celle de JB n°5.

Donc un résultat acceptable de la minimisation d'une fonction émission est obtenus égale à **0.18604** ton/h, cette valeur est très proche aux résultats récent obtenus dans la référence [21

### IV.3.2.4 Convergence du coût d'émission



**Figure(IV.4):** Evolution du coût de émission pour le réseau électrique à 6 unités par hybride  
**Interprétation**

D'après ces tableaux et ces figure on peut dire que les résultats obtenus concernant la minimisation de la fonction d'émission des gaz toxiques sont des valeurs optimales respectent les contraintes de l'écoulement de puissance telle que les tensions ainsi que les puissances transitées et les puissances générés par chaque centrale.

### IV.3.3 Réseau 10unités

La robustesse des deuxième techniques d'optimisation proposées a été validée sur des réseaux larges. Ce premier réseau test considéré est un réseau typique composé de dix unités de production (10 unités). Pour le premier cas minimisation du coût, Pour le deuxième cas qui est la minimisation de l'émission de gaz, on constate que la meilleure valeur du coût obtenu est celle obtenu par hybride [40].

#### IV.3.3.1 Optimisation du coût de production

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissances actives des 10 générateurs sont donnés dans le tableau(IV.8).

## Chapitre IV Résultats et Interprétation

**Tableau(IV.8):** Les données coûts de production du réseau électrique à 10 unités.

J.D.B	P <sub>gi</sub>		Coefficients de coût		
	P <sub>min</sub> (MW)	P <sub>max</sub> (MW)	A	b	C
1	10	55	0.12951	40.5407	1000.403
2	20	80	0.10908	39.5804	950.606
3	47	120	0.12511	36.5104	900.705
4	20	130	0.12111	39.5104	800.705
5	50	160	0.15247	38.539	756.799
6	70	240	0.10587	46.1592	451.325
7	60	300	0.03546	38.3055	1243.531
8	70	340	0.02803	40.3965	1049.998
9	135	470	0.02111	36.3278	1658.569
10	150	470	0.01799	38.2704	1356.659

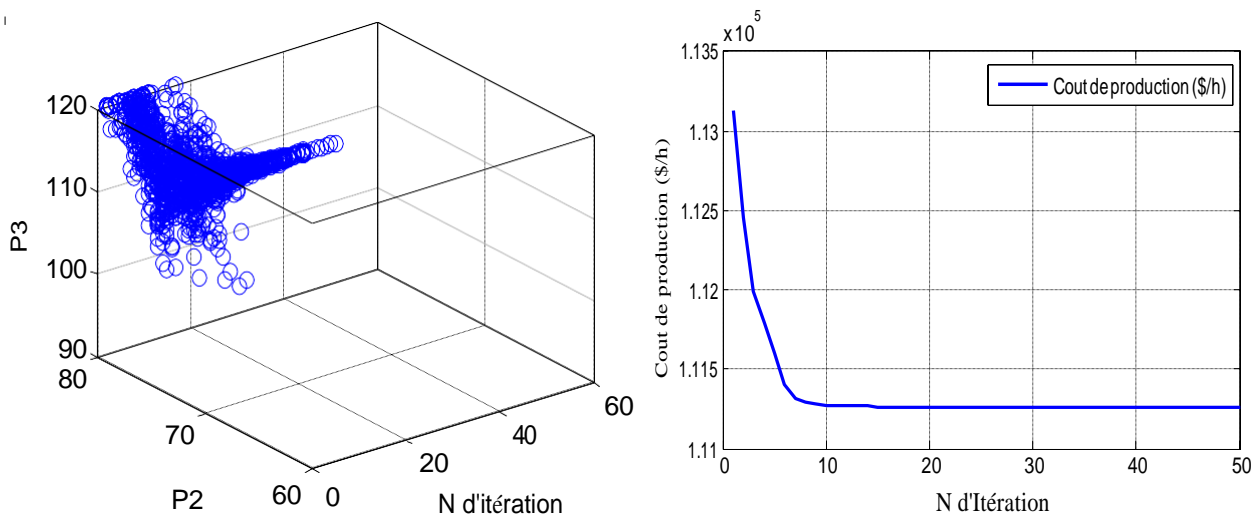
**Tableau (IV.9) :** Puissance et cout de production de réseau électrique 10 unité

J.D.B	P <sub>g</sub> [MW]		
	PSO	ALO	HYBRID(ALO_PSO)
1	55.00000	55.0000	55.0000
2	80.00000	80.0000	80.0000
3	107.0251	120.0000	120.0000
4	99.89873	130.0000	130.0000
5	81.89797	155.2567	160.0000
6	83.21844	240.0000	169.0000
7	300.0000	245.0745	259.0000
8	340.0000	261.3593	300.0000
9	470.0000	324.2963	337.8102
10	470.0000	470.0000	470.0000
Puissance totale générée (MW)	2087	2080	2086
Puissance totale demande (MW)	2000	2000	2000
Perte de active de puissance(MW)	87.04	80.28	86.0387
Cout de production (\$/h)	111497.6310	111502.3014	111497.6266

## Chapitre IV Résultats et Interprétation

La valeur des pertes de puissance totale générée en hybride qui réside dans le réseau vaut **2086 MW** en utilisant la Coefficients B de pour le problème de l'écoulement de puissance et perte **87.03 MW**. Le tableau (IV.9) représente la valeur de la fonction coût optimisé et les valeurs de fonctions non optimisées; les pertes de puissance totale où le coût optimisé est  $111497.6266\$/h$ . par contre le tableau (IV.9) représente les puissances générées par chaque centrale dans chaque JB de génération où la grande puissance est celle de JB n°9 et 10.

### IV.3.3.2 Convergence du coût de production



**Figure(IV.5):** Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 10 unités par hybride .

### Interprétation

D'après les résultats obtenus à partir de l'optimisation mon-objective de coût de émission, de puissance sont des valeurs optimales respectent les contraintes de l'écoulement de puissance telle que de tension ainsi que les puissances générés par chaque centrale et les puissances transitées, et minimisé la fonction des perte de puissance.

### IV.3.3.3 Optimisation du coût de émission

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissances actives des 10 générateurs sont donnés dans le tableau (IV.8).

## Chapitre IV Résultats et Interprétation

**Tableau(IV.10):** Les données coûts d'émission du réseau électrique à 10 unités

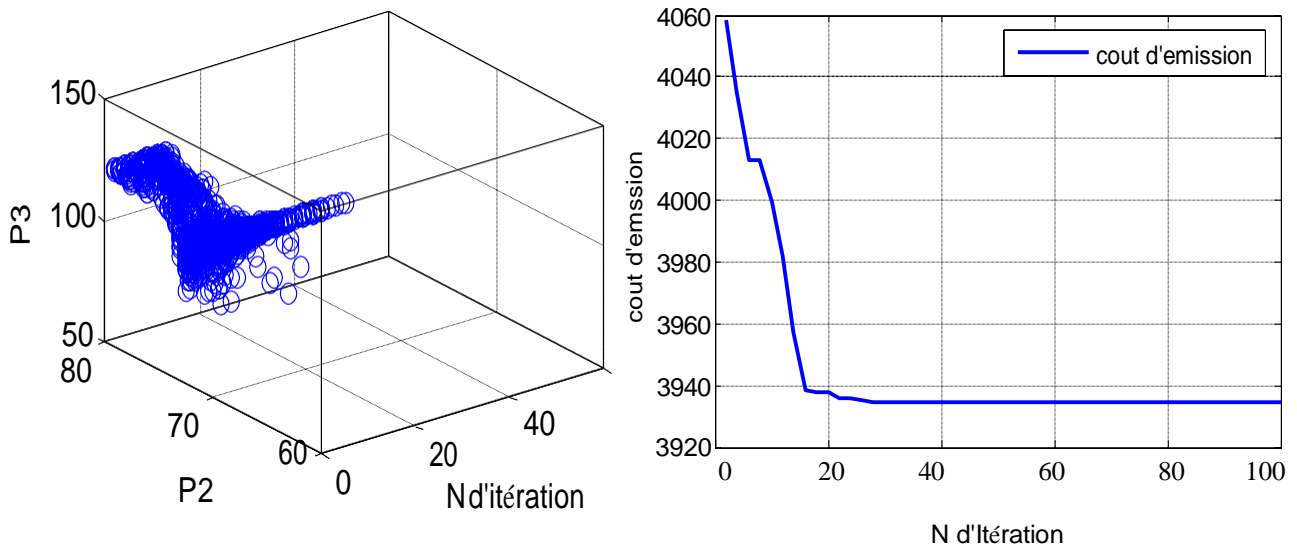
J.D.B	P <sub>gi</sub>		Coefficients de coût				
	P <sub>min</sub> (MW)	P <sub>max</sub> (MW)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\xi$	$\lambda$
1	10	55	4.702	-398.64	36000.12	0.25475	0.01234
2	20	80	4.652	-395.24	35000.56	0.25475	0.01234
3	47	120	4.652	-390.23	33000.56	0.25163	0.01215
4	20	130	0.420	-390	33000.56	0.25163	0.01215
5	50	160	0.420	+023.77	1385.93	0.2497	0.012
6	70	240	0.680	+032.77	1385.93	0.2497	0.012
7	60	300	0.680	-054.55	4026.69	0.248	0.0129
8	70	340	0.680	-054.55	4026.69	0.2499	0.01203
9	135	470	0.460	-051.12	4289.55	0.2547	0.01234
10	150	470	0.460	-051.12	4289.55	0.2547	0.01234

**Tableau(IV.11):** Puissances et coûts de production du réseau électrique à 10 unités

J-D-B	P <sub>g</sub> [MW]		
	PSO	ALO	HYBRID(ALO-PSO)
1	55.0000	55.00000	55.0000
2	79.99808	80.00000	79.99808
3	77.61832	81.14990	77.61832
4	77.82155	81.35977	77.82155
5	160.0000	160.0000	160.0000
6	240.0000	240.0000	240.0000
7	300.0000	294.5079	300.0000
8	280.9663	297.26892	280.9663
9	406.1169	396.7203	406.1169
10	404.4818	395.5878	404.4818
Puissance totale générée(MW)	2082.000	2081.595	2081.556
Puissance totale demandée (MW)	2000.000	2000.000	2000.000
Perte de active de puissance (MW)	82.0030	81.59466	81.35666
Cout de émission	3935.2652	3932.243301	3932.234

La valeur des pertes de puissance totale générée qui réside dans le réseau vaut **2081MW** en utilisant Coefficients B de pour le problème de l'écoulement de puissance et perte **81.3566 MW**. Le tableau(IV.11) représente la valeur de la fonction de émission optimisé et les valeurs de fonctions non optimisées les pertes de puissance totale où le coût optimisé est **3929.2652**par contre le tableau(IV.11) représente les puissances générées par chaque centrale dans chaque JB de génération où la grande puissance est celle de JB n°9.

### IV.3.3.4 Convergence du coût d'émission



**Figure(IV.6):** Evolution du coût d'émission pour le réseau électrique à 10 unités par hybride.

### Interprétation

D'après ces tableau et ces figure on peut dire que les résultats obtenus concernant la minimisation de la fonction de émission de puissance sont des valeurs optimales respectent les contraintes de l'écoulement de puissance telle que de tension ainsi que les puissances générés par chaque centrale et les puissances transitées, et minimisé la fonction des perte de puissance.

### IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a proposé les algorithmes d'Essaim de Particules et les algorithmes ant loin optimisation comme des techniques d'optimisation HALPSO pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance. L'objectif est de minimiser les fonctions objectives à savoir: le coût du combustible, L'émission de gaz. avec considération des contraintes pratiques tels que l'effet d'ouverture des vannes, avec considération des contraintes d'inégalités et d'égalités. et d'utiliser les coefficients pour le calcul des pertes. La robustesse de l'algorithme proposé est validée sur les trois réseaux test standard (3, 6, 10 unités de production). Nous avons appliqué cet algorithme pour résoudre un problème mono-objectif tel que (coût, émission de gaz) et multi-objectif (le coût du combustible, l'émission de gaz).



# Conclusion Générale

# *Conclusion Générale*

**L**e travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution dans le domaine de la répartition économique d'énergie électrique produite par les centrales électriques où une application d'un nouveaux algorithmes méta-heuristique appelé essaims de particules (PSO), l'algorithme de ant loin optimisation (ALO) et la méthode hybride (ALO\_PSO) . a été présenté dans le but de résoudre le Problème de Combined Economic Emission Dispatch (CEED). Egalement, on a donné un aperçu général sur les différentes méthodes d'optimisation approchées et méta heuristiques en sur la méthode des Algorithme. essaims de particules (PSO).Mais Avant d'appliquer l'algorithme essaims de particules. par l'optimisation de coût et émission des gaz toxique de générateur, qui est la tache principale de ce mémoire, il était primordial de procéder à un Choix judicieux des différents paramètres de l'algorithme essaims de particules.

Plusieurs modèles de tailles différentes ont été choisis pour valider notre algorithme qui sont des réseaux test (3unités, 6unités et 10unités ) Le programme est développé sous l'environnement de MATLAB version.

Les résultats des réseaux test standard présent des performances acceptables de point de vue perte de puissance, ainsi qu'un strict respect des conditions techniques à la puissance active généré et perte (respect de toutes les contraintes).

Les perspectives de ce travail sont multiples, on peut citer:

- En premier lieu, les méthodes d'optimisations présentées dans cette thèse peuvent être améliorées, indépendamment de la stratégie d'hybridation, en allant vers des couplages forts.
- D'autres perspectives s'ouvrent au niveau du problème posé, c'est de traiter la répartition optimale des puissances actives et réactives simultanément.

### Bibliographie

- [01] FRIDJAT Zineddine. TAMMA Mohammed Elhadi, "Application des algorithmes génétiques à l'optimisation de la production énergie active dans réseau électrique" Mémoire de Master, Université d'EL-Oued, 2014.
- [02] SALHI Abdelfattah, "Planification optimale de l'échange d'énergie électrique entre des réseaux interconnectés" Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [03] LABED Imen, "Dispatching économique dans un système de puissance électrique par l'intelligence artificielle" Mémoire de Magister, Université Constantine 1, 2013.
- [04] TORCHE Abba. LAYAIDA Ahlem, "Unit commitment appliqué au réseau algérien" Mémoire Master, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El- Bouaghi, 2009.
- [05] ABDELHAKEM - KORIDAK Lahouari, "Contribution à l'étude des coûts optimaux de la production d'énergie électrique et des émission de gaz par les algorithmes génétique" Mémoire de Magister, Université Mohamed Boudiaf-Oran, 2010.
- [06] OULD NAGI Ahmed, "Optimisation de l'écoulement de puissance par algorithmes AG et PSO-TVAC",Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2014.
- [07] BOUDAB Smail, "application des réseaux de neurones dynamiques à l'optimisation de l'écoulement de puissance dans un réseau électrique" Mémoire de Magister, Université Larbi Ben M' hidi-Oum El Bouaghi, 2011.
- [08] BENYAHIA Mohammed, "Approche Neuro-Génétique pour le problème du dispatching économique environnemental", Mémoire de Doctorat en Electrotechnique Université Mohamed Boudiaf-Oran, 2012.
- [09] GACEM Abdelmalek, "Utilisation des méthodes d'optimisations méta-heuristiques pour la résolution du Problème de répartition optimale de La puissance dans les réseaux électriques" Mémoire de Magister, Universitaire d'El-Oued, 2010.
- [10] HAMED Mostefa, "Dispatching économique dynamique par utilisation de méthodes d'optimisation globales" Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider-Biskra, 2013.

## Conclusion Générale

---

- [11] AROUA Mohammd Hamza. BOUGHAZALA Mohammd Salah. TAMER Smail, "dispatching Economique optimale par la méthode swarm) PSO(" Mémoire Master, Universitaire d'El-Oued, 2009.
- [12] SAYAH Samir, "Application de le intelligence artificielle pour le fonctionnement optimal des système électriques" Mémoire de Doctorat, Université Ferhat Abbas-Sétif.
- [13] MAZOUZ Abdelkader. MANSEUR Houssam, "Etude des dispositifs de protection mis en œuvre dans la centrale tg d'amizour de bejaia", Mémoire de Master, Université
- [14] KHAMED Okba, "Dispatching économique dynamique des réseau électriques les méthode méta-heuristique" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2013.
- BAHI Ahmed Tedjani. Guezzoun Abdel Madjid, "Application des algorithmes
- [15] génétiques au dispatching économique des réseaux électriques" Mémoire de Master, univ eloued
- [16] SEGHEIR Tayeb. MOGDAD Med Tayeb, "Résolution de dispatching économique par la méthode pattern search" Mémoire de Master, Université d'EL-Oued, 2011.
- [17] DRAIDI Abdellah, "Répartition économique de l'énergie électrique utilisant le Techniques d'intelligence artificielle" Mémoire de Magistère, Université Mentouri-Constantine, 2010.
- [18] GUEDIRI Abdelkarim, "Application de la logique floue pour l'optimisation de l'écoulement de puissance" Mémoire de Magister, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi, 2009
- [19] SI TAYEB Abdelkader, "Méta heuristiques pour l'optimisation des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique" Mémoire de Magister, Université-Oran, 2011.
- [20] NESRAT Djebbari. SOLTANI Elbachir, "Résolution du problème de puissance active dans un réseau d'énergie utilisant les techniques méta-heuristique" Mémoire de Master, Université Hamma Lakhder-El-Oued, 2018.
- [21] BOUABDALLAH Amara, "Application des algorithmes génétiques Au dispatching économique et environnemental" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2012.
- [22] BELGANDI Imad Eddine. MEDJBER Rédha, "Application de la méthode (simulated

## Conclusion Générale

---

- Annealing) pour le calcul du dispatching économique", Mémoire de Master, Université Tahar Moulay-Saïda, 2017.
- [23] ZIANE Ismail, "contribution à l'application de l'optimisation multi-objective par la méthode de recuit simulé au dispatching dynamique" Mémoire de Doctorat, Université Djillali Liabes-Sidi-Bel-Abbès, 2018.
- [24] ABID Yakoub. CHENNOUF Lakhdar. CHELI Salah, "Application d'une méthode méta heuristique à la répartition optimale des puissances dans les réseaux électriques avec une fonction multi objective" Mémoire de Master, Université Hamma Lakhder-El-Oued, 2016.
- [25] LAIMECHE Abdallah, "application de l'algorithme des essaims de salpes au dispatching Economique" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2018.
- [26] REZIG Missoum, "Etude d'un dispatching économique des puissances actives par les algorithmes de fourmis" Mémoire de Magister, Université Hassiba Ben Bouali-Chlef, 2014.
- [27] KETFI Nadhir, "Contribution à la gestion des réseaux de distribution en présence de génération d'énergie dispersée" Mémoire de doctorat en sciences, Université de Batna, 2014.
- [28] MOKHTARIA Zeroual, "Optimisation et contrôle de l'écoulement des puissances actives par système FACT" Mémoire de Magister, Université Mohamed Boudiaf-Oran, 2015.
- [29] ELHACHEMI Salhi, "Résolution du problème dispatching économique avec la méthode de colonie artificielle des abeilles (abc algorithme)" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2015.
- [30] BENYAZA Mohamed Salah, "Répartition optimale des puissances dans un réseau électrique par l'algorithme génétique" Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2016.
- [31] SAIHI Mourad, "Optimisation mono et multi objectif de l'écoulement de puissance avec intégration de statcom dans le réseau électrique" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2013.
- [32]

## Conclusion Générale

---

- [33] NAIMA Zerari, "Les Algorithmes génétiques en maintenance" Mémoire Magister, Université El Hadj Lakhdar-Batna, 2006.
- [34] KROUR Safia, "L'optimisation des paramètres d'une cellule photovoltaïque par les algorithmes génétiques" Mémoire de Magister ,Université Ferhat Abbas-Sétif 1, 2014.
- [35] L.KORIDAK Abdelhakem, M.RAHLI "Optimisation d'un dispatching environnement /économique de le production d'énergie électrique par un algorithme génétique", Université de Bechar Algérie, 2010.
- [36] BAKHTA Naama, "Contribution a L'évaluation et au perfectionnement des méthodes méta-heuristiques d'optimisation combinatoire application a l'optimisation des puissance actives d'un réseau d'énergie électrique" Mémoire de Doctorat, Université Djillali Liabes- Sidi Bel Abbas.
- [37] DOUIDA Nedjmeddine, "Algorithme de recherche du corbeau dédié à l'optimisation appliqué au dispatching économique" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2017.
- [38] GUEZIZ Belkhir. BOUAKA Mohamed , "Analyse des méthodes de répartition optimale des puissances dans un réseau de transport d'énergie" Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2016.
- [39] SLIMANI Linda, "Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes méta heuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité dérégulé" Mémoire de Magister, Université de Batna, 2009.
- [40] LARFI Omar. AISSET Azzedind, " Développement d'un algorithme intelligent pour la commande des robots mobiles" Mémoire de Master, Université Larbi Tebessi-Tebessa, 2016.
- [41] MONSIEUR Hadji Boubakeur, "Contribution à l'Amélioration de l'Efficacité des Réseaux Electriques par l'Intégration et le Contrôle Flexible de l'Energie Eolienne et des Systèmes FACTS" Mémoire de Doctorat ,Université Mohamed Khider -Biskra,2017.
- A. J. Wood, B. F. Wollenberg, Power Generation, Operation, and Control, 2e éd., John Wiley and Sons, New York, 1996

## Annexe A

### A-Réseau de 3 unités:

Tableau de Matrice Coefficients B .

$B_{ij}$		
0.000136	0.0000175	0.000184
0.0000175	0.000154	0.000283
0.000184	0.000283	0.00165

## Annexe B

### B-Réseau de 6 unités

Tableau de matrice Coefficients B.

$B_{ij}$					
0.1382	-0.0299	0.0044	0.0022	-0.0010	-0.0008
-0.0299	0.0487	-0.0025	0.0004	0.0016	0.0041
0.0044	-0.0025	0.0182	0.0070	-0.0066	-0.0066
-0.0022	0.0004	0.0070	0.0137	0.0050	0.003
-0.0010	0.0016	0.0066	0.0050	0.0109	0.0005
-0.0008	0.0041	0.0066	0.0033	0.0005	0.0244

# Annex C

C-Réseau de 10 unités :

Tableau de matrice Coefficients B.

$B_{ij}$									
0.000049	0.00004	0.00015	0.000015	0.000016	0.000017	0.000017	0.000018	0.000019	0.00000
0.000014	0.00005	0.000016	0.000016	0.000017	0.00005	0.000015	0.000016	0.00008	0.00008
0.000015	0.000016	0.000039	0.000010	0.000012	0.000012	0.000014	0.000014	0.00006	0.00006
0.000015	0.000016	0.000010	0.000040	0.000014	0.000010	0.000011	0.000012	0.00004	0.00001
0.000016	0.000017	0.000012	0.000014	0.000035	0.000011	0.000013	0.000013	0.00005	0.00006
0.000017	0.000015	0.000012	0.000010	0.000011	0.000036	0.000012	0.000012	0.00004	0.00005
0.000017	0.000015	0.000014	0.000011	0.000013	0.000012	0.000038	0.000016	0.00006	0.00008
0.000018	0.000016	0.000014	0.000012	0.000013	0.000012	0.000016	0.000040	0.00005	0.00006
0.000019	0.000018	0.000016	0.000014	0.000015	0.000014	0.000016	0.000015	0.00002	0.00009
0.000020	0.000018	0.000016	0.000015	0.000016	0.000015	0.000018	0.000016	0.00009	0.00004