



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de génie électrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Electrotechnique  
Réseau électrique

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**Karbo abderrahim & Rokbane redhouane abderraouf**

Le : 26 juin 2022

## **Dispatching économique des réseaux électriques par L'Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO)**

---

### Jury :

M.	Rouina abdelhafid	MCA	Université de Biskra	Président
M.	Naimi Djemai	PROF	Université de Biskra	Encadreur
M.	Salhi ahmed	MCA	Université de Biskra	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



**Université Mohamed Khider Biskra**  
Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique  
**Filière : ELECTROTECHNIQUE**  
**Option : RESEAU ELECTRIQUE**

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme :

**MASTER**

*Thème*

**Dispatching économique des réseaux électriques par  
L'Algorithme d'optimisation de la flamme papillon  
(MFO)**

Présenté par :

KARBO ABDERRAHIM

ROKBAN REDHOUANE ABDERRAOUF

Avis favorable de l'encadreur :

NAIMI DJEMAI

**Avis favorable du Président du Jury**

*JURY..*

ROUINA ABDELHAFID

SALHI AHMED

**Cachet et signature**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique  
Filière ELECTROTECHNIQUE  
Option :RESEAU ELECTRIQUE

# Thème :

## Dispatching économique des réseaux électriques par L'Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO)

Dirigé et proposé par : prof : NAIMI DJEMAI

### RESUMES (Français et Arabe)

Dans ce travail, une nouvelle méthode d'optimisation appelée Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO) est proposée pour résoudre le problème du Dispatching Economique (DE) au réseau électrique. Cette méthode est basée sur l'optimisation de la flamme papillon. Les capacités de recherche et de convergence de l'algorithme MFO ont été évaluées et validées au moyen de diverses simulations sur les systèmes test de 06-unités, 15-unités et 40-unités considérant les contraintes des pertes actives de transmission. Les résultats obtenus par MFO ont été comparés à ceux obtenus par des méthodes métaheuristiques appliquées dans la littérature

**Mots clés :** optimization, ,réseau électrique , dispatching économique, métaheuristiques

في هذا العمل، اقترح طريقة تحسين جديدة تسمى خوارزمية تحسين لهب الفراشة (MFO) لحل مشكلة التوزيع الاقتصادي (DE) إلى الشبكة الكهربائية. تعتمد هذه الطريقة على تحسين لهب الفراشة. تم تقييم قدرات البحث والتقارب لخوارزمية MFO والتحقق من صحتها من خلال عمليات محاكاة مختلفة على أنظمة اختبار من 06 وحدات و 15 وحدة و 40 وحدة بالنظر إلى قيود فقدان الإرسال النشطة. تمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع تلك المحصل عليها بطرق أخرى  
**الكلمات المفتاحية:** التحسين، والشبكة الكهربائية، والتوزيع الاقتصادي

## **ABSTRACTS**

In this work, a new optimization method called Butterfly Flame Optimization (MFO) Algorithm is proposed to solve the problem of Economic Dispatching (ED) to the power grid. This method is based on the optimization of the butterfly flame. The search and convergence capabilities of the MFO algorithm have been evaluated and validated through various simulations on the 06-unit, 15-unit and 40-unit test systems considering the constraints of active transmission losses. The results obtained by MFO were compared with those obtained by metaheuristic methods applied in the literature

**key words** : optimization , Economic Dispatching , metaheuristic

## REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, nos remerciements les plus vifs, vont à notre encadreur Mr. Naimi Djemai professeur au département d'électrotechnique de l'Université de Biskra d'avoir accepté d'être le rapporteur de ce mémoire, pour ces précieux conseils et encouragements tout au long de ce travail. Pour son aide, son orientation judicieuse et sa disponibilité, aussi pour la confiance.

A nos chers parents qu'ils nous 'ont aidés et supportés toute ma vie  
À tous nos amis et nos collègues.

Nous adressons nos remerciements Au doctorant **Anas Bouhanayek** pour son aide précieuse et efficace avec nous

Nous adressons nos remerciements aux président et membres du Jury qui ont accepté d'examiner ce mémoire en lui apportant de l'intérêt.

Nous remercions également tous les enseignants de Département d'électrotechnique de l'université de Biskra qui ont participé à notre formation pendant tout le cycle universitaire.

Enfin, nous désires adresser nos remerciements à toutes les personnes qui, par leur assistance, ont contribué de près ou de loin à rendre possible la réalisation de cette recherche

## Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
1.1	<b>Classification de types de jeux de barres.</b>	13
2.1	<b>Exemple sur un problème mono-objectif</b>	20
2.2	<b>Différence entre les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques</b>	21
3.1	<b>Résultats de système à six unités avec effets de rampe et zones interdites</b>	34
3.2	<b>Comparaison des résultats. 6 unités avec effets de rampe et zones interdites</b>	37
3.3	<b>Résultats de système à 15 unités avec effets de rampe et de zones interdites</b>	38
3.4	<b>Comparaison des résultats de système à 15 unités avec effets de rampe et zones interdites</b>	40
3.5	<b>Résultats de système à 40 unités avec effet de vannes</b>	41
3.6	<b>Valeurs des puissances générées par chaque unité. Cas de système de 40 unités avec effet d'ouverture de vannes</b>	41
3.7	<b>Comparaison des résultats entre différentes méthodes. Cas de système de 40 unités avec effet d'ouverture de vannes</b>	45

## liste des figures

N°	Titre	Page
1.1	Schéma du principe général d'une unité de production d'énergie électrique. électrique	3
1.2	Modèle en $\pi$ d'une ligne de transmission	6
1.3	Formulation de l'équation de l'écoulement de puissance.	8
1.4	Organigramme de la méthode de Newton-Raphson	16
2.1	différents minimums d'une fonction objective.	20
2.2	Le modèle de base supportant le problème du DE	22
2.3	Caractéristiques d'une centrale thermique.	23
2.4	Courbe coût-puissance générée d'une centrale thermique à trois vannes d'admission de vapeur	25
2.5	Courbe coût-puissance générée d'une centrale thermique en présence de zones prohibées	26
2.6	Limites de ramp rate d'une unité de production	27
2.7	Orientation transversal	29
2.8	Trajectoire du vol spirale autour de sources lumineuses proches	29
2.9	Tri-lateration et Multilateration	32
2.10	Organigramme de MFO	33
3.1	Puissances générées par chaque unité. Cas 6 unités avec effets de rampe et zones interdites	35
3.2	Caractéristique de convergence de l'algorithme MFO. Cas de système à six unités avec effets de rampe et de zones interdites	35
3.3	Variation du coût en fonction du nombre d'essais. Cas de système à six unités avec effets de rampe et de zones interdites	36
3.4	Comparaison des résultats de système de six unités. Cas avec effets de rampe et de zones interdites	36
3.5	Puissances générées par chaque unité. Cas de système de 15 unités avec effets de rampe et zones interdites	38
3.6	Caractéristique de convergence de l'algorithme MFO. Cas de système à 15 unités avec effets de rampe et avec zones interdites	38
3.7	Variation du coût en fonction du nombre d'essais. Cas de système à 15 unités avec effets de rampe et avec zones interdites	39
3.8	Comparaison des résultats de système à 15 unités. Cas avec effets de rampe et zones interdites (50 essais)	39
3.9	Puissances générées par les unités de production. Cas de système de 40 unités avec effet de vannes	41
3.10	Caractéristique de convergence de l'algorithme MFO. Cas de système à 40 unités avec effet de vannes	43
3.11	Variation du coût en fonction du nombre d'essais. Cas de système à 40 unités avec effet de vannes	44
3.12	Comparaison des résultats de système à 40 unités avec effet de vannes avec d'autres méthodes pour 50 essais	44

## Liste des Symboles

<b><math>V</math></b>	<b>La tension (V).</b>
<b><math>V_{min}</math></b>	La tension minimale (V).
<b><math>V_{max}</math></b>	La tension maximale (V).
<b><math>f</math></b>	La fréquence (hz)
<b><math>f_{min}</math></b>	La fréquence minimale.
<b><math>f_{max}</math></b>	La fréquence maximale.
<b><math>S_D</math></b>	La puissance apparente demander
<b><math>S_G</math></b>	La puissance apparente générer
<b><math>V_i</math></b>	Tension d'un jeu de barres $i$
<b><math>i</math></b>	Nbr de jeu de barres
<b><math>P_{Di}</math></b>	Puissance active demandée au jeu de barres $i$ .
<b><math>Q_{Di}</math></b>	Puissance réactive demandée au jeu de barres $i$ .
<b><math>S_i^*</math></b>	Puissance apparente injectée à un jeu de barres $i$ .
<b><math>Y_{ij}</math></b>	L'admittance entre les jeux de barre $i$ et $j$ .
<b><math>X</math></b>	Le vecteur des variables d'état.
<b><math>x^*</math></b>	L'optimum global
<b><math>F</math></b>	La fonction objective
<b><math>\Omega</math></b>	La région faisable ( $\Omega \in s$ ).
<b><math>s</math></b>	L'espace de recherche global.
<b><math>a_i, b_i</math> et <math>c_i</math></b>	Les coefficients des puissances générées pour $i$ générateur.
<b><math>P</math></b>	La puissance (W)
<b><math>P_{min}</math></b>	La puissance minimale (W)
<b><math>P_{max}</math></b>	La puissance maximale (W)
<b><math>DE</math></b>	Dispatching économique
<b><math>Pso</math></b>	Particle Swarm Optimization
<b><math>GSO</math></b>	Standardization Organization
<b><math>ICA</math></b>	Independent Component Analysis
<b><math>HQPSO</math></b>	Hybrid quantum Particle Swarm Optimization
<b><math>GA</math></b>	Genetic Algorithm
<b><math>LABC</math></b>	Artificial Bee Colony algorithm



<b>SSA</b>	Salpe Swarm Algorithm
<b>ACO</b>	Ant Colony Optimization
<b>DEA</b>	Differential Evolution Algorithm
<b>SA</b>	Simulated Annealing
<b>EHM</b>	Encéphalopathie hépatique minime
<b>MPSO</b>	Modified Particle Swarm Optimization
<b>CSA</b>	Common scrambling algorithm
<b>SQP</b>	Sequential quadratic programming

## Table of Contents

REMERCIEMENT .....	I
Liste des tableaux .....	II
liste des figures.....	III
Liste des Symboles.....	IV
Introduction Générale.....	1
<b>Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique</b> .....	<b>2</b>
Introduction .....	2
I.1Fonctionnement d'une centrale.....	2
I.2Structure des réseaux électriques .....	3
I.2.1différentes fonctions du réseau .....	4
I.2.1.1Réseaux de transport .....	4
I.2.1.2Réseaux d'interconnexion.....	4
I.2.1.3Réseaux de répartition.....	4
I.2.1.4Réseaux de distribution.....	4
I.2.2Topologies des réseaux électriques .....	4
I.2.2.1Réseaux maillé .....	4
I.2.2.2Réseau bouclé .....	5
I.2.2.3Réseau radial.....	5
I.2.3Niveaux de tension : .....	5
I.2.4Modèle des lignes de transport .....	6
I.3Ecoulement de puissance .....	7
I.3.1Objectif de l'étude de l'écoulement de puissance .....	7
I.3.2Formulation de base de l'équation de l'écoulement de puissance.....	7
I.3.3Classification des variables de l'écoulement de puissance .....	11
I.3.3.1variables de perturbation ou non contrôlables .....	11
I.3.3.2Variables contrôlables (de contrôle et d'état) [NAI 16].....	12
1.3.3.2.1Variables d'état .....	12
I.3.3.2.2 Variables de contrôle .....	12
I.4Classification des jeux de barres.....	12
I.4.1Jeu de barre de référence(swing bus ou slack bus).....	13
I.4.2Jeux de barres de charges ( $PQ_{Bus}$ ).....	13
I.4.3Jeu de barre de contrôle ( $PQ$ bus) ou $PQ$ de contrôle .....	13
I.5Méthodes de calcul de l'écoulement de puissance .....	13
I.5.1Méthode itérative de Newton-Raphson .....	13
I.5.2Méthode de Newton-Raphson modifié (fastdecoupled) .....	15
I.5.3Organigramme de la méthode de Newton Raphson .....	16
I.6Quelques logiciels de calcul de l'écoulement de puissance.....	17

Conclusion.....	17
<b>Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique</b> .....	18
Introduction .....	18
II.1 Définition de l'optimisation.....	18
II.1.1 Fonction Objective .....	18
II.1.2 Variables de décision .....	18
II.2 L'espace d'état (l'espace de recherche) .....	18
II.2.1 Définition des contraintes.....	18
II.3 Formulation d'un problème d'optimisation mono-objectif .....	19
II.3.1 Minimum global .....	19
II.3.2 Minimum local .....	19
II.3.3 Les différentes méthodes d'optimisation mono-objective .....	20
II.3.3.1 Les méthodes déterministes (conventionnelles) .....	20
II.3.3.2 Méthodes stochastiques .....	20
II.4 dispatching économique .....	21
II.4.1 Définition .....	21
II.4.2 Modélisation mathématique du DE.....	22
II.4.2.1 Fonction objectif.....	23
II.4.3 contraintes d'optimisation .....	23
II.4.3.1 contraintes d'égalité.....	24
II.4.3.2 contraintes d'inégalité.....	24
II.4.4 Etude DE avec pertes .....	24
II.5 Contraintes de fonctionnement des générateurs .....	25
II.5.1 L'effet d'ouverture des vannes.....	25
II.5.2 Effet des zones interdites.....	26
II.5.3 Effet de rampe .....	27
II.7 Formulation du problème de dispatching économique.....	28
II.8 Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO) .....	28
II.8.1 inspiration .....	28
II.8.2 Algorithme .....	30
II.8.4 orientation transversale : .....	31
II.8.5 problème du nombre de flammes : .....	32
II.8.6 Organigramme de MFO .....	33
Conclusion.....	33
<b>Chapitre 03: Résultats et interprétations</b> .....	34
Introduction .....	34
III.1 Méthodologie de travail.....	34
III.2 Résultats et interprétations .....	34
III.2.1 Système à 6 unités.....	34

III.2.1.1Système de six unités avec effets de rampe et zones interdites .....	35
III.2.2Système de 15 unités.....	38
III.2.2.1Système de 15 unités avec effets de rampe et zones interdites .....	38
III.2.3Système de 40 unités.....	41
Conclusion.....	47
Conclusion générale .....	49
Références Bibliographiques : .....	51
Annexe .....	55

# 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.

L'objectif de base d'un dispatching économique est la génération et l'exploitation à coût minimal de l'énergie électrique en satisfaisant toute la demande avec toutes les contraintes de système. D'après la synthèse bibliographique, nous avons constaté que Plusieurs méthodes classiques et modernes ont été utilisées pour résoudre le problème du dispatching économique de l'énergie électrique. Actuellement il existe une nouvelle approche qui est l'application de l'intelligence artificielle, parmi laquelle on trouve méthodes sont L'Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO). Donc, le but de ce travail est d'utiliser cette méthode pour la résolution du problème de dispatching économique de l'énergie électrique.

**Ce présent mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :**

Le premier chapitre étudie de l'écoulement de puissance en se servant de la technique de Newton Raphson ; calculant : le transit des puissances actives et réactives, les tensions et leurs phases au niveau de n'importe quel jeu de barres de charge (lad bus), ainsi la demande en puissance active.

Le deuxième chapitre est consacré à l'optimisation (mono-objective ) et ses méthodes correspondantes et on traitera le problème du dispatching économique en utilisant les méthodes l'intelligence artificielle qui est la méthode de L'Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO)

Le troisième chapitre nommé tests est application représente la partie pratique (programmation) de notre mémoire, il traite en premier lieu d'une manière détaillée le problème de dispatching économique, Le problème de dispatching économique dynamique avec pertes est nettement expliqué, différents résultats obtenus par l'MFO sont alors discutés et ce en appliquant plusieurs réseaux test et fonctions objectifs

Finalement, on terminera ce travail par une conclusion générale et des prévisions d'extension et continuité de ce travail.

# Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

## 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, l'amplitude et la phase de la tension ainsi que les puissances active et réactive injectées.

Dans Ce chapitre traite l'analyse de l'écoulement de puissance ainsi que les méthodes de résolution de ce problème Méthode de GAUSS-SEIDEL et Méthode NEWTON RAPHSON

## I.1 Fonctionnement d'une centrale

Une centrale (de production d'énergie) électrique est un site industriel qui produit de l'électricité en grande quantité.

Les centrales électriques transforment des sources d'énergie naturelles en énergie électrique, afin d'alimenter en électricité des consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointain. Le réseau électrique est utilisé pour transporter/distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs

Le système électrique constitué d'abord de l'ensemble des moyens de production que sont les centrales de divers types, situées en différents lieux d'un territoire, ensuite d'un réseau de transport par lequel l'énergie est transmise des centrales aux zones de consommation comme le montre la figure (1).

A l'exception de la centrale photovoltaïque, tous les autres types de centrales produisent l'électricité à partir du principe dit "dynamo " où un débit de fluide crée un couple mécanique appliqué sur l'arbre du rotor faisant tourner celui-ci sous un champ magnétique produit au niveau du stator à l'aide d'une source d'excitation généralement indépendante d'où le stator sera le siège d'une force électromotrice ( f.é.m.).

Afin d'avoir des tensions et des fréquences tolérables assurant une certaine stabilité ; il a fallu contrôler ces paramètre en les comparant avec leurs valeurs de référence. Les grandeurs électriques (V, I, P,Q) sont mesurées grâce à des éléments de mesure. [NAI 16]

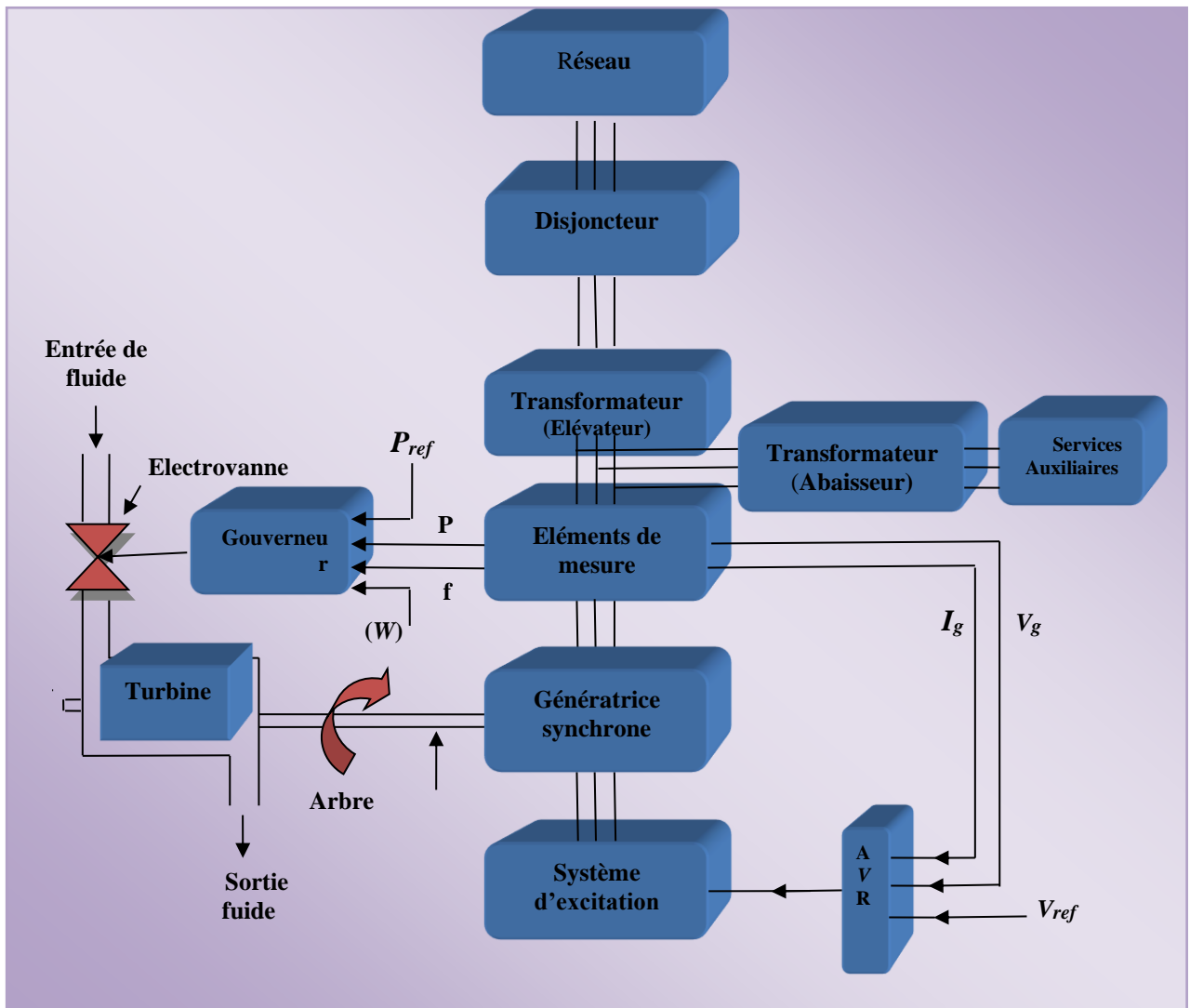


Figure 1 Schéma du principe général d'une unité de production d'énergie

## I.2 Structure des réseaux électriques

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques permettant de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production transport consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [CLA 07]

Dans un système électrique, il y a trois types de réseau ; le réseau de transport, le réseau de répartition et le réseau de distribution.

## **Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique**

### **I.2.1 différentes fonctions du réseau**

#### **I.2.1.1 Réseaux de transport**

Le rôle principal du réseau de transport est la liaison entre les grands centres de consommation et les moyens de productions. Il est à haute et très haute tension pour raison économique notamment, afin de minimiser les pertes de la ligne.

Alors on peut dit que le réseau de transport capable de transporter une puissance importante avec une faible perte et faible chute de tension. [KHA 13]

#### **I.2.1.2 Réseaux d'interconnexion**

L'interconnexion liée entre le réseau de transport et réseau de répartition cette interconnexion utilise pour des raisons de techno-économique elle assurer l'échange énergétique.

#### **I.2.1.3 Réseaux de répartition**

Ce sont les réseaux HT/MT, ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions. [KHA 13]

#### **I.2.1.4 Réseaux de distribution**

Ce sont les réseaux de moyenne tension (MT) qui fournissent aux réseaux d'utilisation les puissances nécessaires demandées. Ils doivent observer des distances limitées de voisinage, c'est pour cela que ces réseaux se réalisent en souterrain dans les villes. [KHA 13]

### **I.2.2 Topologies des réseaux électriques**

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau fiabilité recherché, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont comme suit :

#### **I.2.2.1 Réseaux maillé**

Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport. Tous les centres de production sont liés entre eux par des lignes THT au niveau des postes d'interconnexion, ce qui forme un maillage. Cette structure permet une meilleure fiabilité mais nécessite une surveillance à l'échelle nationale. [HAM .16]



## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

### I.2.2.2 Réseau bouclé

Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT. Les postes de répartition HT ou MT alimentés à partir du réseau THT sont reliés entre eux pour former des boucles, ceci dans le but d'augmenter la disponibilité. Cependant, il faut noter que les réseaux MT ne sont pas forcément bouclés. [HAM .16]

### I.2.2.3 Réseau radial

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au départ par un poste source HT ou MT. En moyenne tension cette structure est souvent alimentée des deux côtés afin d'assurer la disponibilité [HAM .16]

### I.2.3 Niveaux de tension :

Les niveaux de tension utilisés diffèrent d'un type de réseau à un autre et diffèrent d'un pays ou d'une région à une autre. Selon la norme IEC (International Electrotechnical Committee) les niveaux de tension sont définis comme suit :

**THT (VHV)** : Très haute tension (Very high voltage), pour des tensions composées supérieures à 220 kV ;

**HT (HV)** : Haute tension (High voltage), des tensions composées supérieures comprises entre 33 kV et 220kV ;

**MT (MV)** : Moyenne tension (Medium voltage), des tension composées comprises entre 1 kV et 33 kV ;

**BT (LV)** : Basse tension (Low voltage), tension comprise entre 100 V et 1 kV ;

**TBT (VLV)** : Très basse tension (Very low voltage), inférieure à 100 V.

D'autres normes existent, notamment la norme IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Celle-ci définit la tension moyenne sur une large plage (de 1 kV jusqu'à 69 kV). La norme IEEE est utilisée surtout en Amérique du nord. Il y a aussi la norme française qui définit les niveaux comme suit : [HAM 16]

**HTB** : supérieure à 50 kV,

**HTA** : entre 1 kV et 50 kV,

**BTB** : entre 500 V et 1 kV,

**BTA** : entre 50 et 500 V,

**TBT** : inférieur à 50 V.

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

### I.2.4 Modèle des lignes de transport

Les réseaux de transport assurent la liaison entre les centres de production et les zones de consommation. Ils permettent aussi d'échanger de la puissance à travers les lignes d'interconnexion, entre pays ou grandes zones relevant de gestionnaires de réseaux différents cinétique. [THI 11]

Les modèles des lignes de transmission utilisés dans l'analyse dynamique des réseaux électriques sont habituellement classés en trois groupes, en fonction des longueurs des lignes,(longues, moyennes, courtes) cinétique. [GYU 00]

Compte tenu des longueurs et de la fréquence de fonctionnement, typiquement 50-60 Hz, une ligne de transmission se caractérise par un modèle à constantes localisées (les phénomènes de propagation sont négligés car  $L \ll \lambda / 2\pi$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde associée à la fréquence (f). La structure la plus employée pour ce modèle est le schéma équivalent en  $\pi$ , figure (2). Il se caractérise par trois paramètres principaux cinétiques [HAI 09]

- une résistance série R.
- une réactance constituée d'une inductance de série L due au couplage par champ magnétique entre les conducteurs.
- une capacité de shunt C due au couplage par champ électrique entre les conducteurs.

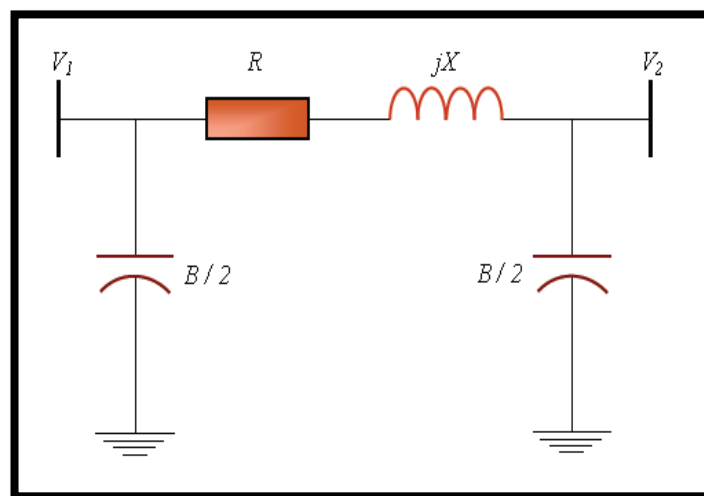


Figure.2 Modèle en  $\pi$  d'une ligne de transmission

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

### I.3 Ecoulement de puissance

L'étude de l'écoulement de puissance permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes, les pertes et les courants s'en déduisent.

#### I.3.1 Objectif de l'étude de l'écoulement de puissance

L'objectif primordial des opérateurs des réseaux électriques est d'assurer la continuité de service (alimentation de leurs abonnés), tout en respectant plusieurs exigences.

Les tensions et la fréquence de réseau doivent d'être dans les limites acceptables:

$$V_{min} < V < V_{max} \quad (1.1)$$

$$f_{min} < f < f_{max} \quad (1.2)$$

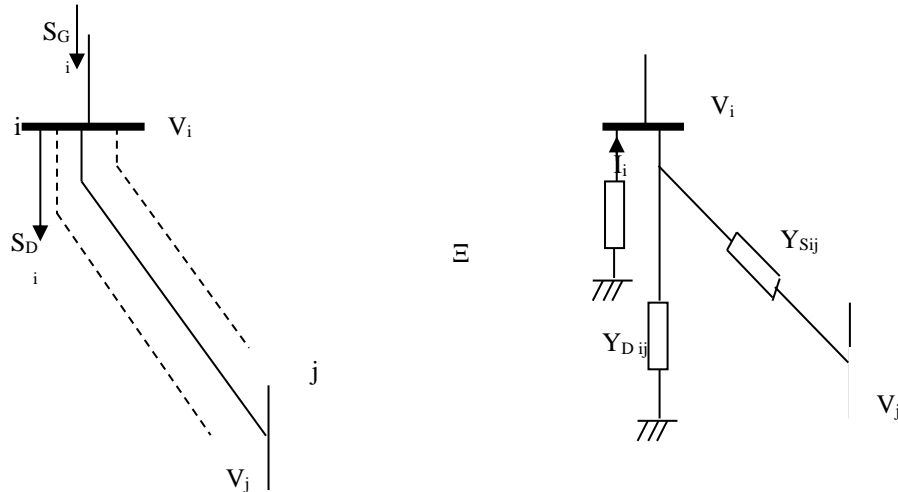
- 1 - La forme d'onde du courant et de la tension doit d'être sinusoïdale (éviter les harmoniques).
- 2 - Les lignes de transmission doivent fonctionner dans leurs limites thermiques et de stabilité. ( $P_R < P_{max}$ ).
- 3 - La durée de coupure de l'alimentation doit être le minimum possible.
- 4 - En outre (plus), à cause de dérégulation (ouverture) du marché d'électricité, le courant de kWh doit être le plus bas possible.
- 5 - Pour évaluer toute ces conditions, on doit posséder à des méthodes qui déterminent l'état des grandeurs électrique, en doit calculer ainsi les tensions (modules et arguments) au niveau de tout les jeux de barres qui forme le réseau. Ainsi que toutes les puissances qui transite les lignes de transmission. [NAI 16]

#### I.3.2 Formulation de base de l'équation de l'écoulement de puissance

Pour élaborer les équations de l'écoulement de puissance en possède comme suit :

- On a un réseau quelconque de 'n' jeux de barre

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique



**Figure 3:** Formulation de l'équation de l'écoulement de puissance.

- On considère un jeu de barre  $i$  parmi 'n' jeu de barre du réseau a analysé. Les puissances générées et demandées son respectivement  $S_{Gi}$  et  $S_{Di}$ .

$$S_{Di} = P_{Di} + jQ_{Di} \quad (1.3)$$

- Ainsi les puissances injectés dans le JB  $k$  peuvent être représentées par :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = (P_{Gi} - P_{Di}) + (Q_{Gi} - Q_{Di}) \quad (1.4)$$

Dans le cas général, la relation d'injection de puissance de toute barre  $i$  d'un réseau électrique de 'n' nœuds.

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (1.5)$$

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad ; i = 1, 2 \dots n \quad (1.6)$$

Le membre de gauche de l'équation (1.6) peut être remplacé par l'expression de l'équation (1.7).

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = V_i Y_{sh} + \frac{(V_i - V_j)}{Z_{ser}} \quad (1.7)$$

Écrite en fonction des éléments de la matrice des admittances de nœuds. On obtient alors:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_1 Y_{i1} + V_2 Y_{i2} + \dots + V_n Y_{in} \quad (1.8)$$

Ou :

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

$$P_i - jQ_i = V_i^* [V_1 Y_{i1} + V_2 Y_{i2} + \dots + V_n Y_{in}] \quad (1.9)$$

Équation (1.9) peut être écrite sous forme de sommation mathématique compacte pour obtenir:

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n V_j Y_{ij} \quad (1.10)$$

Le courant sortant de la barre  $i$  et s'écoulant dans la ligne  $ij$  (de  $i$  vers  $j$ ) à partir des composants du modèle en  $\pi$ , s'exprime par:

$$I_{ij} = (V_i - V_j)Y_{ij} + V_i Y_{sh} \quad (1.11)$$

Où :  $Y_{ij}$  = admittance série de la ligne  $ij$  ;

$Y_{sh}$  = admittance shunt totale de la ligne  $ij$ .

Alors, l'écoulement de puissance active et réactive est:

$$S_{ij}^* = P_{ji} - jQ_{ji} = V_i^* I_{ij} = V_j^* (V_j - V_i) Y_{ij} + V_j^* V_i Y_{sh} \quad (1.12)$$

Où, à partir de la barre  $i$ ,  $P_{ij}$  et  $Q_{ij}$  sont respectivement les puissances active et réactive s'écoulant dans la ligne  $ij$ .

Par similitude, les écoulements de puissance de  $j$  à  $i$  sont:

$$S_{ji}^* = P_{ji} - jQ_{ji} = V_j^* (V_j - V_i) Y_{ij} + V_j^* V_i Y_{sh} \quad (1.13)$$

La puissance complexe perdue dans la ligne  $ij$  due à la transmission est obtenue en faisant la somme algébrique des écoulements de puissances déterminés par les équations (1.12) et (1.13)

Ce qui suit est le développement détaillé des équations (1.5) et (1.13) Considérons le nœud 1 comme la référence du réseau caractérisé par une tension de module  $V_1$  et de phase  $\theta_1 = 0$ .

L'expression de toute autre tension peut s'écrire:

$$V_i = |V_i| e^{j\theta_i} = |V_i| (\cos\theta_i + j \sin\theta_i) = |V_i| \angle\theta_i \quad (1.14)$$

On sait d'une part:

$$V_i^* = |V_i| \angle(-\theta_i) \quad (1.15)$$

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

$$V_j = |V_j| \angle \theta_j \quad (1.16)$$

Ainsi:

$$V_i^* V_j = |V_i| |V_j| \angle(-\theta_{ij}) = |V_i| |V_j| (\cos \theta_{ij} - j \sin \theta_{ij});$$

$$\text{Où : } \theta_{ij} = \theta_i - \theta_j \quad (1.17)$$

Ainsi que chaque élément de la matrice admittance est en type complexe :

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \quad (1.18)$$

D'ici on peut écrire les équations de l'écoulement de puissance en séparant les parties réelles et imaginaires :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_i - \theta_j + \delta_{ij}) \\ Q_i = -\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_i - \theta_j + \delta_{ij}) \end{cases} \quad (1.19)$$

D'autre part, tout élément  $Y_{ij}$  de la matrice des admittances de barre peut être écrit en fonction de sa partie réelle et imaginaire comme suit:

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (1.20)$$

D'où:

$$V_i^* V_j Y_{ij} = |V_i| |V_j| (\cos \theta_{ij} - j \sin \theta_{ij})(G_{ij} + jB_{ij}) \quad (1.21)$$

On obtient une autre forme générale des équations de l'écoulement de puissance:

$$\begin{cases} S_i^* = P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ -j \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{cases} \quad (1.22)$$

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

En comparant et en identifiant la partie réelle des deux membres, puis l'imaginaire des deux membres de l'équation de l'écoulement de puissance, on constate que les puissances active et la puissance réactive injectée en tout nœud  $i$  du réseau est :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i = P_{Gi} - P_{Di} = |V_i| \sum_{j=1}^n |V_j| (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} = |V_i| \sum_{j=1}^n |V_j| (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{array} \right. \quad (1.23)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i = P_{Gi} - P_{Di} = |V_i| \sum_{j=1}^n |V_j| (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} = |V_i| \sum_{j=1}^n |V_j| (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{array} \right. \quad (1.24)$$

La solution des équations algébriques, décrivant le système de puissance, est basée sur une méthode itérative qui doit satisfaire la loi de Kirchhoff.

Ces équations expriment l'équilibre des puissances actives et réactives au jeu de barres  $i$  à cause de non linéarité des équations de l'écoulement de puissance, il est très difficile d'avoir des solutions analytiques. Pour cette raison, plusieurs méthodes numériques ont été proposées pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance, parmi lesquelles on va discuter les deux méthodes de Newton Raphson et Gauss-Seidel. [DEL 09]

### I.3.3 Classification des variables de l'écoulement de puissance

La dernière observation nous permet de remarquer une des plus importantes spécifications du problème. Donc il est impératif d'introduire un certain ordre sur les variables pour cette raison on les partage en groupe naturelle. [WA 56]

#### I.3.3.1 variables de perturbation ou non contrôlables

Parmi les variables des équations de l'écoulement de puissance, les variables de la demande (charge)  $P_D$  et  $Q_D$  ne sont pas contrôlables car elles dépendent seulement des abonnés de la puissance. Les variables de perturbation avec cette définition constituent les composantes du vecteur de perturbation  $P$ . [NAI 16]

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \\ P_{n+1} \\ P_{n+1} \\ \vdots \\ P_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ \vdots \\ P_{Dn} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \\ \vdots \\ Q_{Dn} \end{bmatrix}$$

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

### I.3.3.2 Variables contrôlables (de contrôle et d'état) [NAI 16]

Ces variables peuvent être regroupées en deux catégories : les variables d'état et les variables de contrôle.

#### 1.3.3.2.1 Variables d'état

Ce sont l'amplitude et l'angle de la tension au niveau de jeux de barres, ils sont qualifiés d'état suite à leur valeur qu'elles peuvent déterminer l'état de réseau, elles sont représentées par le vecteur d'état  $X$ .

$n$  : nombre de jeux de barres de tout le réseau.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \\ X_{n+1} \\ X_{n+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ X_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta_n \\ |V_1| \\ |V_2| \\ \cdot \\ \cdot \\ |V_n| \end{bmatrix}$$

#### 1.3.3.2.2 Variables de contrôle

Les puissances générées, à savoir  $P_G$  ou  $Q_G$  (actives ou réactives) sont des variables de contrôle représentées par le vecteur de contrôle  $U$ .

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ U_n \\ U_{n+1} \\ U_{n+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ U_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{Gn} \\ Q_{G1} \\ Q_{G2} \\ \cdot \\ \cdot \\ Q_{Gn} \end{bmatrix}$$

## I.4 Classification des jeux de barres

On peut grouper les jeux de barres en trois catégories, en fonction des spécifications des variables utilisées :

### I.4.1 Jeu de barre de référence (swing bus ou slack bus)

C'est un J-B connecté à une source de tension considérée constante, et son angle de phase est pris comme référence de calcul. Ces puissances actives et réactives doivent être calculées après le calcul de puissance apparente additionnelle nécessaire pour compenser les pertes dans les lignes. Le jeu de barre balancier est un jeu de barre de générations dont la puissance active est la plus importante. [GOU 83]



## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

### I.4.2 Jeux de barres de charges ( $PQ_{Bus}$ )

Pour ce genre, les puissances actives et réactives sont données, par contre, l'amplitude et l'argument de la tension sont déterminés. [GOU 83]

### I.4.3 Jeu de barre de contrôle (PQ bus) ou PQ de contrôle

Dans le calcul des variables inconnues ( $Q$  et  $\theta$ ) d'un jeu de barre de contrôle, on peut trouver la valeur de l'énergie réactive  $Q$  qui dépasse les limites d'égalité ou d'inégalité de cette dernière; on est donc obligés de fixer la valeur de  $Q$ , ce jeu de barre reçoit un jeu de barre de contrôle ( $P$ ,  $Q$ ). [GOU 83]

On peut résumer ces genres dans le tableau ():

**Tableau 1** : Classification de types de jeux de barres.

Tableau 1.1 Les types des variables des Jeux de barres			
Type de Jeux de barre (JB)	Variable connue	Nombre de jeux de barre	Existence dans le réseau (%)
Charge ( $P$ , $Q$ )	$P$ , $Q$	$n - m$	$\geq 80$
Contrôle ( $P$ , $V$ )	$P$ , $ V $	$m - 1$	$\leq 20$
Référence (slack/swing bus)	$ V $ , $\theta_i$	1	1

## I.5 Méthodes de calcul de l'écoulement de puissance

### I.5.1 Méthode itérative de Newton-Raphson

Le problème de l'écoulement de puissance peut être résoudre aussi par la méthode de Newton Raphson. En réalité, parmi les nombreuses méthodes disponibles pour l'analyse de l'écoulement de puissance, la méthode de Newton-Raphson est considérée comme la plus raffinée et la plus importante. Elle n'est pas plus simple que la méthode de Gauss-Seidel, mais elle est plus rapide (convergence) surtout pour les réseaux de tailles importantes. Equation de puissance réelle : [GRA 03]

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad , i = 1,2,3, \dots \dots \dots, n \quad (1.29)$$

$$S_i = V_i \left( \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \right)^* = V_i \left( \sum_{j=1}^n Y_{ij}^* V_j^* \right) \quad (1.30)$$

Alors:

$$V_i = |V_i| \angle \theta_i \quad (1.31)$$

On définit:

$$\theta_{ij} = \theta_j - \theta_i \quad (1.32)$$

$$y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (1.33)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (\cos(\theta_i - \theta_j) + j \sin(\theta_i - \theta_j)) \omega (G_{ij} - jB_{ij}) \quad (1.34)$$

**Etape 1:** On définit le type de jeux de barres  $i=1$ , un jeux de barre référence  $(\theta_1, V_1)$  connues  $(P_1, Q_1)$  a déterminer : [ESC 97]

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \theta_n \end{bmatrix} \quad (1.35)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} \quad (1.36)$$

$$X = \begin{bmatrix} \theta \\ V \end{bmatrix} \quad (1.37)$$

$G_{ij} + jB_{ij}$  : La partie réelle et imaginaire de la matrice  $Y_{ij}$ .

$\theta_{ij}$ : La différence des phases entre les jeux de barres  $i$  et  $j$ .

**Etape 2 :** On définit les fonctions de  $P_i(x)$  et  $Q_i(x)$ :

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| \omega ( G_{ij} \sin ( \theta_{ij} ) + B_{ij} \cos( \theta_{ij} ) ) \quad (1.39)$$

**Etape 3 :** On forme l'équation  $F_i(x) = 0$

$$\begin{cases} P_i(x) - P_i = 0 \\ Q_i(x) - Q_i = 0 \end{cases} \quad (1.40)$$

Ou  $P_i$  ,  $Q_i$  sont des puissances spécifiées.

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

$$F(x) = \begin{bmatrix} P_2(x) - P_2 \\ P_3(x) - P_3 \\ \vdots \\ P_n(x) - P_n \\ Q_2(x) - Q_2 \\ Q_3(x) - Q_3 \\ \vdots \\ Q_n(x) - Q_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [0] \quad (1.41)$$

**Etape 4 :**

$$\begin{aligned} J_{11} &= \delta P_i(x) / \delta \theta_j \\ J_{12} &= \delta P_i(x) / \delta V_j \\ J_{21} &= \delta Q_i(x) / \delta \theta_j \\ J_{22} &= \delta Q_i(x) / \delta V_j \end{aligned} \quad (1.42)$$

**Alors :**

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (1.43)$$

$J$  : matrice jacobienne.

### I.5.2 Méthode de Newton-Raphson modifié (fastdecoupled)

En se basant sur les cas des différents réseaux étudiés à constater les valeurs des sub-matrices

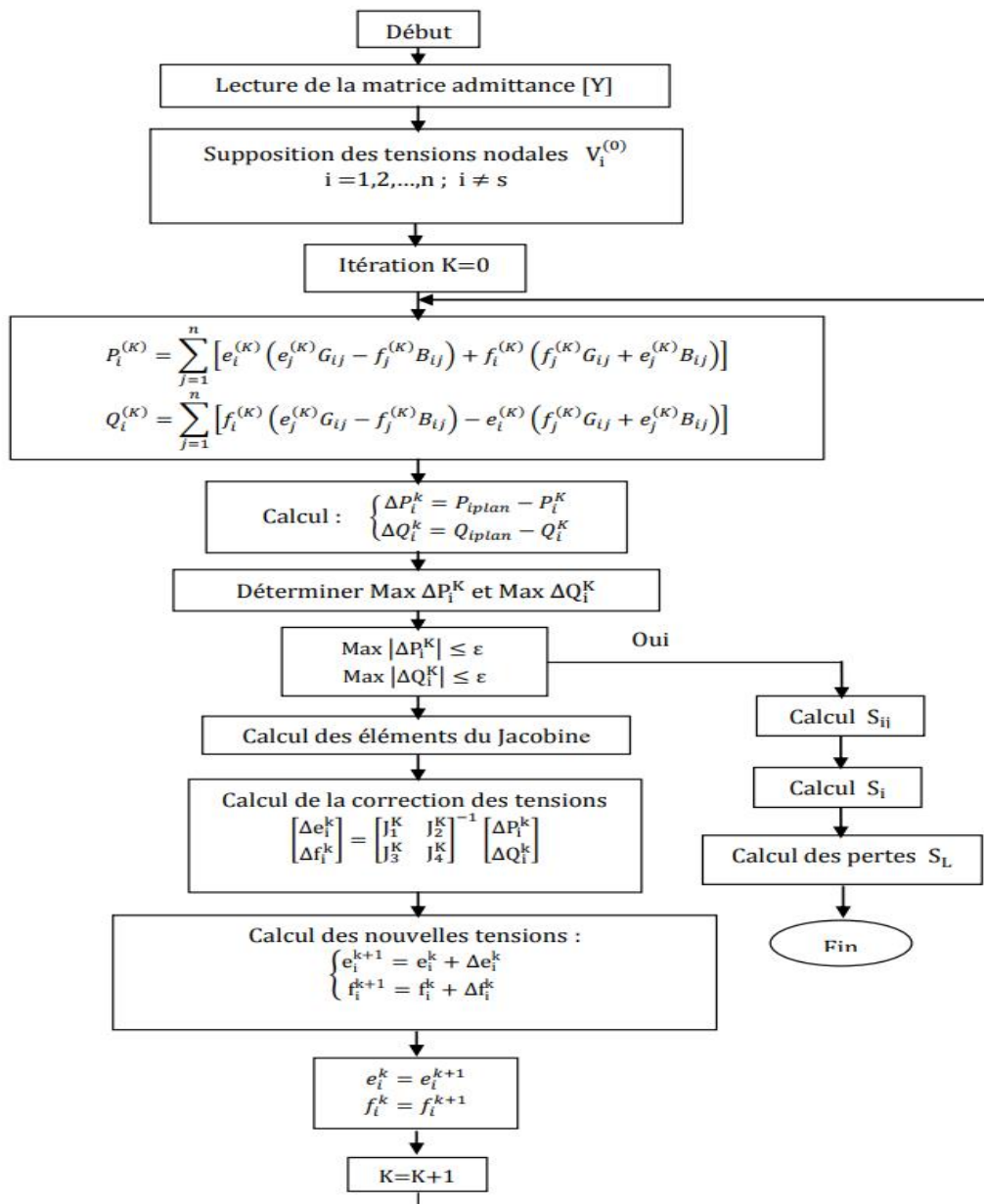
$J_{12}$  et  $J_{21}$  que sont très petites

$$J = \begin{vmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{vmatrix} \approx \begin{vmatrix} J_{11} & 0 \\ 0 & J_{22} \end{vmatrix}; J_{12} = \frac{\partial Q}{\partial |V|} \approx 0; J_{21} = \frac{\partial Q}{\partial \theta} \approx 0$$

L'explication de ces faibles valeurs revient au fait que la puissance active  $P$  dépend nécessairement du  $\theta_i$ ; et non du  $|V_i|$  par contre  $Q_i$  dépend essentiellement du  $|V_i|$  et non  $\theta_i$ . Généralement  $B_{ij} \approx 0$  et  $\theta_{ij} \approx 0$  d'où  $\theta_i - \theta_j = 0$  alors  $\sin \theta_{ij} = 0$ . La conductance est presque nulle car les éléments connectés aux réseaux sont d'origine réactive.

### I.5.3 Organigramme de la méthode de Newton Raphson

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique








**Figure 4 :** Organigramme de la méthode de Newton-Raphson

### I.6 Quelques logiciels de calcul de l'écoulement de puissance

En effet, il ya une variété de logiciels dédiés à l'analyse des réseaux électriques, selon la nature de l'étude voulue, il y en a qui fonctionnent sous MATLAB comme le MATPOWER et le PSAT et autres qui y sont totalement indépendants comme le POWERWORLD. Le tableau suivant présente quelques logiciels : [NAI 16]

## Chapitre 01 :Ecoulement De Puissance dans un réseau électrique

Nome commercial	Intitulé	LOGO
PSAT	Power system Analyse Toolbox	
PSSE	Power system Simulator for engineering	
PSAPAC	Power System Analysis Package	
POWERWORLD	PowerWorld Simulator	
EUROSTAG	Software for the Simulation of Power System Dynamics	
TEQSIM	Power System Blockset for Use with Simulink	
MATPOWER	Package of MATLAB	
SIMPOWER	Electrical Power Systems Simulation	

### Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait la modélisation de quelques éléments de puissance constituant le réseau de transport et dont leur modélisation entr directement dans le calcul de l'écoulement de puissance. Le problème de l'EP peut être donc résolu par la technique de N-R qui converge avec une meme vitesse, mesurée par le nombre d'itérations, pour les larges et courts systèmes, en moins de 4 à 5 itérations en général

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

### Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier deux techniques d'optimisation basées sur l'intelligence artificielle pour optimiser le problème de dispatching économique (DE). Ces méthodes sont l'Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO)

#### II.1 Définition de l'optimisation

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum (de l'optimum) d'une fonction donnée. On peut aussi trouver des problèmes d'optimisation pour lesquels les variables de la fonction à optimiser sont contraintes d'évoluer dans une certaine partie de l'espace de recherche. Dans ce cas, on a une forme particulière de ce que l'on appelle un problème d'optimisation sous contraintes [BEN 07]

##### II.1.1 Fonction Objective

Représente le but à atteindre pour le décideur (minimisation de coût, de durée...). Elle définit un espace de solutions potentielles au problème [ALA 01]

##### II.1.2 Variables de décision

Correspondent aux variables de la fonction objective. Ils sont ajustés pendant le processus d'optimisation, pour obtenir la solution optimale. On les appelle aussi variables d'optimisation, variables de conception ou de projet (design variables) [AVI 06]. Ils sont regroupés dans le vecteur  $\vec{x}$

#### II.2 L'espace d'état (l'espace de recherche)

Est défini par l'ensemble des domaines de définition des variables de décision. Dans la plupart des problèmes, cet espace est fini car la méthode de résolution utilisée a besoin de travailler dans un espace restreint [ALA 01].

##### II.2.1 Définition des contraintes

L'ensemble de contraintes définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche [ALA 01].

### II.3 Formulation d'un problème d'optimisation mono-objectif

Un problème d'optimisation mono-objectif est présenté sous la forme suivante :

Minimiser  $f(x)$  : (fonction à optimiser)

Sous les contraintes :  $g_j(x) = 0 \quad j=1, 2, \dots, j$

$h_k(x) \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, q$

Avec  $x \in R^n, g(x) \in R^j, h(x) \in R^q$

Les expressions  $g_j(X)$  et  $h_k(X)$  sont respectivement des contraintes d'égalité et d'inégalité.

#### II.3.3 Minimum global

On a la fonction  $f : \Omega \in R^n \rightarrow R$ , tel que  $\Omega \neq \emptyset$ . Pour  $x^* \in \Omega$ ,

On dit que  $x^*$  est un optimum global si et seulement si :

$$\forall x \in \Omega : f(x^*) \leq f(x) \quad (2.1)$$

Tel que :

$x^*$  : L'optimum global.

$F$  : La fonction objective.

$\Omega$  : La région faisable ( $\Omega \in s$ ).

$s$  : L'espace de recherche global.

#### II.3.2 Minimum local

Un point  $x^*$  est un minimum local de la fonction  $f$  si et seulement si :

$$f(x^*) < f(x), \forall x \in V(x^*) \text{ et } x^* \neq x$$

D'où  $V(x^*)$  définit un voisinage de  $x^*$ .

Dans la figure (2.1) M3 est

un minimum globale et M1, M2

sont des minimums local

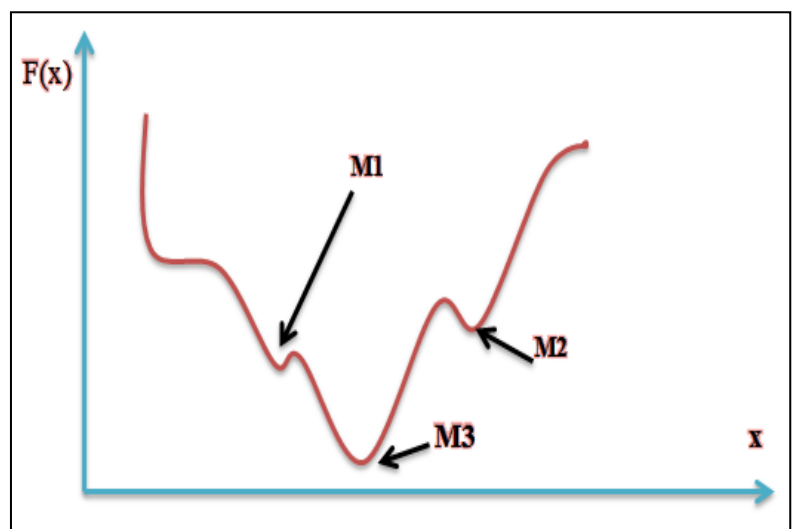


Fig 1 : Différents minimums d'une fonction objective.

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

**Tab 2.1:** Tableau des fonctions objectif et leurs contraintes.

Contraintes	Variables de contrôle	Fonction objective
$P_G = P_D + \sum pertes$ $S_{transité} \leq S_{max}$ $ V_{imin}  \leq  V_i  \leq  V_{imax} $ $P_{Gmin} \leq P_{Gi} \leq P_{Gmax}$ $Q_{Gmin} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gmax}$	puissance générée de chaque $P_G$ : unité de production $P_G = P_i + P_D$	Minimiser le cout de production

Le tableau au-dessus présente un exemple sur le problème multi-objectif où il montre les contraintes, les variables de contrôles et la fonction objective.

### II.3.3 Les différentes méthodes d'optimisation mono-objective

Il existe deux grandes familles de méthodes d'optimisation les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques

#### II.3.3.1 Les méthodes déterministes (conventionnelles)

Les méthodes déterministes se caractérisent par une exploration systématique de l'espace de recherche. Il existe de nombreuses méthodes d'optimisation déterministes. D'une manière générale ces méthodes obéissent à l'algorithme suivant [ALA 01] :

- 1) Choix d'une première solution courante  $i$  admissible.
- 2) Génération d'une solution  $j$  dans le voisinage de  $i$ .
- 3) Si  $f(j)$  est meilleur que  $f(i)$  alors  $j$  devient la solution courante puis retour en b
- 4) L'algorithme se termine lorsqu'il n'y a plus d'amélioration de la solution.

Parmi les méthodes déterministes nous citons quelque méthode;

- ✓ Méthode de NEWTON.
- ✓ Méthode de gradient.
- ✓ Méthode de point intérieur.

#### II.3.3.2 Méthodes stochastiques

Les méthodes stochastiques (ou non-déterministes), sont des méthodes d'optimisation permettant ont une stratégie de recherche est élaborée par l'usage d'une ou plusieurs règles empiriques (heuristiques), souvent spécifiques à un type de problème, qui produit une solution non nécessairement optimale [ASS 07].



## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

Ces méthodes sont utilisées dans des problèmes où on ne connaît pas d'algorithme de résolution en temps polynomial et pour lesquels on espère trouver une solution approchée de l'optimum global[ALA 01].

Parmi les méthodes stochastiques nous citons quelque méthode:

- ✓ Les algorithmes génétiques.
- ✓ Méthode du recuit simulé.
- ✓ La méthode Monte Carlo.

Le tableau suivant présente les points des différences entre les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques :

**Tab 2.2 :** *Différence entre les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques.*

les méthodes déterministes	Les méthodes stochastiques
<ul style="list-style-type: none"><li>- Elle nécessite l'exigence des conditions suivantes :<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Un modèle mathématique.</li><li>✓ La continuité de fonction objective sur l'espace de recherche.</li><li>✓ La dérivabilité de fonction objective sur l'espace de recherche.</li></ul></li><li>- Risque de tomber sur un minimum local.</li><li>- Non préférés pour les fonctions non linéaires.</li><li>- Valeur unique pour chaque exécution.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Il n'y a aucune condition nécessaire.</li><li>- Assurance de trouver un minimum global.</li><li>- Préférés par les fonctions non linéaires.</li><li>- Valeurs différents dans chaque exécution mais elles sont très proches.</li></ul>

### II.4 dispatching économique

#### II.4.1 Définition

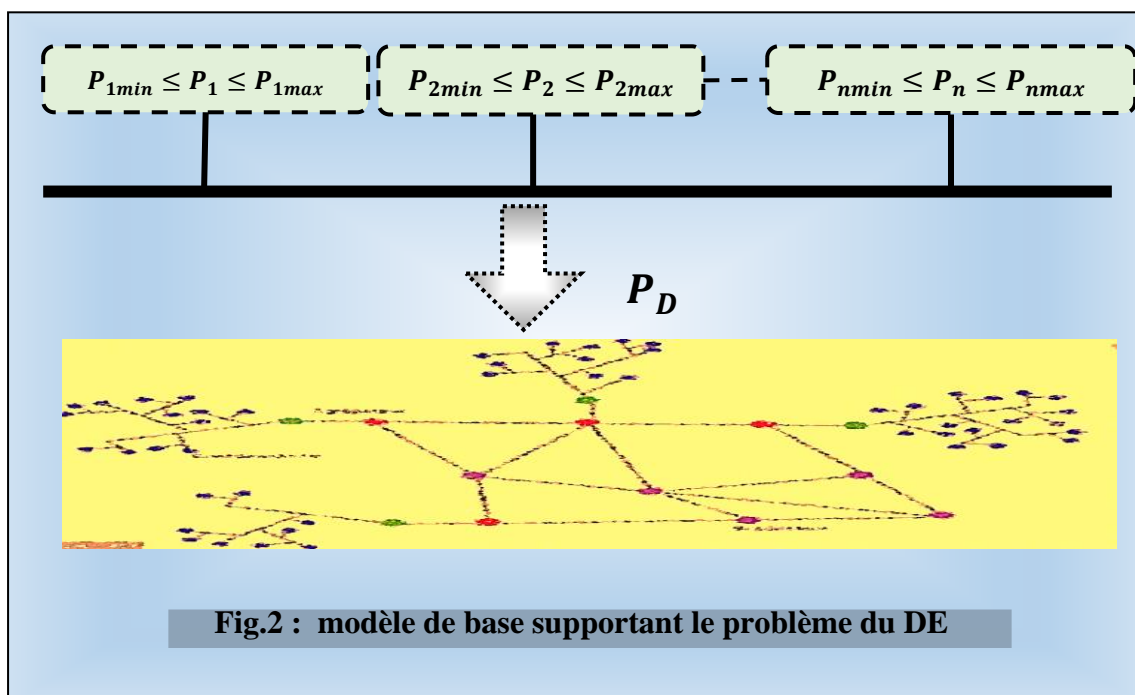
Le dispatching économique de puissance consiste à répartir la puissance active demandée entre les différentes centrales interconnectées dans un réseau électrique avec un coût minimal. Cette distribution doit évidemment respecter les limites de production des centrales et les capacités de transport des lignes électriques et les transformateurs. La variable à optimiser est donc le coût de production

### II.4.2 Modélisation mathématique du DE

Le système électrique est assimilé à un seul jeu de barres artificiel auquel sont connectées toutes les unités de production ainsi que toutes les charges électriques (Fig.1.). On suppose que ces charges forment une seule et unique charge alimentée par toutes les unités de génération. Ces unités sont appelées à produire la puissance  $P_D$  demandée par la charge. Pour mieux illustrer ce concept, on considère le cas des centrales thermiques

Chaque unité de production fonctionne dans une marge de consigne délimitée par ses puissances générées minimale  $P_{imin}$  et maximale  $P_{imax}$ .

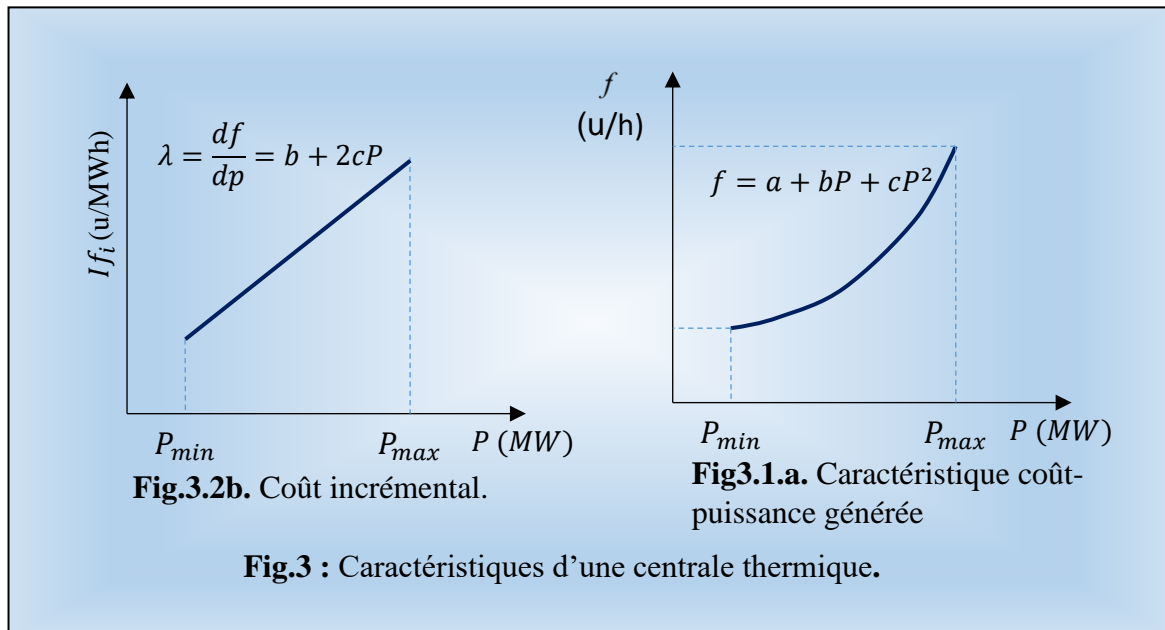
Les unités de production disponibles ou démarrées sont classées par ordre croissant de leurs coûts du combustible. L'augmentation de la demande  $P_D$  implique le déclenchement des unités ayant le coût minimal dans un premier temps. Les autres unités commenceront à débiter quand les précédentes ont atteint leur puissance limite maximale et ainsi de suite.



Chaque unité de génération  $i$  produit sa propre puissance  $P_i$  exprimée en MW, selon une fonction  $f_i$  de coût du combustible de l'unité  $i$  exprimée en u/h (u étant une unité monétaire). C'est une fonction convexe (Fig.3.1.a) donnée par la relation quadratique suivante :

$$f_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

Où



$n$  : désigne le nombre total des unités de production,

$a_i, b_i$  et  $c_i$  : sont les coefficients du coût de l'unité  $i$ .

La dérivée de la fonction  $f_i$  constitue l'incrément  $If_i$  (u/MWh) du coût de l'unité de production  $i$ . Il représente l'accroissement (Fig.3.2b.) du coût correspondant à la production d'une unité de puissance supplémentaire ou le gain en coût pour diminuer la puissance active d'une unité.

$$If_i = \frac{d f_i}{d P_i} = b_i + 2c_i P_i \quad (2.4)$$

#### II.4.2.1 Fonction objectif

La fonction objectif à minimiser est le coût du combustible des centrales thermiques disponibles. Ce qui se traduit comme suit :

$$\min_{P \in \mathbb{R}^n} F = \sum_{i=1}^n f_i = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (2.5)$$

#### II.4.3 contraintes d'optimisation

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

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

### II.4.3.1 contraintes d'égalité

Contraintes issues de l'objectif d'équilibre indiquant simplement que la quantité de puissance injectée sur le réseau (la somme de toutes les puissances actives  $P_i$  générées) doit être égale à la quantité soutirée  $P_D$  plus les pertes dans les lignes de transport  $P_L$ . On écrit :

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L \quad (2.6)$$

### II.4.3.2 contraintes d'inégalité

Les contraintes des unités de production prenant en compte les capacités minimale et maximale de production, exprimées par :

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax} \quad (2.7)$$

Un DE qui ne tient compte que des contraintes d'égalité et d'inégalité est un problème statique bien défini. Sa formulation mathématique est donnée par l'équation (1.6). Pour le résoudre, deux cas sont envisageables selon que les pertes des lignes sont prises en compte ou pas.

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{P \in \mathbb{R}^n} F = \sum_{i=1}^n f_i = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \\ \text{Sous les contraintes:} \\ \sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L \\ P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax}, \quad i = 1, n \end{array} \right. \quad (2.8)$$

### II.4.4 Etude DE avec pertes

Le problème du DE avec considération des pertes est présenté par le formalisme de l'équation (2.8). Les pertes dépendent de la répartition des puissances entre les unités de génération et de la charge [NES 18]. Ainsi, par opposition avec le DE sans pertes, le DE avec pertes tient compte de la topographie du réseau. Pour pénaliser les centrales qui produisent de la puissance dont le transit provoque d'importantes pertes, leur coût incrémental est multiplié par un facteur de pénalité.

Les méthodes les plus utilisées pour cette optimisation sont la méthode de Kuhn-Tucker et la méthode Optimal Power Flow (OPF) utile pour calculer les pertes de transmission. Les pertes des lignes de transport  $P_L$  (MW) sont calculées par la méthode des coefficients  $B$  selon la formule suivante :

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_i B_{0i} P_i + B_{00} \quad (2.9)$$

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

Les coefficients de pertes  $B_{ij}$  sont supposés constants.

L'expression du Lagrangien est donnée par :

$$L = \sum_{i=1}^n f_i + \lambda \left( P_D + P_L - \sum_{i=1}^n P_i \right) + \sigma_{imin}(P_{imin} - P_i) + \sigma_{imax}(P_{imax} - P_i) \quad (2.10)$$

Les constantes  $\sigma_{imin}$  et  $\sigma_{imax}$  sont les coefficients minimal et maximal de génération pour la centrale  $i$ . Lorsque la contrainte d'inégalité est vérifiée, les coefficients  $\sigma_{imin}$  et  $\sigma_{imax}$  sont nuls [SLI 09].

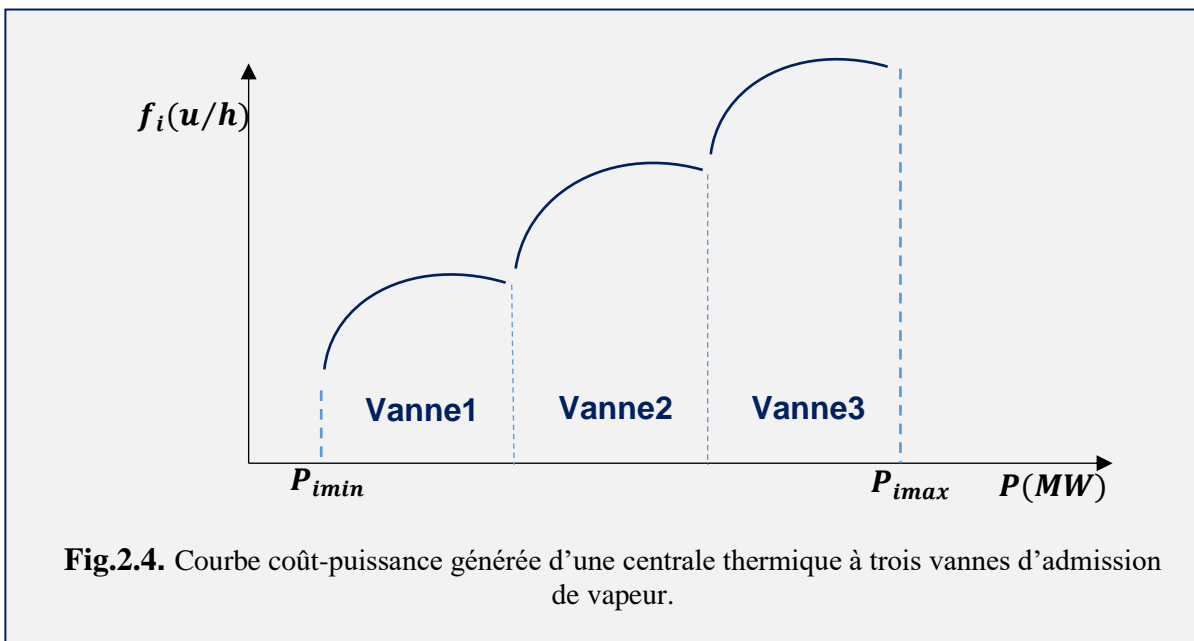
### II.5 Contraintes de fonctionnement des générateurs

#### II.5.1 L'effet d'ouverture des vannes

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 (Fig.2.4) 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 [ZIA 18]. La fonction objective devient :

$$\min_{P \in \mathbb{R}^n} F = \sum_{i=1}^n f_i = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) + |d_i \sin(e_i (P_{imin} - P_i))| \quad (2.11)$$

Où  $a_i, b_i, c_i, d_i$  et  $e_i$  sont les coefficients du coût de l'unité  $i$ .



**Fig.2.4.** Courbe coût-puissance générée d'une centrale thermique à trois vannes d'admission de vapeur.

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

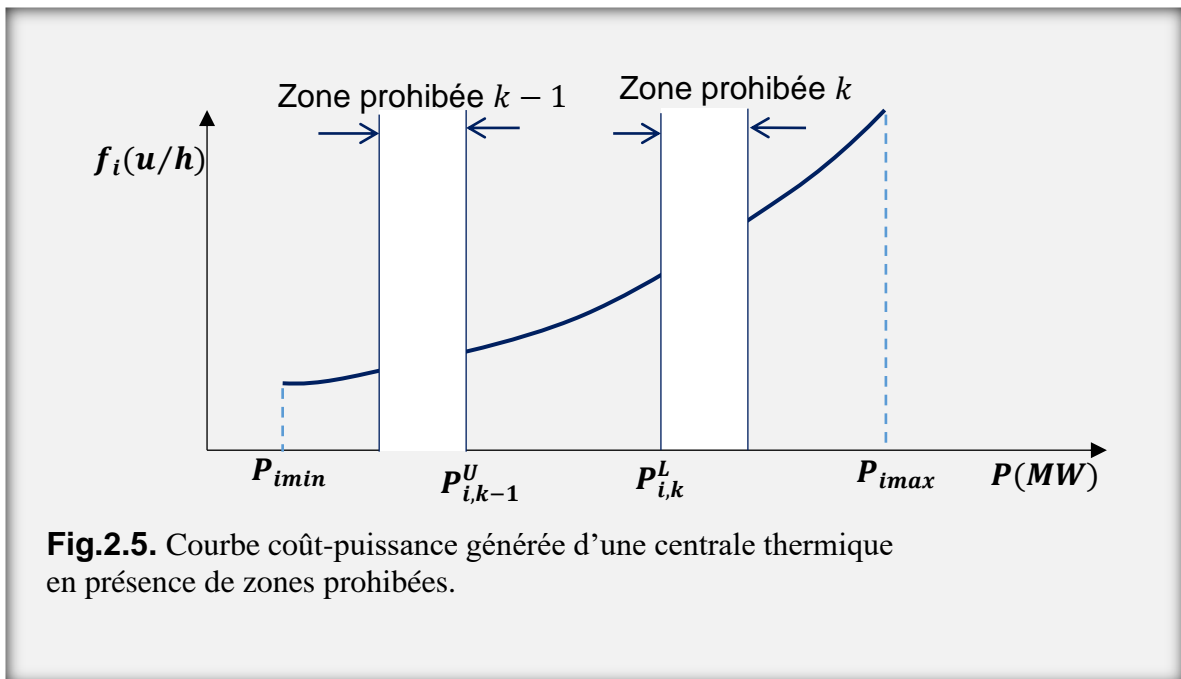
Les changements brusques et les discontinuités présents dans la courbe de l'accroissement de coût, rendent la résolution de ce type de problème extrêmement difficile avec les méthodes conventionnelles.

### II.5.2 Effet des zones interdites

A cause des limitations physiques des alternateurs ou des vibrations inadmissibles de la turbine en délivrant certaines puissances, l'unité de génération peut posséder des intervalles dans son domaine de fonctionnement ( $P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax}$ ) où l'activité de génération est indésirable voire impossible [MES 13]. Ainsi, ces zones interdites créent des discontinuités (Fig.2.5) de la fonction coût total de production. Ce qui engendre un espace de solution non convexe. La formulation mathématique des intervalles de fonctionnement d'une unité thermique en présence de zones prohibées est exprimée comme suit :

$$P_i \in \begin{cases} P_{imin} \leq P_i \leq P_{i,1}^L \\ P_{i,k-1}^U \leq P_i \leq P_{i,k}^L, \quad k = 2, n_i, \quad i = 1, n \\ P_{i,n_i}^U \leq P_i \leq P_{imax} \end{cases} \quad (2.12)$$

Où  $n_i$  est le nombre total des zones interdites de l'unité  $i$ .  $P_{i,k}^L$  et  $P_{i,k}^U$  sont respectivement la borne inférieure et supérieure de la zone interdite  $k$ .



**Fig.2.5.** Courbe coût-puissance générée d'une centrale thermique en présence de zones prohibées.

### II.5.3 Effet de rampe

L'inertie propre des unités de génération limite la vitesse à laquelle elles peuvent changer leur niveau de production. La vitesse maximale de changement du niveau de production pour une période de temps donnée est appelée contrainte de rampe. Les limites physiques de démarrage et d'arrêt des générateurs imposent cette contrainte sur la base de laquelle les contraintes d'inégalité, pour un changement de production, s'expriment comme suit [ADA 16] :

Une augmentation de la production est limitée par :

$$P_{i(t)} - P_{i(t-1)} \leq UR_i \quad (2.13)$$

Une diminution de la production est limitée par :

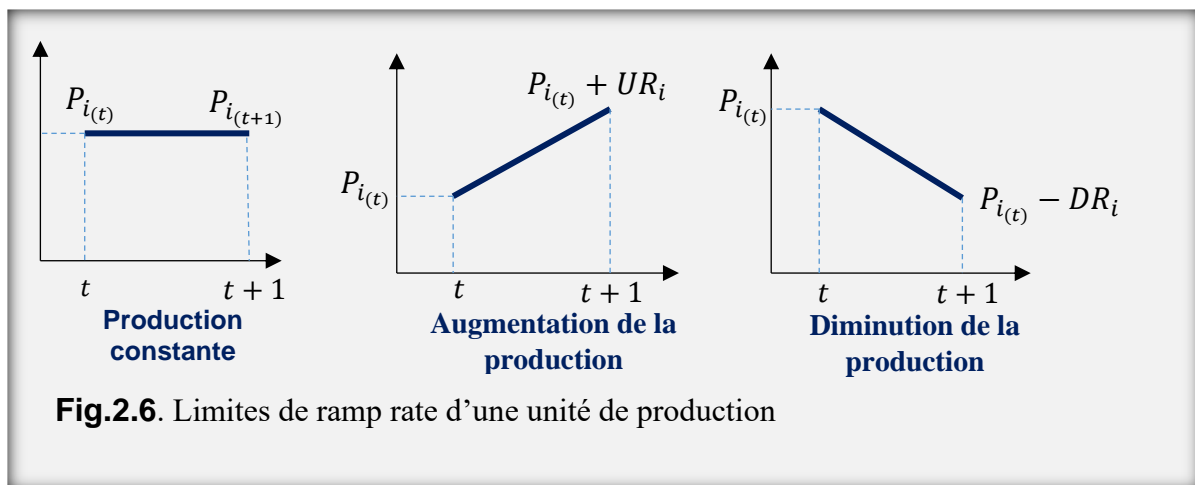
$$P_{i(t-1)} - P_{i(t)} \leq DR_i \quad (2.14)$$

Où  $UR_i$  et  $DR_i$  sont respectivement les contraintes de ramp-up et de ramp-down exprimées en MW.

En combinant les équations (2.13), (2.14) avec l'équation (1.5) on peut écrire :

$$\max(P_{imin}, P_{i(t-1)} - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_{imax}, P_{i(t-1)} + UR_i) \quad (2.15)$$

L'effet de rampe est illustré sur la figure 2.6 ci-dessous.



La prise en compte des contraintes de fonctionnement précitées donne une dimension dynamique au problème et on parle plutôt du DE Dynamique. Ce dernier, consiste à programmer les unités thermiques en service avec la demande de la charge prévue au cours d'une période de planification  $T$  donnée (2.16) à un coût d'exploitation minimum [GAN 11].

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

La complexité de l'algorithme d'optimisation ainsi que le temps de calcul augmentent chaque fois qu'on considère une nouvelle contrainte.

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{P \in \mathbb{R}^n} F_T = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n f_{i(t)} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_{i(t)} + c_i P_{i(t)}^2) + |d_i \sin(e_i (P_{imin} - P_{i(t)}))| \\ \sum_{i=1}^n P_{i(t)} = P_{D(t)} + P_{L(t)}, \quad t = 1, T \\ \max(P_{imin}, P_{i(t-1)} - DR_i) \leq P_{i(t)} \leq P_{i,1}^L \\ P_{i,k-1}^U \leq P_{i(t)} \leq P_{i,k}^L \\ P_{i,n_i}^U \leq P_{i(t)} \leq \min(P_{imax}, P_{i(t-1)} + UR_i) \end{array} \right. \quad (2.16)$$

Nous avons utilisé l'optimisation en présence du phénomène de ramp pour augmenter la précision de la méthode de test (MFO)

### II.7 Formulation du problème de dispatching économique

$$\min F = \sum_{i=1}^{ng} f_i = \sum_{i=1}^{ng} a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2$$

$$g(x) = 0 \quad (\text{contrainte d'égalité})$$

$$p_{gi} - p_{di} - pert = 0$$

$$h(x) \leq 0 \quad (\text{contrainte d'égalité}) \quad (2.17)$$

$$p_{gi} \min \leq p_{gi} \leq p_{gi} \max$$

$$Q_{gi} \min \leq Q_{gi} \leq Q_{gi} \max$$

$$v_i \min \leq v_i \leq v_i \max$$

$$s_{trij} \leq s_{trij} \max$$

$$t_{ij} \min \leq t_{ij} \leq t_{ij} \max$$

$$\alpha_{ij} \min \leq \alpha_{ij} \leq \alpha_{ij} \max$$

### II.8 Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO)

#### II.8.1 inspiration

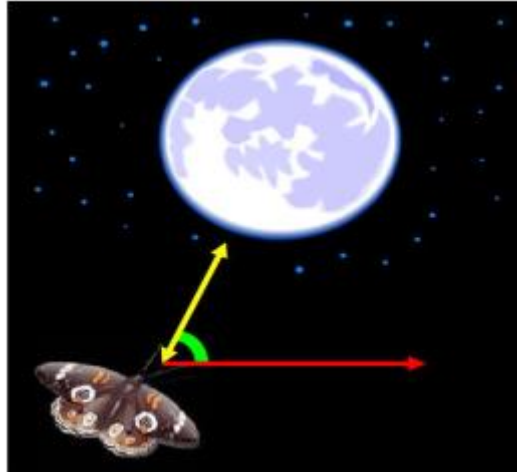
Les mites sont des insectes raffinés, très semblables à ceux de la famille des papillons. En effet, il y a plus de 160 000 différentes espèces de cet insecte dans la nature. Le fait le plus intéressant sur les mites est leurs méthodes de navigation spéciales dans la nuit. Ils volent dans la nuit en utilisant la lumière de la lune. Le mécanisme utilisé dans leur vole est appelé orientation transversale pour la navigation. Dans ce procédé, une mite vole en maintenant un angle fixe par



## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

rapport à la Lune, ce mécanisme est très efficace pour parcourir de longues distances en ligne droite [MIR 15]

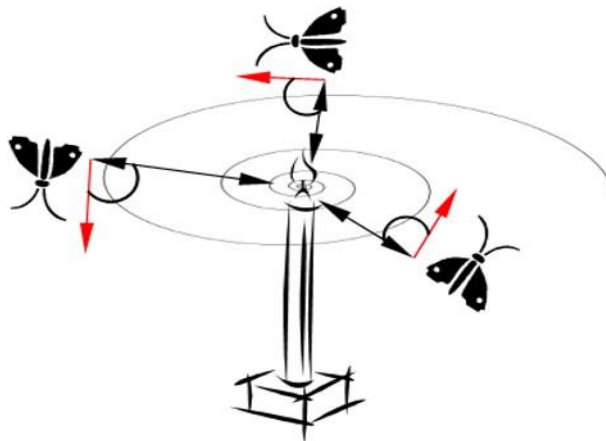
La figure 2.7 montre un modèle conceptuel d'orientation transversale. Comme la lune est loin, ce mécanisme garantit le vol en ligne droite [MIR 15]



**Figure 2.7** Orientation transversal

Malgré l'efficacité de l'orientation transversale, nous observons généralement que les mites roulent en spirale autour de la lumière. En effet les mites sont trompées par les lumières artificielles et montrent de tels comportements. Ceci est dû à l'inefficacité de l'orientation transversale, dans laquelle il ne sert qu' à déplacer en ligne droite lorsque la source lumineuse est très éloignée.

Lorsque les mites voient une lumière artificielle, elles essaient de maintenir un angle similaire avec cette lumière pour voler en ligne droite. Comme une telle lumière est extrêmement étroite par rapport à la lune, alors maintenir un angle similaire à la source lumineuse provoque un chemin de mouche spirale mortel pour les mites. Un modèle conceptuel de ce comportement est illustré à la **figure 2.8**[MIR 15]



**Figure 2.8** Trajectoire du vol spirale autour de sources lumineuses proche

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

On peut observer sur la figure 2.8 que la mite converge vers la lumière. Nous modélisons mathématiquement ce comportement et nous proposons dans le paragraphe suivant un algorithme d'optimisation appelé algorithme d'optimisation Mite-flamme (MFO).

### II.8.2 Algorithme

Le cadre général des algorithmes basés sur la population est presque identique. La première étape consiste à générer un ensemble de solutions initiales aléatoires  $\{X1, X2, \dots, Xn\}$ . Chacune de ces solutions est considérée comme une solution candidate pour un problème donné, évaluée par la fonction objective, et a attribué une valeur objective  $\{O1, O2, \dots, On\}$ .

L'algorithme combine ensuite / mouvements / mise à jour les solutions candidats en fonction de leurs valeurs de remise en forme avec l'espoir de les améliorer. Les solutions créés sont à nouveau évaluées par un fonction objectif et ont attribué leurs valeurs de condition physique pertinentes. Ce processus est itéré jusqu'à la satisfaction d'une condition d'arrêt. À la fin de ce processus, la meilleure solution obtenue est rapportée comme la meilleure approximation pour l'optimum global. [MIR 15]

Dans l'algorithme MFO proposé, nous supposons que les solutions candidates sont les mites et les variables du problème sont les positions des mites dans l'espace. Par conséquent, les mites peuvent voler dans des espaces **1-D**, **2-D**, **3-D** ou hyper-dimensionnels avec un changement de leurs vecteurs de position. Étant donné que l'algorithme MFO est un algorithme basé sur la population, nous représentons l'ensemble des mites dans une matrice comme suit [BEN 16]

$$M = \begin{pmatrix} m_{1.1} & m_{1.2} & \dots & m_{1.d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{n.1} & m_{n.2} & \dots & m_{n.d} \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

Où **n** est le nombre de mites et **d** est le nombre de variables (dimension). Pour tous les mites, on suppose également qu'il existe un vecteur pour stocker les valeurs de la fonction objectif correspondantes.

$$OM = \begin{pmatrix} OM_1 \\ OM_2 \\ \vdots \\ OM_n \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

Le vecteur de position (rangée dans la matrice  $M$ ) est transmis à la fonction fitness et la sortie de la fonction fitness est affectée à la mite correspondante comme fonction objective ( $OM_1$  dans la matrice  $OM$  par exemple).

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

Un autre des éléments clés dans l'algorithme proposé sont des flammes. Nous considérons une matrice similaire à la matrice des mites comme suit [MIR 15]:

$$\mathbf{f} = \begin{pmatrix} f_{1.1} & f_{1.2} & \dots & f_{1.d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{n.1} & f_{n.2} & \dots & f_{n.d} \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

On peut le voir dans l'équation (2.20):

que les dimensions des deux matrices  $M$  et  $F$  sont égaux.

Pour les flammes, un vecteur est défini pour stocker les valeurs de la fonction objective comme suit :

$$\mathbf{of} = \begin{pmatrix} OF_1 \\ OF_2 \\ \vdots \\ OF_n \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

### II.8.3 problème d'optimisation

l'algorithme MFO définit le problème d'optimisation comme suit :  $MFO = (I, P, T)$  (2.22)

- $I$  est une fonction qui génère une population aléatoire de papillons de nuit et les valeurs de fitness correspondantes :  $I: \phi \rightarrow \{ M, OM \}$

- $P$  est une fonction principale, qui déplace les papillons dans l'espace de recherche. Cette fonction reçoit la matrice de  $M$  et renvoie éventuellement sa matrice mise à jour :  $P: M \rightarrow M$

- Quant à la fonction  $T$ , elle renvoie vrai si le critère de terminaison est satisfait et faux si le critère de terminaison n'est pas satisfait :  $T: M \rightarrow (true, false)$  [BOU 21]

### II.8.4 orientation transversale :

l'inspiration principale de cet algorithme est l'orientation transversale des papillons en fonction de la flamme. De ce fait, pour représenter mathématiquement ce comportement [Mir 2015], la position de chaque papillon doit être mise à jour en fonction de la position de la flamme comme suit :  $M_i = S(M_i, F_j)$  où  $M_i$  indique le  $i^{eme}$  papillon,  $F_j$  indique la  $j^{eme}$  flamme, et  $S$  est la fonction spirale. Les trois conditions à respecter lors de l'utilisation d'une spirale logarithmique, sont les suivantes :

- Le point initial de la spirale doit commencer du papillon.
- Le point final de la spirale doit être la position de la flamme.

## Chapitre 02 : techniques d'optimisation de dispatching économique

• La fluctuation de la portée de la spirale ne doit pas dépasser l'espace de recherche. Ainsi, la spirale logarithmique peut être représentée comme suit :

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

où  $D_i$  indique la distance du  $i^{eme}$  papillon pour la  $j^{eme}$  flamme,  $b$  est une constante pour définir la forme de la spirale logarithmique, et  $t$  est un nombre aléatoire dans  $[-1, 1]$ .  $D$  est calculé comme suit :

$$D_i = |F_j - M|$$

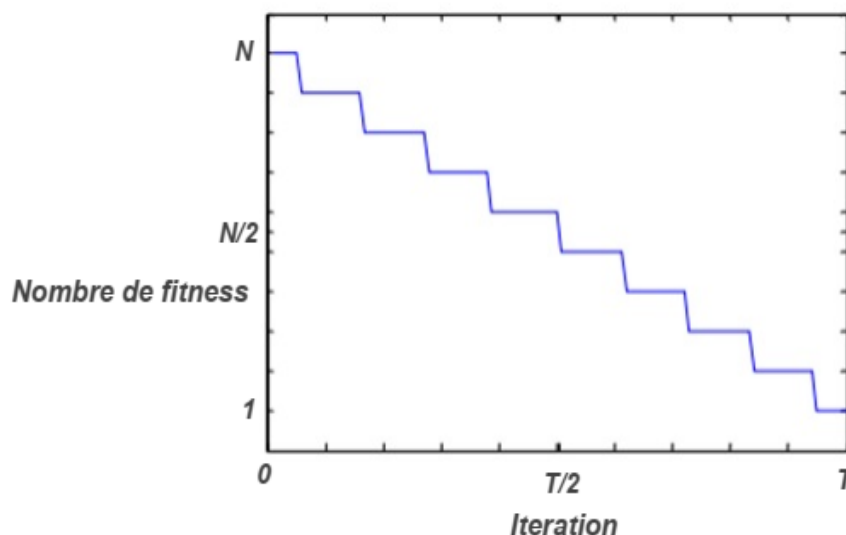
Pour éviter de stagner dans un optimum local, les solutions optimales ont été stockées à chaque répétition, et les papillons volent autour de la flamme la plus proche en utilisant les matrices  $OF$  et  $OM$  [MIR 15]

### II.8.5 problème du nombre de flammes :

La mise à jour des positions des papillons dans  $n$  différents endroits de l'espace de recherche peut réduire les chances d'exploitation des meilleures solutions prometteuses. Pour résoudre ce problème, un mécanisme adaptatif est proposé pour le nombre de flammes,

La figure 2.9 montre que la façon dont le nombre de flammes diminue de manière adaptative au cours des itérations. Par conséquent, la diminution du nombre de flammes aide à résoudre ce problème en fonction de l'équation suivante : [MIH 21]

$$\text{Flameno} = \text{round}(N - 1 * (N - 1)/T)$$



[MIH 21]

Figure 2.9 – Tri-lateration et Multilateration

II.8.6 Organigramme de MFO

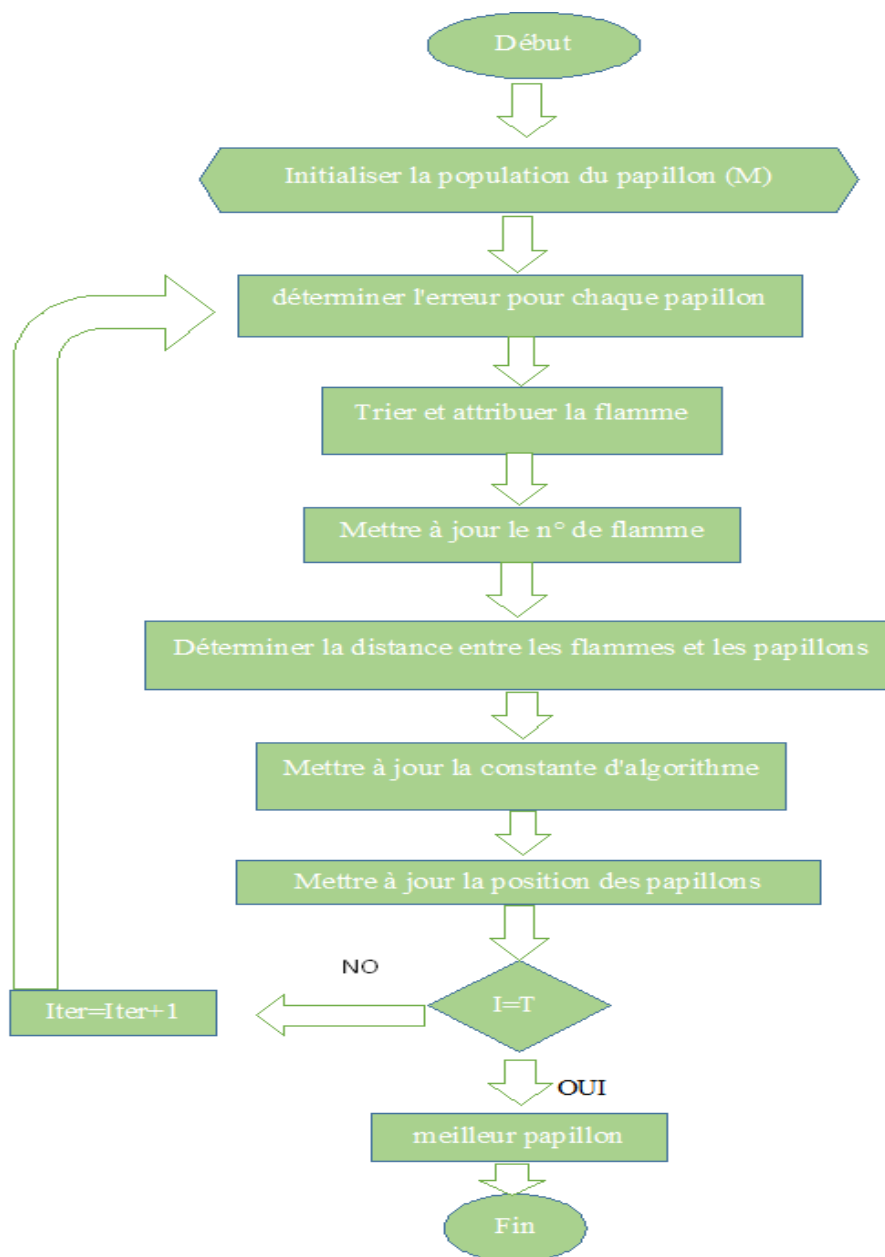


Figure 2.11 Organigramme de MFO

Conclusion

Dans ce chapitre on a vu l'optimisation mono-objectives et la formulation de problème ainsi que les méthodes de résolution de chacune et la déférence entre ces méthodes. Et 2emm partie etude le dispatching économique et enfin on a vu une méthode stochastique qui est particulier à la méthode d'optimisation mite-flamme (MFO). Car cette méthode elle est- nouvelle dans la littérature, c'est pour cette raison que nous voulons donner le maximum d'information aux lecteurs .

## Chapiter 03: Résultats et interprétations

### Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons l'application de la méthode Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO) pour résoudre le problème du Dispatching Economique. Trois types de systèmes de test 06-unités, 15-unités et 40-unités de production d'énergie électrique ont fait l'objet de cette résolution, en tenant compte des contraintes de rampe rates, de zones interdites et d'ouverture de vannes d'admission relatives aux contraintes pratiques des générateurs. Différents tests, notamment ceux de convergence et de respect des contraintes d'égalité et d'inégalité, sont également effectués sur l'algorithme. Les résultats obtenus sont comparés à ceux d'autres méthodes publiées dans la littérature.

#### III.1 Méthodologie de travail

- ❖ Choisir les réseaux test
- ❖ Introduire la base de données de réseaux test
- ❖ Analyser l'écoulement de puissance
- ❖ optimization
- ❖ application de la méthode MFO au DE
- ❖ Comparaison des résultats
- ❖ Interprétation des résultats

La base de données (Coefficient du coût, Les limites de la puissance active, Matrice carrée  $\beta_{ij}$ , vecteur ligne  $\beta_{0i}$ , un scalaire  $\beta_{00}$ , la puissance demandée total) pour le réseau 6 unités de production et 15 unités et 40 unités de production est dans l'annexe.

#### III.2 Resultants et interpretations

Nous avons choisi 3 types de réseaux de tailles différentes : petite (6) moyenne (15) et grande (40). On a utilisé cette sélection dans ce travail afin de tester la précision de la méthode d'optimisation (MFO)

##### III.2.1 Système à 6 unités

L'algorithme MFO est appliqué à un système test de six générateurs pour une puissance demandée :  $P_D = 1263 MW$ .

Les paramètres de l'algorithme sont :

Taille de la population :  $n = 100$

Nombre d'itérations maximal :  $Max\_it = 200$

L'application de la méthode MFO au DE s'est faite selon cas :

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

- Cas : système de six unités sans effets de rampe et de zones interdites

#### III.2.1.1 Système de six unités avec effets de rampe et zones interdites

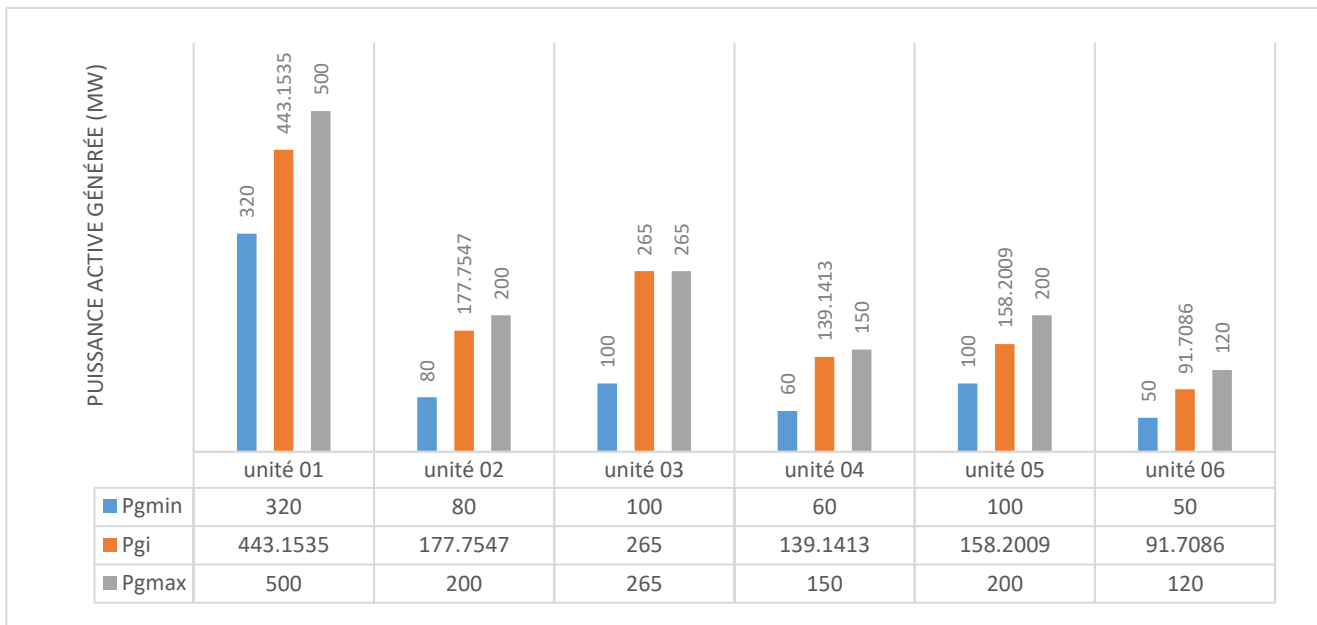
Les résultats des simulations sont reportés sur le tableau ci-dessous.

**Tableau III.1** : Résultats de système à six unités avec effets de rampe et zones interdites

Parmètres	Résultats
Puissance totale (MW)	1275
Coût total (\$/h)	15438.7169
Pertes totales ((MW)	12.3088

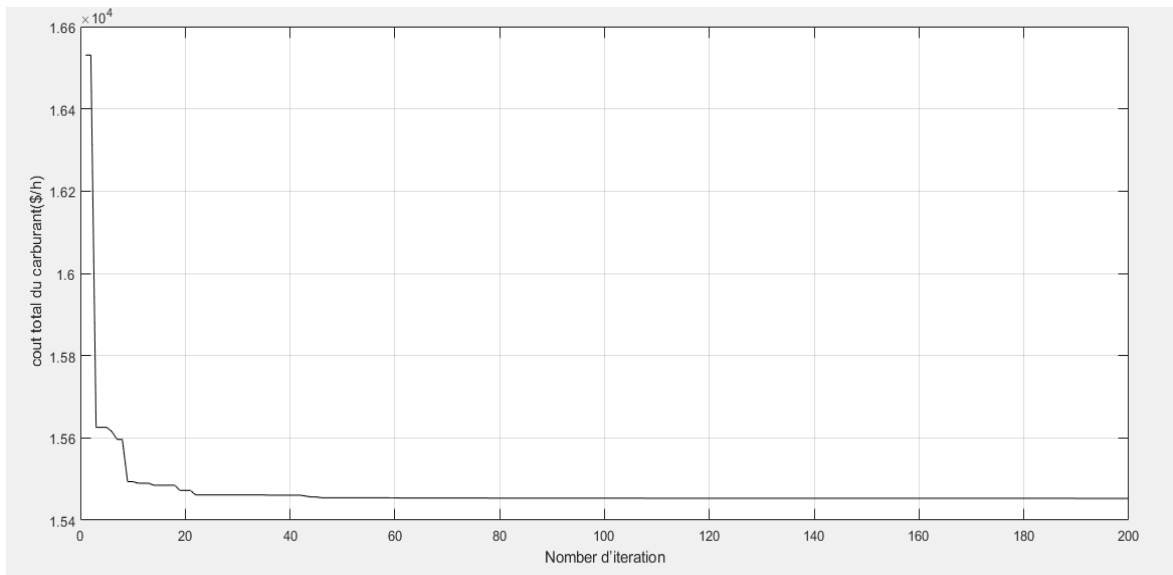
Les puissances délivrées par chaque générateur sont reportées sur la **figure( III.1)**

On remarque que la contrainte d'inégalité est vérifiée étant donné que les puissances optimales générées ne dépassent en aucun cas les limites de génération propres à chaque unité. De même pour les limites ramp rate et les zones interdites sont respectées avec précision



**Fig. III.1:** Puissances générées par chaque unité. Cas 6 unités avec effets de rampe et zones interdites

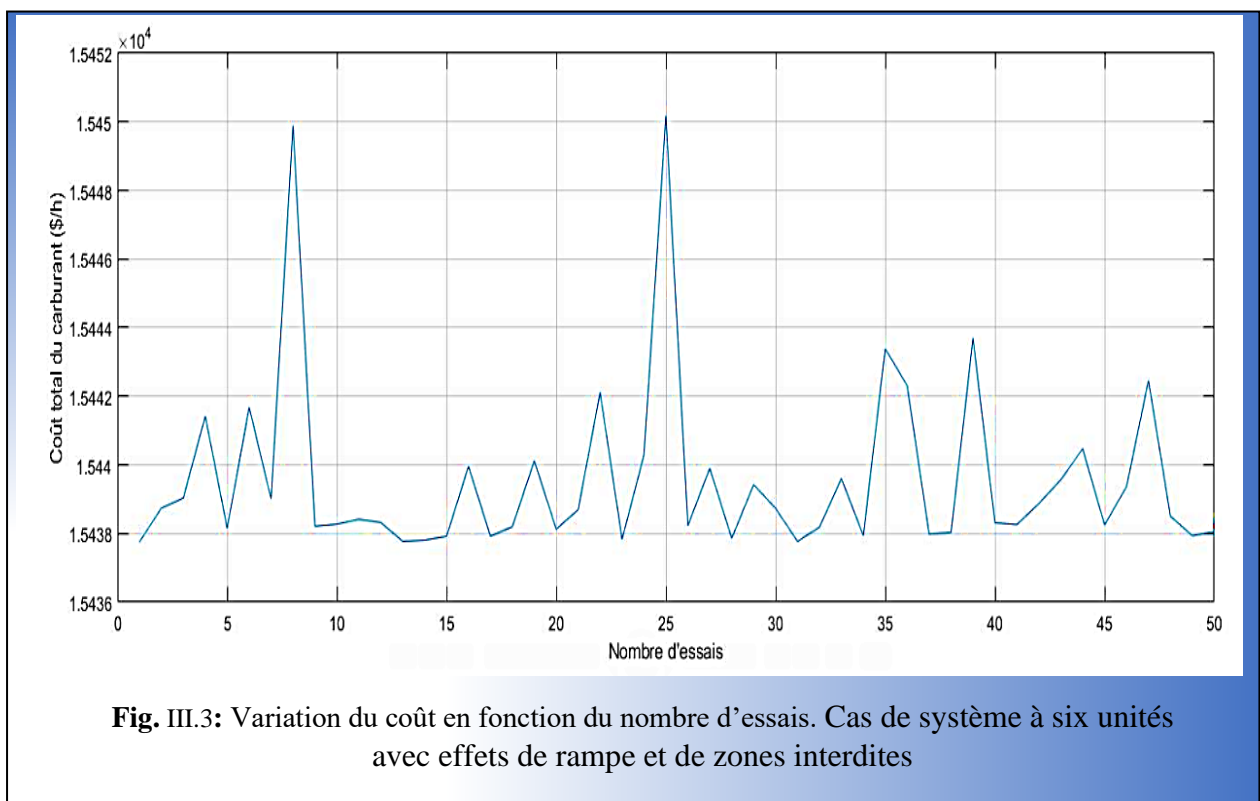
### Chapiter 03: Résultats et interprétations



**Fig. III.2:** Caractéristique de convergence de l’algorithme MFO. Cas de système à six unités avec effets de rampe et de zones interdites

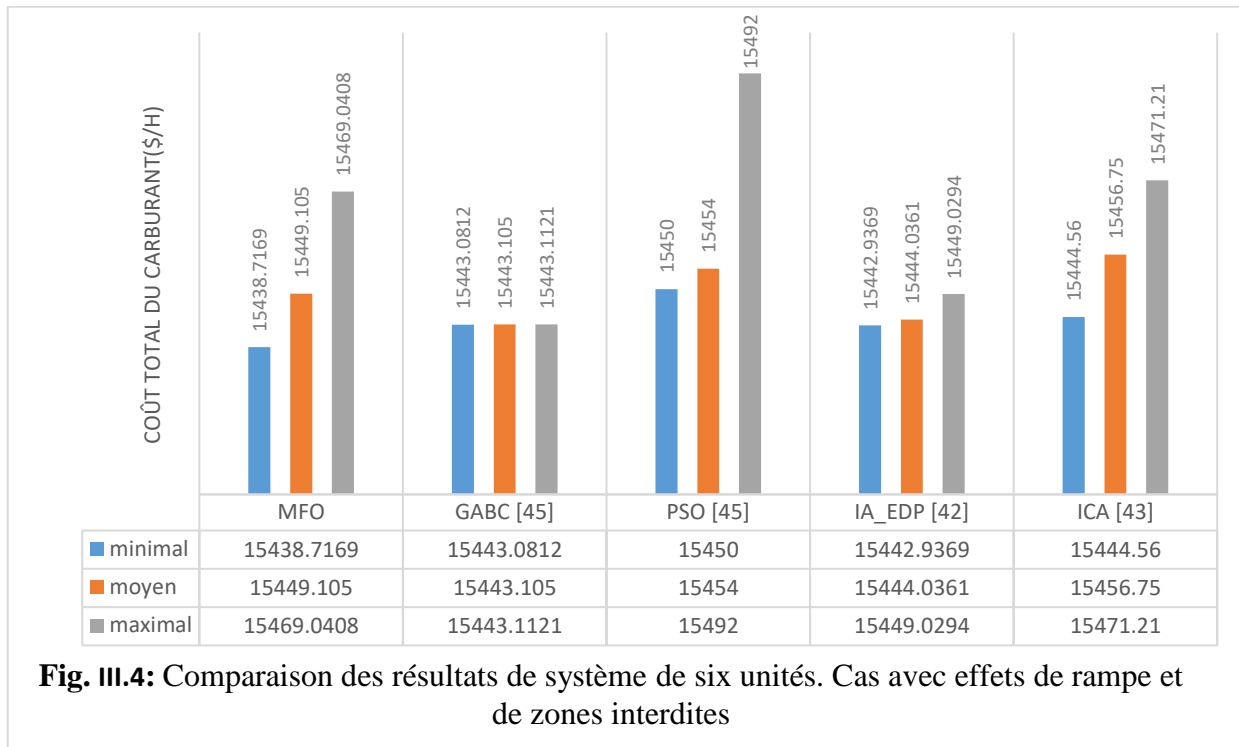
L’algorithme MFO converge vers l’optimum global pratiquement dès les 40 premières itérations. Cette caractéristique de convergence est intéressante et est illustrée sur la figure III.2

Quant à la variation du coût total de carburant en fonction du nombre d’essais est démontrée su la figure III.3 .





### Chapiter 03: Résultats et interprétations



**Fig. III.4:** Comparaison des résultats de système de six unités. Cas avec effets de rampe et de zones interdites

L’analogie avec les méthodes GABC, PSO, IA\_EDP et ICA pour 50 essais présentée sur la figure III.4, montre clairement que l’algorithme MFO réalise le meilleur résultat en termes de coût minimal, moyen et maximal

**Tableau. III.2:** Comparaison des résultats. 6 unités avec effets de rampe et zones interdites

Puissance générée (MW)	Méthode				
	MFO	EHM [45]	IABC [47]	QGSO [45]	HQPSO [45]
Pg1	443,1535	449.155	451.52	447.077	442.552
Pg2	177,7547	173.061	172.175	173.242	177.135
Pg3	265	266.009	258.419	263.908	264.185
Pg4	139,1413	127.12	140.644	139.053	138.735
Pg5	158,2009	174.26	162.08	165.601	165.288
Pg6	91,7086	85.8777	90.3415	86.5357	87.5143
Puissance totale (MW)	1275	1275.48	1275.18	1275.42	1275.41
Pertes totales (MW)	12.3088	12.4834	12.1795	12.4163	12.54078
Coût total (\$/h)	15438.7169	15441,6	15442.11	15445.66	15442.98

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

Les comparaisons effectuées avec les méthodes : EHM, IABC, QGSO et HQPSO relèvent la puissance et l'efficacité de la méthode MFO (tableau . III.2) MFO donne le meilleur coût optimal de 15438.7169 \$/h par rapport à toutes les méthodes considérées. Ainsi que les plus petites pertes 12.3088 MW

#### III.2.2 Système de 15 unités

L'algorithme MFO est appliqué à un système test de 15 générateurs pour une puissance demandée :  $P_D = 2630 \text{ MW}$  .

Les paramètres de l'algorithme de la méthode MFO sont :

Taille de la population :  $n = 250$

Nombre d'itérations maximal :  $Max\_it = 300$

L'application de la méthode MFO au DE s'est faite selon deux cas :

- Cas 1 : système de 15 unités sans effets de rampe et zones interdites

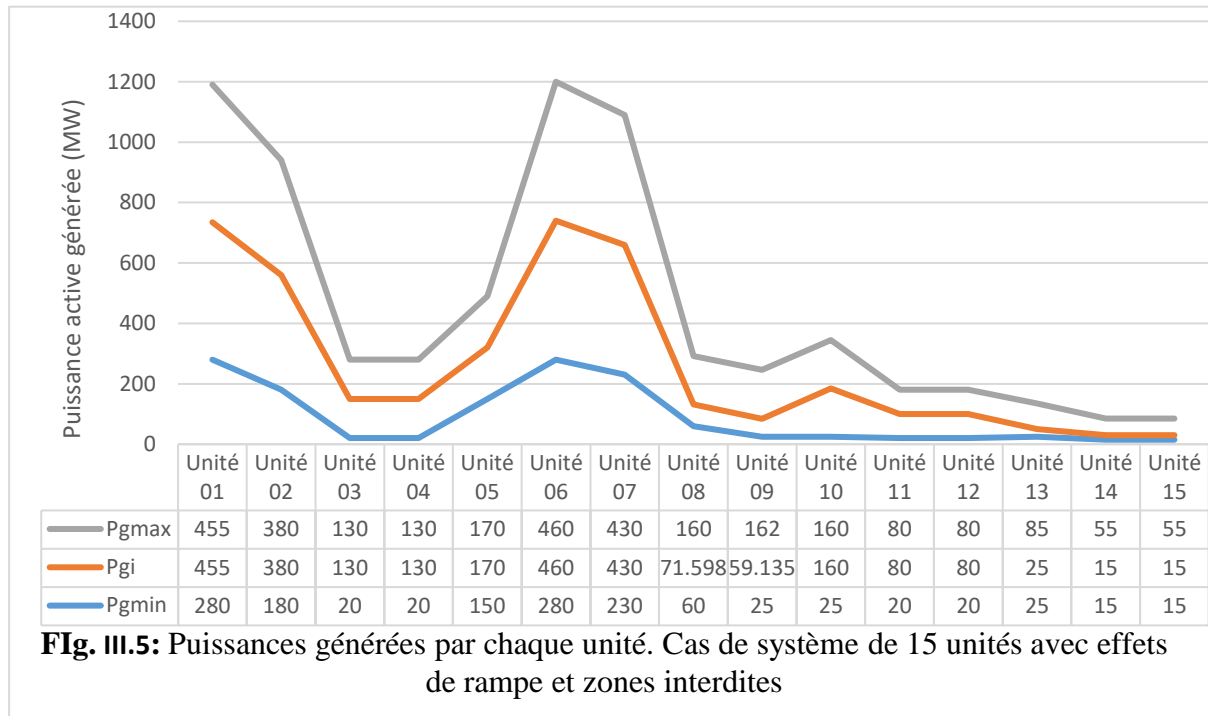
##### III.2.2.1 Système de 15 unités avec effets de rampe et zones interdites

Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau III.3. Les puissances optimales délivrées par les différentes unités de production sont reportées sur la figure III.5 On remarque que la contrainte d'inégalité est vérifiée étant donné que les puissances optimales générées ne dépassent pas les limites de génération propres à chaque unité.

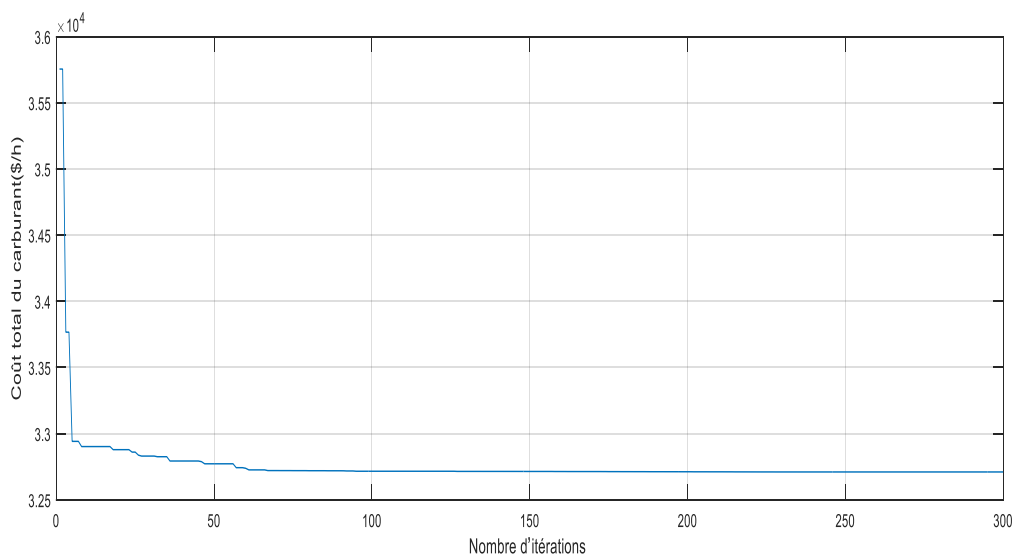
**Tableau III.3:** Résultats de système à 15 unités avec effets de rampe et de zones interdites.

Parmètres	Résultats
Puissance totale (MW)	2660.7
Coût total (\$/h)	32705.2695
Pertes totales ((MW)	31.0834

### Chapiter 03: Résultats et interprétations



**Fig. III.5:** Puissances générées par chaque unité. Cas de système de 15 unités avec effets de rampe et zones interdites

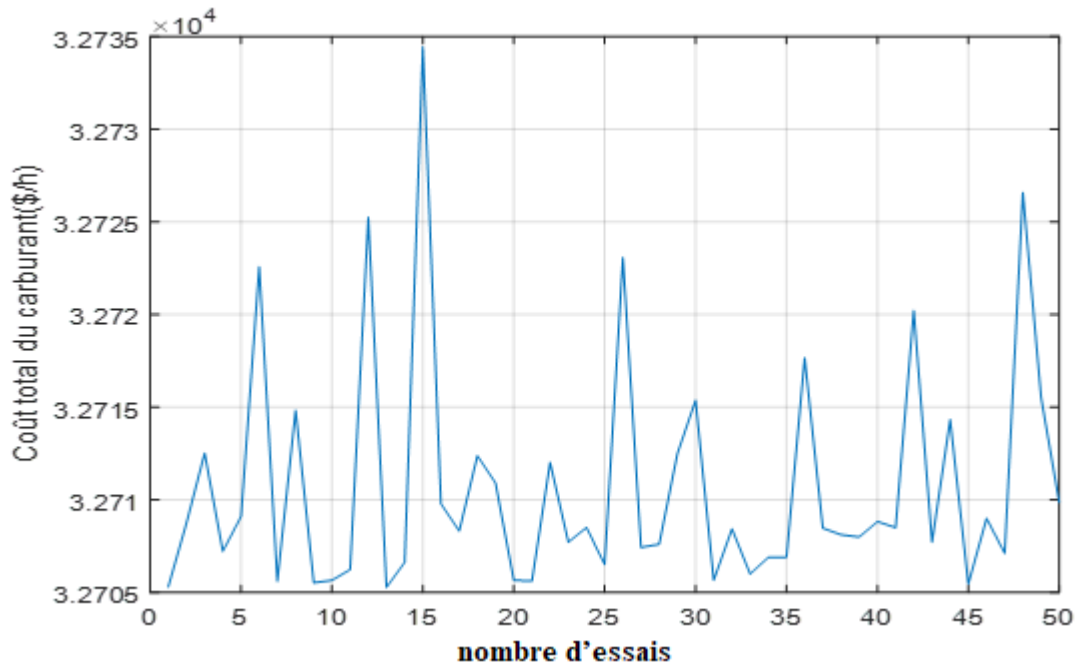


**Fig. III.6:** Caractéristique de convergence de l’algorithme MFO. Cas de système à 15 unités avec effets de rampe et avec zones interdites

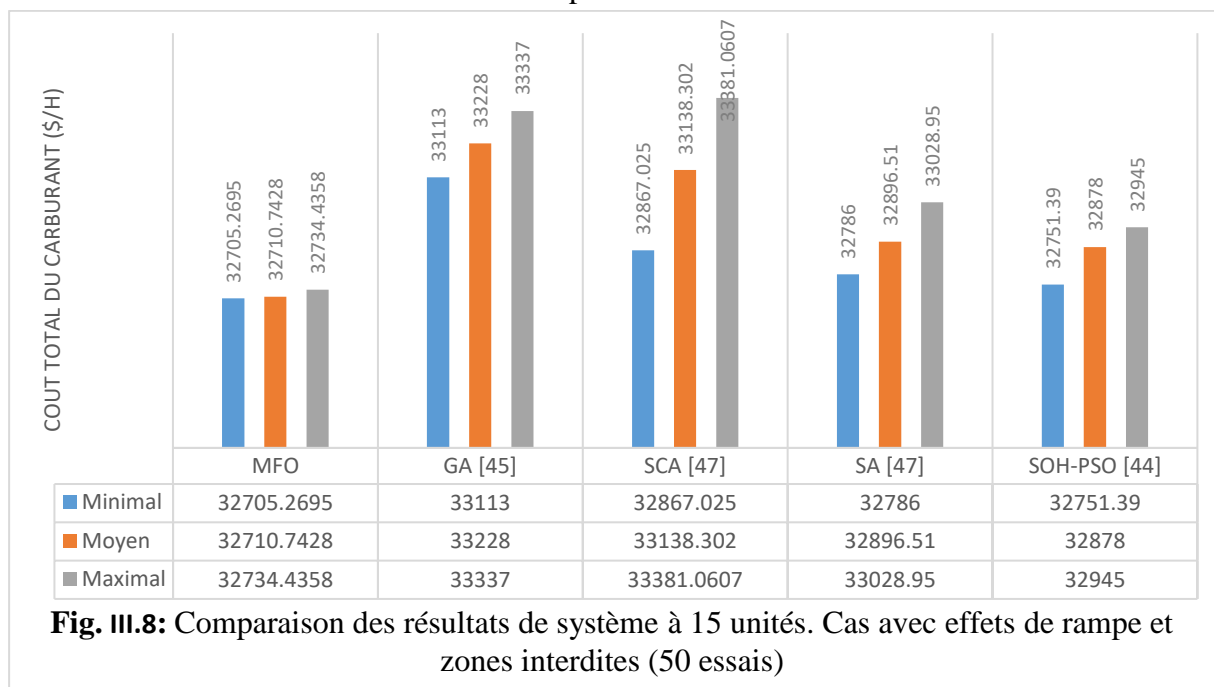
La figure (III.6. ) illustre la caractéristique de convergence de l’algorithme de mfo qui montre l’évolution de la fonction coût total du combustible (fonction objectif) en fonction des nombres des itérations. On remarque que l’algorithme mfo converge vers la meilleure solution dans un nombre des itérations 50 , donc nous notons qu’une vitesse de convergence rapide est assignée pour cette application vers la meilleure solution

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

Les analogies faites entre les méthodes : GA, SCA, SA et SOH-PSO sont illustrées sur le graphe de la figure III.7. les résultats obtenu par la méthode MFO (32705.2695 \$/h) sont meilleurs que ceux obtenus par les autres méthodes impliquées par l'étude comparative.



**Fig. III.7:** Variation du coût en fonction du nombre d'essais. Cas de système à 15 unités avec effets de rampe et avec zones interdites



**Fig. III.8:** Comparaison des résultats de système à 15 unités. Cas avec effets de rampe et zones interdites (50 essais)

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

**Tableau III.4:** Comparaison des résultats de système à 15 unités avec effets de rampe et zones interdites

Puissance générée (MW)	Méthode				
	MFO	AIS [36]	CIPSO [36]	PVHS [36]	MPSO [36]
Pg1	455	441.159	415.85	455.00	455.00
Pg2	380	409.587	411	373.82	390.81
Pg3	130	117.298	128.85	130.00	112.70
Pg4	130	131.258	126.19	130.00	124.33
Pg5	170	151.011	188.1	166.31	356.60
Pg6	460	466.258	427.7	456.54	443.31
Pg7	430	423.368	431.73	428.27	433.16
Pg8	71.5982	99.948	99.8	66.059	91.12
Pg9	59.1352	110.684	95.02	120.49	66.00
Pg10	160	100.229	117.73	146.95	30.25
PG11	80	32.057	70.87	43.22	24.14
Pg12	80	78.815	52.74	80.00	51.60
Pg13	25	23.568	27.16	27.97	45.03
PG14	15	40.258	35.76	20.95	23.30
PG15	15	36.906	26.64	16.67	15.00
Puissance totale (MW)	2660.7	2662.04	2655.16	2662.2	2662.43
Pertes totales (MW)	31.0834	32.4075	25.16	32.1	32.4
Coût total (\$/h)	32705.2695	32854.00	32745.35	32780	32780

Le tableau III.4 complète l'étude comparative des résultats avec les méthodes : AIS, CIPSO, PVHS et MPSO. Cette étude met en valeur la puissance et l'efficacité de la méthode MFO par rapport aux différentes méthodes concernées. Cet algorithme est de loin le meilleur en termes de coût optimal obtenu et de pertes (31.0834 MW).

#### III.2.3 Système de 40 unités

L'algorithme MFO est appliqué à un système test de 40 générateurs sans pertes de transmission et avec considération de l'effet de l'ouverture de vannes d'admission pour une puissance demandée totale :  $P_D = 10500 \text{ MW}$ .

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

Les paramètres de l’algorithme de la méthode MFO sont choisis comme suit:

Taille de la population :  $n = 350$

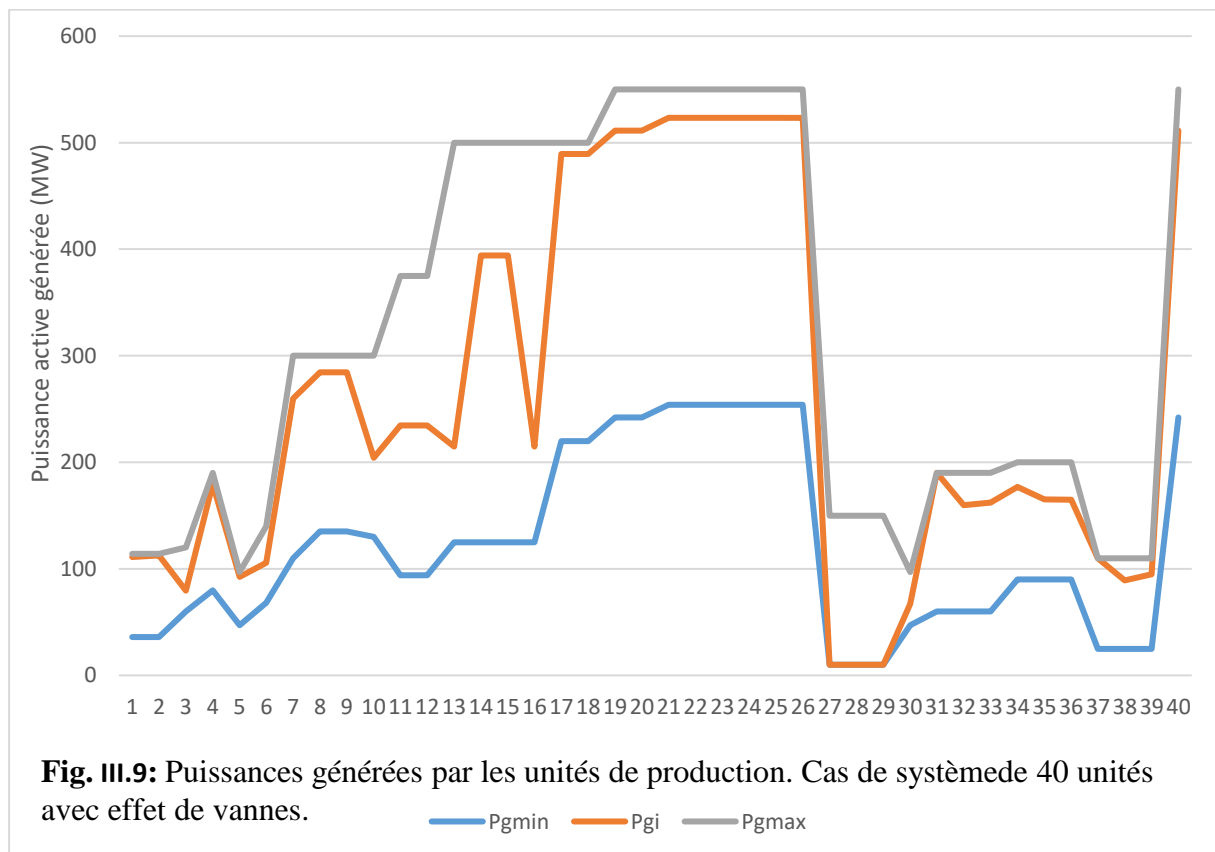
Nombre d’itérations maximal :  $Max\_it = 1200$

Les résultats de la simulation sont reportés sur le tableau III.5.

**Tableau III.5:** Résultats de système à 40 unités avec effet de vannes

Parmètres	Résultats
Puissance totale (MW)	10500
Coût total (\$/h)	122030.8770

La répartition optimale des puissances générées par les générateurs avec l’effet d’ouverture de vannes est illustrée sur le graphe de la figure III.9:. Les valeurs des puissances délivrées par les unités sont reportées sur le tableau III.6. Toutes les puissances délivrées sont dans les limites de génération admissibles. Les contraintes d’égalité et d’inégalité sont par conséquent bien respectées.



**Fig. III.9:** Puissances générées par les unités de production. Cas de système de 40 unités avec effet de vannes.

— Pgmin — Pgi — Pgmax

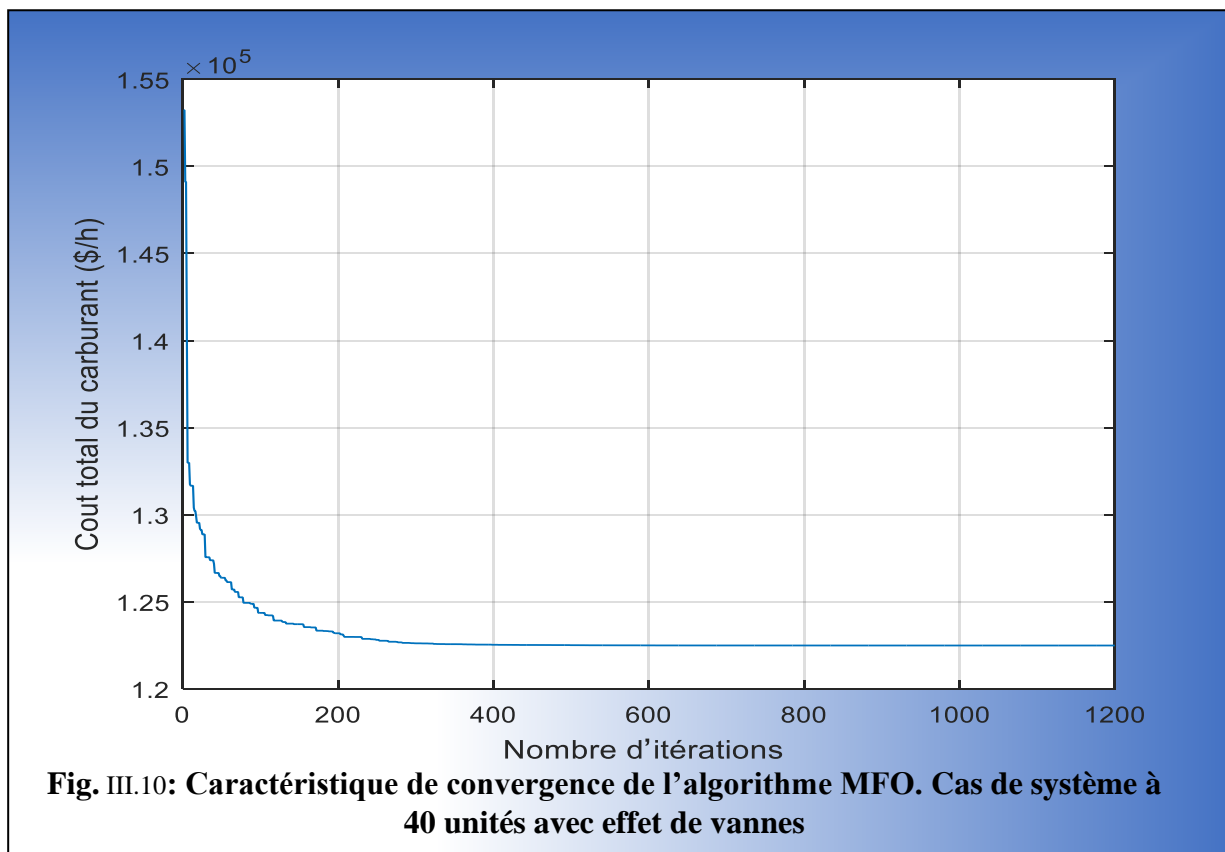
### Chapiter 03: Résultats et interprétations

**Tableau III.6:** Valeurs des puissances générées par chaque unité. Cas de système de 40 unités avec effet d'ouverture de vannes

Unité	P <sub>gmin</sub> (MW)	P <sub>gi</sub> (MW/h)	P <sub>gmax</sub> (MW)
1	36	114	114
2	36	110.8006	114
3	60	120	120
4	80	179.7336	190
5	47	87.8014	97
6	68	140	140
7	110	300	300
8	135	300	300
9	135	284.6000	300
10	130	130	300
11	94	94	375
12	94	94	375
13	125	125.0001	500
14	125	304.5194	500
15	125	484.0390	500
16	125	394.2795	500
17	220	500	500
18	220	489.2793	500
19	242	511.2782	550
20	242	511.2794	550
21	254	523.2797	550
22	254	523.2798	550
23	254	523.2798	550
24	254	550	550
25	254	523.2797	550
26	254	523.2796	550
27	10	10	150
28	10	10	150
29	10	10	150
30	47	97	97
31	60	159.9593	190

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

32	60	190	190
33	60	175.6018	190
34	90	200	200
35	90	164.8006	200
36	90	200	200
37	25	110	110
38	25	110	110
39	25	110	110
40	242	511.2795	550

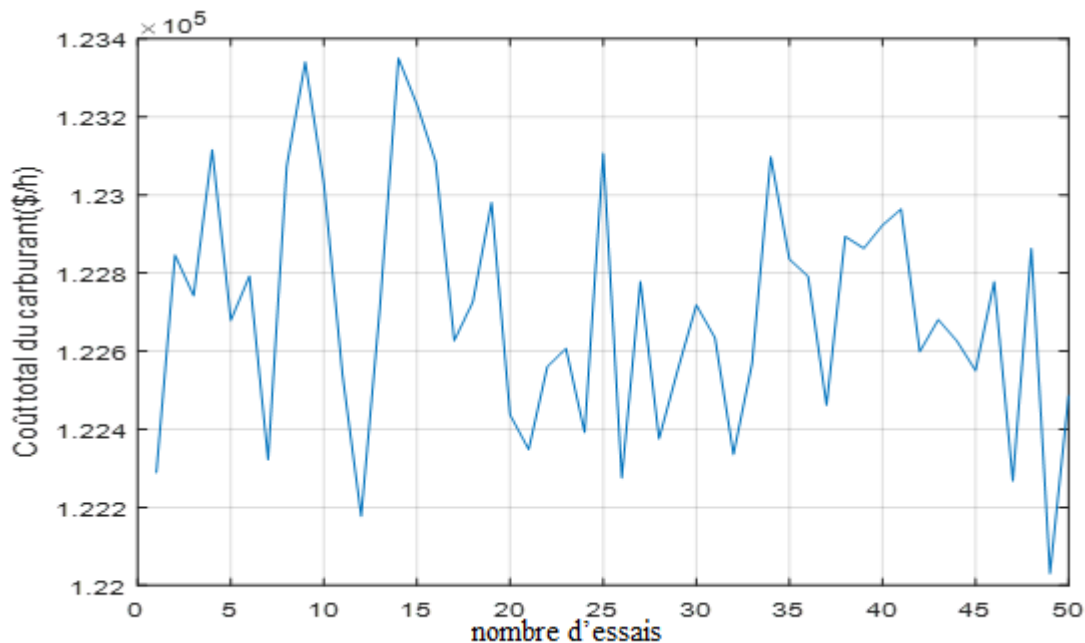


Les caractéristiques de convergence et de variation du coût par rapport au nombre d’essais sont représentées respectivement sur les figures III.10 et III.11. Les deux figures reflètent le grand pouvoir de convergence de l’algorithme (coube lisse). Le coût décroît avant même les 200 premières itérations et converge vers l’optimum global. Ce test vient renforcer les resultats des tests précédents en soulignant les capacités remarquables de convergence de la méthode MFO

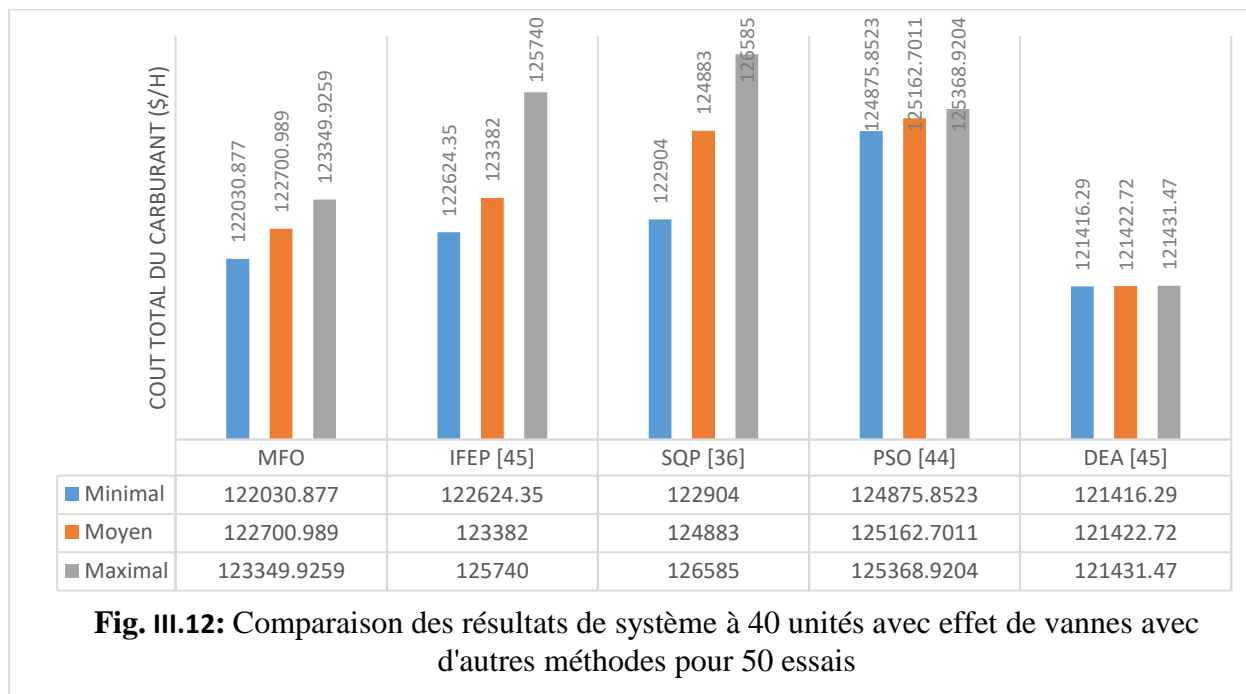


### Chapiter 03: Résultats et interprétations

Après ces intéressants résultats, nos tests se poursuivent avec des analyses de comparaison des solutions de l’algorithme avec celles obtenues par les méthodes : IFEP, SQP, PSO et DEA.



**Fig. III.11:** Variation du coût en fonction du nombre d’essais. Cas de système à 40 unités avec effet de vannes



**Fig. III.12:** Comparaison des résultats de système à 40 unités avec effet de vannes avec d'autres méthodes pour 50 essais

La figure III.12 montre que MFO donne le meilleur coût optimal estimé à (122030\$/h) par rapport à IFEP (122624 \$/h), à SQP (122904 \$/h) et à PSO (124 875 \$/h). Cependant la méthode DEA marque une légère amélioration (121416 \$/h) par rapport à MFO.

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

**Tableau III.7:** Comparaison des résultats entre différentes méthodes. Cas de système de 40 unités avec effet d'ouverture de vannes

Puissance générée (MW)	Méthode				
	MFO	SSA [36]	GA [36]	CSA [36]	IABC-LS [47]
Pg1	114	72.19	110.01	85.27	110.7992
Pg2	110.8006	113.80	110.62	104.75	110.7969
Pg3	120	120.00	116.73	65.67	97.4001
Pg4	179.7336	179.75	183.05	111.08	179.7315
Pg5	87.8014	95.63	94.66	69.05	87.7984
Pg6	140	70.85	137.43	138.08	139.9998
Pg7	300	264.46	296.88	208.82	259.5741
Pg8	300	216.33	294.89	273.38	284.5826
Pg9	284.6000	289.27	295.01	216.28	284.6011
Pg10	130	226.90	295.74	175.92	130.0000
Pg11	94	107.41	369.66	158.44	168.7834
Pg12	94	96.22	331.77	279.12	168.7491
Pg13	125.0001	484.03	384.57	484.03	125.0000
Pg14	304.5194	394.27	382.03	500.00	400.0000
Pg15	484.0390	394.27	388.40	339.54	394.2635
Pg16	394.2795	304.52	476.98	422.47	394.2708
Pg17	500	489.30	404.21	448.20	489.2788
Pg18	489.2793	489.33	380.39	486.47	489.2771
Pg19	511.2782	511.37	421.21	464.14	511.2792
Pg20	511.2794	511.28	380.86	550.00	511.2788
Pg21	523.2797	527.83	431.53	535.13	523.2792
Pg22	523.2798	523.29	379.58	448.88	523.2787
Pg23	523.2798	527.51	384.24	549.99	523.2785
Pg24	550	523.76	381.62	441.82	523.2788
Pg25	523.2797	550.00	381.52	530.62	523.2787
Pg26	523.2796	523.44	451.44	485.07	523.2789
Pg27	10	10.50	51.25	35.66	10.0000
Pg28	10	10.31	121.70	100.29	10.0000
Pg29	10	13.22	135.91	69.02	10.0000
Pg30	97	88.76	93.40	82.53	87.7980

### Chapiter 03: Résultats et interprétations

Pg31	159.9593	190	186.82	115.18	189.9904
PG32	190	182.86	185.22	109.91	190.0000
Pg33	175.6018	114.14	185.65	188.69	189.9923
Pg34	200	200	194.74	184.61	164.7944
Pg35	164.8006	169.66	193.72	175.04	164.7749
Pg36	200	129.15	194.52	108.13	164.7985
Pg37	110	98.29	106.07	55.67	109.9036
Pg38	110	81.24	101.61	89.10	109.9521
Pg39	110	92.76	105.12	97.45	109.5789
Pg40	511.2795	511.92	379.04	514.31	511.2785
Puissance total(MW)	10500	10500	-	10500	10499.9999
Coût total (\$/h)	122030.8770	122494.87	146897.13	129804.52	121488.7636

D'autres comparaisons sont effectuées et sont regroupées dans le tableau III.7. L'algorithme MFO produit le meilleur résultat avec un cout total de 122358.8672 \$/h que les méthodes : SSA (122494.87 \$/h), GA(146897.13 \$/h) et CSA (129804.52 \$/h). Cependant la méthode IABC-LS (121488.7636 \$/h) fournit le meilleur résultat.

### Conclusion

Dans ce chapitre, l'algorithme MFO a été appliqué à la résolution du problème du Dispatching Economique (DE). Trois systèmes de test 06 unités, 15-unités et 40-unités ont fait l'objet de cette application. Les capacités de convergence et de respect de contraintes ont été également testés en réalisant diverses simulations selon le plan d'expérimentation suivant :

D'abord, le système à six unités est testé avec considération d'effets de rampe et de zones interdites, et à chaque fois la capacité de convergence et de respect des contraintes d'égalité et d'inégalité de l'algorithme est évaluée, puis les résultats obtenus sont comparés avec ceux d'autres méthodes, pour 50 essais, tirés de la bibliographie. Ensuite la même simulation est appliquée avec un système de 15 unités. Enfin, un système de 40 unités est considéré en intégrant l'effet d'ouverture de vannes d'admission.

L'analyse des différents résultats obtenus fait ressortir des caractéristiques intéressantes de l'algorithme MFO liées à sa robustesse et son efficacité :

### **Chapiter 03: Résultats et interprétations**

- MFO possède une grande capacité de convergence mis en valeur par les différentes caractéristiques de convergence obtenues (courbe lisse). La fonction de coût totale décroît rapidement et converge vers l'optimum global en un nombre réduit d'itérations.
- Les contraintes d'égalité et d'inégalité sont respectées avec précision.
- Les effets de rampe et de zones interdites se distinguent par une légère augmentation de coût total.
- Les études compratives effectuées avec d'autres algorithmes pour 50 essais, relèvent dans la majorité des cas la supériorité de l'outil d'optimisation MFO que ce soit en termes de coût optimal ou en termes de pertes de transmission.

## Conclusion générale

La répartition économique d'énergie électrique, ou le dispatching économique est un secteur essentiel dans les réseaux électriques où on doit générer moins d'énergie pour la même demande en diminuant les pertes linéiques, avec une bonne gestion économique pour avoir le moindre coût du KWH possible.

La complexité du problème d'optimisation de l'écoulement de puissance avec l'apparition de nouvelles contraintes fait en sorte appel aux méthodes d'optimisation stochastique pour rendre la résolution du dispatching économique meilleur ; compte tenu du manque de flexibilité des méthodes classiques

Dans ce travail nous avons présenté une étude traitant le problème du dispatching économique avec méthode l'intelligence artificielle à savoir Algorithme d'optimisation de la flamme papillon (MFO) ou plus précisément les réseaux de neurones artificiels.

Pour l'application des Algorithmes d'optimisation de la flamme papillon (MFO) au problème de dispatching économique, on a passé d'abord par l'étude de l'écoulement de puissance où on a établi des programmes sous environnement Matlab qui nous a permis de calculer les différentes grandeurs d'un réseau électrique (tension de jeux de barres et leurs phases ,les puissances générées, les pertes dans les lignes ...etc). Pour réaliser ce calcul, on a utilisé la méthode de Newton- Raphson qui est une méthode plus adaptée et elle montre bien son efficacité pour la convergence et le nombre réduit des itérations pour atteindre la solution. Les résultats de calcul de l'écoulement de puissance ont été exploités pour déterminer l'expression des pertes en utilisant la méthode des B-coefficients.

Dans ce travail utilisé une nouvelle technique d'optimisation récemment développée concerne spécifiquement l'optimisation par Algorithmes d'optimisation de la flamme papillon (MFO) a été appliquée et testé dans ce travail pour résoudre le problème de DE. La notion d'écosystème naturel, l'inspiration de l'algorithme d'optimisation et les fondements mathématiques ont été traité avec soin dans ce mémoire. A travers l'application de l'algorithme MFO au DE, la capacité de la convergence, le traitement des problèmes de DE complexes et la capacité de recherche (d'exploitation et d'exploration) ont été évaluées considérant les systèmes de test 06-unités, 15-unités et 40 unités, en ajoutant les contraintes pratiques telles que les pertes actives de transmission, effets de rampe, de zones interdites et d'ouverture de vannes. Les résultats obtenus ont été ensuite comparés à ceux obtenus par des méthodes antérieures.

Nous espérons que le résultat de notre travail sera utile pour les prochaines recherches en vue d'aboutir à une meilleure maîtrise de cette technique.

L'optimisation des réseaux électriques restera toujours un domaine de recherche à la portée des électrotechniciens et toutes personnes spécialisées dans le domaine génie électrique. Comme perspective de ce travail on propose d'utiliser d'autres méthodes d'optimisation pour d'éventuelles comparaisons et amélioration des résultats

## Références Bibliographiques :

- [NAI 16] D.NAIMII , " ANALYSE DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES", Université Mohamed Khider Biskra 2016
- [CLA 07] J.Claude sabonnadiere, « lignes et réseaux électriques 1 », Lavoisier, 2007
- [KHA 13] O.KHAMED "Dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les méthodes méta-heuristique" Université Mohamed Khider Biskra 2013
- [HAM 16] F.Hamoudi, « Réseaux De Transport Et De Distribution Electrique”, Université De Bejaïa)
- [THI 11] T.VAN CUTSEM, "Analyse et fonctionnement des systèmes d'énergie électrique", Notes du cours ELEC 0029, Université de liège, janvier 2011
- [GYU 00] L.GYUGYI, "Application caractéristiques of converter-based FACTS controllers", IEEE Press, 2000.].
- [HAI 09] R.HAIMOUR "Contrôle des Puissances Réactives et des Tensions par les Dispositifs FACTS dans un Réseau Electrique" Mémoire de Magister en Electrotechnique Université d'Oran 2008,2009]:
- [DEL 09] L.DELENDI, "Contrôle de l'écoulement de puissance active par un système FACTS ", Mémoire deMagister en Electrotechnique Université de Batna, 25juine 2009
- [WA 56] Ward, J.B. and Hale, H.W., "Digital Computer Solution of Power Flow Problems". Trans.Am.Inst.Elect.Eng., Part 3 75 398-404, 1956
- [GOU 83] , A.Gourdin & M.Boumahrat" Méthodes numériques appliqués" Office des publications universitaires ,1983.
- [GRA 03] M. Crappe, "Commande et regulation des réseaux électriques", Lavoisier 2003
- [ESC 97] J.M. Escane, " Réseaux d'énergie électrique – Modélisation : Lignes, Câbles, Eyrolles", Paris 1997.
- [BEN 07] R.BENABID, « optimisation multiobjectif de la Synthèse des FACTS par lesparticules en essaim pour le contrôle de la stabilité de tensiondes réseaux Electriques », thèse de magister de l'université Amar Telidji, Laghouat, 04 septembre 2007.
- [ALA 01] A.Berro,«optimisation multiobjectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique», thèse de doctoratde l'université des Sciences Sociales Toulouse 1, 18 décembre 2001.
- [AVI 06] S.Luciano AVILA, « optimisation multiobjectif et analyse de sensibilité appliquées à la conception de dispositifs », thèse de doctorat del'école Centrale de Lyon,23 février 2006.
- [TEG 11 ] T.ilyes et D. abdeslam ( optimisation multiobjectif a base des algorithmes génétiques sur un réseau électrique ) , Université de M ed khider Biskra, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en réseaux électriques une. Promotion Juin 2011.
- [ASS 07] A.ASSADI-HAGHI, « Contribution au développement de méthodes d'optimisationstructurelle pour la conception assistée par ordinateur de composants et de circuits hyperfréquences », thèse de doctorat de l'universitéLimogesEcole Doctorale Sciences Technologie Sante, 27 Mars 2007.

- [ZEG 13]** S.Zeggar, Dispatching économique d'énergie électrique par essaims de particules et algorithmes génétiques, mémoire de master, université constantine 1, 2013
- [MES 13]** A. MESSAOUDI, "Application de la Programmation Orientée Objet et des Méthodes Heuristiques à l'Optimisation de l'Écoulement de Puissance", thèse de Doctorat, Université de Batna, 2013
- [SIT 11]** A.SI TAYEB , "Méta heuristiques pour l'optimisation des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique" Mémoire de Magister, Université-Oran, 2011
- [BEL 17]** I.BELGANDI. R. MEDJBER, "Application de la méthode (simulated Annealing) pour le calcul du dispatching économique", Mémoire de Master, Université Tahar Moulay-Saïda, 2017
- [ELA 18]** F. ELATRECH KRATIMA, "Contribution à l'application de la théorie des jeux coopératifs à l'écoulement des puissances optimales dans un environnement de l'électricité dérégulé", Thèse de Doctorat de l'université DJILLALI LIABES-Sidi BelAbbès, 2018.
- [NES 18]** D. NESRAT, E. SOLTANI, "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
- [MIR 15]** S.Mirjalili, "Moth-Flame Optimization Algorithm: A Novel Nature-inspired Heuristic Paradigm", Knowledge-Based Systems, Vol. 89, pp. 228–249. 2015
- [BEN 6]** B,Bentouati, L.Chaib, and S.Chettih.' 'Optimal Power Flow using the Moth Flam Optimizer: A Case Study of the Algerian Power System', Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol. 1, No.3, pp. 431–445. 2016
- [BOU 21]** I.BOUBECHAL "Contribution à la Parallélisation des Algorithmiques Evolutionnaires Appliqués au Traitement de Données Multimédia "Doctorat LMD en Informatique Université de Batna 2
- [MIH 21]** M.MIHOUBI " Une métaheuristique hybride pour le problème d'optimisation dans les réseaux de capteurs sans fils"Thèse de Doctorat en Sciences . Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès
- [ADA 16]** B.ADARSH, T. RAGHUNATHAN, T. JAYABARATHI, X-S YANG, "Economic Dispatch using chaotic bat algorithm", Energy, 2016.
- [ZIA 18]** I. ZIANE, "contribution à l'application de l'optimisation multi-objective par la méthode de recuit simulé au dispatching dynamique", Thèse de Doctorat, Université DJILLALI LIABES-Sidi-Bel-Abbès, 2018.
- [MES 13]** A. MESSAOUDI, "Application de la Programmation Orientée Objet et des Méthodes Heuristiques à l'Optimisation de l'Écoulement de Puissance", thèse de Doctorat de l'université de Batna, 2013.
- [GAN 11]** S. GANESAN, S. SUBRAMANIAN, "Dynamic Economic Dispatch Based on Simple Algorithm", International journal of computer and electrical engineering, volume: Three, issue NR 2, 2011



## Annexe

### Annexe A1 : Données de système test de 6 unités

Unité	Coefficients du coût			Puissances limites		UR (MW/h)	DR (MW/h)	P0 (MW)
	a	b	c	$P_{max}$ (MW)	$P_{min}$ (MW)			
1	240	7	0.0070	500	100	80	120	440
2	200	10	0.0095	200	80	50	90	170
3	220	8.5	0.0090	300	50	65	100	200
4	200	11	0.0090	150	50	50	90	150
5	220	10	0.0080	200	50	50	90	190
6	190	12	0.0075	120	50	50	90	110

Zones interdites		
Unité	Zone-I (MW)	Zone-II (MW)
1	[210-240]	[350-380]
2	[90-110]	[140-160]
3	[150-170]	[210-240]
4	[80-90]	[110-120]
5	[90-110]	[140-150]
6	[75-85]	[100-105]

```

Bij=[0.0017  0.0012  0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002;...
0.0012  0.0014  0.0009  0.0001 -0.0006 -0.0001;...
0.0007  0.0009  0.0031  0.0000 -0.0010 -0.0006;...
-0.0001  0.0001  0.0000  0.0024 -0.0006 -0.0008;...
-0.0005 -0.0006 -0.0010 -0.0006  0.0129 -0.0002;...
-0.0002 -0.0001 -0.0006 -0.0008 -0.0002  0.0150];

```

```

Boi=1e-3*[-0.3908 -0.1297 0.7047 0.0591 0.2161 -0.6635];
Boo=0.056;

```

## Annexe

### Annexe A2 : Données de système test de 15 unités

Unité	Coefficients du coût			Puissances limites		DR (MW/h)	UR (MW/h)	P0 (MW)
	a	b	c	$P_{max}$ (MW)	$P_{min}$ (MW)			
1	670	10.1	0.000299	455	150	120	80	300
2	574	10.2	0.000183	455	150	130	130	105
3	374	8.8	0.001126	130	20	130	130	100
4	374	8.8	0.001126	130	20	120	80	90
5	461	10.4	0.000205	470	150	120	80	400
6	630	10.1	0.000301	460	135	120	80	350
7	548	9.8	0.000364	465	135	100	65	95
8	227	11.2	0.000338	300	60	100	60	105
9	173	11.2	0.000807	162	25	100	60	110
10	175	10.7	0.001203	160	25	80	80	60
11	186	10.2	0.003586	80	20	80	80	40
12	230	9.9	0.005513	80	20	80	80	30
13	225	13.1	0.000371	85	25	55	55	20
14	309	12.1	0.00199	55	15	55	55	20
15	323	12.4	0.004447	55	15	120	80	400

Zones interdites			
Unité	Zone-I (MW)	Zone-II (MW)	Zone-III (MW)
2	[185-225]	[305-335]	[420-450]
5	[180-200]	[305-335]	[390-420]
6	[230-255]	[365-395]	[430-455]
12	[30-40]	[55-65]	-

$B_{ij}=1e-3*$  [ 1.4 1.2 0.7 -0.1 -0.3 -0.1 -0.1 -0.1 -0.3 0.5 -0.3 -0.2 0.4  
 0.3 -0.1;  
 1.2 1.5 1.3 0.0 -0.5 -0.2 0.0 0.1 -0.2 -0.4 -0.4 0.0 0.4 1.0 -0.2;  
 0.7 1.3 7.6 -0.1 -1.3 -0.9 -0.1 0.0 -0.8 -1.2 -1.7 0.0 -2.6 11.1 -2.8;  
 -0.1 0.0 -0.1 3.4 -0.7 -0.4 1.1 5.0 2.9 3.2 -1.1 0.0 0.1  
 0.1 -2.6;  
 -0.3 -0.5 -1.3 -0.7 9.0 1.4 -0.3 -1.2 -1.0 -1.3 0.7 -0.2 -0.2  
 -2.4 -0.3;  
 -0.1 -0.2 -0.9 -0.4 1.4 1.6 0.0 -0.6 -0.5 -0.8 1.1 -0.1 -0.2  
 1.7 0.3;  
 -0.1 0.0 -0.1 1.1 -0.3 0.0 1.5 1.7 1.5 0.9 -0.5 0.7 0.0  
 -0.2 -0.8;  
 -0.1 0.1 0.0 5.0 -1.2 -0.6 1.7 16.8 8.2 7.9 -2.3 -3.6 0.1  
 0.5 -7.8;  
 -0.3 -0.2 -0.8 2.9 -1.0 -0.5 1.5 8.2 12.9 11.6 -2.1 -2.5 0.7  
 -1.2 -7.2;  
 -0.5 -0.4 -1.2 3.2 -1.3 -0.8 0.9 7.9 11.6 20.0 -2.7 -3.4 0.9  
 -1.1 -8.8;  
 -0.3 -0.4 -1.7 -1.1 0.7 1.1 -0.5 -2.3 -2.1 -2.7 14.0 0.1 0.4  
 -3.8 16.8;  
 -0.2 0.0 0.0 0.0 -0.2 -0.1 0.7 -3.6 -2.5 -3.4 0.1 5.4 -0.1  
 -0.4 2.8;  
 0.4 0.4 -2.6 0.1 -0.2 -0.2 0.0 0.1 0.7 0.9 0.4 -0.1 10.3 -10.1 2.8;

## Annexe

```
0.3  1.0 11.1  0.1 -2.4 -1.7 -0.2  0.5 -1.2 -1.1 -3.8 -0.4 -10.1 57.8 -  
9.4;  
      -0.1 -0.2 -2.8 -2.6 -0.3 0.3 -0.8 -7.8 -7.2 -8.8 16.8 2.8 2.8 -  
9.4 128.3];  
  
      Boi=1e-3*[ -0.1 -0.2 2.8 -0.1 0.1 -0.3 -0.2 -0.2 0.6 3.9 -1.7 0.0 -3.2  
6.7 -6.4];  
      Boo=0.0055;
```

## Annexe

### Annexe A3 : Données de système test de 40 unités

Unité	Coefficients du coût			Puissances limites		d	e
	a	b	c	$P_{max}$ (MW)	$P_{min}$ (MW)		
1	94.705	6.73	0.00690	114	36	100	0.084
2	94.705	6.73	0.00690	114	36	100	0.084
3	309.54	7.07	0.02028	120	60	100	0.084
4	369.03	8.18	0.00942	190	80	150	0.063
5	148.89	5.35	0.01140	97	47	120	0.077
6	222.33	8.05	0.01142	140	68	100	0.084
7	278.71	8.03	0.00357	300	110	200	0.042
8	391.98	6.99	0.00492	300	135	200	0.042
9	455.76	6.60	0.00573	300	135	200	0.042
10	722.82	12.9	0.00605	300	130	200	0.042
11	635.20	12.9	0.00515	375	94	200	0.042
12	654.69	12.8	0.00569	375	94	200	0.042
13	913.40	12.5	0.00421	500	125	300	0.035
14	1760.4	8.84	0.00752	500	125	300	0.035
15	1728.3	9.15	0.00708	500	125	300	0.035
16	1728.3	9.15	0.00708	500	125	300	0.035
17	647.85	7.97	0.00313	500	220	300	0.035
18	649.69	7.95	0.00313	500	220	300	0.035
19	647.83	7.97	0.00313	550	242	300	0.035
20	647.81	7.97	0.00313	550	242	300	0.035
21	785.96	6.63	0.00298	550	254	300	0.035
22	785.96	6.63	0.00298	550	254	300	0.035
23	794.53	6.66	0.00284	550	254	300	0.035
24	794.53	6.66	0.00284	550	254	300	0.035
25	801.32	7.10	0.00277	550	254	300	0.035
26	801.32	7.10	0.00277	550	254	300	0.035
27	1055.1	3.33	0.52124	150	10	120	0.077
28	1055.1	3.33	0.52124	150	10	120	0.077
29	1055.1	3.33	0.52124	150	10	120	0.077
30	148.89	5.35	0.01140	97	47	120	0.077
31	222.92	6.43	0.00160	190	60	150	0.063
32	222.92	6.43	0.00160	190	60	150	0.063
33	222.92	6.43	0.00160	190	60	150	0.063
34	107.87	8.62	0.00010	200	90	200	0.042
35	116.58	8.62	0.00010	200	90	200	0.042
36	116.58	8.62	0.00010	200	90	200	0.042
37	307.45	5.88	0.01610	110	25	80	0.98
38	307.45	5.88	0.01610	110	25	80	0.98
39	307.45	5.88	0.01610	110	25	80	0.098
40	647.83	7.97	0.00313	550	242	300	0.035