



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseaux Electriques

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Laimeche Abdallah

Le : mardi 24 avril 2018

APPLICATION DE L'ALGORITHME DES ESSAIMS DE SALPES AU DISPATCHING ECONOMIQUE

Jury :

Mme	Laala Widad	MCB	Université de Biskra	Président
Mr	Salhi Ahmed	MCB	Université de Biskra	Encadreur
Mr	Rouina Abdelhafidh	MCA	Université de Biskra	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث 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 : Réseaux Electriques

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

MASTER

Thème

**APPLICATION DE L'ALGORITHME
DES ESSAIMS DE SALPES AU DISPATCHING
ECONOMIQUE**

Présenté par :

Laimeche Abdallah

Avis favorable de l'encadreur :

Mr SALHI Ahmed

Avis favorable du Président du Jury

Mme Laala Widad

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseaux Electriques

Thème :

APPLICATION DE L'ALGORITHME DES ESSAIMS DE SALPES AU DISPATCHING ECONOMIQUE

Proposé par : SALHI Ahmed

Dirigé par : Laimeche Abdallah

RÉSUMÉ

Dans ce mémoire, on traite la résolution du problème de dispatching économique en aboutissant à une répartition optimale de l'énergie produite à partir des centrales électriques afin de trouver un cout total optimal de génération tout en satisfaisant leurs contraintes pratiques de fonctionnement telles que l'effet de rampe et l'effet d'ouverture des vannes d'admission. Pour cela nous avons proposé pour résoudre ce problème une nouvelle méthode récemment développée, basée sur l'intelligence artificielle et appelée l'algorithme des essaims de salpes (SSA) où sa performance a été testée et vérifiée en utilisant les fameux réseaux électriques de test 6,15 et 40 unités.

Les mots clés: dispatching économique, contraintes pratiques, l'effet d'ouverture des vannes, l'effet de rampe, l'intelligence artificielle.

ملخص

في هذا البحث نعالج حل إشكالية التوزيع الاقتصادي للطاقة الكهربائية التي تقود الى توزيع أمثل للطاقة المنتجة انطلاقا من وحدات الإنتاج الكهربائية بغية إيجاد ثمن الإنتاج الأمثل وذلك مع مراعاة القيود العملية للتشغيل كقيد التغيرات الديناميكية للإستطاعة الكهربائية المطلوبة و قيد فتح الصمامات. لهذا الغرض اقترحنا طريقة جديدة مكتشفة مسبقا تعتمد على تقنية الذكاء الاصطناعي و التي تدعى خوارزمية سرب السالبيات حيث قمنا باختبارها و اثبات فعاليتها باستخدام الشبكات الكهربائية التجريبية المشهورة 6, 15, 40 وحدة .

الكلمات المفتاحية : التوزيع الاقتصادي, المعوقات العملية, أثر فتح الصمامات التغيرات الديناميكية للإستطاعة الكهربائية المطلوبة, تقنية الذكاء الاصطناعي.

DÉDICACE

Je dédie ce travail: à mes très chers frères et sœurs, à ma famille, à tous mes amis et collègues, à tous ceux qui m'ont aidé à finir ce mémoire.

Laimeche abdallah.

REMERCIEMENT

Avant tout louange à Allah de m'avoir donné le courage, la force, la volonté et la patience durant le cursus universitaire.

Je tiens à remercier avec gratitude mon enseignant encadreur Mr.Salhi Ahmed d'avoir dirigé ce travail avec beaucoup d'intérêt et de patience ainsi que pour ses précieux conseils et ses apports appréciés en souhaitant que ce travail soit à la hauteur de ses espérances.

J'exprime aussi ma gratitude à tous les enseignants qui nous ont permis d'accroître notre niveau de connaissances et notre capacité d'analyse particulièrement Mr. Naimi Djemai,Mr.Mehdad Belkacem,Mr.Rouina Abdelhafid. Mme. Laala Widad, Mme .Becha Habiba

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements aux membres de ma famille qui m'ont toujours soutenue et encouragée pendant toute la durée de mes études.

Liste des Tableaux

N°	Titres	Page
I.1	La répartition de la production par type des centrales	7
V.1	les résultats de simulation de réseau électrique 6 générateurs	56
V.2	la répartition optimale des puissances générées par chaque centrale	56
V.3	comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (cas de 6 unités)	58
V.4	comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes (cas de 6 unités)	59
V.5	les résultats de simulation de réseau électrique (15 générateurs- cas 01-)	61
V.6	la répartition optimale des puissances générées par chaque centrale (15 générateurs- cas 01-)	61
V.7	comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (15 unités- cas 01-)	63
V.8	comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes (15 unités –cas 01-)	63
V.9	les résultats de simulation de réseau électrique 15 générateurs - cas 02-	65
V.10	la répartition optimale des puissances générées par chaque centrale (15 unités- cas 02-)	66
V.11	comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (15 unités- cas 01-)	67
V.12	comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes (15 unités- cas 02-)	68
V.13	les résultats de simulation de réseau électrique 40 générateurs en considération l'effet de l'ouverture des vannes	69
V.14	La répartition optimale des puissances générées par chaque centrale (40 unités avec l'effet d'ouverture les vannes)	70
V.15	comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (cas de 40 unités Avec considération l'effet de l'ouverture des vannes)	73
V.16	comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes pour un system de 40 unités en considération l'effet de l'ouverture des vannes	73
A.1	Les données du réseau électrique comportant 6 générateurs	78

A.2	Les données du réseau électrique comportant 15 générateurs	79
A.3	Les données du réseau électrique comportant 40 générateurs	81

Liste des Figures

N°	Titres	Page
I.1	les différentes étapes (production, transport, distribution, consommation)	6
I.2	les sources d'énergie	6
I.3	Réseau radial	9
I.4	Réseau bouclé	10
I.5	Réseau maillé	10
I.6	L'évolution de la longueur du réseau transport Période : 2000-2011	11
I.7	L'évolution de la longueur du réseau de distribution électrique	12
I.8	L'évolution du réseau de distribution électrique 2012-2022	12
I.9	La consommation d'électricité (KWh)	15
I.10	Modèle de marche «Poolco »	16
II.1	Caractéristique entrée-sortie d'une unité de production	20
II.2	Courbe typique de l'accroissement du coût de combustible	21
II.3	Courbe de coût d'une unité thermique alimentée par trois types de combustible	22
II.4	Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec des zones de fonctionnements prohibées	23
II.5	Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec trois vannes d'admission de vapeur	24
II.6	Structure générale du problème de dispatching économique	25
III.1	Eléments indispensable	31
III.2	schéma de Classification des méthodes d'optimisation	32
III.3	Minimum local et minimum global	34
III.4	Représentation simplifiée d'une approche métaheuristique	35
III.5	classification des métaheuristicques	35
III.6	L'Algorithme Génétique	39
III.7	Les boids de Reynolds	40
III.8	Le voisinage local d'un boid	41

III.9	Les trois règles trouvées par Reynolds pour programmer des mouvements collectifs complexes	41
IV.1	Salpe individuel	44
IV.2	Salpe individuel, (b) essaim de salpes (chaîne salpêtre)	45
IV.3	Essaim de salpes (chaîne salpêtre)	45
IV.4	Faire glisser le mouvement de la chaîne autour d'une source fixe de nourriture dans un espace	48
IV.5	Rechercher l'historique des sources de nourriture stationnaires et mobiles dans un espace 2D après 100 itérations	49
IV.6	Faire glisser le mouvement de la chaîne autour d'une source fixe de nourriture dans un espace 3D	50
IV.7	Rechercher l'historique des sources de nourriture stationnaires et mobiles dans un espace 3D après 100 itérations	50
IV.8	Organigramme de l'algorithme SSA pour l'optimisation	52
V.1	la vérification des limites des puissances générées réparties d'une façon optimale	56
V.2	la caractéristique de convergence de l'algorithme SSA pour un réseau de 6 générateurs	57
V.3	Variation de cout optimal pour 50 essais d'un system de 06 unités	57
V.4	la vérification des limites des puissances générées réparties d'une façon optimale (15 générateurs- cas 01-)	61
V.5	la caractéristique de convergence de l'algorithme SSA pour un réseau de 15 générateurs- cas 01-	62
V.6	Variation de cout optimal pour 50 essais d'un system de 15 unités-cas 01-	62
V.7	la vérification des limites des puissances générées réparties d'une façon optimale (15 unités-cas 02-)	65
V.8	la caractéristique de convergence de l'algorithme SSA pour un réseau de 15 générateurs-cas 2-	66
V.9	Variation de cout optimal pour 50 essais d'un system de 15 unités- cas 02 -	67

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Symboles

C	La fonction du coût de production
P_{Gi}	La puissance active générée par générateur i
a_i, b_i, c_i	Les coefficients du coût quadratique de générateur i
d_i, e_i	Les coefficients du coût avec effet de l'ouverture des vannes de générateur i
n_g	le nombre des générateurs
P_D	la puissance demandée
P_{pe}	les pertes de transmission
$\$/h$	Dollar par heure
Kg/h	kilo gramme par heure
NJ	le nombre de jeux de barre
P_{Gi}^{min}	La puissance active générée minimale de générateur i
P_{Gi}^{max}	La puissance active générée maximale de générateur i
Q_{Gi}	La puissance réactive générée de générateur i
Q_{Gi}^{min}	La puissance réactive générée minimale de générateur i
Q_{Gi}^{max}	La puissance réactive générée maximale de générateur i
$h(x)$	Les contraintes d'inégalité
$g(x)$	Les contraintes d'égalité
B_{ij}	les coefficients des Pertes
S	Puissance apparente.
t	Temps

Abréviations

HT	Haute Tension.
RTE	Réseau de Transport Electrique.
KW	Kilo Watt
KWh	Kilo Watt par heure
MW	Méga Watt
VAR	Volt Ampère Réactive
MVAR	Méga Volt Ampère Réactive
SSA	Algorithme des essais des salpes
p.u	Grandeur en unité relative.
N-R	Newton-Raphson.
EP	Ecoulement de Puissance.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Enginners.

Titres	Page
Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Liste des tableaux.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des Symboles et Acronymes.....	V
Résumé.....	VI
Sommaire.....	VII
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LES RESEAUX ÉLECTRIQUES

I.1. Introduction.....	5
I.2. Généralité sur les réseaux électriques.....	5
I.2.1. Production d'énergie électrique.....	6
I.2.1.1. La production en Algérie.....	7
I.2.2. Classification des réseaux d'énergie électrique.....	7
I.2.3. La structure du réseau de transport en Algérie.....	10
I.2.4. La distribution de l'électricité en Algérie.....	11
I.2.5. La tenue de tension.....	13
I.2.6. La tenue de fréquence.....	13
I.2.7. La consommation.....	13
I.2.7.1. Fluctuations de la consommation.....	14
I.2.7.2. La consommation en Algérie.....	14
I.2.8. Marché de l'énergie électrique.....	15
I.2.8.1. Libération des marches de l'énergie électrique.....	15
I.2.9. Equilibre du système électrique.....	16
I.3. Conclusion.....	17

CHAPITRE II

LE PROBLÈME DE DISPATCHING ÉCONOMIQUE

II.1. Introduction.....	19
II.2. Objectif de dispatching économique.....	19
II.3. La Fonction objectif.....	19
II.4. Modélisation des caractéristiques entrée – sortie des générateurs.....	19
II.5. L'accroissement du coût de combustible	21
II.6. Les Contraintes pratiques des centrales électriques.....	21
II.6.1. Caractéristique avec plusieurs types de combustibles.....	21
II.6.2. Contrainte des zones de fonctionnement interdites	22
II.6.3. Contraintes d'effets d'ouverture des vannes.....	23
II.6.4. Contraintes due à l'effet rampe.....	24
II.7. Formulation du problème de dispatching économique.....	25
II.7.1. Dispatching économique statique.....	26
II.7.1.1. Fonction objective du cout.....	26
II.7.1.2. Contraintes d'égalité.....	26
II.7.1.3. Contrainte d'inégalité.....	26
II.7.1.4. Formulation mathématique du problème de dispatching économique Statique.....	26
II.7.2. Dispatching économique sans pertes.....	27
II.7.3. Dispatching économique avec pertes	27
II.7.4. Dispatching économique dynamique.....	28
II.7.4.1. Formulation mathématique du problème de dispatching économique dynamique.....	28
II.8. Conclusion.....	28

CHAPITRE III

RÉSOLUTION DU PROBLÈME DE DISPATCHING ÉCONOMIQUE

III.1. Introduction.....	31
III.2. Les éléments d'optimisation.....	31
III.3. Classification de méthodes d'optimisation.....	32
III.3.1. Les méthodes d'optimisation mathématique (exacte).....	33
III.3.2. Les méthodes d'optimisation approchées.....	33
III.3.2.1. Les méthodes Heuristiques.....	34
III.3.2.2. Les méthodes Métaheuristiques.....	34
III.4. Classification des méthodes Métaheuristiques.....	35
III.4.1. Les métaheuristiques à base de solution unique.....	36
III.4.2. Les métaheuristiques à base de population de solutions.....	36
III.4.2.1. Les algorithmes évolutionnaires.....	37
III.4.2.2. Les algorithmes d'intelligence des essais.....	37
III.5.3. Les méthodes hybrides.....	38
III.6. Les algorithmes génétiques(AG).....	38
III.6.1 Analogie avec l'évolution naturelle.....	38
III.6.2 Principe de base d'un Algorithme Génétique.....	39
III.7. Algorithmes à essais de particules.....	40
III.8. Conclusion.....	42

CHAPITRE IV

ALGORITHME DES ESSAIMS DE SALPES (SSA)

IV.1. Introduction.....	44
IV.2. Généralité sur le comportement des salpes.....	44
IV.3. L'algorithme de recherche des salpes utilisé dans l'optimisation.....	45

IV.4. Modèle mathématique proposé pour le déplacement des chaînes de salpe.....	46
IV.5. Simulation d'essai	47
IV.6. L'algorithme de programme SSA.....	51
4.6.1. Organigramme de l'algorithme SSA pour l'optimisation.....	52
IV.7. Conclusion.....	53

CHAPITRE V

RÉSULTATS DE L'APPLICATION DE SSA AU DESPATCHING ÉCONOMIQUE

V.1. Introduction.....	55
V.2. Les résultats de simulation	55
V.2.1. Application de l'algorithme SSA sur un système 6 unités	55
V.2.1.1. Les résultats de la simulation de réseau six générateurs.....	56
V.2.1.2. La répartition optimale des puissances générées des centrales	56
V.2.1.3. Convergence de l'algorithme SSA pour la résolution du DE.....	57
V.2.1.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais.....	57
V.2.1.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais	58
V.2.1.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes..	58
V.2.1.7. Interprétation des résultats.....	59
V.2.2. Application de l'algorithme SSA sur un système 15unités.....	60
V.2.2.1. Cas d'étude N° 1 : Étude de dispatching économique statique avec pertes sans considération des contraintes de Rampe.....	60
V.2.2.1.1 Les résultats de la simulation de réseaux quinze générateurs..	60
V.2.2.1.2.La répartition optimale des puissances générées des centrales.....	61
V.2.2.1.3. Convergence de l'algorithme SSA pour la résolution du DE.....	62
V.2.2.1.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais.....	62

V.2.2.1.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais	63
V.2.2.1.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes.....	63
V.2.2.1.7. Interprétation des résultats.....	64
V.2.2.2. Cas d'étude N° 2: Etude de dispatching économique statique avec pertes en considération des contraintes de Rampe.....	65
V.2.2.2.1. Les résultats de la simulation de réseaux quinze générateurs - cas 02-.....	65
V.2.2.2.2. La répartition optimale des puissances générées des centrales.....	65
V.2.2.2.3. Convergence de l'algorithme SSA pour la résolution du DE	66
V.2.2.2.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais...	67
V.2.2.2.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais	67
V.2.2.2.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes.....	68
V.2.2.2.7. Interprétation des résultats.....	68
V.2.3. Application de l'algorithme SSA sur un système 40 unités	69
V.2.3.1. Les résultats de la simulation de réseaux quarante générateurs.....	69
V.2.3.2. La répartition optimale des puissances générées des centrales	70
V.2.3.3. Convergence de l'algorithme SSA pour la résolution du DE.....	72
V.2.3.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais.....	72
V.2.3.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais	73
V.2.3.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes....	73
V.2.3.7. Interprétation des résultats.....	75
V.3. Conclusion.....	75
Conclusion générale.....	77
Bibliographique.....	79
Annexe.....	84



**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Introduction générale

Le dispatching économique des unités de production d'énergie électrique a toujours occupé une place importante dans l'industrie de l'énergie surtout avec une grande interconnexion de réseaux d'électricité, l'apparition de la crise de l'énergie dans le monde et la hausse continue des prix. Il faut donc planifier les puissances actives et réactives de chaque centrale électrique de telle sorte que le coût total de fonctionnement du réseau entier soit minimal, Donc l'énergie devrait être utilisée efficacement et correctement.

En pratique, le système de génération d'énergie électrique présente de nombreuses discontinuités et inhérences non linéaires sur l'intervalle des puissances qui peuvent être générées, cela est due aux zones de fonctionnement interdites, limites de vitesse de rampe, l'effet des soupapes d'admission de fluide au niveau des turbines et la discontinuité des courbes de coût de production à multi-combustibles, ce qui pose des difficultés pour obtenir des optima globaux. Dans ce scénario, les techniques classiques ne parviennent pas à atteindre la solution optimale globale.

Les méthodes d'optimisation méta-heuristiques modernes sont bien adaptées à la résolution de tels problèmes. Dans la littérature, de nombreux méta-heuristiques sont mentionnées pour être appliquées aux problèmes de Dispatching Economique (ED) tels que la programmation évolutive (EP), algorithme génétique (GA), recherche Tabu (TS), optimisation de l'essaim de particules (PSO), recuit simulé (SA), évolution différentielle (DE), algorithme de chauve-souris (BA), colonie des abeilles artificielles (ABC), optimisation du loup gris (GWO), algorithme de recherche de coucou (CS), etc.

Malgré les mérites des algorithmes méta-heuristiques mentionnés ci-dessus, le théorème NFL (pas de repas gratuit) (No free lunch) dit qu'aucun d'eux n'est capable de résoudre tous les problèmes d'optimisation [1-2]. Cela signifie qu'il est toujours possible qu'un nouvel algorithme peut fournir des résultats de qualités supérieures par rapport à un autre pour les mêmes problèmes traités.

C'est la motivation de ce travail, dans lequel une nouvelle méthode d'optimisation s'est appliquée pour la première fois à la résolution du problème de dispatching économique, il s'agit de la méthode «Algorithme des Essaim de Salpes» (Salpe Swarm Algorithm SSA) qui a été publiée seulement en juillet 2017, C'est un algorithme méta-heuristique pour d'optimisation globale, Il a été inspiré par le comportement des salpes qui vit dans la mère et

qui se déplacent tout en cherchant la source du nourriture en formant des chaines de jonction des salpes qui se composent à leurs tours des leaders dont leur rôle est de guider le groupe et des suiveurs qui suivent le déplacement de leurs dirigeants.

1.1 Objectif de ce travail

L'objectif de ce mémoire est :

1. d'appliquer l'algorithme (SSA) pour résoudre le problème de dispatching économique;
2. de chercher la valeur optimale de coût total de production d'énergie électrique ;
3. 3-d'élaborer une stratégie d'analyse des résultats de simulation pour juger l'efficacité de l'algorithme proposé ;
4. Comparer les résultats obtenus avec ceux d'autres méthodes dans le domaine pour prouver l'efficacité de l'algorithme SSA.

1.2 Organisation du mémoire

Ce mémoire comprend cinq chapitres. Le contenu de chaque chapitre est décrit comme suit:

Chapitre 1 : Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à donner une définition générale sur les systèmes d'énergie électrique et leurs parties qui peuvent influencer sur le coût de production

Chapitre 2 : Dans la deuxième partie nous avons donné quelques définitions de base, une formulation du problème de dispatching économique et la procédure de résolution du problème de dispatching économique.

Chapitre 3 : Dans le troisième chapitre, on traitera les différentes méthodes d'optimisation utilisées pour résoudre le problème de dispatching économique en choisissant celles de type méta-heuristiques.

Chapitre 4 : Dans le quatrième chapitre, nous présentons en détail la méthode d'optimisation proposée SSA et son application pour résoudre les problèmes d'optimisation.

Chapitre 5 : présente les résultats de simulations de l'algorithme proposé pour la solution du problème de DE. La validation de ces résultats est montrée et discutée à travers plusieurs études de cas.

Enfin, cette étude est complétée par une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LES RESEAUX ÉLECTRIQUES



I.1. Introduction

De nos jours, l'électricité est une ressource essentielle et vitale à l'homme pour l'approvisionnement en nourriture et en eau, le chauffage, la climatisation, l'éclairage, la santé, les communications, le transport, l'informatique.

Les réseaux d'énergie ont le rôle d'acheminer l'électricité depuis les centres de production jusqu'aux lieux de consommation mais leur exploitation pose de nombreux problèmes d'ordre technique et économique pour cela il faut assurer de garantir une qualité acceptable de puissance livrée et de procurer une sécurité d'alimentation élevée avec un coût aussi faible que possible en tout temps et en tout lieu et également une bonne couverture de l'énergie demandée.

Le dispatcheur au niveau d'un réseau de puissance électrique doit tenir compte de tout ça, et prendre les mesures nécessaires pour régler les facteurs, qui sont en relation directe avec le dispatching. Pour cela, nous avons abordé des généralités sur les réseau électrique , son fonctionnement et des descriptions des éléments nécessaires pour notre étude

I.2. Généralité sur les réseaux électriques

L'électricité produite par les centrales est d'abord acheminée sur de longues distances dans des lignes à haute tension (HTB). Elle est ensuite transformée en électricité à la tension HTA pour pouvoir être acheminée par le réseau de distribution. Cette transformation intervient dans les postes sources.

Une fois sur le réseau de distribution, l'électricité haute tension HTA alimente directement les clients industriels. Pour les autres clients (particuliers, commerçants, artisans...), elle est convertie en basse tension (BT) par des postes de transformation avant d'être livrée.

Au final, la qualité de l'alimentation en électricité des utilisateurs du réseau est donc le résultat de la qualité de tout ce parcours(Figure.I.1).

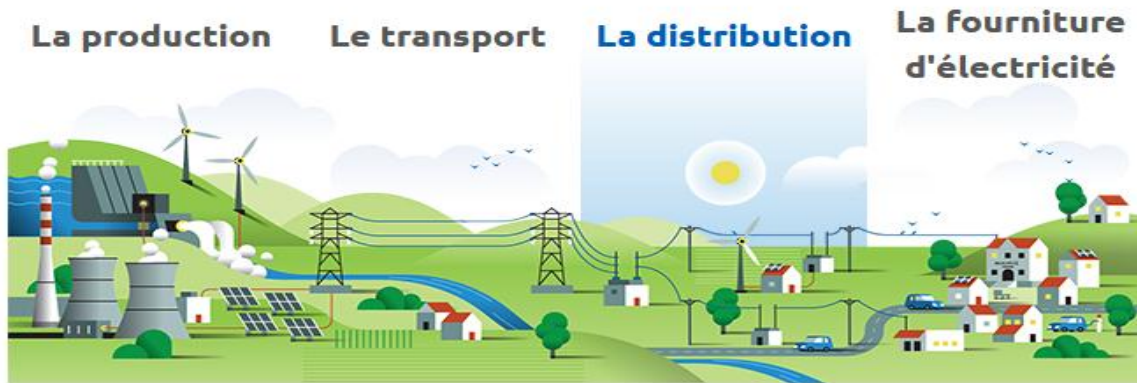


Figure.I.1.les différentes étapes (production, transport, distribution, consommation).

I.2.1. Production d'énergie électrique

La production d'électricité permet de mettre à disposition de l'ensemble des consommateurs un approvisionnement adapté à leurs besoins en énergie électrique.

Elle se fait depuis la fin du 19ème siècle à partir de différentes sources d'énergies primaires. Les premières centrales électriques fonctionnaient au bois. Aujourd'hui, la production peut se faire à partir d'énergie fossile (charbon, gaz naturel ou pétrole), d'énergie nucléaire, d'énergie hydraulique, d'énergie solaire, d'énergie éolienne et de biomasse et à partir de cela, Les centrales de production sont classées selon le type d'énergie primaire(Figure.I.2) sur deux catégories principales :



Figure.I.2.les sources d'énergie.

- Centrales thermique classiques
 - Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel).
 - Les centrales nucléaires
- Centrales renouvelables
 - Les centrales hydroélectriques.
 - Les centrales solaires ou photovoltaïques.
 - Les centrales éoliennes.

I.2.1.1. La production en Algérie

Pour l'année 2011, la production totale d'énergie électrique a atteint 48 871,8GWh contre 45 172,5 GWh en 2010, soit une évolution de 8,2%, comme le montre le tableau 1 suivant :

1- Par Type de Production	Production (GWh)	Structure (%)
Turbine Vapeur	9 653,7	19,8
Cycle Combiné	15 701,3	32,1
Turbine Gaz	22 055,3	45,1
Hydraulique	378,2	0,8
Diésel	463,9	0,9
Centre Hybride	618,7	1,3
Production Totale	48 871,8	100

Tableau.I.1 La répartition de la production par type des centrales.

Source : synthèse à partir du : Flash annuel : chiffres clés Électricité, N°158/DGSP.12

Document de la Direction générale de la stratégie et de la prospective (DGSP), sonelgaz 2011

I.2.2. Classification des réseaux d'énergie électrique

On peut classer les réseaux d'énergie électrique selon plusieurs critères :

A. Selon la tension nominale [3]

La nouvelle norme UTE C 18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit :

- HTB => pour une tension composée supérieure à 50 kV
- HTA => pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 kV
- BTB => pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 kV
- BTA => pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V
- TBT => pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V.

B. Selon sa fonction

Dans cette catégorie, on distingue :

B.1. Réseau de transport

La fonction de base du réseau aérien de transport est d'acheminer l'énergie électrique à partir des centrales, qui se situent aux différents endroits du territoire, jusqu'au réseau de distribution qui à son tour alimente les charges. Les lignes de transport assurent aussi l'interconnexion des réseaux régionaux, ce qui permet d'assurer une répartition économique de

l'énergie électrique dans les régions elles-mêmes dans les conditions normales d'exploitation et aussi un transfert interrégional de l'énergie, dans les situations d'urgence.

Les niveaux de tension utilisés pour le transport sont différents d'un pays à un autre, mais une tendance utilisée à une normalisation existe. En Algérie, les tensions pour le transport sont de 220 kV et 400 kV. [4]. Les lignes de transport dont la tension est supérieure à 500 kV sont dites à ultra haute tension, celles dont la tension est supérieure à 150 kV, mais inférieure à 500 kV, sont dites à très haute tension (THT). Ces seuils varient d'un pays à un autre.

B.2. Réseau de répartition

La portion du réseau reliant les postes sources de répartition aux postes sources de distribution, au travers de transformateurs abaisseurs, est dite réseau de répartition. Nous remarquerons qu'il n'existe pas de délimitation franche des niveaux de tension entre les réseaux de transport et de répartition. Il est communément admis, que pour le réseau de répartition, les tensions situées sont comprises entre 60kV et 150kV. En Algérie, le niveau de tension du réseau de répartition est de 80 kV [5].

B.3. Réseau de distribution [4]

Le réseau de distribution est la partie du réseau reliant les postes sources de distribution aux postes de consommateurs. Les lignes du réseau primaire de distribution sont d'un niveau de tension (MT) compris entre 5.5 kV et 36 kV et alimentent les charges d'une zone géographique bien précise.

Certaines petites unités industrielles sont directement alimentées par le réseau primaire moyen tension (MT). Le réseau secondaire de distribution est généralement à basse tension pour un usage commercial et résidentiel.

Le réseau de distribution est à la fois, aérien et souterrain. Ce dernier a connu ces dernières décennies un accroissement rapide qui fait qu'il représente aujourd'hui la majeure partie du réseau de distribution.

B.4 Réseau de livraison

C'est le réseau qui nous est familier puisqu'il s'agit de la tension 400V / 230V. Nous le rencontrons dans nos maisons via la chaîne : compteur, disjoncteur, fusible. La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution MT aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique.

Ce réseau permet d'alimenter un nombre très élevé de consommateurs correspondant au domaine domestique. Ces réseaux sont le plus souvent exploités manuellement. [6].

C. Selon la structure topologique des réseaux d'énergie électrique

On appelle structure topologique d'un réseau d'énergie électrique, l'architecture avec laquelle les différents postes de ce dernier sont interconnectés. Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures dont les plus importantes sont les suivantes :

C.1. Réseaux radiaux

Un réseau radial issu d'un poste d'alimentation est constitué de plusieurs artères dont chacune va en se ramifiant, cette structure nous permet d'avoir des points communs, de sorte que le réseau soit bouclé mais non bouclé. Car en un point est placé toujours un appareil de coupure, ouvert en régime normal. Cette disposition permet en cas d'incidents sur une artère de reprendre l'alimentation.

Les réseaux radiaux sont des structures simples et peuvent être contrôlés et protégés par un appareillage simple [7].

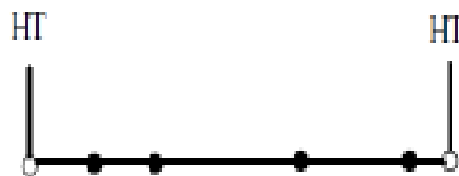


Figure.I.3. Réseau radial

C.2. Réseaux bouclés

Les réseaux bouclés sont alimentés à la fois par plusieurs sources ; les postes sont raccordés en coupure d'artère cette disposition permet lors d'une coupure, une continuité de service.

L'existence de plusieurs sources en parallèle augmente la sécurité d'alimentation en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateurs) ou en cas d'avarie sur une boucle.

Dans ce dernier cas, le tronçon avarié est isolé en deux fractions du réseau. On voit que ce réseau est un peu plus compliqué que le précédent, de plus le contrôle et la protection du réseau nécessitent des dispositifs plus complexes [7].

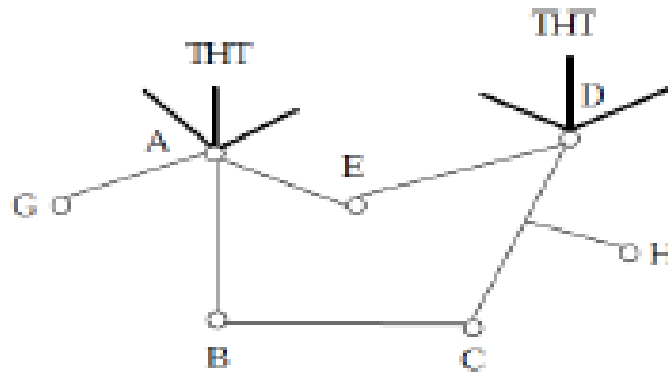


Figure.I.4. Réseau bouclé

C.3. Réseaux maillés

Ce sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées formant ainsi une structure analogue aux mailles d'un filet, de plus, le nombre de sources débitant en parallèle peut atteindre plusieurs dizaines.

Cette structure nécessite que tous les tronçons de ligne soient capables de supporter des surcharges permanentes et qu'ils soient munis à leurs deux extrémités d'appareils de coupure. [7], d'autre part, ce type de structure peut offrir une meilleure sécurité

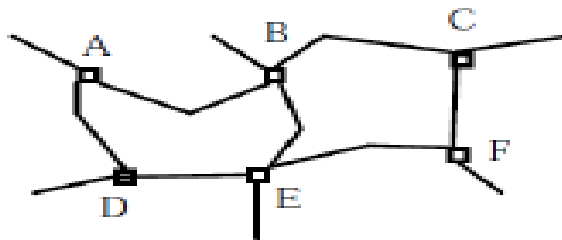


Figure.1.5 Réseau maillé

I.2.3. La structure du réseau de transport en Algérie

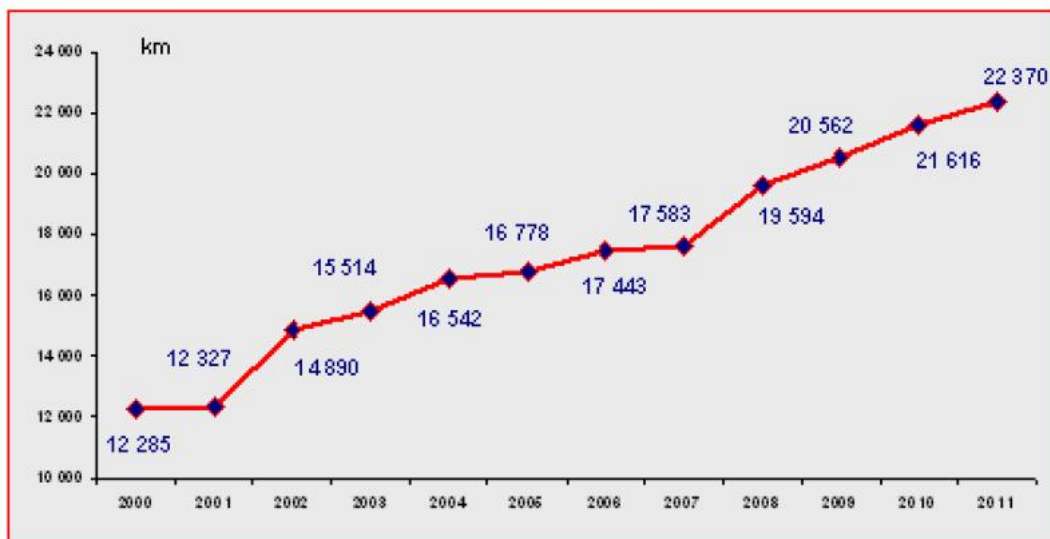
La structure du réseau électrique nationale se décompose en trois systèmes:

- Le Réseau Interconnecté National (RIN): s'étalant sur le nord du pays et couvrant les régions de Béchar, Hassi Messaoud, Hassi R'Mel et Ghardaïa, est alimenté par une quarantaine de centrales de production d'électricité, reliées entre elles à travers un réseau de transport en 220 kV et 400 kV [8], permettant le transfert d'énergie des sites de production vers les centres de consommation.

- Le pôle In Salah –Adrar –Timimoune : Ce pôle est alimenté par les centrales Turbines à Gaz d’Adrar et d’In Salah, interconnectées à travers un réseau 220 kV s’étalant d’In Salah à Timimoune via Aoulef et Adrar.
- Les Réseaux Isolés du Sud : Il s’agit de 26 sites du grand sud, alimentées par des réseaux locaux à travers des groupes diesels ou des TG compte tenu des distances mises en jeu et des niveaux de consommation relativement faibles

La longueur totale du réseau national de transport de l’électricité, tous niveaux de tensions confondus (60 à 400 kV), dont la gestion est confiée au GRTE est estimée à fin 2011 à 22 370 km, soit un accroissement de 21.3 % par rapport à 2007.

L’évolution de la longueur du réseau de transport électrique en Km période 2000 -2011 est donnée par la figure suivante :



Source : Ministère de l’énergie et des mines algérienne-2011-

Figure.I.6 L’évolution de la longueur du réseau transport électricité en km Période : 2000-2011

I.2.4. La distribution de l’électricité en Algérie

Les sociétés de la distribution assurent la desserte de plus de 97 % de la population. Ce résultat remarquable, conséquence d’une politique nationale délibérée, a mobilisé durant de longues années un effort financier important majoritairement soutenu par l’État.

A fin 2011, la longueur totale du réseau national de distribution de moyenne et basse tension de l’électricité, a été atteint 263 585 km.

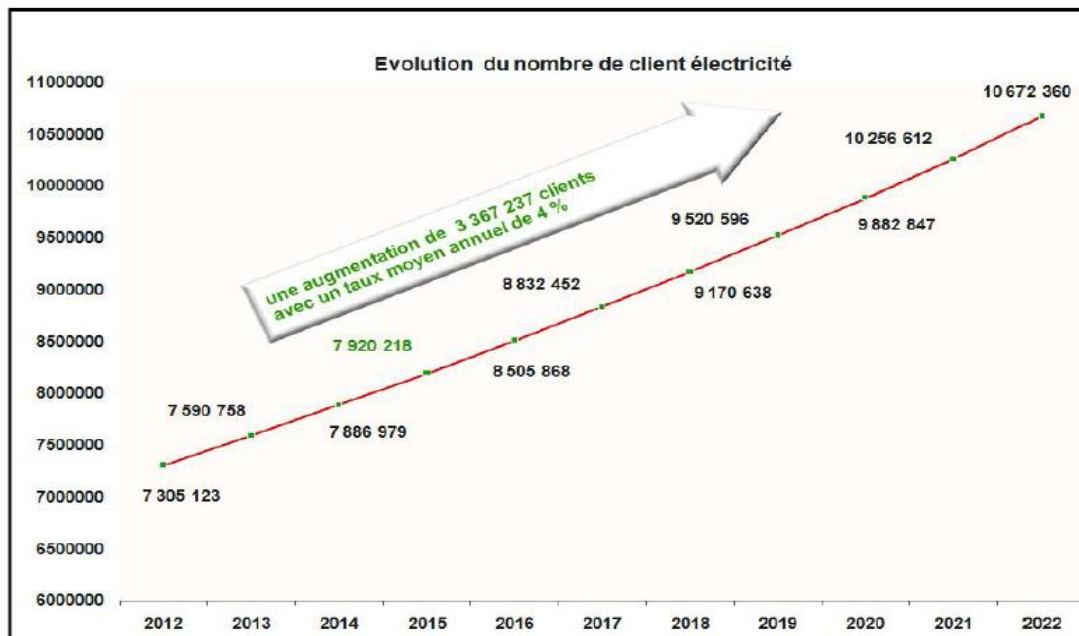
La figure ci-dessous donne l'évolution de la longueur du réseau de distribution électrique en Km sur la période 2000 -2011.



Source : le ministère de l'énergie et des mines algérienne-2011-

Figure.I.7. L'évolution de la longueur du réseau de distribution électrique en km

La figure suivante montre l'évolution du réseau de distribution électrique pour la période 2012-2022 en Algérie.



Source : document de la Directeur Général de la Stratégie et de la Prospective, Sonelgaz-2012-

Figure.I.8. L'évolution du réseau de distribution électrique pour la période 2012-2022

I.2.5. La tenue de tension

Pour garantir la stabilité du réseau et la sécurité des matériels, la tension doit être maintenue dans des limites fixées par les réglés d'exploitation des réseaux électriques. Ces limites sont définies dans chaque pays selon le type de réseau en fonction de son niveau de tension. La tenue de la tension est donc un des aspects fondamentaux de l'exploitation des réseaux de transport et de distribution. En effet, les limites de tension ne doivent pas être dépassées pour les raisons suivantes :

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

I.2.6. La tenue de fréquence

De même que pour la tension, la fréquence doit impérativement être maintenue dans les limites contractuelles. Les principaux problèmes apparaissant en cas d'excursion non maîtrisée de la fréquence sont les suivants [9] :

- ✚ rupture de synchronisme des alternateurs pouvant entraîner la perte de groupes en cascade.
- ✚ limite de fonctionnement des auxiliaires de centrales.
- ✚ en cas de baisse de fréquence : saturation des circuits magnétiques de transformateurs ou compensateurs de bobines d'énergie réactive entraînant un fonctionnement dégradé et des pertes fer.

I.2.7. La consommation

C'est le point d'arrivée dans un réseau électrique, la consommation d'électricité correspond à un appel de puissance active sur le réseau pour une période de temps bien déterminée, cela correspond à une consommation d'énergie.

L'électricité est consommée par des différents types de consommateurs (résidentiels, commerciaux et industriels). La consommation d'électricité se caractérise par :

- ses fortes fluctuations.
- la difficulté de la prévoir de manière exacte.

I.2.7.1. Fluctuation de la consommation

La consommation d'électricité varie en permanence: au cours des saisons, au cours d'une Journée, en suivant le rythme de l'activité quotidienne et économique et en temps réel en fonction de la météo du moment. Les différentes utilisations individuelles de l'énergie électrique, à chaque moment, se traduisent par de fortes fluctuations de la consommation dans le temps.

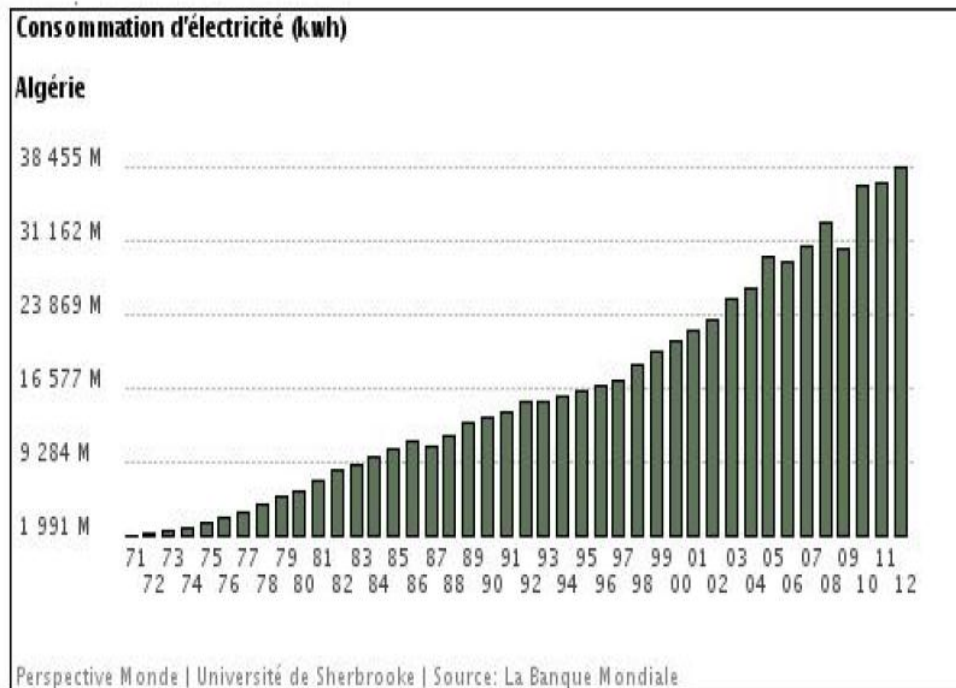
Cependant, pour un intervalle de temps d'une demi-heure, ces fluctuations ont un certain caractère cyclique au cours de la journée, de la semaine, et de l'année en créant une saisonnalité.

Il faut savoir aussi que la consommation d'électricité peut fluctuer très rapidement: elle peut changer de plus de 10% de la consommation maximale en seulement 1 heure. Il faut noter qu'il existe des fluctuations pour des échelles de temps inférieures plus fins qu'une demi-heure. Ces fluctuations ont un caractère aléatoire minute par minute. On ne peut pas assigner une quelconque périodicité à ces fluctuations [10].

I.2.7.2. La consommation en Algérie

Par l'évolution de l'ensemble de la période 1971-2010, on enregistre une moyenne annuelle de 14960 kWh. C'est en 2010 qu'on enregistre le plus haut niveau (36 402 kWh) et c'est en 1971 qu'on enregistre le plus bas niveau (1991 kWh).

Le changement enregistré entre la première et la dernière année est de 1728%. Sur la base de ces informations, on peut estimer qu'en 2015 une forte consommation. Cette prévision présente un niveau de fiabilité élevé puisque les variations des 39 années présentent une structure relativement linéaire, comme le montre la figure suivante :



Source : La Banque Mondiale-2012-

Figure.I.9. La consommation d'électricité (KWh)

I.2.8. Marché de l'énergie électrique

L'expression «marché de l'électricité» désigne, de façon générale, les différentes formes d'organisation du secteur de la production et de la commercialisation de l'électricité apparus, principalement dans les années 1990, dans la plupart des pays industrialisés, dans le cadre des processus de déréglementation.

Le marché de l'électricité est organisé autour de quatre grands pôles : la production, le transport, la distribution, la commercialisation. D'autres activités, telles que le courtage et le négoce sur le marché de gré à gré ou sur la bourse de l'électricité, ont un impact sur l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité.

1.2.8.1. Libération des marchés de l'énergie électrique

L'évolution de secteur électrique de différentes manières depuis sa création jusqu'à la situation actuelle. Au début, le développement des réseaux électriques était centré autour de producteurs indépendants et des réseaux à couverture géographique limitée conçus sur un modèle de micro réseaux. Ensuite, les besoins d'électrification et la reconstruction d'une intégrés dans l'organisation monopolistique. L'organisation de ces marchés (market design) a été étudiée aux Etats-Unis, dans les années quatre-vingt-dix. Hogan avait créé un modèle

nomme « Poolco » la figure (I.10) qui a servi comme référence pour la construction de marchés concurrentiels dans les pays nordiques et aux Etats-Unis. « Poolco » définit un ensemble de règles concernant le négoce d'électricité.

Les producteurs soumettent leurs offres pour différentes périodes, en général pour chaque heure. Toute offre est accompagnée d'un prix représentant le niveau minimum que chaque producteur est prêt à accepter pour chaque période. Le pool centralise l'ensemble des offres et définit un ordre d'efficacité économique. La dernière offre acceptée nécessaire pour couvrir le niveau de demande définit le prix de la marche [11].

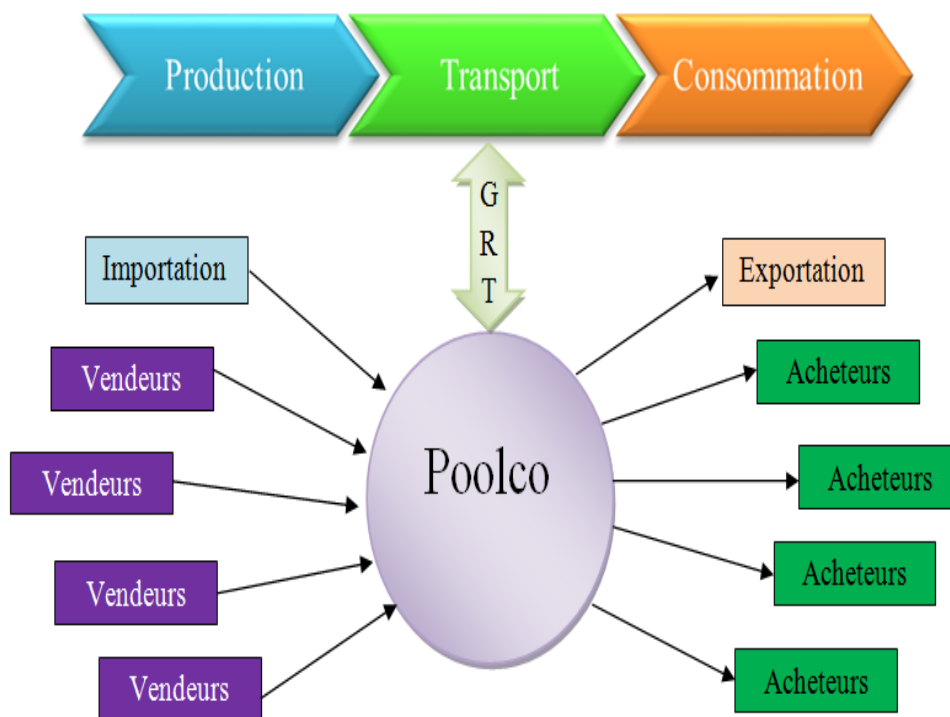


Figure.I.10. Modèle de marche «Poolco »

I.2.9. Equilibre du système électrique

L'équilibre du système électrique exige qu'à tout moment, la puissance injectée (la production) soit égale à la puissance soutirée (la consommation) plus les pertes générées sur le réseau. Ainsi, les systèmes électriques subissent-ils une forte contrainte d'équilibre en temps réel entre les injections et les soutirages.

Cet équilibre production-consommation est nécessaire tout d'abord car les systèmes électriques à courant alternatif fonctionnent comme une « grande » machine synchronisée. Le

fonctionnement de cette machine est très complexe et particulièrement vulnérable aux instabilités. Ces instabilités se produisent principalement quand l'équilibre production-consommation n'est pas respecté.

Assurer l'équilibrage continu, même lors des incidents, est un moyen de maintenir la stabilité du système. Le défaut d'une ligne ou d'une unité de production peut provoquer des phénomènes en cascade pouvant se développer rapidement. Ainsi, des écarts, même mineurs, de la fréquence de référence peuvent déstabiliser ou endommager des éléments du système de transport. Si lors d'un incident, les actions correctives nécessaires ne sont pas effectuées, le système peut défaillir complètement (black-out). Afin de se prémunir contre les ruptures de l'alimentation électrique [12].

I.3. Conclusion

Ce chapitre porte une vision générale sur les réseaux d'énergie électriques (la constitution, la structure, le fonctionnement...), et autre aperçu a été fait pour certains facteurs importants comme la tenue de tension, fréquence et l'équilibre de system électrique, tout en passant rapidement au côté du marché et la commercialisation de l'électricité en jetant un œil sur la situation de notre pays l'Algérie, au niveau de la production d'électricité, la distribution, la consommation, le réseau de transport et son développement, tout ça a pour but de permettre aux gens qui s'intéresse au domaine de dispatching économique de prendre un point de vue sur la situation de réseau électrique en Algérie .

Une fois que toutes ces informations sont introduites, il est temps d'entamer l'étude du problème de dispatching économique qui sera faite dans le prochain chapitre

CHAPITRE II

LE PROBLÈME DE DISPATCHING ÉCONOMIQUE

II.1. Introduction

Le problème de dispatching économique est un problème d'optimisation et qui est un processus pour rendre les choses meilleures. Celui qui trouve une solution optimale ou quasi-optimale à partir d'un ensemble de solutions réalisables, en utilisant certaines mesures ou techniques éprouvées pour évaluer de telles solutions. Dans notre domaine c'est une tâche d'optimisation, qui concerne la façon dont les entreprises productrices d'électricité peuvent répondre aux demandes de puissance de leurs clients tout en minimisant la sous-génération / surintensité et en minimisant leurs coûts opérationnels (coûts d'exploitation des groupes), et on peut dire aussi qu'il est un processus d'affinage de quelque chose.

II.2. Objectif de dispatching économique

L'objectif principal du dispatching économique est de trouver la contribution en puissance active de chaque groupe de production du système électrique, de sorte que le coût total de production soit minimisé pour n'importe quelle condition de charge, sachant que le coût de production d'une unité varie en fonction de la puissance fournie par l'unité considérée.

II.3. La Fonction objectif

La fonction objectif est une des réponses de l'objet qui définit l'objectif à atteindre et peut être de deux natures, un coût à minimiser (coût de fabrication, consommation, coût d'exploitation, durée de développement) ou une performance à maximiser (profit, rendement, facteur de transmission). Son choix conditionne la définition du problème d'optimisation et inclut les moyens qui en permettent le calcul, c'est-à-dire la modélisation retenue pour l'objet. Dans le cas d'un objectif unique, le choix de cette fonction est évident.

II.4. Modélisation des caractéristiques entrée – sortie des générateurs

Les caractéristiques technico-économiques des centrales électriques sont déterminantes pour leur exploitation. Trois types de caractéristiques ont une influence pour l'exploitation d'une centrale électrique à court terme: son coût de production, ses contraintes techniques et sa fiabilité. Le plus important de ces trois caractéristiques est le coût variable de production. Pour les centrales thermiques, il reflète principalement le coût du combustible utilisé et les

autres coûts d'exploitation et de maintenance de la centrale. Le coût du combustible est évalué en utilisant des valeurs de consommation spécifique de chaleur (une quantité d'énergie thermique nécessaire pour produire de l'électricité) de la centrale et le prix du combustible. La valeur de consommation spécifique de chaleur (CSC) est proportionnelle à l'inverse du rendement énergétique, plus la CSC est grande, moins la centrale est performante.

Généralement, pour représenter les caractéristiques entrée – sortie des générateurs, on adopte une fonction de coût qui a une forme non linéaire et qui peut être approximée à une courbe quadratique du type :

$$C_i(P_{gi}) = a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad (II.1)$$

Où P_{gi} est la quantité produite et a_i, b_i et c_i sont les coefficients de coût de l'unité génératrice.

La constante a_i est appelée coût de marche à vide, elle représente le coût pour maintenir la marche d'une unité de production à production nulle.

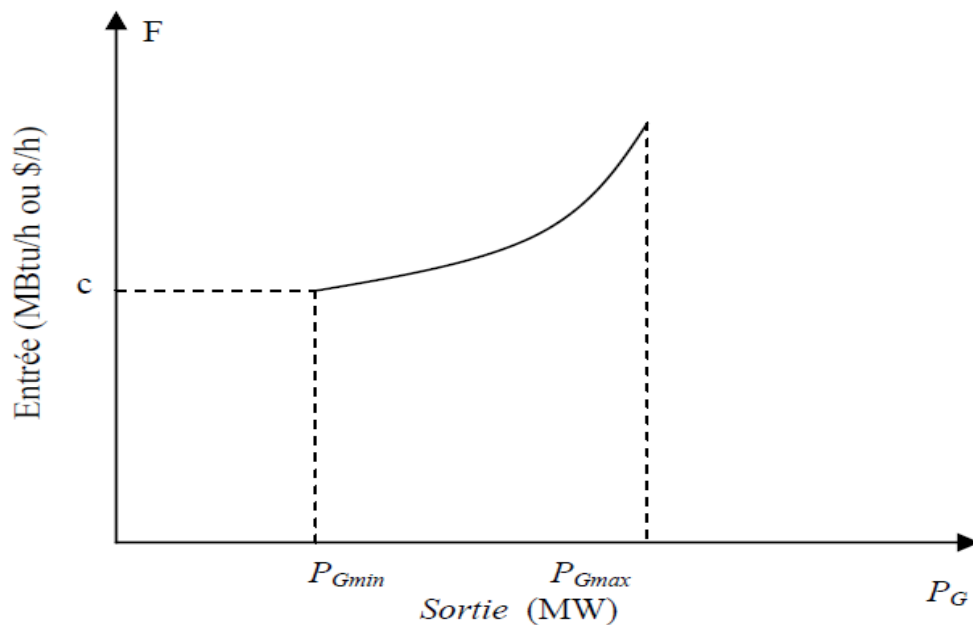


Figure. II.1 Caractéristique entrée-sortie d'une unité de production

II.5. L'accroissement du coût de combustible

L'accroissement du coût de combustible, représente le coût supplémentaire du combustible (en \$/h) pour augmenter la Puissance active de l'unité de 1 MW , ou le gain en coût (en \$/h) pour diminuer la puissance active de l'unité de 1 MW.

La Figure II.2 montre une caractéristique typique de l'accroissement du cout de combustible pour une unité de génération thermique.

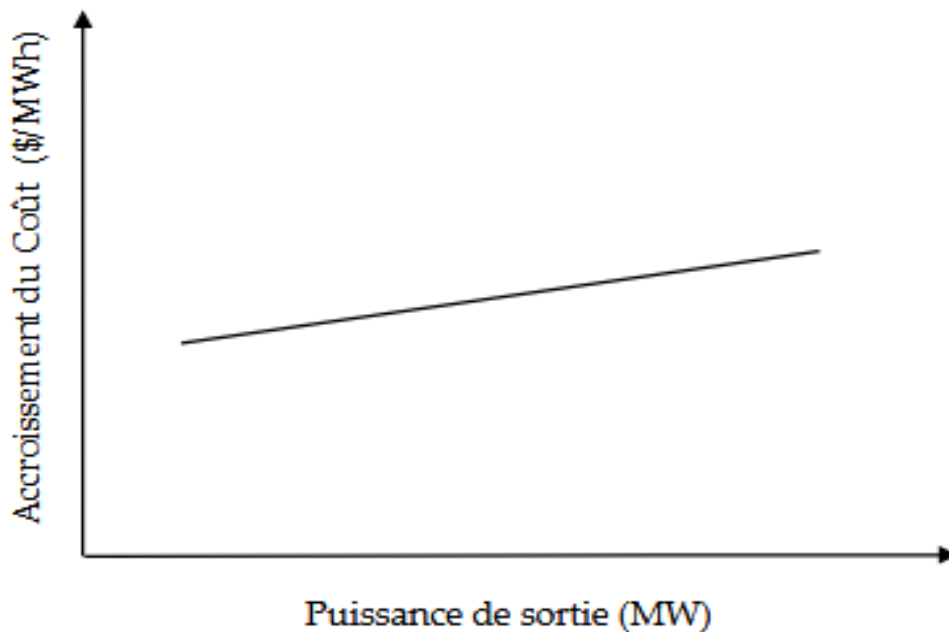


Figure. II.2 : Courbe typique de l'accroissement du coût de combustible

II.6. Les Contraintes pratiques des centrales électriques

II.6.1. Caractéristique avec plusieurs types de combustibles

Parfois, les unités thermiques sont capables de fonctionner avec plusieurs types de combustibles, dans ces conditions, la caractéristique de coût est constituée de plusieurs morceaux de fonctions quadratiques (Fig. II.3), Qui s'écrivent comme suit [13]:

$$C_i(P_{gi}) = \begin{cases} a_{i,1} + b_{i,1}P_{gi} + c_{i,1}P_{gi}^2 & \text{combustible 1 } P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,1} \\ a_{i,2} + b_{i,2}P_{gi} + c_{i,2}P_{gi}^2 & \text{combustible 2 } P_{gi,2} \leq P_{gi} \leq P_{gi,2} \\ \vdots & \vdots \\ a_{i,k} + b_{i,k}P_{gi} + c_{i,k}P_{gi}^2 & \text{combustible k } P_{gi,k-1} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \end{cases} \quad (II.2)$$

Où $a_{i,k}$, $b_{i,k}$ et $c_{i,k}$ sont les coefficients de coût de l'unité i avec le combustible k .

Ce modèle est communément appelé « modèle quadratique par morceaux ». Le combustible le plus économique est représenté par le morceau le plus inférieur de la courbe.

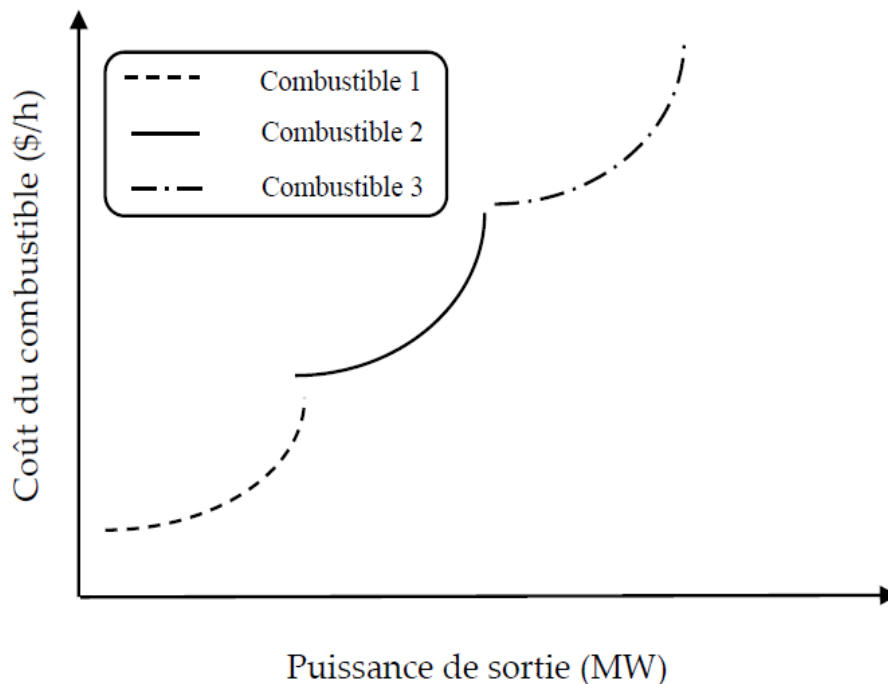


Figure. II.3 Courbe de coût d'une unité thermique alimentée par trois types de combustible

II.6.2. Contrainte des zones de fonctionnement interdites

Dans la pratique, les unités thermiques peuvent avoir des régions de fonctionnement indésirables pour des problèmes liés à l'instabilité ou des limitations physiques de

fonctionnement au niveau des composantes des machines, ces régions créent des discontinuités au niveau de la courbe de coût du combustible, étant donné que l'unité doit fonctionner à l'intérieur de certaines plages spécifiées (Figure.II.4), ce type de fonction est caractérisé par un espace de solution non convexe.

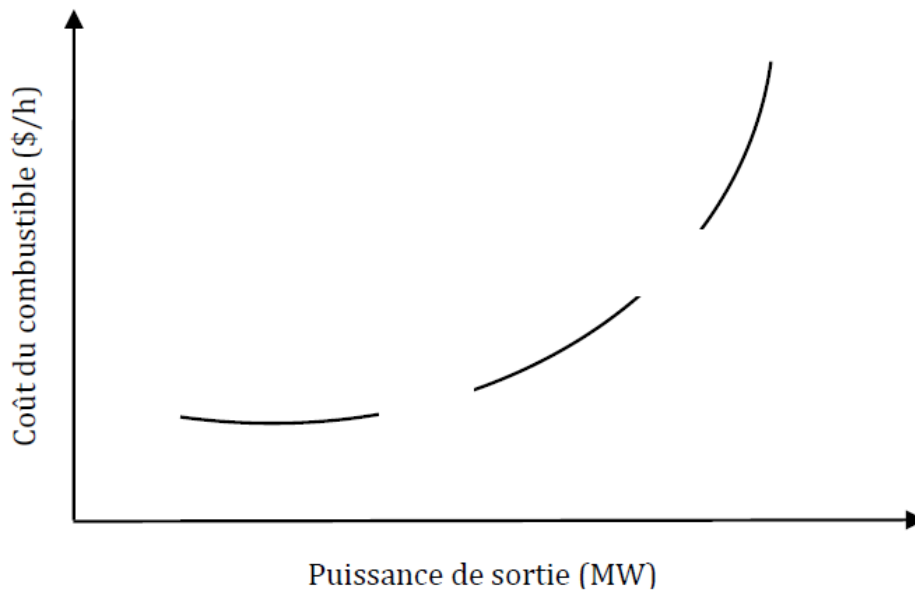


Figure. II.4 Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec des zones de fonctionnements prohibées

II.6.3. Contraintes d'effets d'ouverture des vannes

Pour contrôler la puissance active d'une unité de production, il faut contrôler la vitesse de rotation de la turbine, pour cette raison, les grandes centrales thermiques disposent de plusieurs vannes d'admission de vapeur, chaque fois que l'on commence à ouvrir une vanne d'admission, on enregistre une augmentation soudaine des pertes et il en résulte alors des ondulations dans la courbe de coût du combustible. Avec l'ouverture graduelle de la vanne, ces pertes diminuent progressivement jusqu'à ce que la vanne soit complètement ouverte.

Pour tenir compte de la contrainte réelle due au à l'effet du point valve, la fonction objective du coût est modifiée en ajoutant une partie contenant une fonction 'sin'. La formulation mathématique peut être alors écrite sous la forme suivante :

$$f = \sum_{i=1}^{N_g} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2) + |d_i \sin(e_i (P_i^{min} - P_i))| \text{ (\$/h)} \quad (II.3)$$

Sachant que d_i et e_i sont les coefficients de la fonction coût modifiée pour tenir en considération de l'effet du point valve, et a_i, b_i, c_i sont les coefficients de coût de l'unité génératrice i .

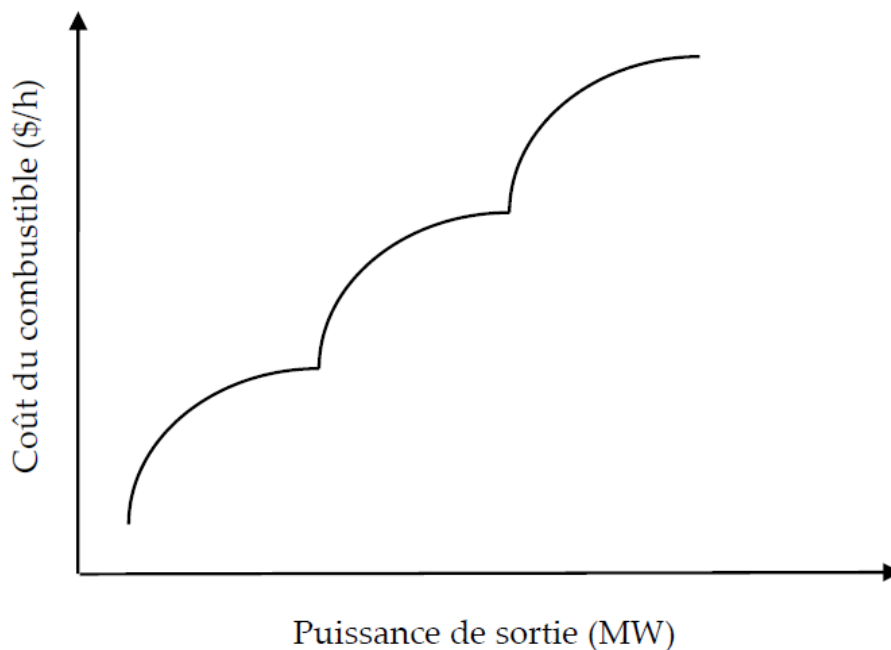


Figure. II.5 Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec trois vannes d'admission de vapeur

II.6.4. Contraintes due à l'effet rampe

Généralement, l'unité de production ne peut fonctionner de manière stable qu'à partir d'un niveau de production minimal (capacité minimale de production) et jusqu'à un niveau maximal de production (capacité maximale de production). L'inertie propre des moyens de production limite la vitesse à laquelle les unités de production peuvent changer leur niveau de production[14].

La vitesse maximale de changement du niveau de production pour une période de temps donné est appelée contrainte de rampe.

$$\max (P_{gi}^{min}, P_{gi}(t - 1) - DR_i) \leq P_{gi}(t) \leq \min(P_{gi}^{max}, P_{gi}(t - 1) + UR_i)$$

UR_i : Limite de rampe supérieure

DR_i : Limite de rampe inférieure

II.7. Formulation du problème de dispatching économique

Le problème de dispatching économique peut être classé en deux types selon la Figure. II.6 :

- Dispatching économique statique
- Dispatching économique dynamique

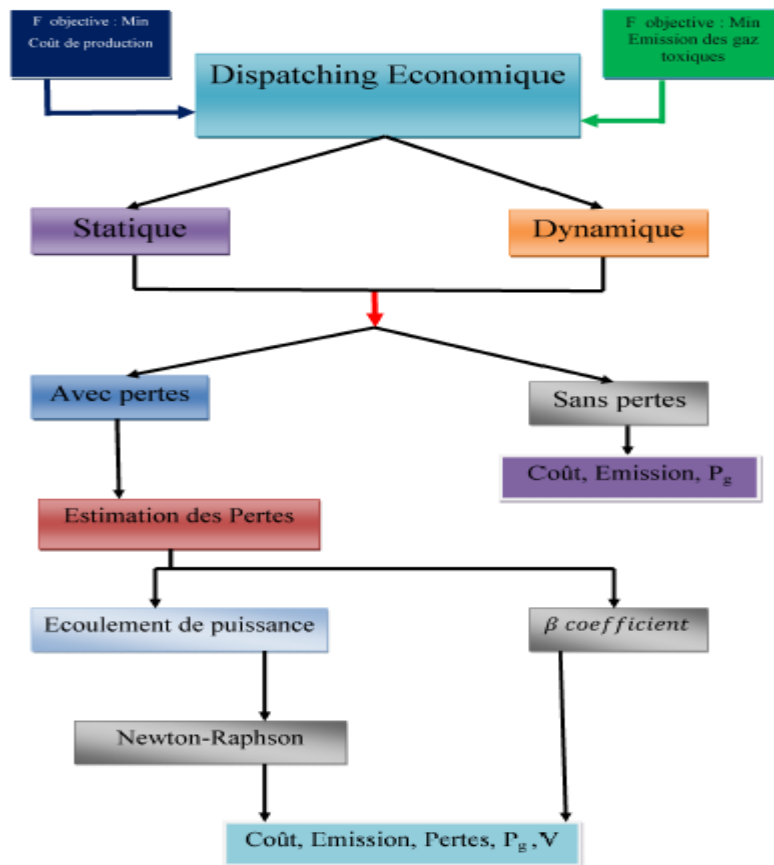


Figure. II.6 Structure générale du problème de dispatching économique.

II.7.1. Dispatching économique statique

Le dispatching économique statique est basé essentiellement sur la répartition la plus économique de la puissance active produite par les groupes de génération existant dans un réseau électrique en satisfaisant toute la demande bien spécifiée et en tenant compte des contraintes d'égalité et d'inégalités des groupes [15].

II.7.1.1. Fonction objective du cout

Le coût de production d'une centrale est généralement modélisé par une fonction polynomiale du second degré en fonction de P_G qui existe dans l'eq (II.4) [16] :

$$C_i(P_{gi}) = a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad (II.4)$$

II.7.1.2. Contraintes d'égalité

Elles expriment l'équilibre d'énergie active d'un système électrique :

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{Gi} = P_D + P_L \quad (II.5)$$

P_{Gi} : La puissance générée par le générateur i

P_D : La puissance demandée

P_L : Les pertes de transmission

II.7.1.3. Contrainte d'inégalité

La puissance générée P_{Gi} est limitée par une borne inférieure P_{Gi}^{min} et une borne supérieure P_{Gi}^{max}

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max}$$

2.7.1.4. Formulation mathématique du problème de dispatching économique Statique

Le problème de dispatching économique optimal est donné sous une forme standard d'optimisation avec contraintes d'égalités et d'inégalités comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } C(P_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} C_i = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i(P_{gi}) + c_i P_{gi}^2) \\ \text{Sous:} \\ g(x): \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} - (P_D + P_L) = 0 \\ h(x): P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max} \end{array} \right.$$

(II.6)

g(x): contrainte d'égalité.

h(x): contrainte d'inégalité.

II.7.2. Dispatching économique sans pertes

Le dispatching économique sans perte ne considère pas les pertes de transmission dans les lignes. La topologie du réseau n'influe pas sur la répartition de la production, seuls les coûts liés à la production sont pris en compte.

II.7.3. Dispatching économique avec pertes

Le problème du dispatching économique avec pertes est plus compliqué que celui sans pertes, il tient compte de la topologie du réseau, ces pertes varient en fonction de la répartition des puissances entre les centrales et la charge

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{gi} = \sum_{i=1}^{Njb} P_{Di} + P_L \quad (II.7)$$

Dans les études du dispatching économique, on exprime souvent les pertes P_L de transmission en fonction des puissances actives générées. Cette technique est communément appelée la méthode des coefficients B. Dans cette approche, les pertes sont approximées par la formule de Kron [17].

$$P_{Loss} = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{gi} \beta_{ij} P_{gj} + \sum_{i=1}^{ng} \beta_{0i} P_{gj} + \beta_{00} \quad (II.8)$$

Avec P_{gj} , β_{0i} , β_{00} sont les coefficients représentant la configuration du réseau :

β_{ij} est une matrice carrée.

β_{0i} est un vecteur ligne ; β_{00} est un scalaire

II.7.4. Dispatching économique dynamique

Le dispatching économique dynamique consiste à trouver la meilleure configuration des puissances produites à chaque variation de charge dans un intervalle du temps (heure) pour la minimisation du cout de production avec satisfaction des contraintes d'égalités et d'inégalités.

II.7.4.1. Formulation mathématique du problème de dispatching économique dynamique

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser } C_{i,t}(P_{gi,t}) = \sum_{i=1}^{ng} a_i + b_i P_{gi,t} + c_i P_{gi,t}^2 + |d_i \sin(e_i(P_{gi,t}^{min} - P_{gi,t}))| \\ \sum_{i=1}^N P_{i,t} - P_{D,t} - P_{L,t} = 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \\ \begin{cases} P_{gi}^{min} \leq P_{gi,t} \leq P_{gi}^{max} \\ P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq UR_i \\ P_{i,t-1} - P_{i,t} \leq DR_i \end{cases} \end{array} \right. \quad (II.9)$$

$P_{gi,t}$: La puissance générée par l'unité i dans le temps t .

a_i, b_i, c_i, d_i et e_i : sont les coefficients des générateurs avec effet valve .

$P_{gi}^{min}, P_{gi}^{max}$: Sont les puissances minimales et maximales générés.

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons définis et formulé mathématiquement le problème de dispatching économique de centrales électriques avec leurs contraintes pratiques ou des notions sur le sujet ont été présentées, tout en citant les différentes équations et conditions,

permettant de respecter les contraintes d'égalités et d'inégalités et d'utiliser les coefficients B_{ij} pour le calcul des pertes. Le prochain chapitre résume les différentes méthodes d'optimisation qui seront détaillées afin de résoudre ce problème.

CHAPITRE III

RÉSOLUTION DU PROBLÈME DE DISPATCHING ÉCONOMIQUE

III.1. Introduction

L'optimisation est une branche des mathématiques, cherchant à analyser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à déterminer le meilleur élément d'un ensemble, au sens d'un critère quantitatif donné, ces problèmes d'optimisation présentent en électrotechnique plusieurs difficultés liées aux besoins de l'utilisateur (recherche d'une solution globale, fiabilité et précision de la solution, diversité des problèmes traités, temps de calculs raisonnable, ...), aux caractéristiques du problème d'optimisation (non linéarité, dérivées difficilement accessibles, ...) et au temps de calculs importants. La résolution de telles difficultés a fait l'objet de nombreux travaux en utilisant diverses méthodes d'optimisation.

Dans ce chapitre, nous présentons différentes méthodes de résolution. L'ensemble de ces méthodes est tellement vaste qu'il est impossible de tout exposer, c'est pourquoi nous allons présenter les principales méthodes de résolution.

III.2. Les éléments d'optimisation

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

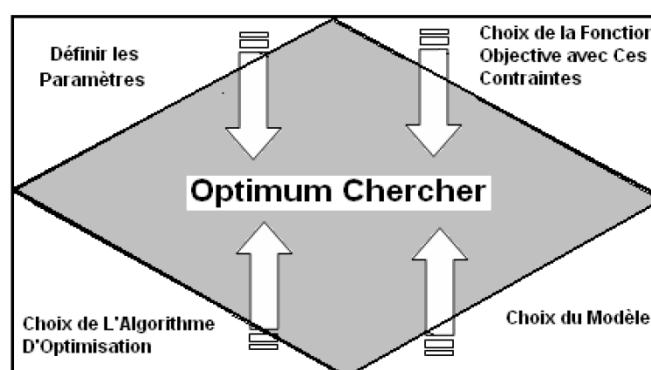


Figure. III.1. Eléments indispensable pour l'optimisation

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

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

III.3. Classification de méthodes d'optimisation

On peut classer les différentes méthodes d'optimisation en fonction de leurs caractéristiques et ils peuvent être réparties en deux catégories [18] :

- Méthodes exactes.
- Méthodes approchées.

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

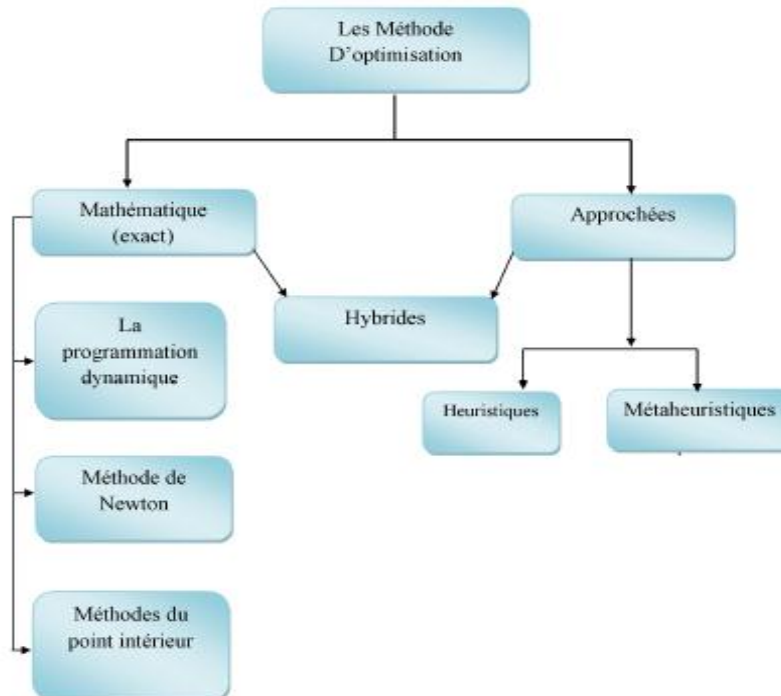


Figure. III.2 schéma de classification des méthodes d'optimisation.

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

Pour résoudre le problème d'optimisation, il existe plusieurs méthodes mathématiques applicables lorsque certaines conditions mathématiques sont satisfaites, à savoir, la programmation linéaire traite efficacement le cas où la fonction objective ainsi que les contraintes s'expriment linéairement en fonction des variables de décision. Dans le cas où la fonction objective et les contraintes sont non linéaires, la programmation non linéaire est applicable.

Sans doute, la plus part des techniques de programmation mathématiques publiées dans la littérature ont été appliquées au problème de dispatching économique, toutefois, les techniques les plus intéressantes sont [19] :

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

Ces méthodes sont peut être connues par le fait qu'elles garantissent l'optimalité de la solution mais elles sont très gourmandes en termes de temps de calcul et de l'espace mémoire nécessaire, c'est la raison pour laquelle elles sont beaucoup plus utilisées pour la résolution de problèmes faciles. La nécessité de disposer d'une solution de bonne qualité (semi optimale) avec un coût de recherche (temps de calcul et espace mémoire) raisonnable a excité les chercheurs à proposer un autre type de méthodes de résolution de problèmes communément connues par les méthodes approchées

III.3.2. Les méthodes d'optimisation approchées

L'utilisation de méthodes exactes n'est pas toujours possible pour un problème donné à cause d'un certain nombre de contraintes, telles que le temps de calcul souvent important ou bien la difficulté qui se distingue certaines fonctions objectives.

Pour faire face à ces contraintes, nous utilisons des méthodes approchées, ces méthodes sont souvent classées en deux catégories: des méthodes heuristiques et des méthodes métaheuristiques

III.3.2.1. Les méthodes Heuristiques

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

Une heuristique est un algorithme qui fournit rapidement une solution approchée et réalisable, pas nécessairement optimale, pour un problème d'optimisation difficile. Cette méthode approximative est le contraire d'un algorithme exact qui donne une solution optimale pour un problème donné [20].

III.3.2.2. Les méthodes Métaheuristiques

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

Le principe des méta-heuristiques est de minimiser ou de maximiser une fonction objective. Leur avantage est de trouver un minimum global à un problème de minimisation et de ne pas rester bloqué sur un minimum local [21].

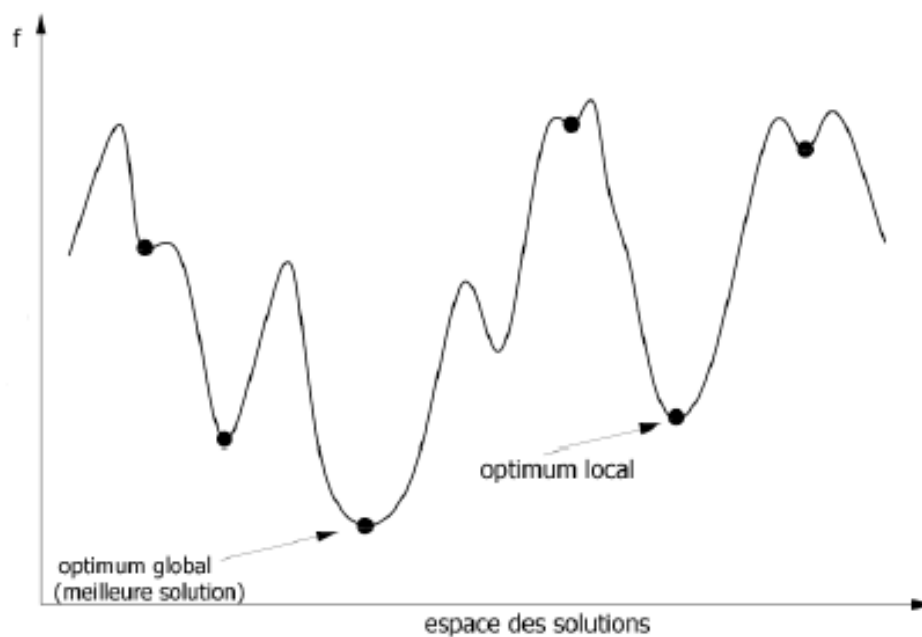


Figure.3.3 Minimum local et minimum global

Dans la figure (III.4), les métaheuristiques (MH) tentent de trouver l'optimum global (OG) d'un problème d'optimisation difficile $f(x)$ (avec par exemple des discontinuités (DC)), sans être piégé par les optima locaux (OL).

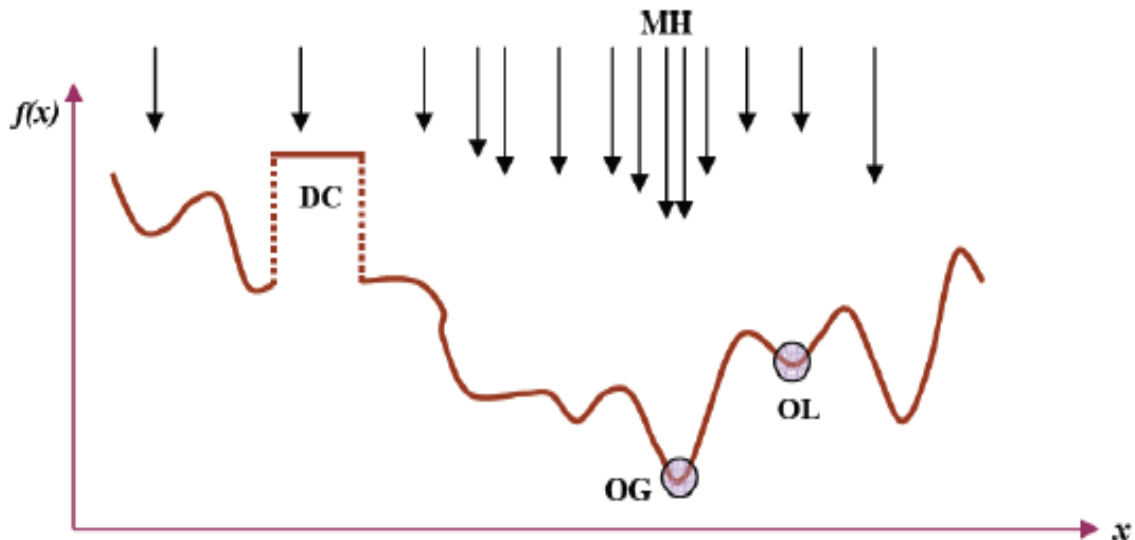


Figure. III.4 Représentation simplifiée d'une approche métaheuristique

III.4. Classification des méthodes Métaheuristiques

Dans notre étude, nous nous sommes basés sur une classification [22,23] qui distingue les méthodes à recherche locale (de voisinages) se basant sur une solution unique et celles faisant évoluer une population de solution que nous allons opter pour faire une illustration adapter à notre problème (Figure III.5).

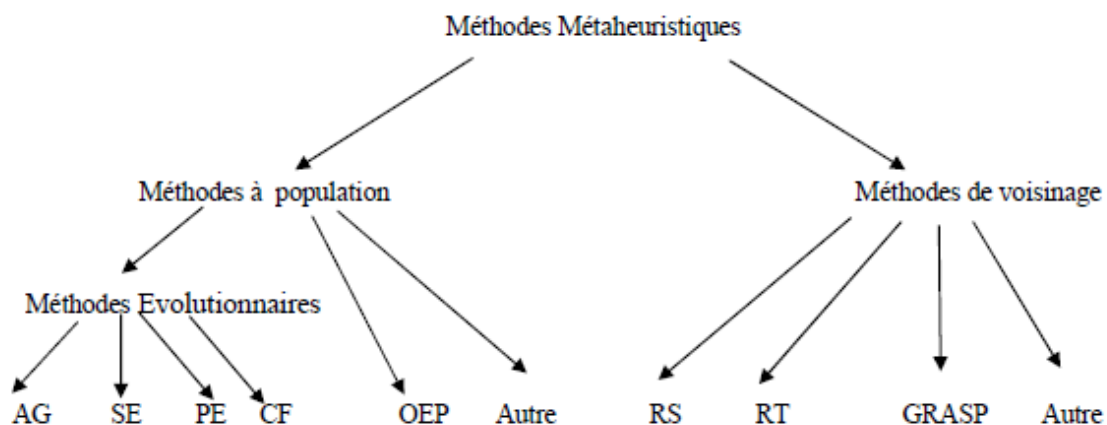


Figure. III.5 classification des métaheuristiques

Où :

CF : Colonie de Fourmies

AG : Algorithmes Génétique

SE : Stratégies d'Evolution

PE : Programmation Evolutionnaire

OEP : Optimisation par Essaim de Particules

RS : Recuit Simulé

RT : Recherche Taboue

GRASP: Greedy Randomized Adaptive search Procedure

III.4.1. Les métaheuristiques à base de solution unique

Les métaheuristiques à base de solution unique débutent la recherche avec une seule solution initiale. Elles se basent sur la notion du voisinage pour améliorer la qualité de la solution courante. En fait, la solution initiale subit une série de modifications en fonction de son voisinage. Le but de ces modifications locales est d'explorer le voisinage de la solution actuelle afin d'améliorer progressivement sa qualité au cours des différentes itérations, le voisinage de la solution s'englobe l'ensemble des modifications qui peuvent être effectuées sur la solution elle-même. La qualité de la solution finale dépend particulièrement des modifications effectuées par les opérateurs de voisinages, en effet, les mauvaises transformations de la solution initiale mènent la recherche vers la vallée de l'optimum local d'un voisinage donné (peut être un mauvais voisinage) ce qui bloque la recherche en fournissant une solution de qualité insuffisante.

III.4.2. Les métaheuristiques à base de population de solutions

Les métaheuristiques à base de population de solutions débutent la recherche avec une population de solutions. Elles s'appliquent sur un ensemble de solutions afin d'en extraire la meilleure (l'optimum global) qui représentera la solution du problème traité. L'idée d'utiliser un ensemble de solutions au lieu d'une seule solution renforce la diversité de la recherche et augmente la possibilité d'émergence de solutions de bonne qualité. Une grande variété de méthodes basées sur une population de solutions a été proposée dans la littérature, commençant par les algorithmes évolutionnaires et arrivant aux algorithmes à base d'intelligence par essaims (l'algorithme d'optimisation par essaim de particules, l'algorithme de colonies de fourmis, l'algorithme de colonies d'abeilles).

Les algorithmes méta-heuristiques sont classés en deux parties dominantes : l'évolutionnaire et l'intelligence de l'essai [1].

III.4.2.1. Les algorithmes évolutionnaires

Les algorithmes évolutionnaires imitent les concepts de l'évolution dans la nature. L'algorithme le meilleur et le mieux considéré dans cette classe est l'algorithme génétique (GA).

Cet algorithme simule les concepts de la théorie darwinienne de l'évolution. En GA, l'optimisation est initiée avec un ensemble de solutions aléatoires pour un problème particulier. Après avoir évalué les solutions par la fonction objective, il modifie les variables de solutions en fonction de leur valeur de fitness. Puisque les meilleurs individus ont une probabilité plus élevée d'impliquer dans l'amélioration d'autres solutions, les solutions initiales aléatoires sont très susceptibles d'être améliorées. Il existe plusieurs autres algorithmes évolutifs dans la littérature tels que l'évolution différentielle (DE), la stratégie évolutive (ES) et la programmation évolutive (EP), et l'optimisation basée sur la biogéographie (BBO).

III.4.2.2. Les algorithmes d'intelligence des essaims

Les techniques d'intelligence des essaims imitent l'intelligence des essaims, des troupeaux de créatures dans la nature. La base principale de ces algorithmes provient du comportement collectif d'un groupe de créatures, par exemple, les fourmis sont capables de garantir collectivement la survie d'une colonie sans avoir d'unité de contrôle centralisée, en d'autres termes, personne ne dit aux fourmis comment trouver une source de nourriture, mais ils trouvent des aliments à distance même de leurs nids. Les deux algorithmes les plus populaires dans cette classe sont l'optimisation des colonies de fourmis (ACO) et l'optimisation des essaims de particules (PSO). L'algorithme ACO imite le comportement social des fourmis pour trouver le chemin le plus court entre le nid et un aliment source. L'algorithme PSO simule le comportement collectif des oiseaux dans la navigation et la chasse, d'autres techniques d'intelligence d'essaim dans la littérature sont: algorithme de colonie d'abeilles artificielles (ABC), algorithme de recherche de coucou (CS), algorithme de luciole (FA), algorithme de chauve-souris, Optimiseur de loups gris (GWO), écholocation des dauphins (DE), algorithme d'optimisation des baleines (WOA), algorithme d'optimisation des fruits (FOA), et recherche d'harmonie.

III.5. Les méthodes hybrides

Les méthodes hybrides ou les techniques d'hybridation est une tendance actuelle dans les développements des approches d'optimisation. Cette technique vise à combiner les avantages de deux méthodes d'optimisation afin d'obtenir des méthodes efficaces pour la résolution des problèmes d'optimisation difficiles, nous pouvons combiner les méthodes comme suit :

- ✓ exacte-exacte
- ✓ approchée-approchée
- ✓ approchée-exacte.

Dans ce chapitre, nous concentrons sur deux exemples des algorithmes de métaheuristiques les plus répandues :

III.6. Les algorithmes génétiques(AG)

Les algorithmes génétiques (AG) sont des métaheuristiques utilisées dans les problèmes d'optimisation. Leur nom s'extrait de l'évolution biologique des êtres vivants dans le monde réel, ces algorithmes cherchent à simuler le processus de la sélection naturelle dans un environnement défavorable en s'inspirant de la théorie de l'évolution proposée par C. Darwin. Dans un environnement, les individus les mieux adaptés tendent à vivre assez longtemps pour se reproduire alors que les plus faibles ont tendance à disparaître.

Quatre caractéristiques les distinguent des autres techniques d'optimisation [25] :

- Ils utilisent un codage des paramètres et non les paramètres eux-mêmes
- Ils travaillent sur une population d'individus (ou de solutions)
- Ils n'utilisent que les valeurs de la fonction à optimiser, pas sa dérivée, ou une autre connaissance auxiliaire
- Ils utilisent des règles de transition probabilistes et non déterministes.

III.6.1 Analogie avec l'évolution naturelle

Les algorithmes Génétique (AGs) font évoluer un ensemble de solutions candidates, appelé une population d'individus. Un individu n'est autre qu'une solution possible du problème à résoudre. Chaque individu de cette population se voit attribuer une fonction appelée fonction d'adaptation (fitness) qui permet de mesurer sa qualité ou son poids , cette fonction d'adaptation peut représenter la fonction objectif à optimiser, ensuite, les meilleurs individus

de cette population sont sélectionnés, ils subissent des croisements et des mutations et une nouvelle population de solutions est produite pour la génération suivante [26, 27, 28].

Ce processus se poursuit, génération après génération, jusqu'à ce que le critère d'arrêt soit atteint, comme par exemple le nombre maximal de générations.

III.6.2 Principe de base d'un Algorithme Génétique

Un algorithme génétique nécessite le codage de l'ensemble des paramètres du problème d'optimisation en une chaîne de longueur finie, il débute par générer une population initiale d'individus (solutions) de façon aléatoire, puis, à chaque génération, des individus sont sélectionnés, cette sélection est effectuée à partir d'une fonction objectif appelée fonction d'adaptation, puis, les opérateurs de croisement et de mutation sont appliqués et une nouvelle population est créée. Ce processus est itéré jusqu'à un critère d'arrêt. Le critère le plus couramment utilisé est le nombre maximal de générations que l'on désire effectuer. La figure (5) présente le principe d'un Algorithme Génétique.

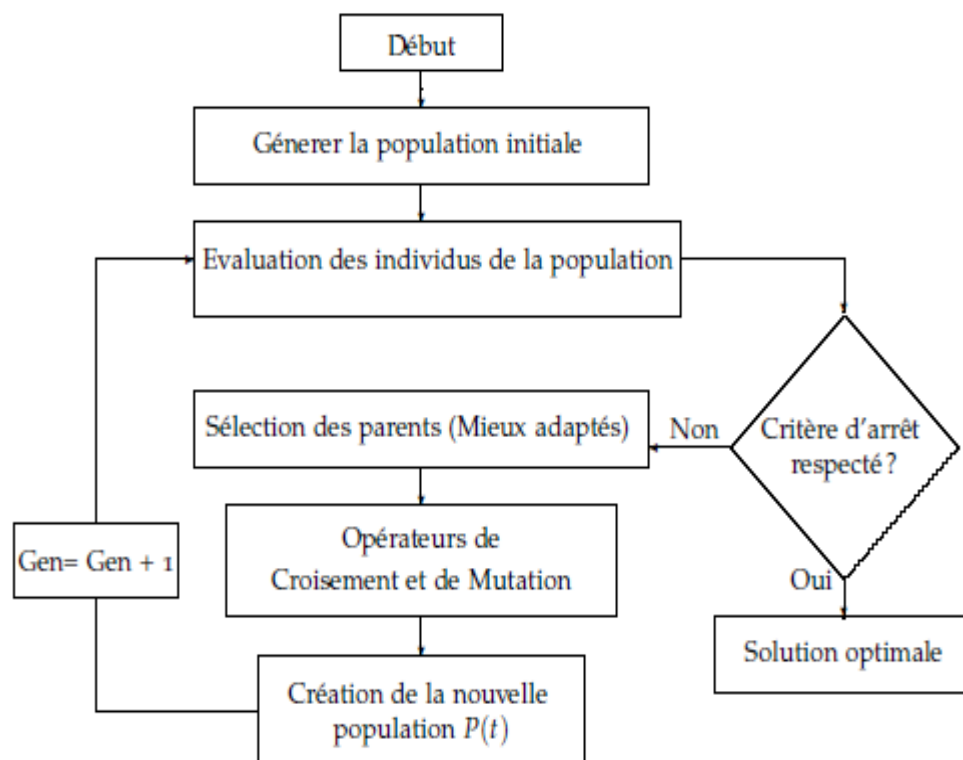


Figure. III.6 L'algorithme génétique.

III.7. Algorithmes à essaims de particules

Les algorithmes « d'optimisation par essaim de particules » (Particle Swarm Optimization – PSO) introduits pour la première fois par Kennedy et Eberhart de 1995 à 2001 sont inspirés des déplacements collectifs observés chez certains animaux sociaux tels que les poissons et les oiseaux migrateurs. En effet, il est étonnant de voir comment ces animaux se déplacent en groupe dans une seule direction, se divisent parfois en plusieurs groupes afin d'éviter un obstacle ou un prédateur, puis reforment un groupe compact. Avec des règles locales très simples comme « rester proche des autres individus », « aller dans la même direction », « aller à la même vitesse », ces animaux sont capables d'éviter un prédateur par des mouvements d'explosion puis reforment le groupe originel, tout en maintenant la cohésion du banc. Dans l'algorithme à essaim de particules, les individus de l'algorithme sont appelés particules et la population est appelée essaim.

L'approche par PSO trouve ses racines dans les travaux de l'infographiste Craig Reynolds qui fut le premier à modéliser ce genre de comportement collectif émergent par ses fameux boids [29] Figure (III.7). Les boids sont des individus autonomes. Chaque individu n'a qu'une vision locale de son environnement Figure III.8 et son comportement va être le résultat d'une somme d'attractions et de répulsions engendrées par son environnement direct, codées par des règles très simples Figure III.9.

- 1- Chaque individu doit éviter de heurter ses voisins.
- 2 -Chaque individu tend à s'approcher des vitesses et directions générales du groupe local, c'est à-dire des voisins immédiats.
- 3-Chaque individu cherche à s'approcher du centre de gravité du groupe local.

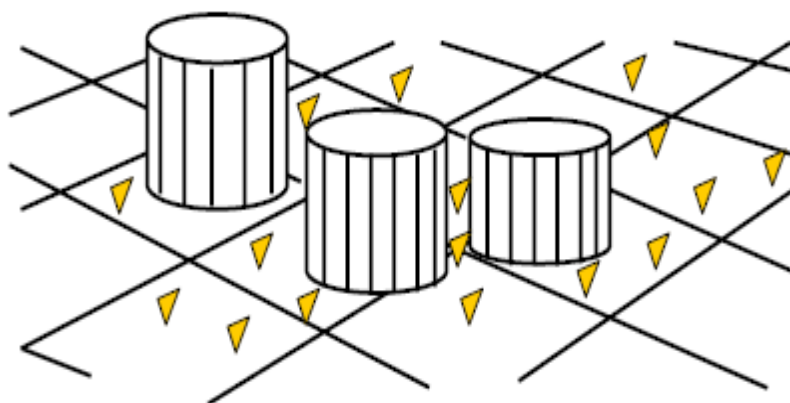


Figure. III.7 Les boids de Reynolds

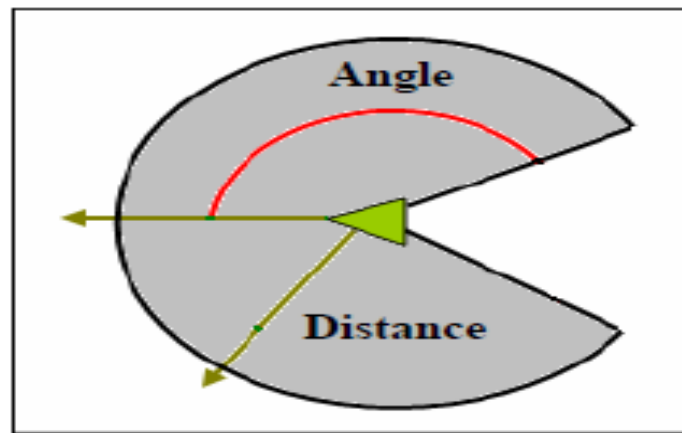


Figure. III.8. Le voisinage local d'un boid.

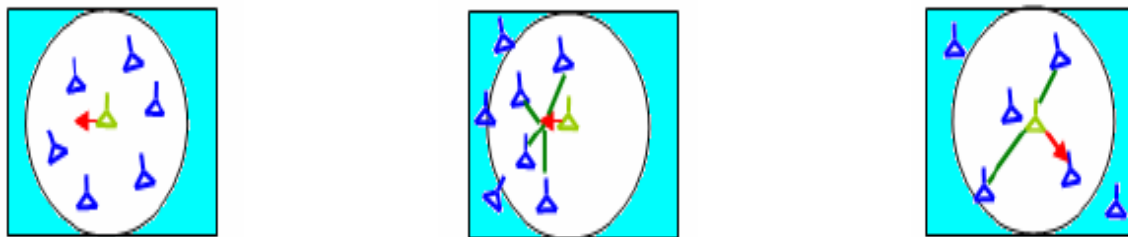


Figure. III.9. Les trois règles trouvées par Reynolds pour programmer des mouvements Collectifs complexes.

La technique PSO utilise des règles de comportements locaux pour faire émerger à travers une dynamique collective auto-organisée la valeur optimale d'une fonction de fitness. Chaque particule est caractérisée par sa position (où la meilleure valeur pour sa fonction de fitness a été rencontrée) et un vecteur de changement de position (appelé vitesse), à chaque itération, une particule décide de son prochain mouvement en fonction de sa propre expérience, qui est dans ce cas la mémoire de la meilleure position qu'elle a rencontrée, et en fonction de son meilleur voisin. Ce voisinage peut être défini spatialement en prenant par exemple la distance euclidienne entre les positions de deux particules ou sociométriquement (position dans l'essaim de l'individu).

III.8. Conclusion

Les méthodes de résolution de problèmes d'optimisation ont été classées en deux catégories: les méthodes exactes et les méthodes approchées. Les méthodes exactes sont connues par le fait qu'elles garantissent l'optimalité de la solution mais elles demandent des coûts de recherche (temps de calcul et espace mémoire) souvent prohibitifs qui augmentent avec la taille de l'instance du problème traité, tandis que, les méthodes approchées sont connues par le fait qu'elles ne garantissent pas l'optimalité de la solution (elles fournissent des solutions de bonne qualité et des fois optimales) mais elles nécessitent des coûts de recherche raisonnables.

Les méthodes approchées sont classées en deux catégories: les heuristiques et les métaheuristiques. les métaheuristiques peuvent être classées en deux catégories, les métaheuristiques à base de solution unique et les métaheuristiques à base de population de solutions. La majorité de métaheuristiques sont inspirées de systèmes naturels, nous pouvons citer à titre d'exemple: les algorithmes génétiques, les algorithmes basés sur l'intelligence par essaim comme l'algorithme d'optimisation par essaim de particules.

CHAPITRE IV

ALGORITHME DES ESSAIMS DE SALPES (SSA)

IV.1. Introduction

Le problème de dispatching économique nécessite l'utilisation des méthodes d'optimisation pour s'approcher ou avoir la solution optimale, et permis ces méthodes, les méta-heuristiques sont devenues étonnamment très populaires dans ce domaine. Cette popularité est due à plusieurs raisons principales: la flexibilité, le mécanisme sans gradient, et l'optimisation locale des optima de ces algorithmes. Les deux premiers avantages proviennent du fait que les méta-heuristiques considèrent et résolvent les problèmes d'optimisation en ne regardant que les entrées et les sorties et ainsi qu'il n'est pas nécessaire de calculer la dérivée de l'espace de recherche, cela les rend très flexibles pour résoudre un tel problème. Puisque les méta-heuristiques appartiennent à la famille des techniques d'optimisation approchées, elles bénéficient d'opérateurs aléatoires, cela les aide à éviter les solutions locales lors de la résolution de problèmes réels, qui ont généralement un grand nombre d'optima locaux. Grâce à ces avantages, l'application de méta-heuristiques peut être très efficace pour résoudre le PDE avec les contraintes pratiques des centrales électriques.

En raison des avantages de ces algorithmes, nous nous sommes intéressés à proposer un nouveau algorithme méta-heuristiques pour résoudre le problème de dispatching économique il s'agit de l'algorithme des essaims des salpes (salp swarm algorithme) (SSA).

IV.2. Généralité sur le comportement des salpes

Les salpes appartiennent à la famille des Sapiques qui ont un corps en forme de tonneau transparent. Leurs tissus sont très similaires à ceux des méduses. Ils se déplacent également très semblable à la méduse, dans laquelle l'eau est pompée à travers le corps comme propulsion pour avancer [30]. La forme d'une salpe est représentée ci-dessous:

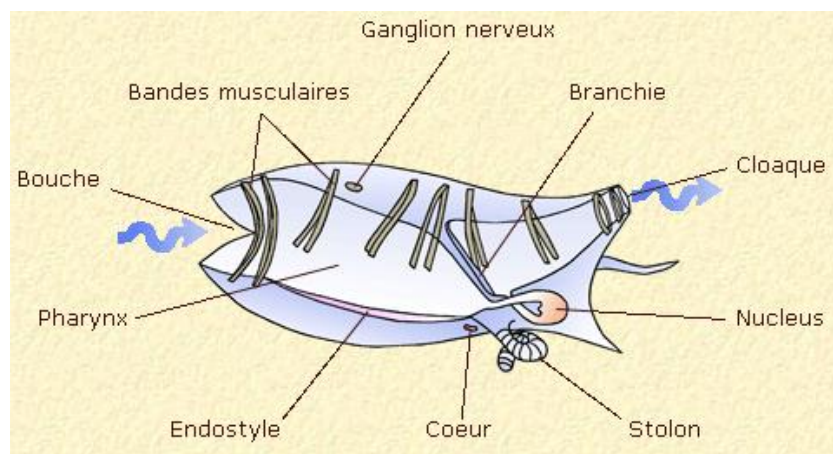


Figure. IV.1 Salpe individuel

Dans les océans profonds, les salpes forment souvent un essaim appelé chaîne salpe, Cette chaîne est illustrée sur la figure.IV.2.et la Figure.IV.3.La principale raison de ce comportement n'est pas encore très claire, mais certains chercheurs pensent que cela est fait pour parvenir à une meilleure locomotion en utilisant des changements coordonnés rapides et une recherche de nourriture [31].

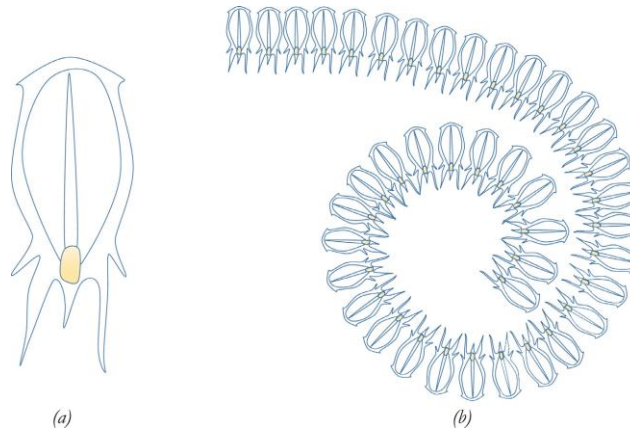


Figure. IV.2 (a) Salpe individuel, (b) essaim de salpes (chaîne salpêtre).

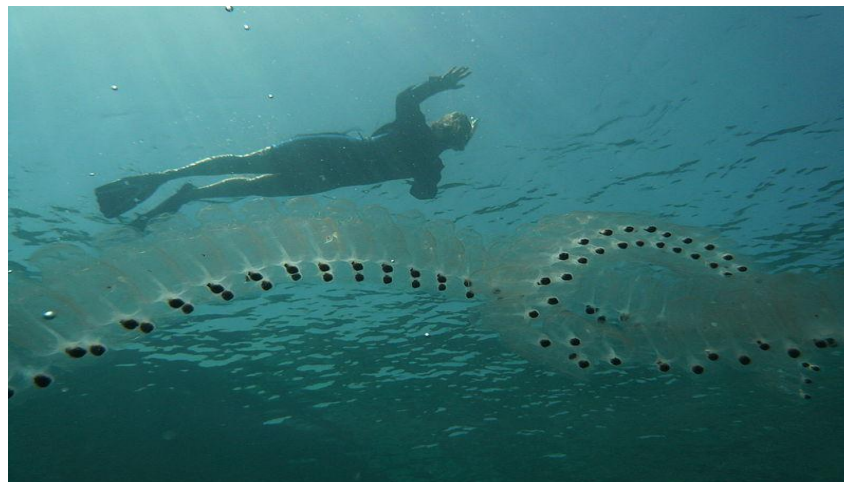


Figure. IV.3 Essaim de salpes (chaîne salpêtre).

IV.3. L'algorithme de recherche des salpes utilisé dans l'optimisation

Dans le modèle de l'essaim SSA, les salpes suiveuses suivent La salpe principale (leader). La salpe principale se déplace également vers la source de nourriture. Si la source de nourriture est remplacée par l'optimum global, la chaîne de salpe se déplace automatiquement vers elle. Cependant, le problème est que l'optimum global des problèmes d'optimisation est inconnu. Dans ce cas, on suppose que la meilleure solution d'obtenue jusqu'à présent est l'optimum global et supposée comme source de nourriture à chasser par la chaîne salpe.

IV.4. Modèle mathématique proposé pour le déplacement des chaînes de salpe

Il y a peu dans la littérature pour modéliser mathématiquement les comportements d'essaimage [32] et la population de salpes [33]. De plus, il n'y a pas de modèle mathématique des essaims de salpe pour résoudre les problèmes d'optimisation, alors que des essaims d'abeilles, de fourmis et de poissons ont été largement modélisés et utilisés pour résoudre les problèmes d'optimisation.

La population est d'abord divisée en deux groupes [01]: leader et suiveurs. Le leader est la salpe à l'avant de la chaîne, tandis que le reste des salpes sont considérés comme des suiveurs. Comme l'indique le nom de ces salpes, le leader guide l'essaim et les suiveurs se suivent (et dirigent directement et indirectement).

De même que pour d'autres techniques basées sur des essaims, la position des salpes est définie dans un espace de recherche à une dimension où nombre variables d'un problème donné. Par conséquent, la position de tous les salpes est stockée dans une matrice bidimensionnelle appelée x . On suppose également qu'il existe une source de nourriture appelée F dans l'espace de recherche en tant que cible de l'essaim.

Pour mettre à jour la position du leader, l'équation suivante est proposée:

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1 \left((ub_j - lb_j)c_2 + lb_j \right) & c_3 \geq 0 \\ F_j - c_1 \left((ub_j - lb_j)c_2 + lb_j \right) & c_3 < 0 \end{cases} \quad (IV.1)$$

Où x_j^1 montre la position de la première salpe (leader) dans la j -th dimension, F_j est la position de la source de nourriture dans la j -th dimension, ub_j indique la limite supérieure de la j -th dimension, lb_j indique la limite inférieure de la j -th dimension, c_1 , c_2 et c_3 sont des nombres aléatoires.

eq (IV.1) montre que le leader ne fait que mettre à jour sa position par rapport à la source de nourriture. Le coefficient c_1 est le paramètre le plus important en SSA car il équilibre l'exploration et l'exploitation définies comme suit:

$$c_1 = 2e^{-\left(\frac{4l}{L}\right)^2} \quad (IV.2)$$

Où l est l'itération courante et L est le nombre maximum d'itérations.

Les paramètres c_1 et c_2 sont des nombres aléatoires générés uniformément dans l'intervalle $[0,1]$.

En fait, ils dictent si la prochaine position dans la j -th dimension doit être vers l'infini positif ou l'infini négatif ainsi que la taille du pas.

Pour mettre à jour la position des suiveurs, on utilise les équations suivantes (loi du mouvement de Newton):

$$x_j^i = \frac{1}{2}at^2 + v_0t \quad (IV.3)$$

Où $i \geq 2$, x_j^1 montre la position de la i -th salpe suiveur dans la durée, t est le temps, v_0 Est la vitesse initiale, et $a = \frac{v_{final}}{v_0}$ où $v = \frac{x-x_0}{t}$ Comme le temps d'optimisation est l'itération, l'écart entre les itérations est égal à 1, et en considérant $v_0 = 0$, cette équation peut être exprimée comme suit:

$$x_j^i = \frac{1}{2}(x_j^i + x_j^{i-1}) \quad (IV.4)$$

Où $i \geq 2$ et x_j^1 montre la position du i -th salpe suiveuse dans la j -th dimension.

IV.5. Simulation d'essai [01]

Afin de voir les effets du modèle mathématique proposé ci-dessus, Vingt salpes sont placées au hasard sur un espace de recherche avec des sources d'aliments fixes ou mobiles. La position des chaînes de salpe et l'historique de chaque salpe sont dessinés sur les Fig. IV.4, Fig. IV.5, notez que le point bleu dans les figures montre la position de la source de nourriture et le cercle rempli le plus foncé est la salpe principale. Les salpes suiveuses sont colorées en gris en fonction de leur position dans la chaîne salpe par rapport au leader.

L'observation du comportement de la chaîne des salpes sur neuf itérations consécutives des Fig. IV.4 et IV.5, on peut observer que l'essaim peut être formé et déplacé en utilisant l'équation proposée de manière efficace juste après la première itération. En outre, on peut voir que la salpe principale change sa position autour de la source de nourriture et que les salpes suivent progressivement au cours des itérations. Le même modèle a été utilisé pour les deux simulations et les mérites du modèle proposé dans les deux espaces 2D et 3D sont évidents sur les Fig. IV. 4 et IV.5.

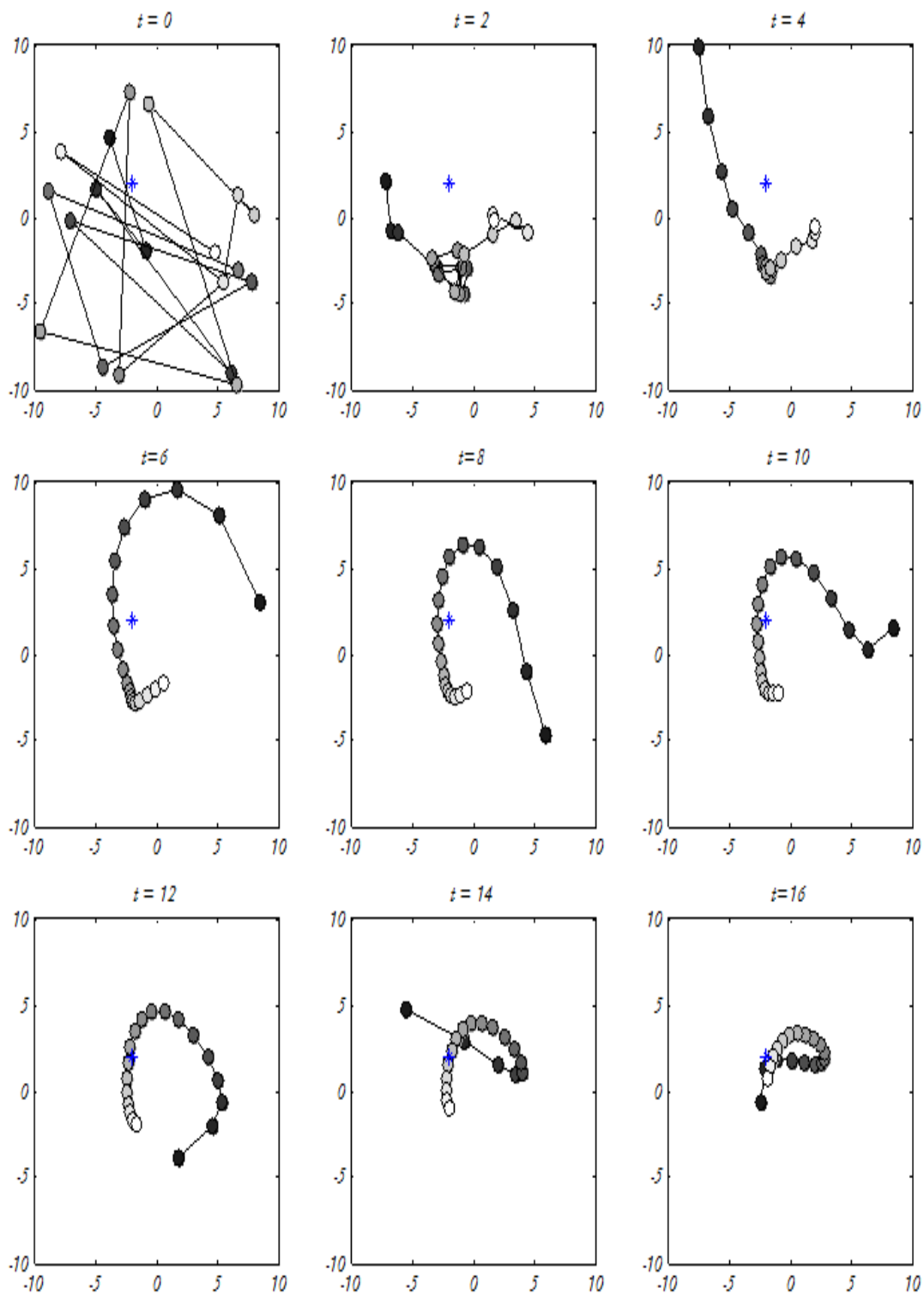


Figure. IV.4. Faire glisser le mouvement de la chaîne autour d'une source fixe de nourriture dans un espace

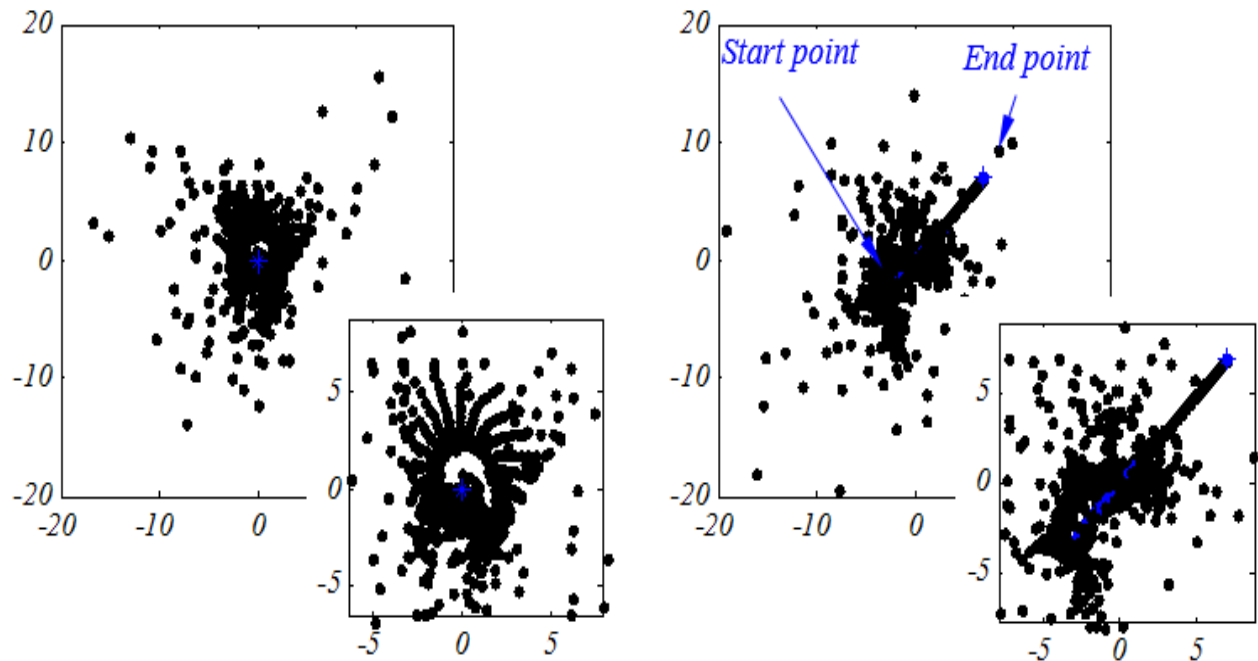


Fig. IV.5. Rechercher l'historique des sources de nourriture stationnaires et mobiles dans un espace 2D après 100 itérations.

Les figures IV.6 et IV.7 montrent l'historique de position des salpes autour d'une source de nourriture stationnaire et mobile dans l'espace 2D et 3D après 100 itérations. Les points recherchés autour de la source de nourriture fixe montrent que les salpes se déplacent effectivement autour de l'espace de recherche. La distribution des points est raisonnable et montre que le modèle proposé est capable d'explorer et d'exploiter l'espace autour de la source de nourriture stationnaire. De plus, les Fig. IV.6 et IV.7 montrent que le modèle mathématique proposé nécessite des salpes dans la chaîne salpe pour chasser une source de nourriture en mouvement. La distribution des points recherchés autour du point de départ est supérieure au point final. Ceci est dû au paramètre c_1 qui contrôle l'exploration et l'exploitation. Ces découvertes prouvent que le modèle de mouvement de la chaîne de salpe est capable d'explorer et d'exploiter l'espace autour des sources de nourriture stationnaires et mobiles.

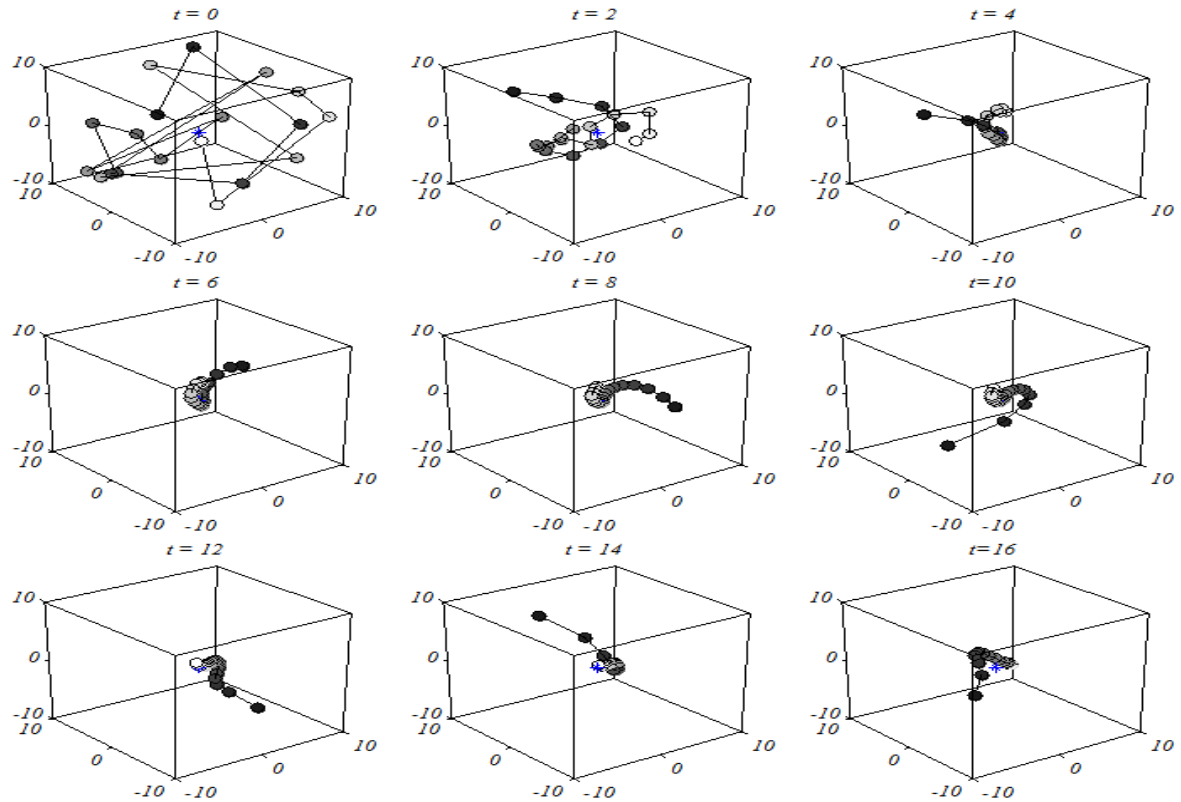


Fig. IV.6. Faire glisser le mouvement de la chaîne autour d'une source fixe de nourriture dans un espace 3D.

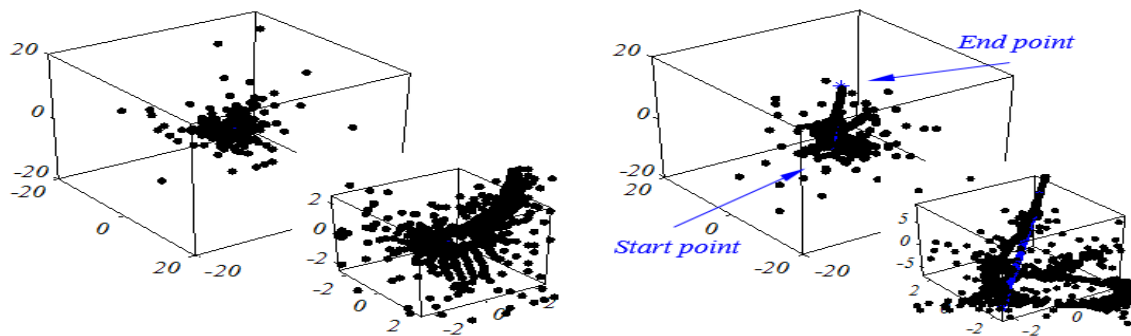


Fig. IV.7. Rechercher l'historique des sources de nourriture stationnaires et mobiles dans un espace 3D après 100 itérations.

IV.6. L'algorithme d'optimisation de SSA

Etape 01 : initialisation du problème et des paramètres réglables

Introduire les paramètres réglables de SSA qui sont :

- Taille de la population (N)
- Le nombre maximal des itérations (iter_max)

Etape 02 : Générer une population de salpes

N salpes sont placées au hasard dans un espace de recherche de d-dimension comme des membres de l'essaim, chaque salpe représente une solution réalisable, et d est le nombre de variable.

Etape 03 : Calculer la valeur fitness de chaque salpe (fonction objective)

Pour chaque salpe la valeur fitness est calculée, en introduisant les valeurs relatives aux variables dans la fonction objective.

Etape 04 : Déterminer le meilleur agent (salpe)

Trouver la salpe avec la meilleure position (source de nourriture) et assigner la position de la meilleure salpe à la fonction objective comme source de nourriture à chasser par la chaîne salpe.

Etape 05 : Mise à jour la constante C_1

Pour l'itération courante, le coefficient C_1 est mis à jour en utilisant l'équation (IV.2).

Etape 06: mettre à jour la position des salpes leader

Pour chaque variable, la position de la salpe en tête (leader) est mise à jour en utilisant l'équation (IV.1)

Etape 07 : mettre à jour la position des salpes suiveurs

la position des salpes suiveurs sont mises à jour en utilisant l'équation. (IV.4)

Etape 08 : Limitation

Si l'une des variables dépasse les limites, il sera fixé à la limite correspondante

Etape 09 : mettre à jour le meilleur agent trouvé

Identifier le meilleur agent et comparer le avec le meilleur agent courant (considéré comme une source de nourriture)

Etape 10 : vérifier le critère d'arrêt

Les étapes 3-7 sont exécutées d'une manière itérative jusqu'à la satisfaction d'un critère de fin (jusqu'à iter_max) dans ce cas, la meilleure position de salpe (meilleure fonction objective) est considérée comme la solution optimale du problème d'optimisation

IV.6.1. Organigramme de l'algorithme SSA pour l'optimisation

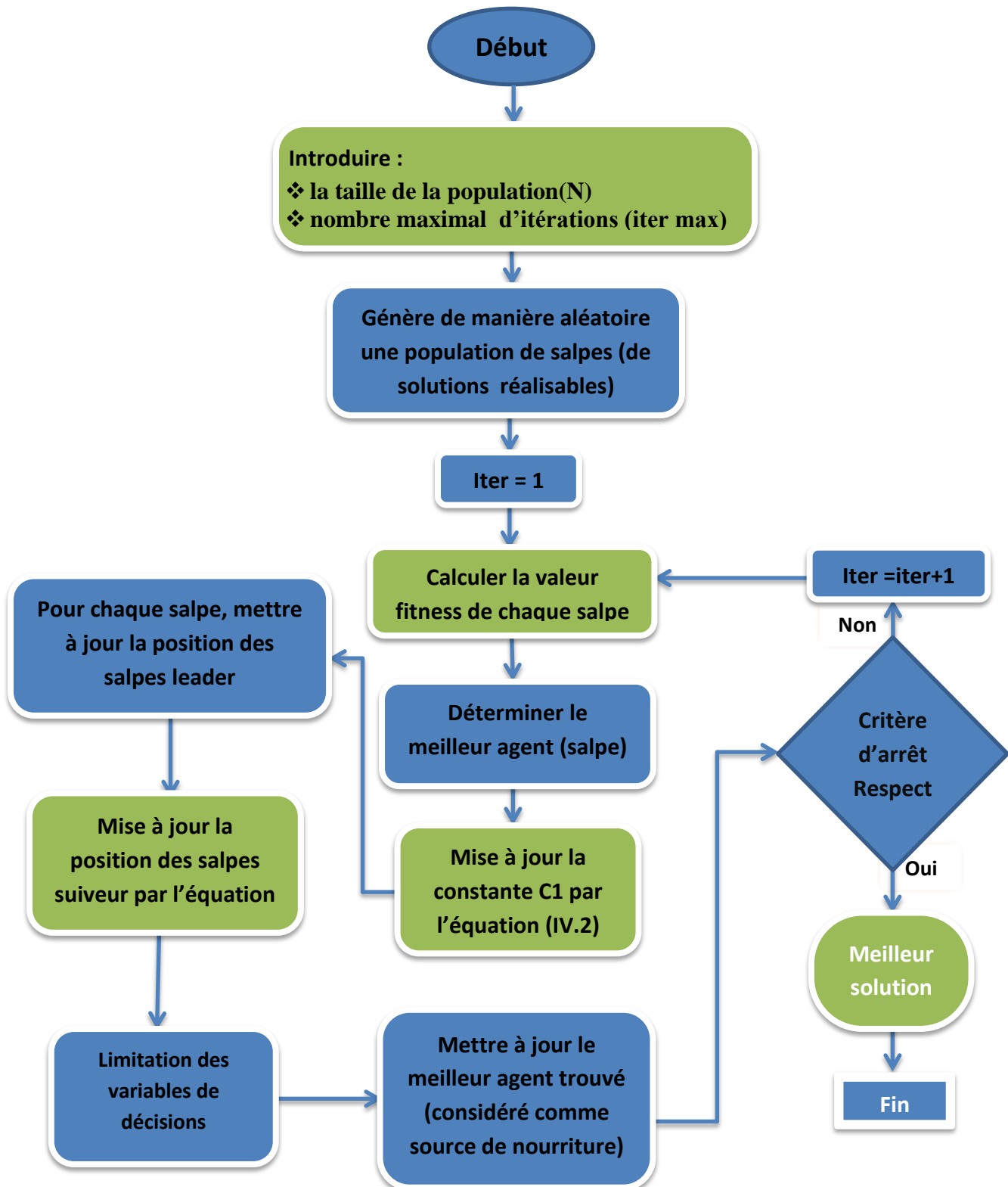


Figure IV.8. Organigramme de l'algorithme SSA appliqué à l'optimisation

IV.7. Conclusion

Un nouvel algorithme méta-heuristique inspiré de la nature a été abordé dans ce chapitre pour résoudre les problèmes d'optimisation, il s'agit de l'algorithme d'essaim des salpes (SSA).

Le comportement de l'essaim des salpes (chaîne salpe) a été l'inspiration principale de cette technique. La population en SSA est divisée en deux groupes: leader et suiveurs. Le leader est la salpe à l'avant de la chaîne, le reste des salpes sont des suiveurs et comme l'indique le nom de ces salpes, le leader guide l'essaim et les suiveurs le suivent.

Deux modèles mathématiques ont été proposés pour mettre à jour la position des salpes (un pour le leader et l'autre pour les suiveurs). La simulation d'essaims dans les espaces 2D et 3D a montré que les modèles proposés sont capables de rechercher autour des sources de nourriture de façon stationnaires et mobiles de sorte que la principale source de nourriture à chasser par la chaîne de salpes est considérée comme la meilleure solution obtenue et les autres caractères pour cette méthode ont été abordés profondément dans ce chapitre.

Un ensemble de tests se fera dans le prochain chapitre pour prouver la performance de cette méthode dans la résolution du problème de dispatching économique.

CHAPITRE V

RÉSULTATS DE L'APPLICATION DE SSA AU DISPATCHING ÉCONOMIQUE

V.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats numériques relatifs à l'application de l'algorithme proposée qui est conçue pour optimiser la fonction de cout total de production de l'énergie électrique tout en considérant certaines contraintes pratique des centrales électriques (l'effet de rampe, l'effet des vannes) afin de bien illustrer l'efficacité et la robustesse de cet algorithme.

Dans ce chapitre, Nous exposons, les tests de validation de la méthode proposée de sorte que la première comportera l'application de la méthode SSA sur le problème du Dispatching Economique (DE), cette étude sera réalisée sur un réseau qui comporte six générateurs seulement avec les pertes de transmission.

Le deuxième test sera réparti en deux parties, la première sera effectuée sur un réseau qui comporte quinze générateurs avec les pertes de transmission et la deuxième sera comme la première mais avec la considération d'effet de rampe.

La troisième teste sera réalisée sur un réseau de quarante unité sans calculer les pertes de transmission et de sorte que l'effet des vannes est considéré, Ces tests nous a permet de comparer les résultats obtenus avec d'autres résultats trouvés par d'autres approches Dédiées à la résolution du problème de DE.

L'algorithme proposé a été développée sous l'environnement Matlab version 7.1, en utilisant un ordinateur doté d'un processeur Intel duel core 2.6 GHz et une mémoire vive de 2GH.

V.2. Les résultats de simulation

Après l'ajustement des paramètres de l'algorithme SSA dans le code de calcul et l'introduction des données du réseau de test, nous exécutons l'algorithme sous l'environnement MATLAB et cela pour les trois types des réseaux test.

V.2.1. Application de l'algorithme SSA sur un système 6 unités

Les données :

La puissance demandée : $P_d=1263$ MW

Les paramètres de choix de SSA sont donnés comme suit :

- ✚ Le nombre de population : $N=100$
- ✚ Le nombre d'itération maximal : $iter\ max =200$

V.2.1.1. Les résultats de la simulation de réseau six générateurs

Le tableau (V.1) illustre les résultats de simulation.

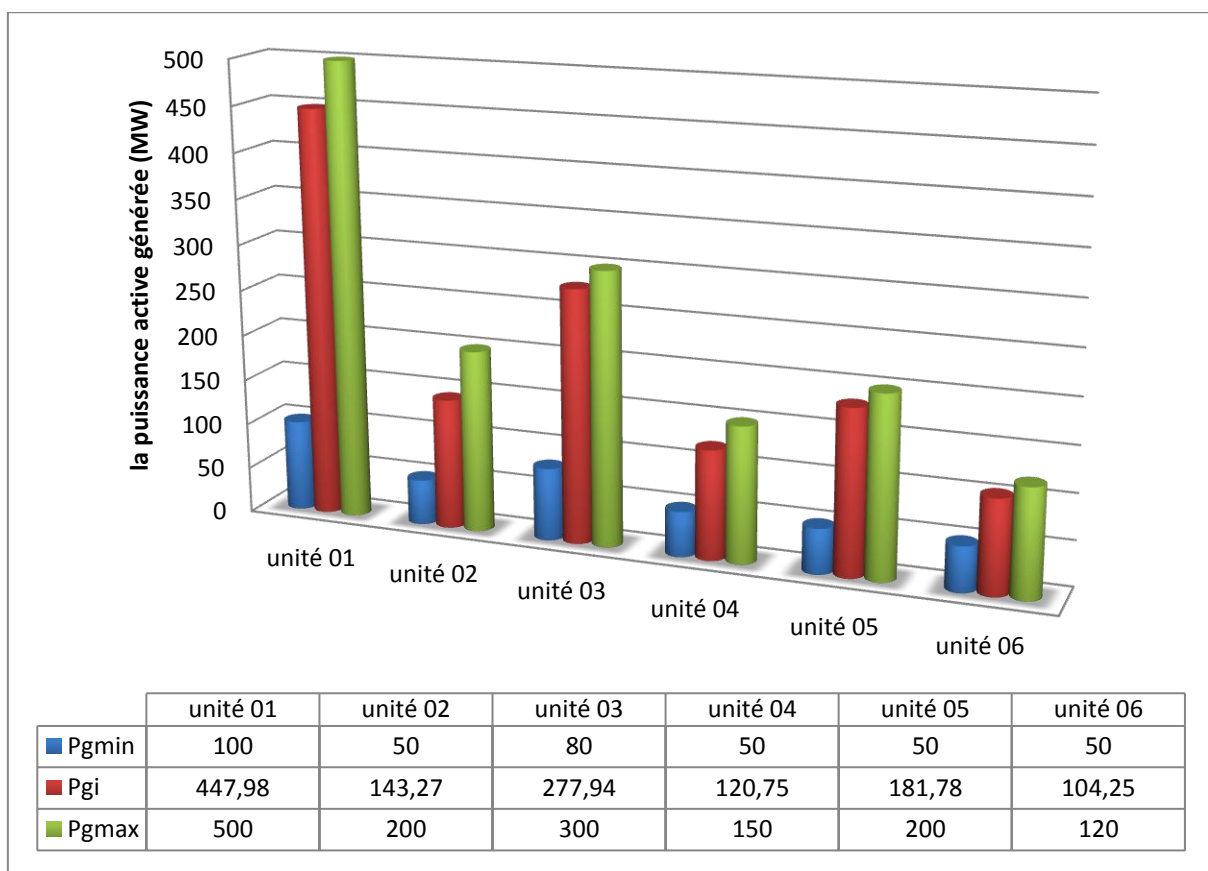
Tableau. V.1 les résultats de simulation de réseau électrique 6 générateurs.

La production totale de la puissance	1276 MW
Le Coût total (CT)	15442.80 \$/h
Les pertes actives totales dans le réseau	12.50 MW
la contrainte d'égalité (DP)	-3.11×10^{-8}
Temps d'exécution	0.82 s

V.2.1.2. La répartition optimale des puissances générées des centrales

Le tableau 5.2 représente la répartition optimale des puissances générées par chaque centrale.

Figure.5.1. la vérification des limites des puissances générées réparties d'une façon optimale



V.2.1.3. Convergence de l'algorithme SSA pour la résolution du DE

La figure (V.2) représente la caractéristique de convergence de SSA pour un réseau de test de 6 générateurs.

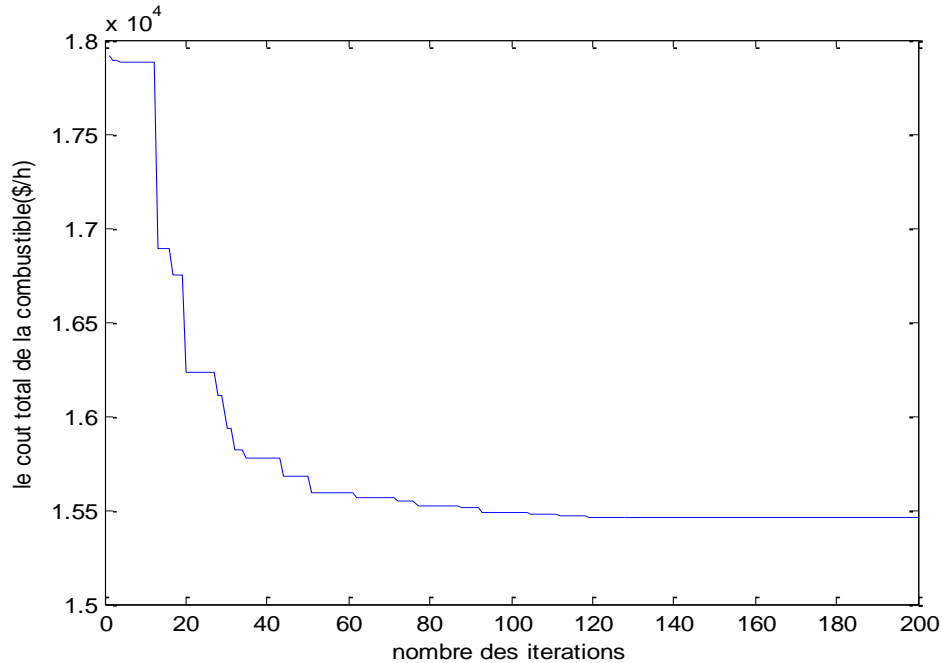


Figure. V.2 la caractéristique de convergence de l'algorithme SSA pour un réseau de 6 générateurs

V.2.1.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais

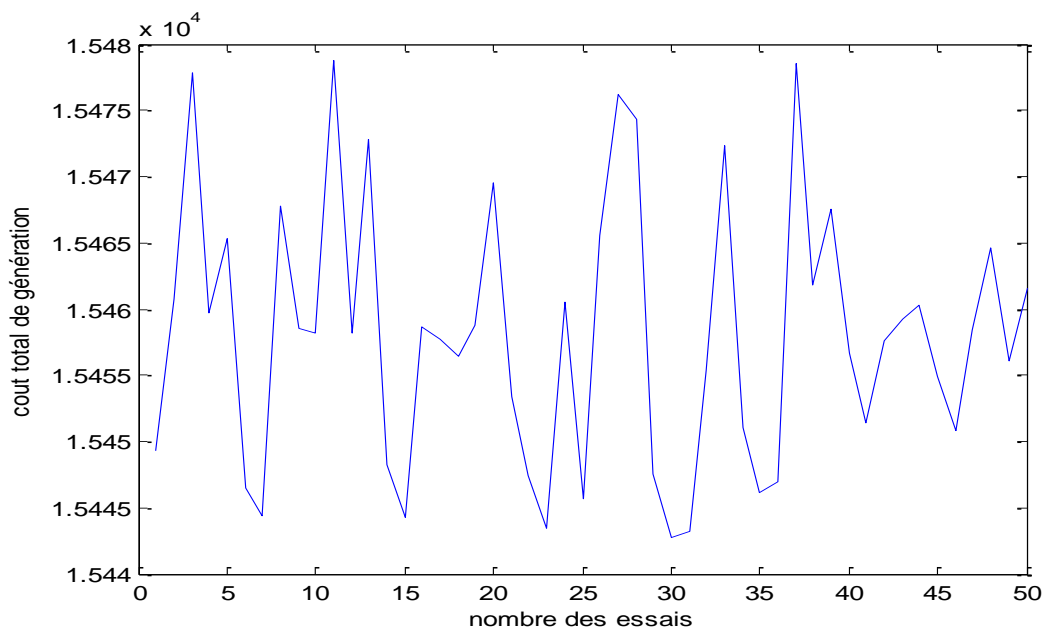
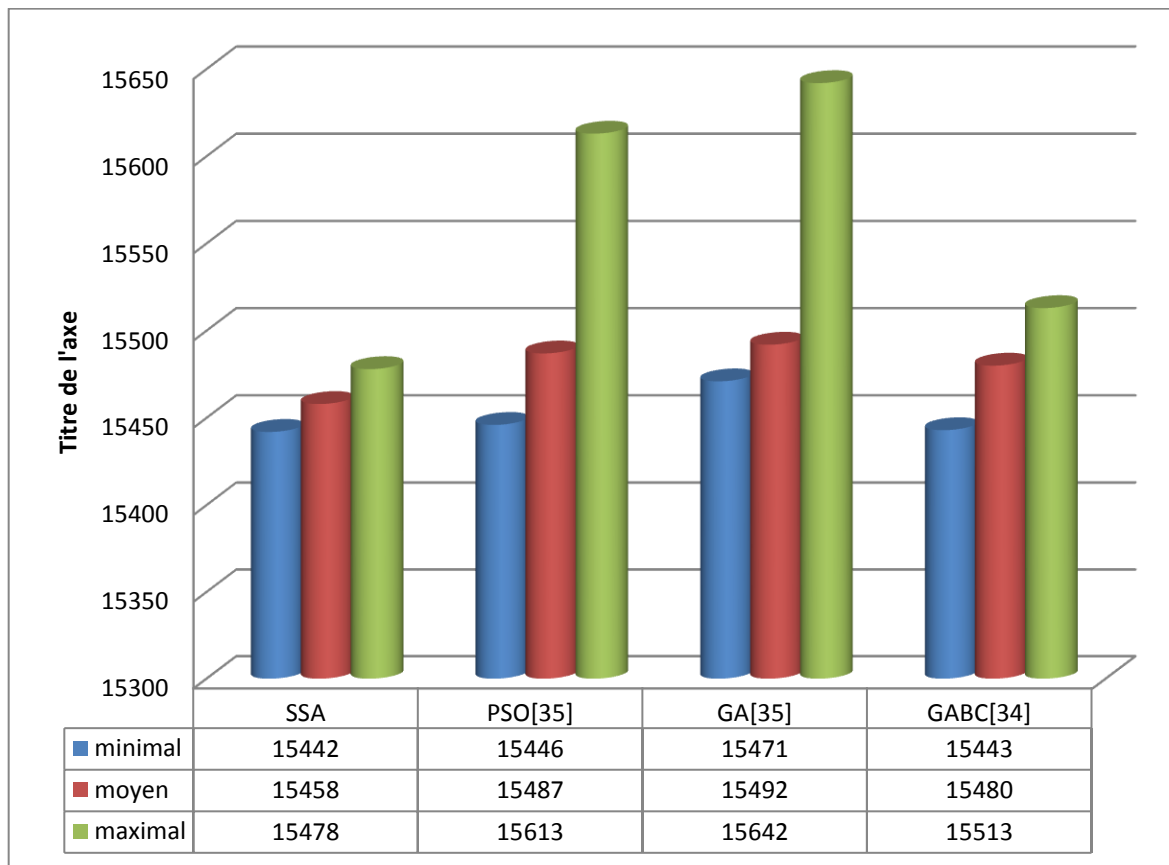


Figure.V.3 Variation de cout optimal pour 50 essais d'un system de 06 unités

V.2.1.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais

Pour chaque essai et après la convergence de l'algorithme SSA, nous obtenons la valeur optimale ou minimale de cout total de production. Après l'exécution de 50 essais nous calculons la valeur moyenne des couts optimaux et nous faisons l'extraction de la valeur maximale des couts optimaux pour l'un des essais .la comparaison des valeurs minimale, moyenne et maximale avec celles d'autres méthodes nous permettra de vérifier la robustesse de notre méthode .

Tableau .V.3 comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (cas de 6 unités)



V.2.1.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes

Le tableau (5.4) compare les résultats obtenus par l'algorithme SSA avec ceux trouvés par d'autres méthodes (DE, BBO, ABC, BFO), ce tableau présente le cout minimal et la puissance générée relative à chaque unité et la puissance totale générée et aussi les pertes dans le system de 06 unités.

Tableau.V.4 comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes (cas de 6 unités)

Variable du system	Méthode SSA	Méthode DE [36]	Méthode BBO [36]	Méthode ABC [36]	Méthode BFO [36]
Pg1	447.9810	447.50	438.65	400.00	438.21
Pg2	143.2791	170.52	167.90	186.55	172.58
Pg3	277.9424	261.90	262.82	289.00	257.42
Pg4	120.7592	116.91	136.77	150.00	141.09
Pg5	181.7809	190.41	171.76	200.00	179.37
Pg6	104.2583	88.49	97.67	50.00	86.88
Puissance total généré(MW)	1276	1275.73	1275.57	1275.55	1275.73
Les pertes(MW)	12.50	12.73	12.52	12.55	12.55
Le Coût total	15442.80	15456.56	15445.90	15452	15446

V.2.1.7. Interprétation des résultats

D'après La figure (V.2), On remarque que l'algorithme (SSA) a le pouvoir de converger vers la solution optimale pratiquement dès les 120 ieme premières itération, et parce que la méthode de SSA est basée sur le processus itératif avec une population initiale aléatoire, nous trouvons que pour chaque essai, on a une valeur optimale différente.

Les résultats de tableau .V.1, tableau .V.2 et la figure.V.1, nous montrent que la contrainte d'égalité (DP) est vérifiée, Les puissances optimales générées ne dépassent pas les limites de fonctionnement des générateurs, ça veut dire que la contrainte d'égalité $P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max}$ est aussi vérifiée.

La différence entre le cout optimal min et le cout optimal max (pour les 50 essais) est meilleur par rapport les autres méthodes (PSO, GA, GABC) (Tableau.V.3), ce qui nous montre la robustesse de notre méthode pendant l'exploration de l'espace de recherche

La comparaison qui est rapportée dans le tableau.V.4 montre que le coût optimal de production par les quatre algorithmes Respectivement (DE) 15456.56 (\$/h) (BBO) 15445.90 (\$/h) (ABC) 15452.00 (\$/h) (BFO) 15446.00 (\$/h) Sont supérieurs à celui trouvé par (SSA) 15442.80 (\$/h), ce qui explique l'efficacité de l'algorithme proposé (SSA).

Les pertes de transmission évaluées par notre algorithme 12.50MW avec un temps d'exécution égal 0.82 (sec), sont inférieures de celles des autres méthodes mais elles sont restées très proches en générale.



V.2.2. Application de l'algorithme SSA sur un système 15unités

Cette fois ci nous avons appliqué notre algorithme d'optimisation SSA à un réseau plus large (système 15 unités) afin de prouver sa performance.

Les données :

La puissance demandée : $P_d = 2630$ MW

Les paramètres de choix de SSA sont donnés comme suit :

-  -Le nombre de population : $N=250$
-  -Le nombre d'itération maximal : $\text{iter max} = 300$

Cette étude est répartie en deux cas :

- -Cas d'étude N° 1 : étude de dispatching économique statique avec pertes sans considération les contraintes de Rampe
- -Cas d'étude N° 2 : étude de dispatching économique statique avec pertes en considérant les contraintes de Rampe

V.2.2.1. Cas d'étude N° 1 : Étude de dispatching économique statique avec pertes sans considération des contraintes de Rampe

V.2.2.1.1 Les résultats de la simulation de réseaux quinze générateurs

Le tableau (5.5) illustre les résultats de simulation.

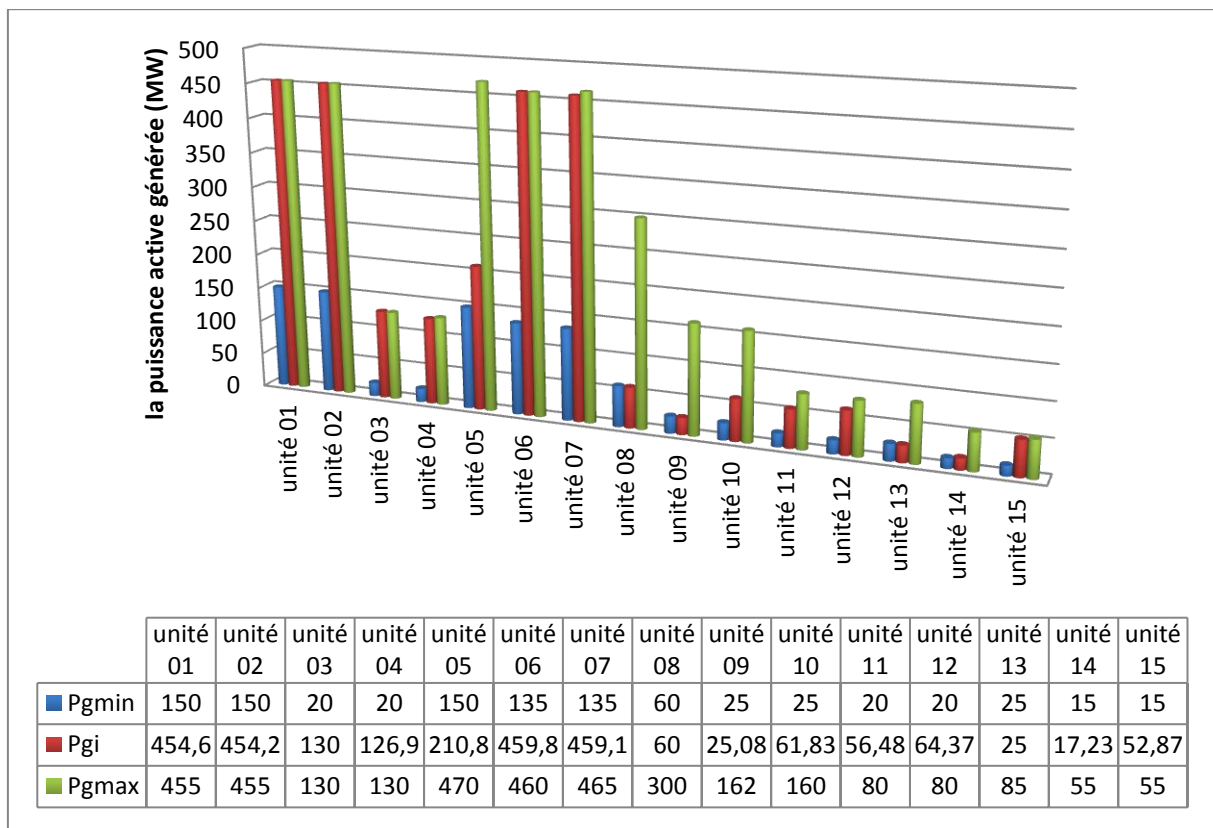
Tableau.5.5 les résultats de simulation de réseau électrique (15 générateurs- cas 01-)

La production totale de la puissance	2658.26 MW
Le Coût total (CT)	32601.06 \$/h
Les pertes actives totales dans le réseau	29.15 MW
la contrainte d'égalité (DP)	-2.67×10^{-7}
Temps d'exécution	3.13 S

V.2.2.1.2. La répartition optimale des puissances générées des centrales

Le tableau.V.6 représente la répartition optimale des puissances générées par chaque centrale (15 générateurs- cas 01-).

Figure.V.4. la vérification des limites des puissances générées réparties d'une façon optimale (15 générateurs- cas 01-)



V.2.2.1.3. Convergence de l'algorithme SSA pour la résolution du DE

La figure (5.5) représente la caractéristique de convergence de SSA pour un réseau de test de 15 générateurs.

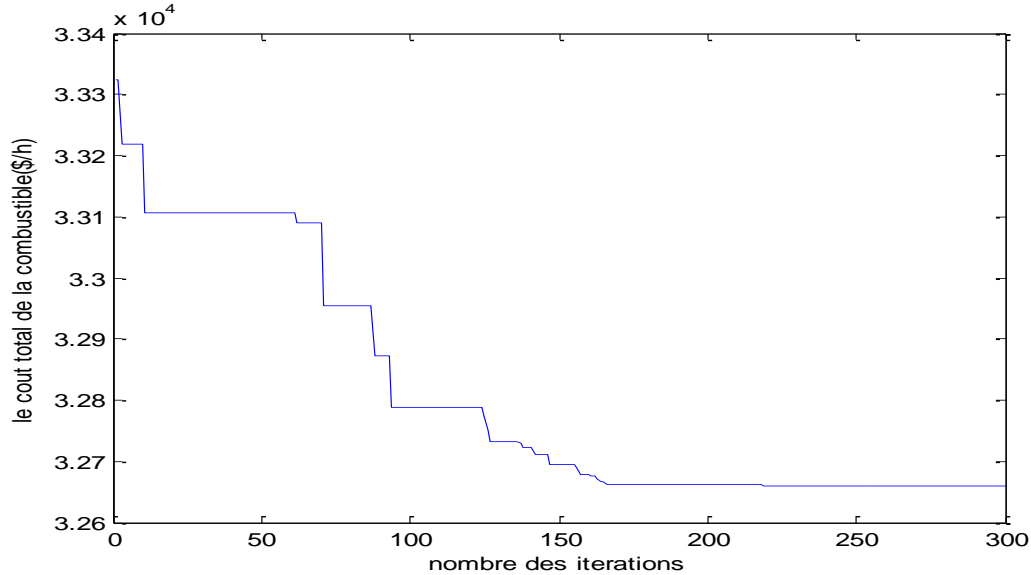


Figure.V.5 la caractéristique de convergence de l'algorithme SSA pour un réseau de 15 générateurs- cas 01-

V.2.2.1.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais

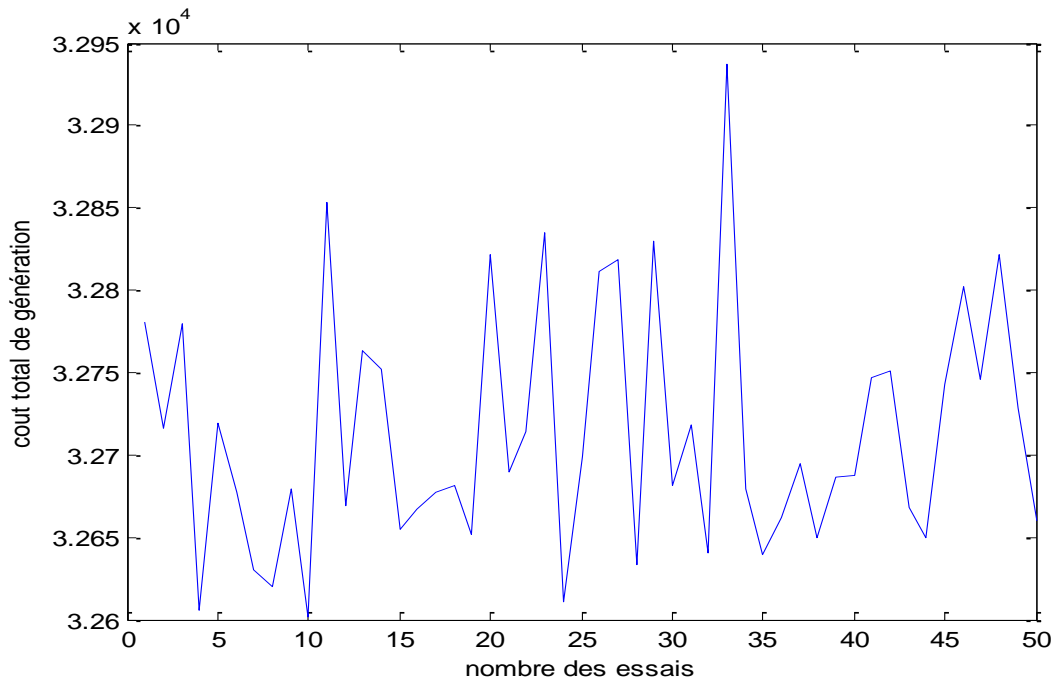
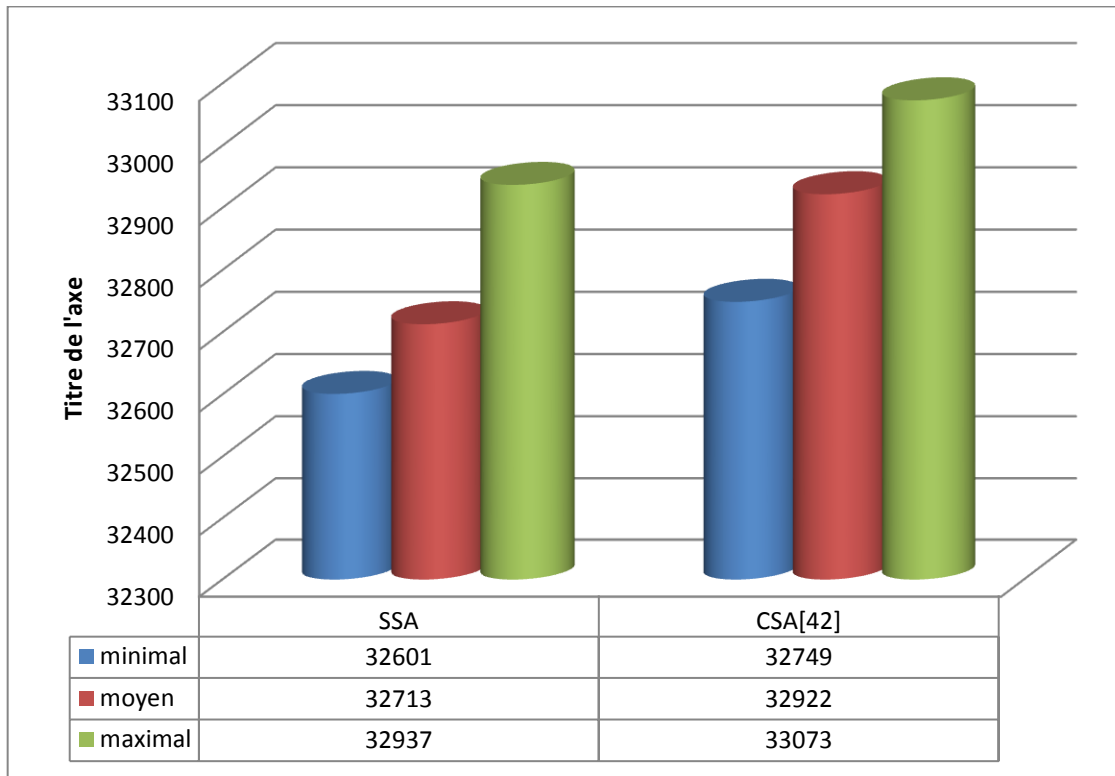


Figure. V.6 : Variation de cout optimal pour 50 essais d'un system de 15 unités-cas 01-

V.2.2.1.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais

Tableau. V.7 comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (15 unités- cas 01-)



V.2.2.1.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes

Tableau.V.8 comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes (15 unités –cas 01-)

Variable du system	Méthode SSA	Méthode DE [37]	Méthode PSO [37]	Méthode CTSO [37]	Méthode CSA [42]
Pg1	454.5597	-	312.73	450	364.42
Pg2	454.1909	-	455	380	453.71
Pg3	129.9987	-	120.35	130	94.91
Pg4	126.8809	-	108.42	130	104.78
Pg5	210.7831	-	438.10	170	298.58

Pg6	459.8215	-	225.42	350	459.85
Pg7	459.1369	-	375.34	300	441.32
Pg8	60.0000	-	182.07	80	97.89
Pg9	25.0838	-	124.30	162	94.43
Pg10	61.8364	-	94.69	160	28.91
Pg11	56.4894	-	42.80	80	79.47
Pg12	64.3740	-	24.73	80	65.51
Pg13	25.0002	-	55.05	25	27.03
Pg14	17.2336	-	36.22	55	25.85
Pg15	52.8743	-	34.69	15	24.17
Puissance total généré(MW)	2658.26	2630	2630	2567	2660.91
Les pertes(MW)	29.15	-	-	31.54	30.91
Le Coût total	32601.06	35122	32912.12	33304.98	32749.5

V.2.2.1.7. Interprétation des résultats

Afin d'apprécier l'efficacité de notre algorithme, nous avons comparé leur résultats obtenus dans le tableau.V.8 avec celles de (DE) 35122 (\$/h) (PSO) 32912.12 (\$/h) (CTSO) 33304.98 (\$/h) (CSA) 32749.5 (\$/h). Il est clair que le SSA a le meilleur coût optimal de production

par rapport aux algorithmes déjà cités, même pour les pertes de transmission évaluées, notre algorithme(SSA) a donné une valeur (29.15MW) inférieur de celle de CTSSO et CSA.

D'après la comparaison qui déjà faite dans le tableau.V.7 entre le SSA et CSA, Nous pouvons confirmer la robustesse de l'algorithme (SSA)

V.2.2.2. Cas d'étude N° 2: Etude de dispatching économique statique avec pertes en considération des contraintes de Rampe

Dans cette partie nous allons étudier l'effet de la considération d'une nouvelle contrainte liée au comportement d'une unité de production sur le rôle de notre optimisation, il s'agit d'introduire les contraintes Rampe des générateurs de production (voir chapitre 2), or les générateurs de production ont en réalité des limites inférieures et supérieures de production d'une heure à autre qu'il ne peut pas les dépasser Vu de cette nouvelle restriction le problème de dispatching économique dynamique devient de plus en plus fortement non linéaire et par suite l'algorithme d'optimisation sera très compliqué.

V.2.2.2.1. Les résultats de la simulation de réseaux quinze générateurs - cas 02-

Le tableau (V.9) illustre les résultats de simulation.

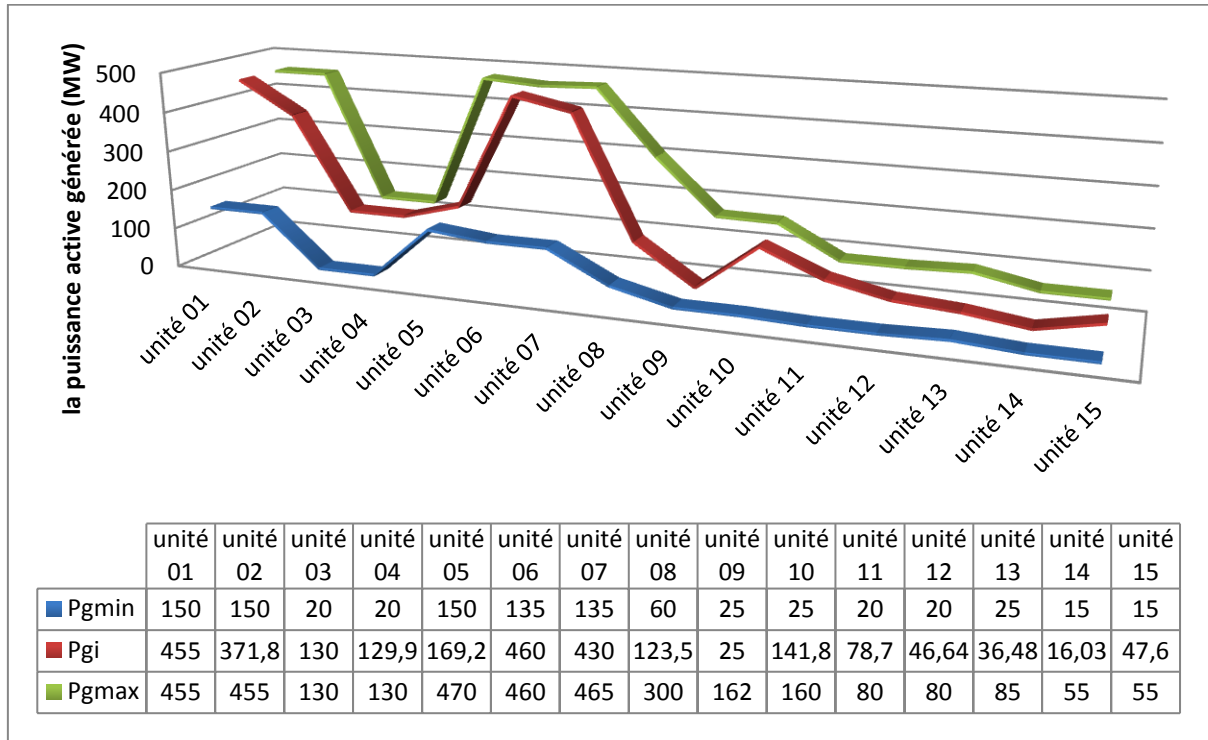
Tableau.V.9. les résultats de simulation de réseau électrique 15 générateurs - cas 02-

La production totale de la puissance	2661.65 MW
Le Coût total (CT)	32730.67 \$/h
Les pertes actives totales dans le réseau	29.10 MW
la contrainte d'égalité (DP)	-1.74×10^{-6}
Temps d'exécution	3.22 s

V.2.2.2.2. La répartition optimale des puissances générées des centrales

Le tableau V.10 représente la répartition optimale des puissances générées par chaque centrale (15 unités-cas 02-).

Figure.V.7. la vérification des limites des puissances générées réparties d'une façon optimale (15 unités-cas 02-)



V.2.2.2.3. Convergence de l’algorithme SSA pour la résolution du DE

La figure (V.8) représente la caractéristique de convergence de SSA pour un réseau de test de 15 générateurs - cas 02-

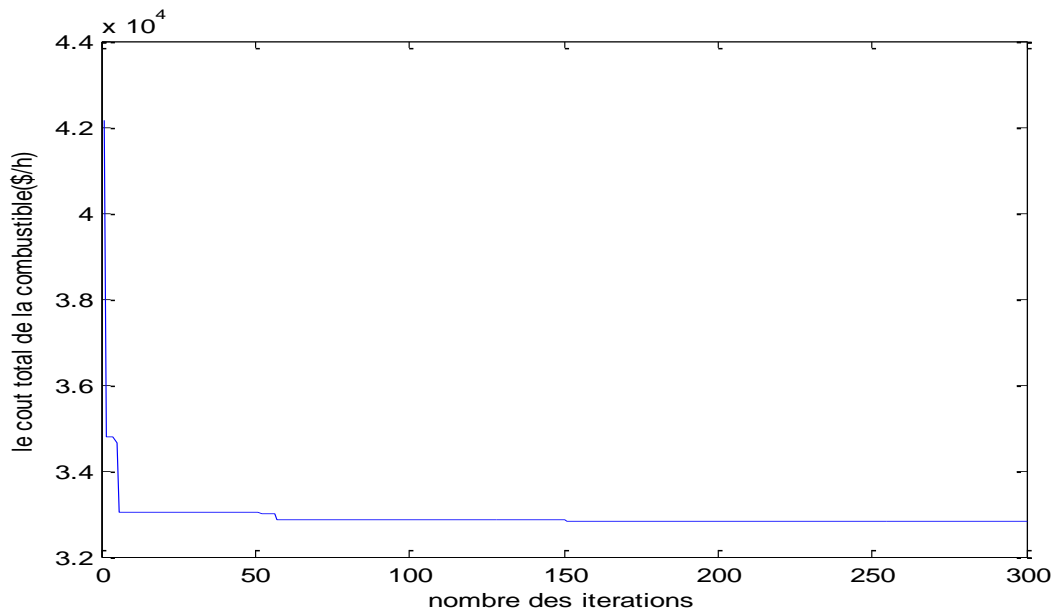


Figure.V.8 la caractéristique de convergence de l’algorithme SSA pour un réseau de 15 générateurs-cas 2-

V.2.2.2.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais

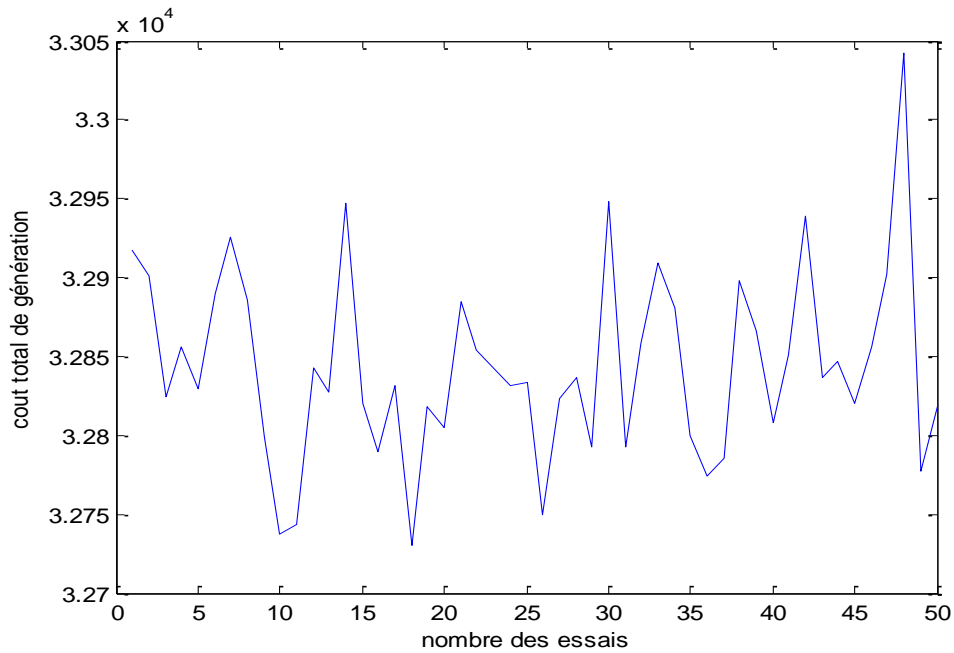
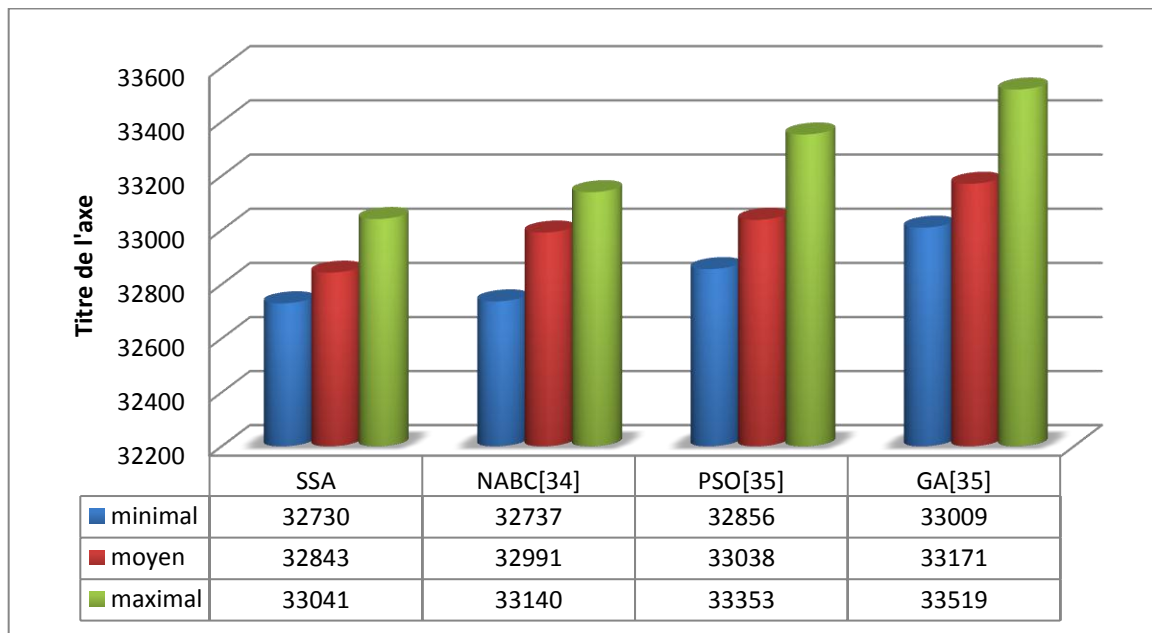


Figure.V.9 : Variation de cout optimal pour 50 essais d'un system de 15 unités- cas 02 -

V.2.2.2.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais

Tableau. V.11. comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (15 unités- cas 01-)



V.2.2.2.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes

Tableau.V.12 comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes (15 unités- cas 02-)

Variable du system	Méthode SSA	Méthode MPSO[38]	Méthode HS [39]	Méthode PVHS [39]	Méthode AIS [40]
Pg1	454.98	455.00	451.45	455.00	441.15
Pg2	371.82	390.81	376.51	373.82	409.58
Pg3	129.99	112.70	130	130.00	117.29
Pg4	129.88	124.33	128.87	130.00	131.25
Pg5	169.19	356.60	168.20	166.31	151.01
Pg6	460	443.31	460	456.54	466.25
Pg7	429.98	433.16	416.8	428.27	423.36
Pg8	123.53	91.12	129.8	66.059	99.948
Pg9	25	66.00	40.56	120.49	110.68
Pg10	141.75	30.25	115.0	146.95	100.22
Pg11	78.70	24.14	59.21	43.22	32.057
Pg12	46.64	51.60	75.64	80.00	78.81
Pg13	36.48	45.03	25.00	27.97	23.56
Pg14	16.03	23.30	48.89	20.95	40.25
Pg15	47.60	15.00	34.58	16.67	36.90
Puissance total généré(MW)	2661.65	2662.43	2660.6	2 662.2	2662.04
Les pertes(MW)	29.10	32.4	30.6	32.1	32.4
Le Coût total	32730.6	32780	32 813.3	32 780	32854

V.2.2.7. Interprétation des résultats

Nous avons remarqué que l'effet de rampe a engendré une augmentation notable du coût total optimal de production à 129.615(\$/h) par rapport à celui obtenu sans l'effet de rampe

Pour la comparaison du coût optimal et les pertes de transmission, Il est clair selon le tableau. V.11 que, l'algorithme (SSA) donne le coût le plus optimal 32730(\$/h) et la valeur de pertes le plus inférieure 29.1MW par rapport les autres méthodes (MPSO) 32780(\$/h) /32.4 MW, (HS) 32 813.3 (\$/h)/ 30.6MW, (PVHS) 32 780 (\$/h)/ 32.1MW, (AIS) 32854(\$/h)/ 32.4MW, ce qui nous mène à se rendre compte que l'efficacité de notre méthode par rapport aux autres méthodes est remarquable.

Les résultats de comparaison de robustesse indiquent aussi la supériorité de la SSA sur les autres algorithmes (NABS), (GA), (PSO), ce qui traduit l'efficacité de l'algorithme proposé

V.2.3. Application de l'algorithme SSA sur un système 40 unités

Après voir l'influence de l'effet rampe sur le coût total de production, Une nouvelle contrainte s'ajoute pour pouvoir examiner le cas le plus réel, il s'agit d'introduire cette fois l'effet de l'ouverture des vannes d'admission de vapeur qui est étudiée au deuxième chapitre.

Les données :

La puissance demandée : $P_d = 10500$ MW

Les paramètres de choix de SSA sont donnés comme suit :

- ✚ -Le nombre de population : $N=350$
- ✚ -Le nombre d'itération maximal : $\text{iter max} = 1200$

V.2.3.1. Les résultats de la simulation de réseaux quarante générateurs

Le tableau (V.13) illustre les résultats de simulation.

Tableau.5.13 les résultats de simulation de réseau électrique 40 générateurs en considération l'effet de l'ouverture des vannes.

La production totale de la puissance	10500 MW
Le Coût total (CT)	122494.87 \$/h
la contrainte d'égalité (DP)	1.14×10^{-5}
Temps d'exécution	17.10 s

V.2.3.2. La répartition optimale des puissances générées des centrales

Le tableau V.14. La répartition optimale des puissances générées par chaque centrale (40 unités avec l'effet d'ouverture les vannes).

Ng	pgmin	pgi	pgmax
1	36	72.19	114
2	36	113.80	114
3	60	120.00	120
4	80	179.75	190
5	47	95.63	97
6	68	70.85	140
7	110	264.46	300
8	135	216.33	300
9	135	289.27	300
10	130	226.90	300
11	94	107.41	375
12	94	96.22	375
13	125	484.03	500
14	125	394.27	500
15	125	394.27	500
16	125	304.52	500
17	220	489.30	500
18	220	489.33	500
19	242	511.37	550
20	242	511.28	550
21	254	527.83	550
22	254	523.29	550
23	254	527.51	550
24	254	523.76	550
25	254	550.00	550

26	254	523.44	550
27	10	10.50	150
28	10	10.31	150
29	10	13.22	150
30	47	88.76	97
31	60	190.00	190
32	60	182.86	190
33	60	114.14	190
34	90	200.00	200
35	90	169.66	200
36	90	129.15	200
37	25	98.29	110
38	25	81.24	110
39	25	92.7609	110
40	242	511.9217	550

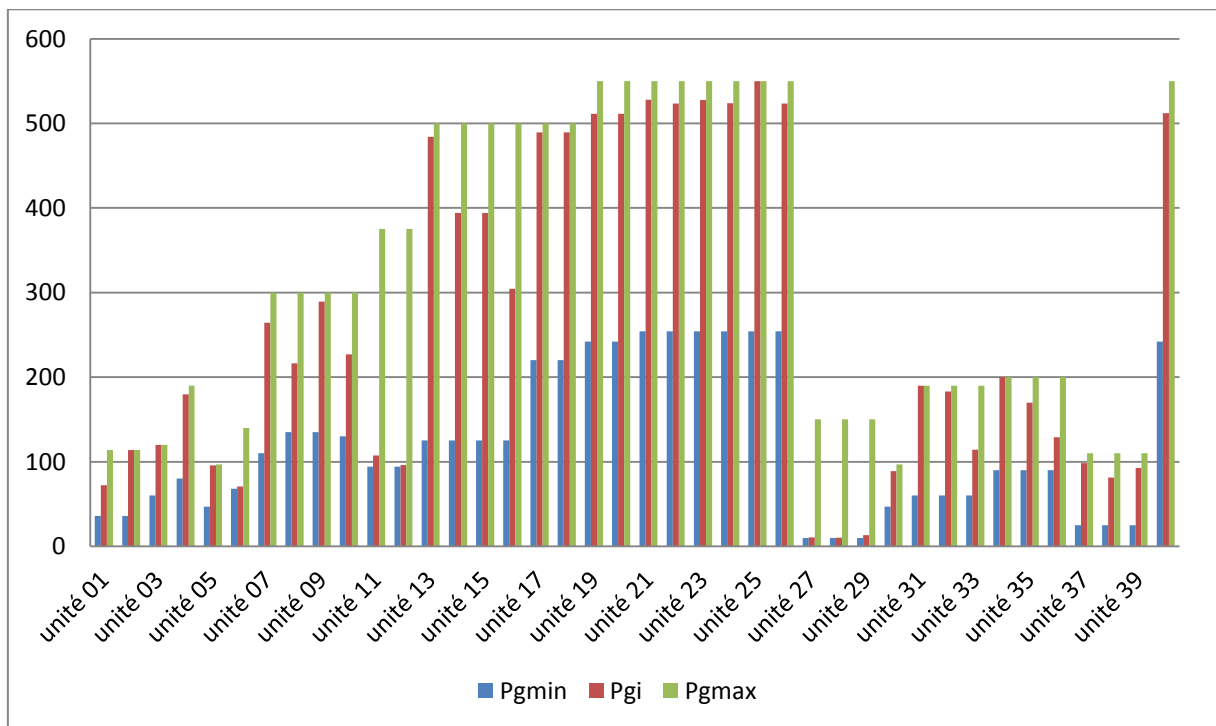


Figure.V.10.la vérification des limites des puissances générées réparties d'une façon optimale

V.2.3.3. Convergence de l'algorithme SSA pour la résolution du DE

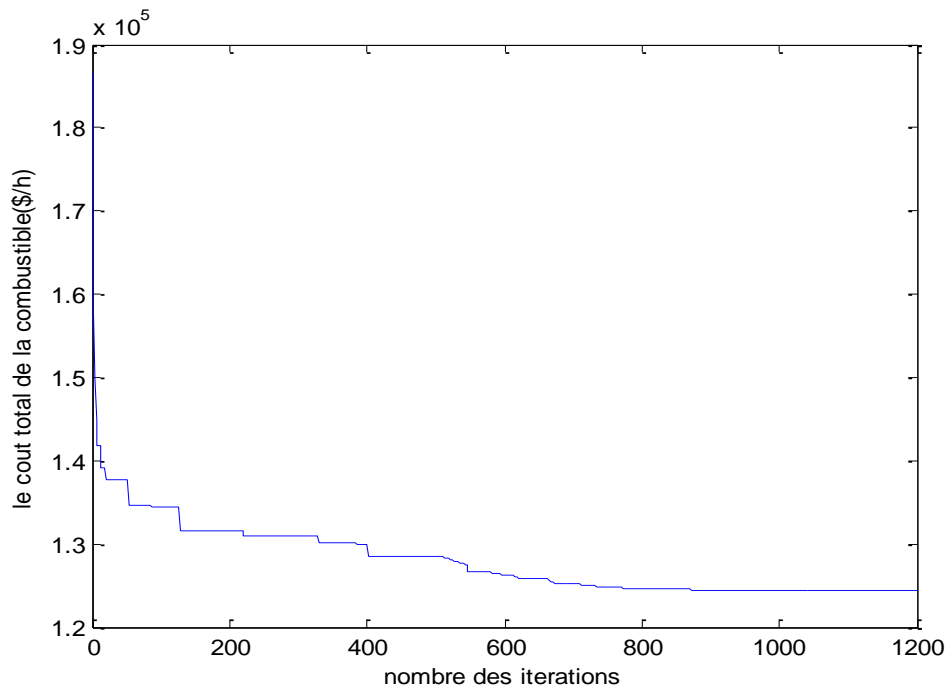


Figure.V.11. la caractéristique de convergence de l'algorithme SSA pour un réseau de 40 générateurs en considération l'effet de l'ouverture des vannes

V.2.3.4. Variation du cout optimal en fonction de nombre d'essais

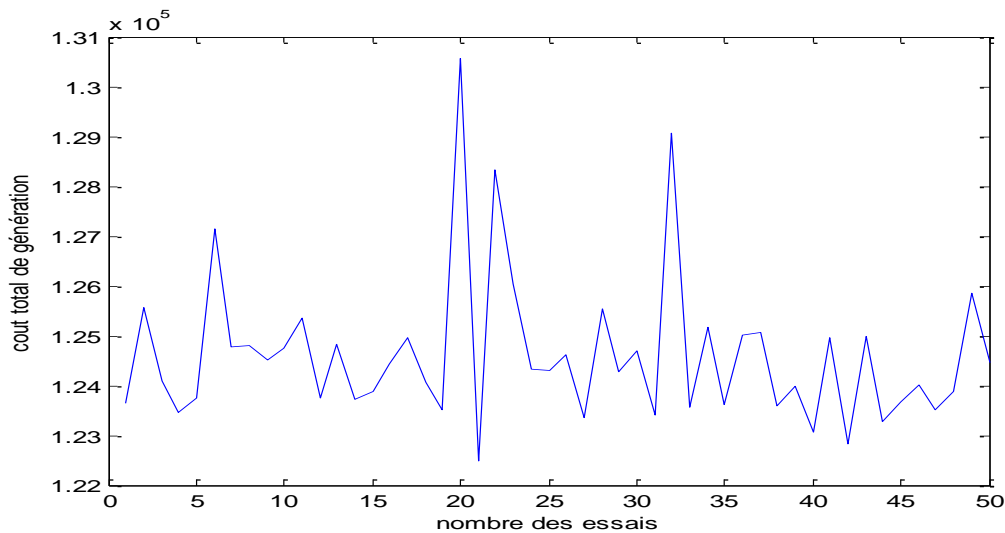
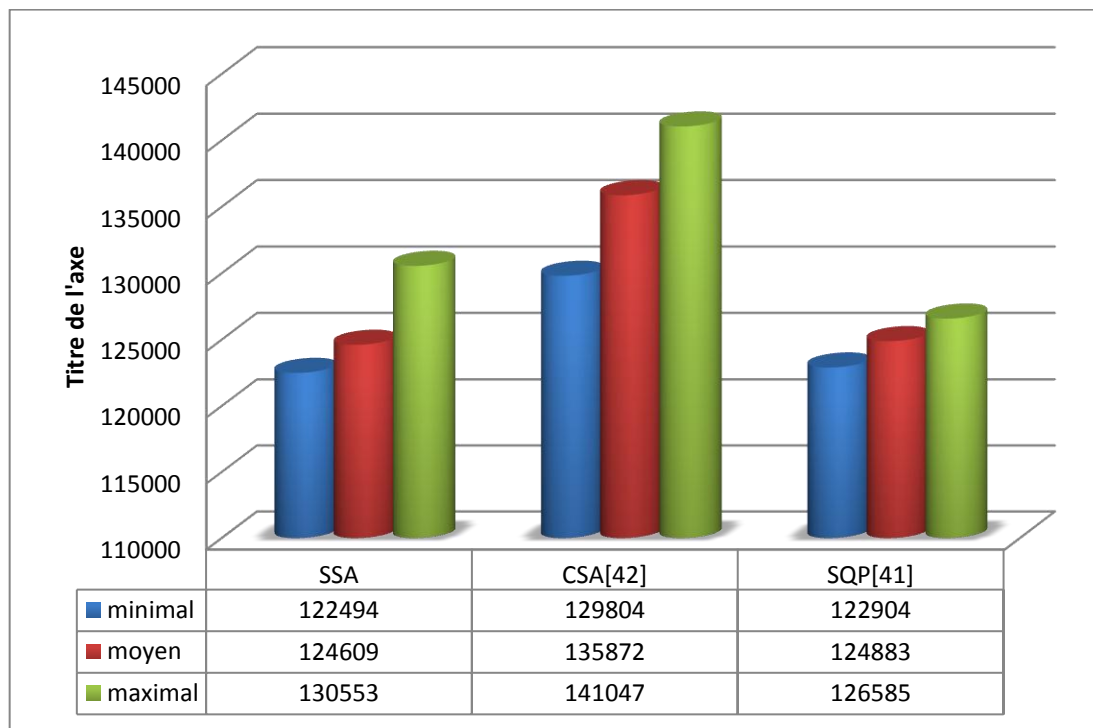


Figure.V.12. Variation de cout optimal pour 50 essais d'un system de 40 unités en considération l'effet de l'ouverture des vannes

V.2.3.5. Comparaison des résultats de SSA avec les résultats d'autres méthodes pour 50 essais

Tableau.V.15. comparaison la robustesse de SSA avec d'autres méthodes (cas de 40 unités Avec considération l'effet de l'ouverture des vannes)



V.2.3.6. Comparaison des résultats obtenus par SSA avec d'autres méthodes

Tableau.V.16. comparaison des résultats obtenus par l'algorithme de SSA avec d'autres méthodes pour un system de 40 unités en considération l'effet de l'ouverture des vannes

Variable du system	Méthode SSA	Méthode JOA [43]	Méthode GA [43]	Méthode NN-EPSO [44]	Méthode CSA [42]
Pg1	72.19	110.86	110.01	114	85.27
Pg2	113.80	112.29	110.62	114	104.75
Pg3	120.00	119.99	116.73	120	65.67
Pg4	179.75	179.74	183.05	190	111.08

Pg5	95.63	96.91	94.66	97	69.05
Pg6	70.85	105.45	137.43	140	138.08
Pg7	264.46	260.85	296.88	300	208.82
Pg8	216.33	284.61	294.89	300	273.38
Pg9	289.27	294.17	295.01	300	216.28
Pg10	226.90	130.00	295.74	300	175.92
Pg11	107.41	94.00	369.66	375	158.44
Pg12	96.22	373.95	331.77	375	279.12
Pg13	484.03	214.76	384.57	500	484.03
Pg14	394.27	125.00	382.03	500	500.00
Pg15	394.27	484.04	388.40	500	339.54
Pg16	304.52	304.52	476.98	500	422.47
Pg17	489.30	489.29	404.21	402	448.20
Pg18	489.33	489.28	380.39	225	486.47
Pg19	511.37	549.42	421.21	508	464.14
Pg20	511.28	511.28	380.86	458	550.00
Pg21	527.83	523.30	431.53	356	535.13
Pg22	523.29	523.28	379.58	394	448.88
Pg23	527.51	523.29	384.24	355	549.99
Pg24	523.76	433.53	381.62	525	441.82
Pg25	550.00	523.29	381.52	310	530.62
Pg26	523.44	523.28	451.44	448	485.07
Pg27	10.50	10.05	51.25	72	35.66
Pg28	10.31	10.00	121.70	131	100.29
Pg29	13.22	10.05	135.91	75	69.02
Pg30	88.76	96.98	93.40	67	82.53
Pg31	190	190	186.82	151	115.18
Pg32	182.86	189.98	185.22	112	109.91
Pg33	114.14	189.99	185.65	139	188.69
Pg34	200	199.99	194.74	90	184.61
Pg35	169.66	199.99	193.72	129	175.04

Pg36	129.15	200	194.52	104	108.13
Pg37	98.29	110.00	106.07	36	55.67
Pg38	81.24	91.10	101.61	89	89.10
Pg39	92.76	110.00	105.12	104	97.45
Pg40	511.92	511.29	379.04	550	514.31
Puissance total génééré(MW)	10500	-	-	-	10500
Le Coût total	122494.87	123262.67	146897.13	130328.32	129804.52

V.2.3.7. Interprétation des résultats

Ce test présente les résultats relatifs à l'application de l'algorithme (SSA) Sur un réseau de 40 unités sans pertes de transmission et avec considération de l'effet des vannes.

Les résultats sont comparés avec ceux obtenus par (JOA), (GA), (NN-EPSo) et ils sont bien exposés dans le Tableau (V.15). on peut constater d'après ce dernier que le cout minimal(122494,8) qui est obtenu par la méthode proposée(SSA) est meilleur par rapport aux autres couts des autres méthodes.

Selon le tableau (V.13) nous pouvons dire que les puissances optimales générées sont dans les limites admissibles, ça veut dire que la contrainte d'inégalité est toujours vérifiée.

D'autre part le tableau.V.14 confirme après une comparaison entre le SSA, CSA et SQP que notre algorithme est le meilleur, ce qui nous montre la robustesse de cette méthode.

Ces résultats confirment que l'algorithme proposé est capable de trouver des solutions prometteuses et réalisables, même en présence d'unités dont les courbes de coût considèrent l'effet d'ouverture des vannes d'admission.

V.3. Conclusion

Dans ce chapitre, l'algorithme SSA a été présenté et appliquée à la fonction de coût total des déférent systèmes constitués de plusieurs unités de production d'énergie électrique (6 unités - 15 unités - 40 unités), en considérant les contraintes d'égalités et d'inégalités, l'effet de valve, et la contraintes de rampes.

Les résultats obtenus ont montré que l'algorithme SSA regroupe l'efficacité et la robustesse dans la recherche des solutions globales, ces résultats ont été comparés avec celles des autres

méthodes qui ont prouvé leur efficacité dans le domaine de dispatching économique et par la suite le SSA a montré son supériorité au niveau de la minimisation du cout et au niveau des pertes de transmission dans la plupart des cas, le temps d'exécution aussi était un des avantages de cette méthode.



**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

CONCLUSION GENERALE

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution dans domaine de la répartition économique d'énergie électrique produite par les centrales électriques où une application d'un nouvel algorithme méta-heuristique appelé (Salp Swarm Algorithm SSA) a été présenté dans le but de résoudre le Problème de Dispatching Economique (PDE).

Contrairement aux techniques classiques qui sont basées sur des modèles mathématiques simplifiés des composants du système d'énergie électrique, les méta-heuristique prennent en charge des modèles plus pratiques et plus complexe comme la nature non-convexe et discontinue des courbes des caractéristiques de coût des unités de production, notamment le fonctionnement avec plusieurs types de combustibles, l'effet d'ouverture des vannes, l'effet de rampe et d'autre contrainte pratiques. Afin de prouver l'efficacité de l'algorithme proposé, nous avons appliqué une série de systèmes de test (réseaux test) donnés comme suit :

- Réseau de 6 unités avec pertes de transmission
- Réseau de 15 unités avec pertes de transmission sans considération de l'effet de rampe
- Réseau de 15 unités avec pertes de transmission en considérant l'effet de rampe
- Réseau de 40 unités sans pertes de transmission en considérant l'effet des vannes

Les résultats obtenus sont très satisfaisants et confirment bien la validité, l'efficacité et aussi la robustesse de la méthode SSA de sorte qu'elle a été capable d'explorer les régions les plus prometteuses de l'espace de recherche, de déplacer brusquement les salpes dans les étapes initiales des itérations, de déplacer les salpes progressivement dans les étapes finales des itérations, et d'améliorer la meilleure solution trouvée (dans l'itération courante) au cours de l'optimisation. Les résultats ont été comparés avec une variété d'algorithmes connus et récents où il a été observé que SSA est capable de surmonter les techniques d'optimisation auxquelles elle a été comparé. Selon les simulations et les analyses élaborées, nous pouvons affirmer que l'algorithme SSA a des mérites parmi les algorithmes d'optimisation actuels qui sont très connus dans la littérature et mérite d'être appliqué à des différents problèmes.

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

Perspectives :

- Améliorer l'algorithme déjà élaboré.
- Agrandir la taille du réseau utilisé et tester les capacités de l'algorithme proposé.
- Intégrer d'autres approches dans notre algorithme pour augmenter ses performances.



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1	Seyed Ali Mirjalili, Amir, H.Gandomi, Seyed eh, Zahra Mirjalili, Shahrzad Saremi, Hossam Faris, Seyed Mohammad Mirjalili«Salp Swarm Algorithm A bio-inspired optimizer for engineering design problems» .Advances in Engineering Software,July 24, 2017
2	Wolpert DH, Macready WG« No free lunch theorems for optimization» Evol Comput IEEE Trans 1:67–82,1997
3	Christophe prévé, Robert JEANNOT (Guide de conception des réseaux électriques industriels)groupe Schneider Electric.Février 1997
4	A. AGHBARI, A. BAA, « Contrôle automatique de la production (AGC) Application aux réglages de l'AGC du système production transport de l'électricité national» projet de fin d'étude, Ecole National Polytechnique, Alger, 2012.
5	M.BOUDOUR, A.HALLAL, « Réseaux Electriques Fondamentaux et Concepts de Base » Pages Bleues, Alger, 2010.
6	N. AOUZELLAG «Contribution à l'Amélioration de la Flexibilité dans les Réseaux Electriques Liée à l'Intégration des Générateurs Eoliens» Thèse de Doctorat, université de Bejaia, 2011.
7	Laiadi Belkacem,«compensation dynamique de l'énergie réactive dans les réseaux électrique», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état, Juin 2005.
8	Ministère de l'énergie et des mines Algérie, les réseaux électriques nationaux, 2013
9	Memento de la sureté du système électrique", Edition 2004 : http://www.rte-france.com/htm/fr/mediatheque/vie_publi_annu_memento.jsp
10	Abou Chacra.F « Valorisation et optimisation du stockage d'énergie dans un réseau d'énergie électrique » Thèse de Doctorat en Génie Electrique, U-Paris XI, Orsay, 2005.
11	Francois Boisseleau «La Question du Marche Pertinent dans Le Secteur Electrique» Publie dans Presses (Université de Grenoble, p. 321-337), 2003
12	D. Benitez, Crampes.C «L'allocation des capacités de transport pour l'électricité» Rapport réalisé pour la Commission de Régulation de l'Energie, juillet 2003.
13	Mostefa HAMED « Dispatching Economique Dynamique par Utilisation de Méthodes d'Optimisation globales» Mémoire Magister en Electrotechnique.2013

14	A. Dihem,A. Salhi,D. Naimi,A. Bensalem«Solving smooth and non-smooth economic dispatch using water cycle algorithm»The 5th International Conference on Electrical Engineering – Boumerdes (ICEE-B),October 29-31, 2017
15	Labeled Imen «Dispatching Economique Dynamique des Reseaux Electriques par Les Methodes Meta-Heuristique» Memoire magister, Universite Constantine,1,2013.
16	M. YOUNES, S. HADJRI, H. SAYAH, «Dispatching économique par une méthode artificielle», ACTA ELECTROTEHNICA, Vol. 50, N° 2, 2009.
17	FRIDJAT Zineddine, TAMMA Mohammed Elhadi «applictaion des algorithmes génétique à l’optimisation de la production d’énergie active dans les réseaux électriques»mémoire de master,université al-oued,juin 2014 .
18	Missoum.R«Étude d'un dispatching économique des puissances actives par les algorithmes de fourmis» mémoire de magister, université Hassiba Ben Bouali Chlef 2008.
19	SAYAH Samir « Application de l’Intelligence Artificielle pour le fonctionnement Optimal des Systèmes Electriques » THÈSE de Doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas — Sétif.2010
20	R. Cherkaoui «Méthodes Heuristiques pour la Recherche de Configurations D’un réseau Electrique de Distribution»Thèse de doctorat, l’EPF de Lausanne.1992
21	L.J. Fogel, A.J. Owens, et M.J. Walsh «Artificial Intelligence Through Simulated Evolution»Wiley, New- York, 1966.
22	S. Gerbex « Métaheuristiques Appliquées Au Placement Optimal de Dispositifs FACTS Dans un Réseau électrique»Thèse de doctorat. à L’EPF de Lausanne. 2003.
23	A. Arif « Différentes techniques de planification de l’énergie réactive dans les réseaux électriques»Thèse de doctorat, à l’ENP Alger. 2008.
24	Goldberg E. D « Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning» Addison-Wesley publishers, 1989.
25	Coello Coello, Carlos and al«Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems» Kluwer Academic Publishers, New York 576 p, 2002.
26	D. E. Goldberg« Algorithme Génétique exploration, optimisation apprentissage automatique» Edition Addison Wesley France, SA 1991.
27	Jean-Philippe Rennard« Genetic Algorithm Viewer : Démonstration d’un algorithme génétique»Avril 2000.
28	H. Altun and T. Yalcinoz«Comparison of Genetic Algorithm, Hopfield and Mlp Neural

	Network Techniques for a Constrained Optimization Problem» International XII Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks-Tainn 2003.
29	J. Kennedy,R-C.Eberhart,«Particle swarm optimization»IEEE International Conference on Neural Networks, volume IV, 1995
30	Madin L« Aspects of jet propulsion in salps» Can J Zool. 1990.
31	Anderson PA,Bone Q «Communication between individuals in salp chains II». physiology. Proc R Soc Lond B.1980.
32	Andersen V , Nival P« A model of the population dynamics of salps in coastal waters of the Ligurian Sea» J Plankton Res 1986.
33	Henschke N , SmithJA , Everett JD , Suthers IM« Population drivers of a Thalia democratica swarm: insights from population modelling»J Plankton Res .2015
34	Salhi Elhachemi« résolution du problème de dispatching économique avec la méthode de colonie artificielle des abeilles (ABC Algorithme)»mémoire master université de Biskra, 2014/2015
35	Aloui Mourad« Application de la méthode des essaims particules au dispatching économique»mémoire master université de Biskra, 2012/2013
36	R. Subramanian,K. Thanushkodi,A. Prakash«An Efficient Meta Heuristic Algorithm to Solve Economic Load Dispatch Problems»Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, Vol. 9, No. 4, Dec. 2013
37	K.Manju H.Habeebullah Sait«Comparative Analyses of Particle Swarm Optimization for Non-convex Economic DispatchProblems» Transactions on Engineering and Sciences Vol. 2, Issue 6, June 2014
38	Zwe-Lee Gaing«Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints»IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 18, NO. 3, AUGUST 2003
39	B K Panigrahi,V Ravikumar Pandi,Swagatam Das,Zhihua Cui,Renu Sharma« Economic Load Dispatch Using Population-Variance Harmony Search Algorithm» Department of Electrical Eng., IIT, Delhi, India. August 2012
40	esquivel,aragon,coello coello«An immune algorithm with power redistribution for solving economic dispatch problems»journal Information Sciences. 22 October 2014
41	Leandro dos Santos Coelho,Viviana Cocco Mariani«Combining of Chaotic Differential Evolution and Quadratic Programming for Economic Dispatch Optimization With Valve-Point Effect» IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 21, NO. 2, MAY 2006

42	Douida nedjmeddine «Algorithme de recherche du corbeau dédiée à l'optimisation appliqué au dispatching économique» mémoire master, université de biskra .2017
43	Swaraj Banerjee, Dipu Sarkar«Comparative Analysis of Jaya Optimization Algorithm for Economic Dispatch Solution» International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET).Volume 5 Issue VIII, August 2017
44	Sumit Banerjee, Deblina Maity, Chandan Kumar Chanda«Teaching learning based optimization for economic load dispatch problem considering valve point loading effect» journal Electrical Power and Energy Systems.May 2015



ANNEXES

ANNEXES

Table .A.1 Les données du réseau électrique comportant 6 unité

Nombre d'unité	Coefficient du cout			Puissance limites	
	a	b	c	Pmax	Pmin
1	240	7	0.0070	500	100
2	200	10	0.0095	200	80
3	220	8.5	0.0090	300	50
4	200	11	0.0090	150	50
5	220	10	0.0080	200	50
6	190	12	0.0075	120	50

```

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 -
.6635];
Boo=0.0056;

```

Table .A.2 Les données du réseau électrique comportant 15 générateurs

Nombre d'unité	Coefficient du cout			Puissances limites		DR	UR	P0
	a	b	c	Pmax	Pmin			
1	671	10.1	0.00029 9	455	150	120	80	300
2	574	10.2	0.00018 3	455	150	130	130	105
3	374	8.8	0.00112 6	130	20	130	130	100
4	374	8.8	0.00112 6	130	20	120	80	90
5	461	10.4	0.00020 5	470	150	120	80	400
6	630	10.1	0.00030 1	460	135	120	80	350
7	548	9.8	0.00036 4	465	135	100	65	95
8	227	11.2	0.00033 8	300	60	100	60	105
9	173	11.2	0.00080 7	162	25	100	60	110
10	175	10.7	0.00120 3	160	25	80	80	60
11	186	10.2	0.00358 6	80	20	80	80	40
12	230	9.9	0.00551 3	80	20	80	80	30
13	225	13.1	0.00037 1	85	25	55	55	20

14	309	12.1	0.00192	55	15	55	55	20
			9					
15	323	12.4	0.00444	55	15	120	80	400
			7					

```

Bij= [ 0.0014  0.0012  0.0007 -0.0001 -0.0003 -0.0001 -0.0001
- 0.0001 -0.0003 -0.0005 -0.0003 -0.0002  0.0004  0.0003  -
0.0001
      0.0012  0.0015  0.0013  0  -0.0005 -0.0002  0
0.0001 -0.0002 -0.0004 -0.0004  0  0.0004  0.0010 -0.0002
      0.0007  0.0013  0.0076 -0.0001 -0.0013 -0.0009 -
0.0001  0  -0.0008 -0.0012 -0.0017  0 -0.0026  0.0111
-0.0028
      -0.0001  0 -0.0001  0.0034 -0.0007 -0.0004  0.0011
0.0050  0.0029  0.0032 -0.0011  0  0.0001  0.0001 -0.0026
      -0.0003 -0.0005 -0.0013 -0.0007  0.0090  0.0014 -
0.0003 -0.0012 -0.0010 -0.0013  0.0007 -0.0002 -0.0002 -0.0024
-0.0003
      -0.0001 -0.0002 -0.0009 -0.0004  0.0014  0.0016  0
-0.0006 -0.0005 -0.0008  0.0011 -0.0001 -0.0002 -0.0017
0.0003
      -0.0001  0 -0.0001  0.0011 -0.0003  0  0.0015
0.0017  0.0015  0.0009 -0.0005  0.0007  0 -0.0002 -0.0008
      -0.0001  0.0001  0  0.0050 -0.0012 -0.0006  0.0017
0.0168  0.0082  0.0079 -0.0023 -0.0036  0.0001  0.0005 -0.0078
      -0.0003 -0.0002 -0.0008  0.0029 -0.0010 -0.0005  0.0015
0.0082  0.0129  0.0116 -0.0021 -0.0025  0.0007 -0.0012 -0.0072
      -0.0005 -0.0004 -0.0012  0.0032 -0.0013 -0.0008  0.0009
0.0079  0.0116  0.0200 -0.0027 -0.0034  0.0009 -0.0011 -0.0088
      -0.0003 -0.0004 -0.0017 -0.0011  0.0007  0.0011 -
0.0005 -0.0023 -0.0021 -0.0027  0.0140  0.0001  0.0004 -0.0038
0.0168
      -0.0002  0  0  0 -0.0002 -0.0001  0.0007
-0.0036 -0.0025 -0.0034  0.0001  0.0054 -0.0001 -0.0004
0.0028
      0.0004  0.0004 -0.0026  0.0001 -0.0002 -0.0002  0
0.0001  0.0007  0.0009  0.0004 -0.0001  0.0103 -0.0101  0.0028
      0.0003  0.0010  0.0111  0.0001 -0.0024 -0.0017 -
0.0002  0.0005 -0.0012 -0.0011 -0.0038 -0.0004 -0.0101  0.0578
-0.0094
      -0.0001 -0.0002 -0.0028 -0.0026 -0.0003  0.0003 -
0.0008 -0.0078 -0.0072 -0.0088  0.0168  0.0028  0.0028 -0.0094
0.1283 ];

```

```

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;

```


Table. A.3 Les données du réseau électrique comportant 40 générateurs

Nombre d'unité	Coefficient du cout			Puissance limites			
	a	b	c	Pmax	Pmin	e	f
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	8.95	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	0.098
38	307.45	5.88	0.01610	110	25	80	0.098
39	307.45	5.88	0.01610	110	25	80	0.098
40	647.83	7.97	0.00313	550	242	300	0.035