



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

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electrotechnique
Réseau électrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

Younes Hazmani - Fethi Henanou

Résolution du problème de dispatching économique par les méthodes métaheuristiques

Jury:

Dr. BEN ALIA Khaled	MCB	Université d'appartenance	Président
Dr. Armani Ishaq	MCB	Université d'appartenance	Examineur
Pr. MAHDAD Belkacem	Pr	Université d'appartenance	Rapporteur

Annie universitaire: 2019 - 2020

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



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

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

MASTER

Thème

Résolution du problème de dispatching

Économique par les méthodes

Métaheuristiques

Présenté par :

- Younes Hazmani
- Fethi Henanou

Avis favorable de l'encadreur :

Pr. MAHDAD Belkacem

Avis favorable du Président du Jury :

Mr. BEN ALIA Khaled

Cachet et signature

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



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

Thème :
**Résolution du problème de dispatching
Économique par les méthodes
Métaheuristiques**

Proposé et Dirigé par : Pr. MAHDAD Belkacem

RESUME :

Les dispatcheurs des réseaux électriques ont toujours face à des confrontations avec plusieurs contraintes liés principalement au fonctionnement des unités de production. C'est dans ce cadre que notre travail est focalisé à l'analyse optimale du problème de dispatching économique. Cette étude est consacrée à la minimisation du coût de production et à la minimisation de l'émission de gaz toxique dégagé. Deux techniques d'optimisation métaheuristiques à savoir l'algorithme génétique (GA) et l'algorithme nommé chauve-souris (BAT) ont été adoptés et appliqués avec succès pour résoudre ce problème avec considération plusieurs contraintes pratiques tels que, l'effet de valve, et l'effet de rampe. Les deux techniques proposées ont été validés sur des réseaux test typiques, les résultats achevés démontrent clairement l'efficacité de la méthode BAT par apport à l'algorithme standard GA.

ملخص

يواجه المختصون في ضمان التشغيل الاقتصادي الأمثل للشبكات الكهربائية تحديات كبيرة تتعلق أساساً بنمط تشغيل وحدات الإنتاج . يندرج موضوع هذه المذكرة ضمن هذا الإطار والذي يتعلق بتحليل التوزيع الأمثل للطاقة لوحدات الإنتاج لغرض التقليل من تكلفة الوقود وكذا انبعاث الغازات. تم اقتراح طريقتين من فئة الطرق الشاملة وهما خوارزمية الهندسة الوراثية (GA) وكذا طريقة الوطاويط (BAT) لحل إشكالية التقليل من تكلفة الوقود وانبعاث الغازات مع مراعاة قيود التساوي وعدم التساوي. في هذه الدراسة تم الأخذ بعين الاعتبار العائق المتعلق بتأثير فتح الصمامات وكذا العائق المتعلق بتأثير نسبة الزيادة (Ramp Up) والنقصان (Ramp Down) في الطاقة المنتجة من طرف وحدات الإنتاج. فعالية الطريقتين تم التأكد منهما بتطبيقهما على شبكات قياسية، النتائج الأولية المتحصل عليها تبرز فعالية طريقة الوطاويط في إيجاد الحل الأمثل.

Remerciements

*En premier lieu, je tiens à remercier « DIEU » qui m'a aidé pour que ce modeste travail soit achevé et pour que nous avons réussi. Et tenons à remercier vivement tous ceux qui nous a orientées et nous a encouragées. Et pensons en particulier à notre encadreur **Pr. Belkacem MAHDAD** d'avoir bien suivi et dirigé notre travail et de faire profiter de son savoir, ainsi de ses conseils, et pour toute l'aide, les remarques constructives qui ont améliorés ce travail, et qui grâce à lui avons pu réaliser l'objectif visé. Précieux remerciements vont au président et membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce travail, et grands remerciements aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation au département de génie électrique de Biskra. En fin, je remercie nos amis pour leur aide, leur soutien et leur compréhension.*

Dédicace

Nous dédions ce Mémoire

A mes très chers parents, dont l'incommensurable contribution à mon éducation, à mon instruction et à tous les instants de ma vie, ravivera jusqu'à la fin de mes jours mon infinie tendresse.

Qu'ils trouvent ici l'expression de mon éternelle

Reconnaissance.

A toute ma famille

A tous mes amis

Liste des figures

Figure I.1 Structure des réseaux électriques.....	5
Figure I.2 : Configuration du réseau électrique.....	5
Figure I.3 : Diagramme unifilaire du réseau électrique.....	6
Figure I.4 : Schéma de réseaux radiaux.....	7
Figure I.5 : Schéma de réseaux bouclés.....	7
Figure I.6 : Schéma de réseaux maillés.....	8
Figure I.7 : Principe de fonctionnement d'une centrale à gaz.....	9
Figure I.8 : Schéma de principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire.....	9
Figure I.9 : Schéma de principe de fonctionnement d'un centrale hydraulique.....	10
Figure I.10 : Schéma De Principe De Fonctionnement D'un Parc Cellule Photovoltaïque.....	11
Figure I.11 : Schéma De Principe De Fonctionnement D'un Parc D'éoliennes.....	12
Figure I.12 : Schéma De Principe De Fonctionnement D'un Parc De Centrale Biomasse.....	13
Figure I.13 : diminution et Equilibre et augmentation de fréquence.....	14
Figure I.14 : Courbe de charge de l'Algérie ; fluctuations journalières	16
Figure I.15 : Courbe de charge de l'Algérie ; fluctuations hebdomadaires.....	16
Figure I.16 : Courbe de charge de l'Algérie fluctuations saisonnières.....	17
Figure I.17 : Production d'électricité en Algérie (1990-2015) en TWH.....	19
Figure II.1 : Classification du problème de planification de la puissance active.....	23
Figure II.2 : Catégories de classification du dispatching économique.....	24
Figure II.3 : La variation du coût en fonction de la puissance générée.....	26
Figure II.4 : Effet de l'ouverture de vannes pour une unité thermique.....	29
Figure II.5 : rejets d'une centrale au charbon en une seule journée.....	30
Figure II.6 : Caractéristique de coût avec deux zones de fonctionnement interdites.....	31
Figure II.7 : Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec trois types de combustible.....	32
Figure II.8 : courbe de charge réelle pour 24 heures France.....	33
Figure II.9 : Représentation du rôle de l'optimisation multi objective.....	35
Figure III.1 : Schéma de principe de fonctionnement de l'algorithme génétique.....	41
Figure III.2 : Représentation schématique du croisement en un point.....	42
Figure III.3 : Représentation schématique du croisement en deux points.....	42
Figure III.4 : Croisement uniforme en codage binaire.....	43

Figure III.5: Mutation dans le cas d'un codage binaire.....	43
Figure III.6: Organigramme De L'algorithme Evolutionnaire Simple.....	45
Figure III.7: Représentation schématique du déplacement d'une particule.....	47
Figure III.8: L'organigramme de l'algorithme PSO.....	48
Figure III.9: Echolocation.....	49
Figure III.10: Pseudo code de l'algorithme des chauves-souris.....	51
Figure IV.1 : Méthodologie et stratégie d'optimisation.....	53
Figure IV.2: Schéma du réseau IEEE 30 jeux de barres.....	54
Figure IV.3: Répartition optimales des puissances générées.....	57
Figure IV.4 : la caractéristique de convergence de l'AG pour minimiser de coût.....	57
Figure IV.5 : la caractéristique les meilleurs individus (puissances générées)	58
Figure IV.6: Répartition optimales des puissances générées.....	60
Figure IV.7 : Caractéristiques de convergence de l'émission de gaz par utilisation de l'AG réseau test IEEE 30-Bus.....	60
Figure IV.8 : la caractéristique de convergence de l'AG : minimisation de coût de production avec considération de l'effet valve pour une exécution.....	62
Figure IV.9: Répartition optimales des puissances générées.....	63
Figure IV.10: Convergence de BAT : minimisation de coût de production sans considération de l'effet valve.....	64
Figure IV.11: Répartition optimales des puissances générées.....	65
Figure IV.12 : Convergence de BAT : minimisation de coût de production avec considération de l'effet valve.....	66
Figure IV.13: Répartition optimales des puissances générées.....	67
Figure IV.14 : Convergence de l'algorithme BAT : minimisation de l'émission de gaz.....	68
Figure IV.15: Répartition optimales des puissances générées.....	68
Figure IV.16: Schéma équivalent du réseau électrique du réseau test 2:5 unités de production.....	71
Figure IV.17 : courbe de charge journalière : réseau test 5 unités.....	72
Figure IV.18 : La variation de la contrainte Rampe du réseau test 2 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve)	74
Figure IV.19 : La variation de la contrainte Rampe du réseau test 2 avec fonction objective non-linéaire (avec l'effet de valve)	76

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : les données du réseau test 1 (réseau de 6 unités).....	55
Tableau IV.2 : Les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique du coût de production total par utilisation d'AG.....	56
Tableau IV.3 : Données des coefficients d'émission des gaz toxiques du réseau électrique IEEE 30-JB.....	58
Tableau IV.4 : Les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de l'émission de gaz par utilisation d'AG.....	59
Tableau IV.5 : Données des coefficients La fonction objectif non linéaire du réseau électrique IEEE 30-JB.....	61
Tableau IV.6 : Les résultats d'optimisation de la fonction objective non linéaire du coût de production par utilisation de l'AG.....	61
Tableau IV.7 : Les résultats d'optimisation de la fonction objective quadratique du coût de production par utilisation de l'algorithme BAT.....	64
Tableau IV.8 : Les résultats d'optimisation de la fonction objective non linéaire du coût de production par utilisation de l'algorithme BAT.	66
Tableau IV.9 : Les résultats d'optimisation de la fonction objective non linéaire du coût de production par utilisation de l'algorithme BAT.....	67
Tableau IV.10 : Comparaison entre les deux méthodes : minimisation du coût : fonction quadratique.....	69
Tableau IV.11 : Comparaison entre les deux méthodes : minimisation du coût pour la fonction non linéaire, avec considération de l'effet valve.....	70
Tableau IV.12 : Les données du réseau test 2 (réseau de 5 unités).....	71
Tableau IV.13 Les puissances demandées pour 24 heures du Réseau test 2.....	72
Tableau IV.14 : Résultats des puissances générées optimales du réseau test 2 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve)	73
Tableau IV.15 : Résultats des puissances générées optimales du réseau test 2 avec considération l'effet de valve.....	75

Le Sommaire

RESUME.....	
REMERCIEMENTS.....	
LISTE DES FIGURES.....	
LISTE DES TABLEAUX.....	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CONCLUSION GENERALE.....	77
BIBLIOGRAPHIE.....	78\79\80

Chapitre 1 :

Généralités Sur Les Centrales Electriques

I.1 Introduction.....	4
I.2 Notions de base.....	4
I.2.1 Définition d'un réseau électrique.....	4
I.2.2 Les Niveaux De Tension Et Les Types De Réseau Electrique.....	5
I.2.3 Structure des réseaux électriques.....	6
I.3 Production d'énergie électrique.....	8
I.3.1 Type des centrales de production.....	8
I.3.1.1 Centrales thermique Classique	8
I.3.1.1.1 Les centrales à combustible fossile.....	8
I.3.1.1.2 Les centrales nucléaires.....	9
I.3.2 Les avantage et inconvénient de centrale classique.....	10
I.4 Energie renouvelable	10
I.4.1 Les centrales hydrauliques.....	10
I.4.2 Les centrales solaires ou photovoltaïque.....	10
I.4.3 Les centrales éoliennes.....	11
I.4.4 Les Centrales biomasse.....	12
I.4.5 Les avantage et inconvénient de énergies renouvelables.....	13
I.5 Les indices de qualité d'énergie.....	13
I.5.1 Réglage de tension.....	14
I.5.2 Réglage de fréquence.....	14
I.6 La Consommation.....	15
I.6.1 Fluctuations De La Consommation	16
I.6.1.1 Fluctuations infra journalières.....	16

I.6.1.2 Fluctuations hebdomadaires	16
I.6.1.3 Fluctuations saisonnières.....	17
I.6.2 Les Prévisions De La Consommation.....	18
I.7 La production de l'électricité en Algérie.....	18
I.8 Stratégie de développement de l'énergie électrique en Algérie	19
I.9 Conclusion.....	20

Chapitre 2 :

Formulation mathématique de dispatching économique

II.1 Introduction.....	22
II.2 Description de Répartition économique de l'électricité.....	22
II.3 Bilan de puissance.....	24
II.4 Dispatching Economique.....	24
II.5 Problème de Dispatching économique.....	24
II.6 Dispatching économique statique.....	25
II.7 Fonction objective.....	25
II.8 Les contraintes	26
II.8.1 Contraintes d'égalité	26
II.8.2 Contrainte d'inégalité	27
II.8.3 Estimation des pertes	28
II.8.4 Méthode des coefficients ' β '.....	28
II.9 Les contraintes pratiques	28
II.9.1 L'effet du point valve.....	28
II.9.2 L'effet de l'émission des gaz toxiques	29
II.9.3 L'effet des Zones interdites.....	30
II.9.4 L'effet du multi –combustibles.....	32
II.9.5 L'effet des Rampes de générateurs	32
II.10 Dispatching économique dynamique.....	33
II.11 Formulation mathématique de (DED).....	34
II.12 Contraintes liés au DED	34

II.12.1 Contraintes d'égalité	34
II.12.2 Contraintes d'inégalité.....	34
II.13 Optimisation Multi-Objectives de coût et de l'émission.....	34
II.14 Conclusion.....	36

Chapitre 3 :

Les méthodes d'optimisation

III.1 Introduction.....	38
III.2 Définition D'optimisation.....	38
III.3 Les Méthodes Métaheuristiques.....	38
III.4 Classification des Méthodes Métaheuristiques	39
III.4.1 Méthodes Métaheuristiques à Population.....	39
III.4.2 Méthodes Métaheuristiques à solution unique (Parcours).....	39
III.5 Avantages des Méthodes Métaheuristiques.....	39
III.6 L'algorithme Génétique.....	40
III.6.1 Introduction.....	40
III.6.2 Définition L'algorithme Génétique.....	40
III.6.3 Principe Des Algorithmes Génétiques (Ags).....	41
III.6.4 Les Opérateurs Génétiques.....	42
III.6.4.1 Sélection.....	42
III.6.4.2 Croisement.....	42
III.6.4.3 Mutation.....	43
III.6.4.4 Remplacement.....	44
III.7 Les avantages et les inconvénients des algorithmes génétiques.....	45
III.8 L'algorithme Optimisation Par Essaim Des Particulaires (PSO)	46
III.9 l'algorithme de chauve-souris (BAT).....	48
III.9.1 Introduction	48
III.9.2 Echolocation des chauves-souris	49
III.9.3 Optimisation par l'algorithme des chauves-souris	49
III.10 Conclusion.....	51

Chapitre 4 :

Résultats de Simulation

IV.1 Introduction	53
IV.2 Stratégie de travail	53
IV.3 Présentation de réseau d'étude.....	54
IV.3.1 Réseau test IEEE 30-Bus.....	54
IV.3.1.1 Cas d'étude 1 : Minimisation de la fonction du cout des générateurs	55
IV.3.1.2 Cas d'étude 2 : Minimisation de l'émission de gaz toxiques.....	58
IV.3.2 Cas d'étude 3 : Minimisation de la fonction du cout total de Génération avec considreration l' effet de valve	61
IV.4 Comparaison des résultats entre fonction quadratique et fonction non linéaire (effet de valve)	63
IV.5 Application de l'algorithme de chauve-souris.....	64
IV.5.1 Minimisation du coût de production type quadratique.....	64
IV.5.2 Minimisation du coût de production avec considération de l'effet de valve.....	65
IV.5.3 Minimisation de l'émission de gaz	67
IV.6 Analyse comparative.....	69
IV.7 Dispatching économique dynamique.....	70
IV.7.1 Réseau test 2 : réseau de 5 unités de production.....	71
IV.7.2 Minimisation du coût de production Application de l'algorithme de chauve-souris	73
IV.7.2.1 Fonction objective quadratique (sans effet de valve)	73
IV.7.2.2 Fonction objective non-linière (effet de valve)	74
IV.8 Conclusion	76

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux électriques sont confrontés à de nombreux problèmes techniques et économiques. L'opérateur de réseau doit couvrir la puissance requise à tout moment et en tout lieu, garantir une qualité acceptable à la mesure de l'énergie fournie et assurer une protection élevée de la source d'alimentation au moindre coût possible. Le problème de dispatching économique occupe une place très importante dans la stratégie concurrentielle des entreprises, qui se trouvent confrontées à la libéralisation du secteur de l'électricité et donc confrontées à une concurrence intense, et sont représentées dans de nouvelles restrictions environnementales pour résoudre le problème de dispatching économique pratique.

Le rôle principal et L'objectif de base d'un dispatching économique est la génération et l'exploitation à coût minimal de l'énergie électrique tout en satisfaisant la demande avec toutes les contraintes du système. Actuellement il existe une nouvelle approche qui est l'application par la méthode métaheuristiques, parmi laquelle on trouve les algorithmes génétique (GA) et l'algorithme d'optimisation par l'algorithme de chauve-souris (BAT). Donc, le but de ce travail est d'utiliser ces deux méthodes pour la résolution du problème de dispatching économique de l'énergie électrique.

Ce présent mémoire est organisé en quatre chapitres organisé comme suit :

Le premier chapitre est consacré dans un premier temps à donner des généralités sur la structure du système énergétiques, à savoir, la notion de topologie des réseaux, le réglage de fréquence. Puis, dans la deuxième partie les différentes sources de production d'énergie électrique ont été bien clarifiées à savoir, le principe de base de fonctionnement des centrales classiques ainsi que le principe de base de quelques types de sources renouvelables. Leurs avantages et inconvénients ont été aussi présentés.

Le deuxième chapitre a pour but d'expliquer le problème de dispatching économique statique et dynamique en traitant :

- La fonction objective à envisager mono et multi-objectives.
- La modélisation des équations des contraintes à savoir :
- Les limites de production inférieures et supérieures.
- Les contraintes rampes.
- Les zones de fonctionnement prohibées.
- Modèle des unités avec plusieurs types de combustibles

Le troisième chapitre est consacré à expliquer le principe de fonctionnement des méthodes d'optimisation métaheuristiques en particulier la méthode de l'algorithme génétique, l'algorithme d'essaim de particule et l'algorithme de chauve-souris.

Le quatrième chapitre qui représente la partie pratique de ce mémoire, a été consacré à valider l'efficacité de deux algorithmes, l'algorithme génétique (GA) et l'algorithme de chauve-souris (BAT) à résoudre le problème de dispatching économique statique et dynamique appliqués sur des réseaux tests.

Finalement en terminant ce chapitre par une perspective qui représente une continuité de ce travail dans cet axe de recherche.

Chapitre 1 : **Généralités Sur Les Centrales** **Electriques**

I.1 Introduction :

Le développement et l'expansion de l'utilisation de l'énergie électrique ont conduit à la nécessité d'une expansion structurelle de l'utilisation des moteurs électriques. L'exploitation des réseaux électriques repose sur un ensemble d'infrastructures visant à produire de l'énergie électrique et à la transporter vers les consommateurs.

Pour cela objectif est définie le RE et présent le structure de RE et différents types de production d'énergie électrique dans le RE et le stratégie Algérien sur le développement des énergies renouvelables et fonctionnement des Centrales électriques.

I.2 Notions de base :

I.2.1 Définition d'un réseau électrique :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [1].

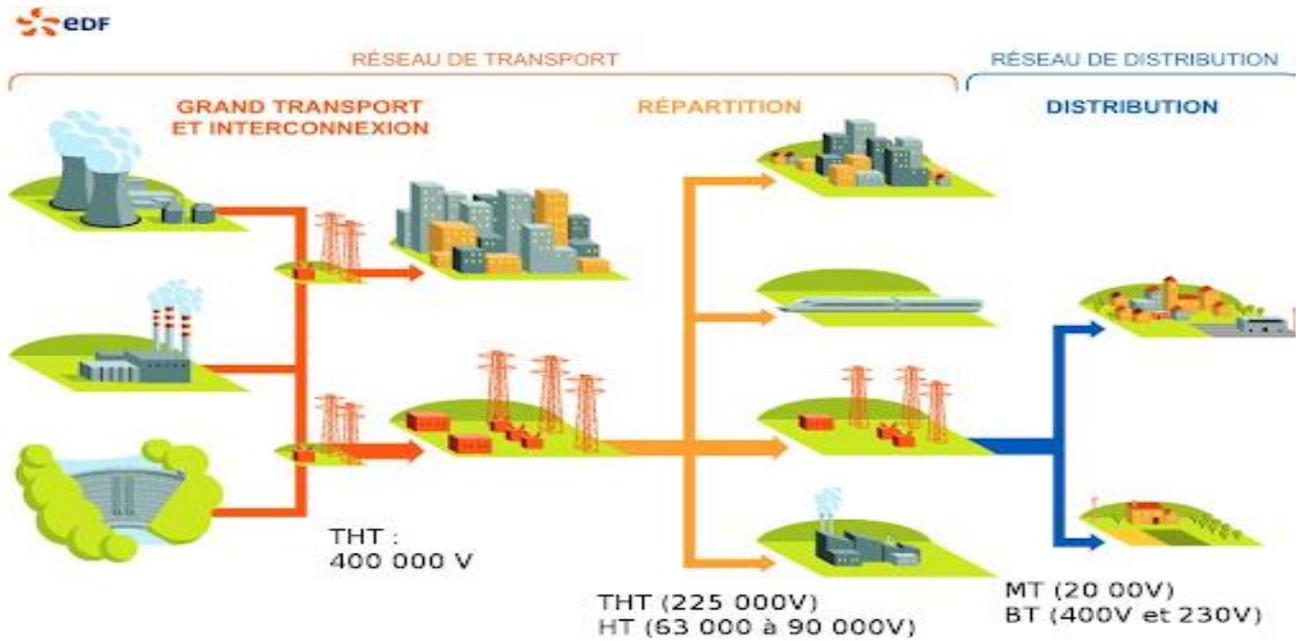


Figure I.1 : Structure des réseaux électrique

I.2.2 Les Niveaux De Tension Et Les Types De Réseau Electrique :

La nouvelle norme CEI (ainsi que les textes législatifs en vigueur en Algérie depuis juin 2002) définit les niveaux de tension alternative comme suit :

- Un réseau de transport 300...800KV.
- Un réseau de répartition 60...300KV.
- Un réseau de distribution MT 1...60KV.
- Un réseau de livraison de l'abonné BT 220...1kV.

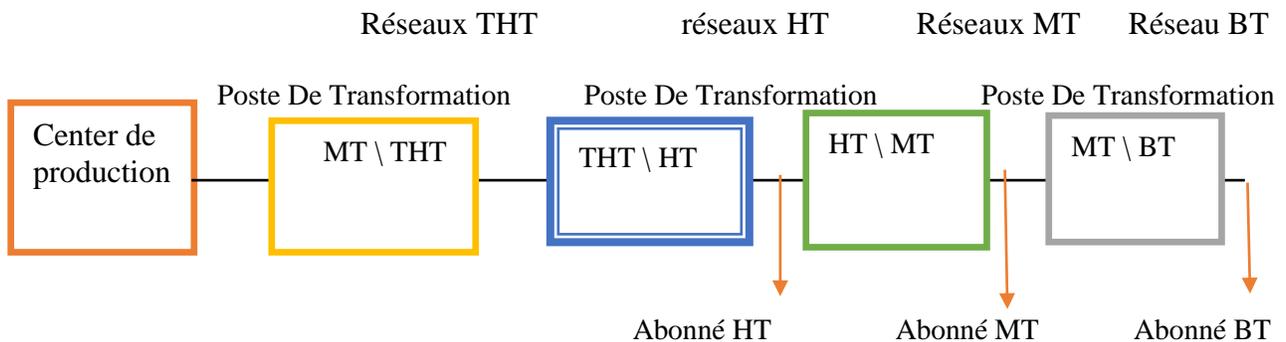


Figure I.2 : Configuration du réseau électrique

Cette hiérarchie c'est à dire, les niveaux de tension utilisés varient considérablement d'un pays à l'autre en fonction des paramètres liés à l'histoire électrotechnique du pays, ses ressources énergétiques et finalement des critères techniques économiques [2]. Le diagramme unifilaire du réseau électrique est schématisé dans la figure I.3.

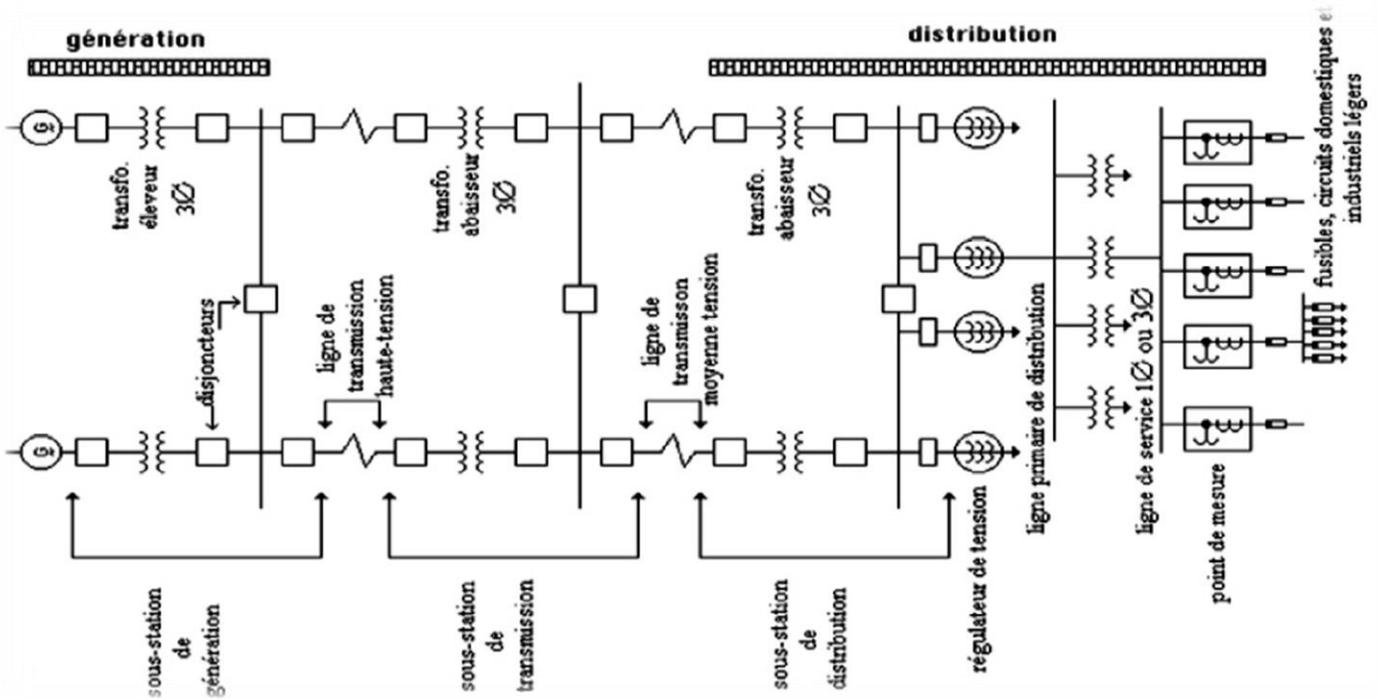


Figure I.3 : Diagramme unifilaire du réseau électrique [2].

I.2.3 Structure des réseaux électriques :

Il y a trois différents types de topologies :

- Les réseaux radiaux
- Les réseaux bouclés.
- Les réseaux maillés.

Réseau radial:

Si l'énergie transportée par un réseau vers un client y parvient par un seul parcours, on parle de distribution radiale (Utilisé pour le réseau rural). La figure I.4 représente la structure d'un réseau radial.

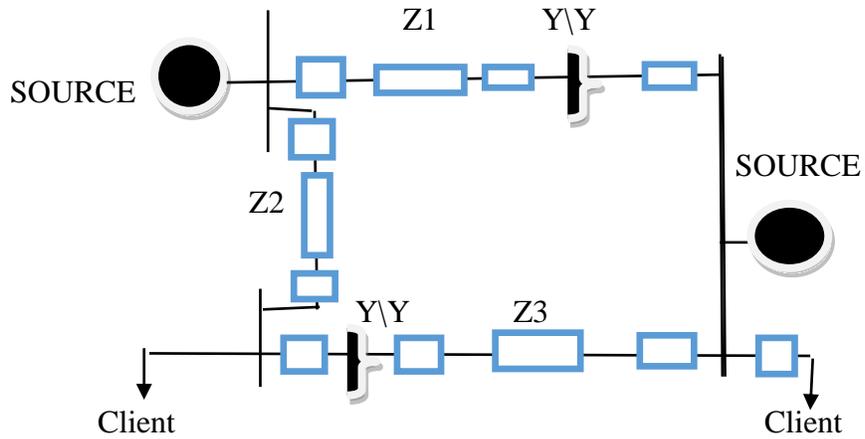


Figure I.4 : Schéma du réseau radial

Réseau bouclé

Si l'énergie transportée par un réseau vers un client y parvient par plusieurs parcours, on parle de distribution bouclée (Utilisé pour les réseaux de répartition). La figure I.5 représente le schéma unifilaire d'un réseau bouclé.

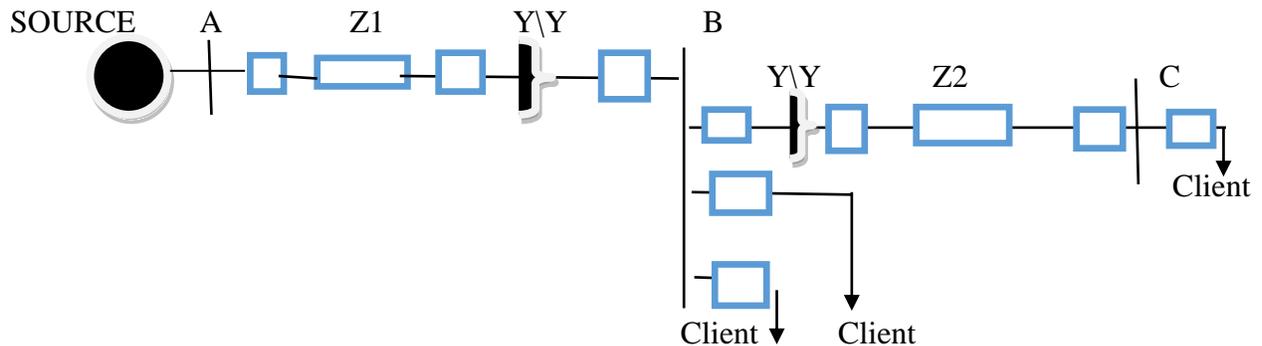


Figure I.5 : Topologie d'un réseau bouclé.

Réseau maillé

Les réseaux maillés sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées formant ainsi une structure analogue à la maille d'un filet. Ils sont utilisés pour les réseaux de transport. La topologie d'un réseau maillé est présentée dans la figure I.6.

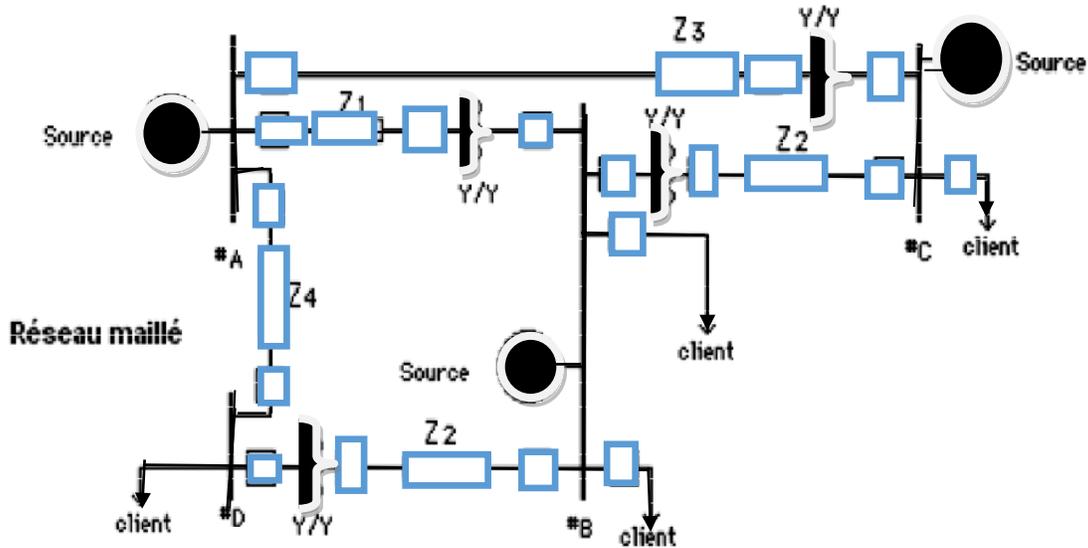


Figure I.6 : Topologie d'un réseau maillé.

I.3 Production d'énergie électrique :

I.3.1 Type des centrales de production

Les centrales de production sont classées selon le type d'énergie primaire en deux catégories principales :

- **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.

Les Centrales Biomasse.

I.3.1.1 Centrales thermique classiques :

I.3.1.1.1 Les centrales à combustible fossile :

Ce type des centrales comporte un bruleur qui élève la température d'eau que l'on transforme de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur), cette vapeur est dirigée vers le circuit secondaire et entraine la turbine (rotation à haute vitesse). Cette turbine est accouplée à un alternateur qui transforme donc l'énergie cinétique de la turbine en énergie électrique [3],[9]. Le principe de fonctionnement d'une centrale à gaz est présenté dans la figure (I.8).

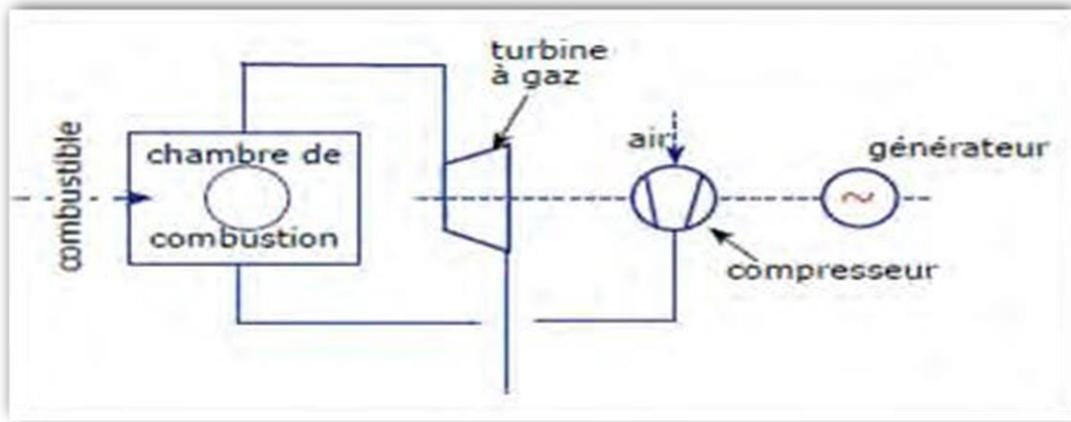


Figure I.7 : Principe de fonctionnement d'une centrale à gaz [6].

I.3.1.1.2 Les centrales nucléaires :

Le principe de fonctionnement de la centrale nucléaire est de générer la chaleur par la fission nucléaire d'uranium. La chaleur produite est utilisée pour faire réchauffer de l'eau et avoir de la vapeur qui est ensuite acheminée dans une turbine composée d'un corps haute pression (HP) et de plusieurs corps basse pression (BP) la quelle actionne un alternateur. Le refroidissement du circuit de la vapeur peut avoir lieu directement, par de l'eau du lac, du fleuve ou dans un circuit via une tour de refroidissement [4].

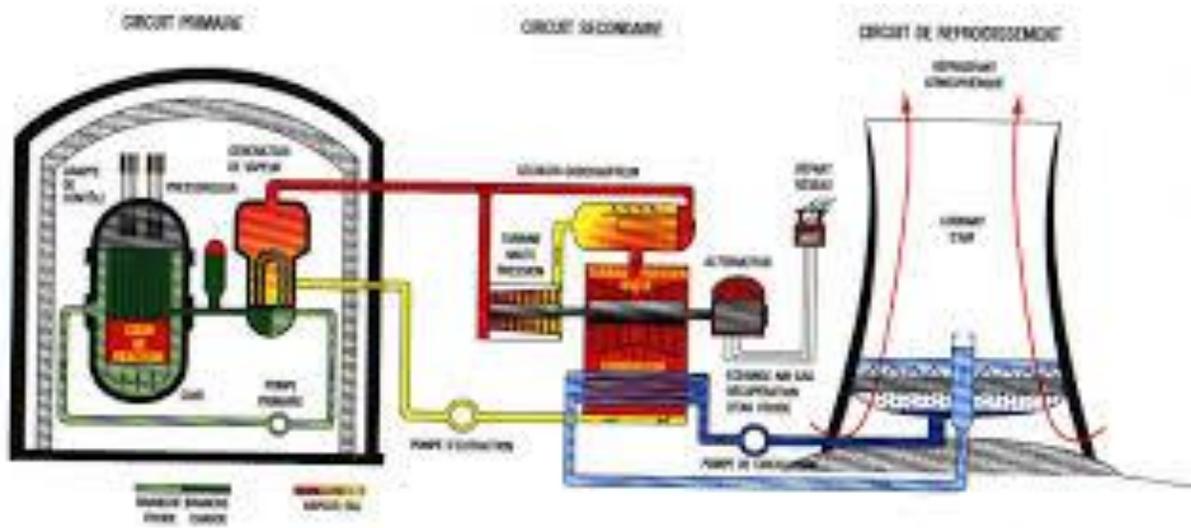


Figure I.8 : Schéma de principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire

I.3.2 Les avantages et inconvénient des centrales classiques :

❖ Les avantages :

- ✓ Gros pouvoir énergétique

❖ Les inconvénients :

- ✓ Pollution importante, émission de CO₂ augmentant l'effet de serre et modifiant le climat
- ✓ Les stocks de d'uranium s'épuisent
- ✓ Production de déchets radioactifs difficiles ou impossible à recycler
- ✓ Industrie dangereuse en cas d'accidents

I.4 Energie Renouvelable :

I.4.1 Les centrales hydrauliques :

Dans les centrales hydrauliques, l'énergie cinétique de chute de l'eau est utilisée pour tourner la turbine et générateur qui produisent l'énergie électrique. Le schéma de principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique est montré dans la figure I.10.

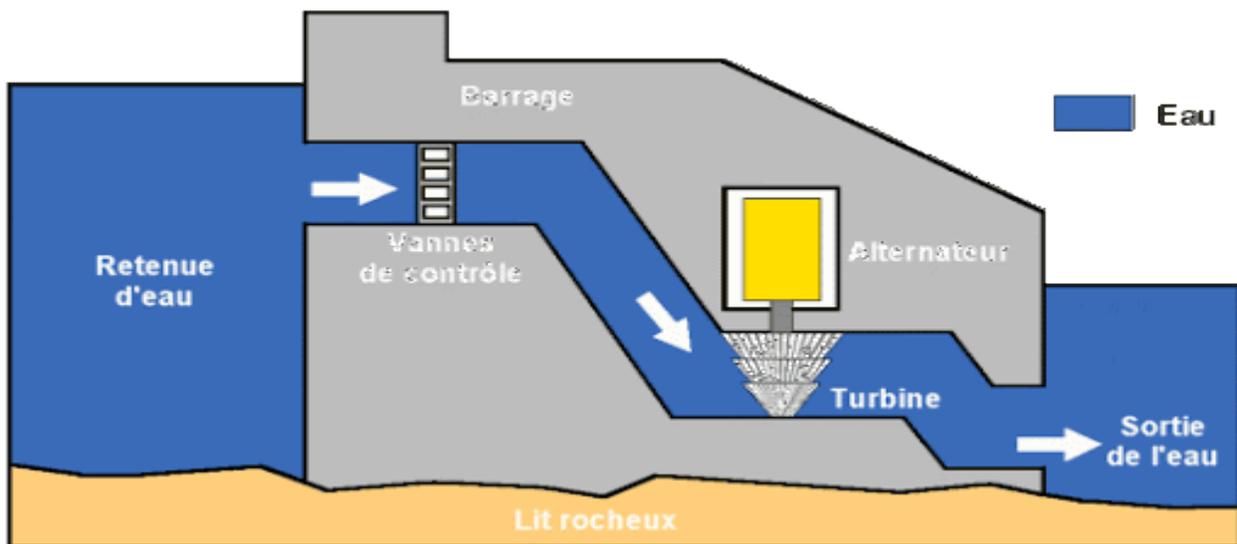


Figure I.9 : Schéma de principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.

I.4.2 Les Centrales Solaires Ou Photovoltaïque :

L'énergie électrique est produite directement par la transformation du rayonnement solaire au niveau des panneaux photovoltaïques qui sont à base de cellules regroupées. Le courant résultant est continu ce qui exige une intégration des onduleurs pour avoir un courant alternatif

ainsi des batteries d'accumulation pour emmagasiner l'énergie électrique [10]. Le schéma de principe de fonctionnement d'un parc cellule photovoltaïque dans la figure I.11

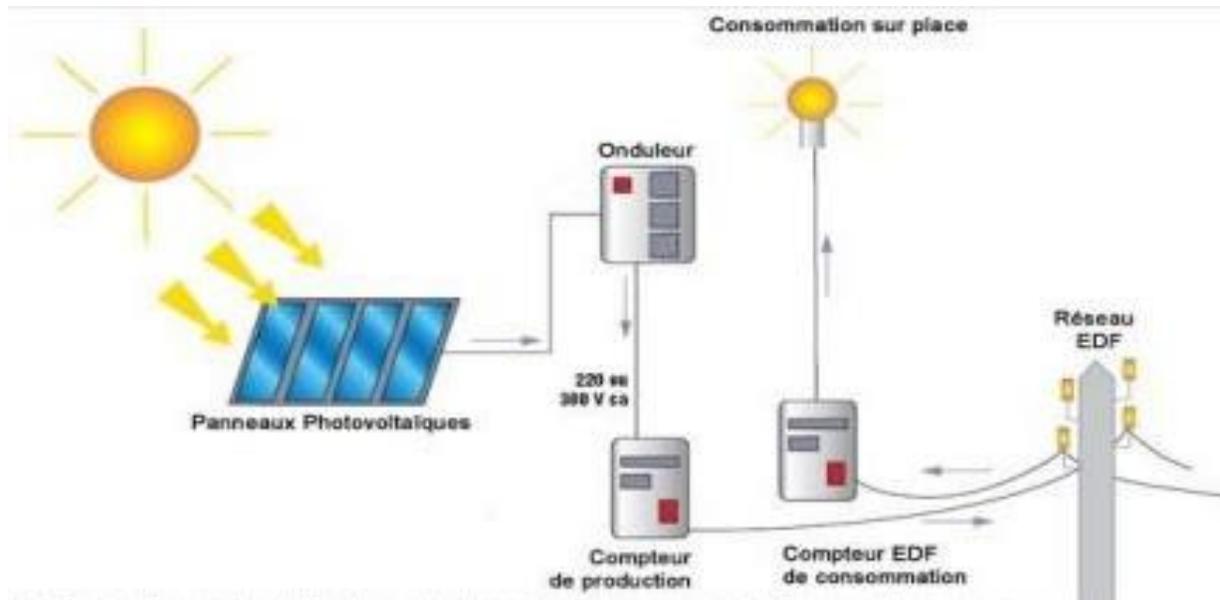


Figure I.10 : Schéma de principe de fonctionnement d'un parc cellule photovoltaïque.

I.4.3 Les Centrales Eoliennes :

L'énergie primaire est le vent. Une éolienne se compose essentiellement d'une hélice, en général à 3 pâles, placée au-dessus d'un mât. Sous l'effet du vent l'hélice de l'éolienne (appelée aérogénérateur dans d'autres documentations) se met en rotation. À l'intérieur de la nacelle sur l'axe existe un multiplicateur de vitesse qui a pour but d'augmenter la vitesse de rotation disponible pour l'alternateur. À l'échelle mondiale, l'énergie éolienne a connu une croissance importante de 30% par an. L'Europe, principalement sous l'impulsion allemande, scandinave et espagnole, comptait environ 15000 MW de puissance installée en 2000. Ce chiffre a presque doublé en 2003, soit environ 27000 MW pour 40000 MW de puissance installée dans le monde [4]. La figure I.12 montre le schéma de principe de fonctionnement d'un parc éolien.

Principe de la production électrique à partir d'une éolienne

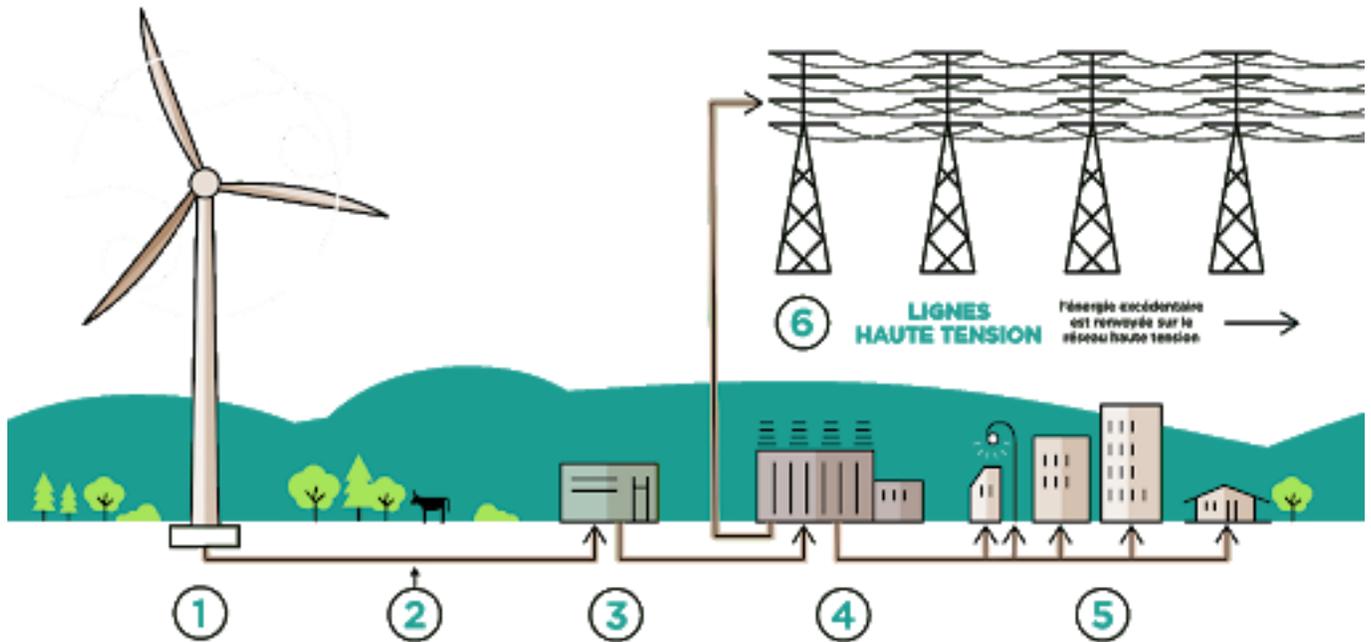


Figure I.11 : Schéma de principe de fonctionnement d'un parc éolien.

I.4.4 Les Centrales Biomasse :

Une centrale biomasse produit de l'électricité et de la chaleur en utilisant des sources d'énergie renouvelable comme combustibles. En brûlant, la matière organique génère de la vapeur qui active une turbine. La figure I.13 présente le schéma de principe de fonctionnement d'un parc de centrale Biomasse.

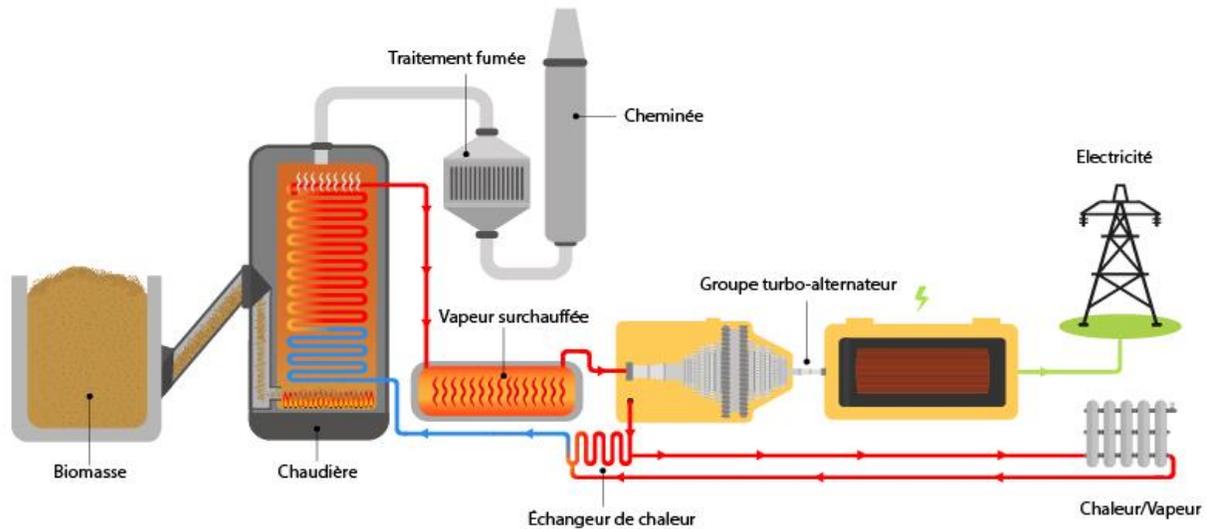


Figure I.12 : Schéma de principe de fonctionnement d'un parc de centrale Biomasse.

I.4.5 Les avantages et inconvénient de énergies renouvelables :

- ❖ Les avantages :
 - ✓ Source Illimité
 - ✓ Énergie considérée comme propre
 - ✓ Fort potentiel de développement
 - ✓ Technologie maîtrisée
- ❖ Les inconvénients :
 - ✓ Stockage difficile
 - ✓ Production discontinue
 - ✓ Coût élevé
 - ✓ Rendement énergétique faible

I.5 Les indices de qualité d'énergie :

La régulation des réseaux électriques est l'ensemble des moyens mis en œuvre (processus d'asservissement agissant sur un système dynamique) afin de maintenir proches de leurs valeurs de consigne les grandeurs de fréquence et de tension sur l'ensemble du réseau. Une instabilité généralisée du réseau peut conduire à des dégâts matériels (côté production, transport, distribution et clients) et/ou à la mise hors tension d'une partie ou de l'ensemble du réseau (blackout) [6]. Dans la pratique l'énergie électrique fournie par un réseau électrique deux indices de qualité :

- La Fréquence

- L'Amplitude de la tension
 - **Réglage de la fréquence :**

La stabilité de la fréquence représente l'équilibre entre la production et la consommation et est fixée par la vitesse de rotation des alternateurs. L'équation (1.1) représente l'équation des masses tournantes décrivant la variation de vitesse des alternateurs (Ωt) en fonction des variations des couples des centrales de production (Tp) et celui exercé par la consommation et par les pertes (Tc) :

$$Js = \frac{d\Omega t}{dt} = Tp - Tc \quad (I.1)$$

Pour une perte de production ou une augmentation de consommation, Ωt va diminuer ce qui entraînera une diminution de la fréquence. La chute de fréquence sera plus ou moins élevée suivant la valeur de l'inertie. Afin de stabiliser la fréquence, l'équilibre entre les couples doit être assuré, c'est pourquoi des réglages ont été établis :

Le réglage primaire, le réglage secondaire et le réglage tertiaire.

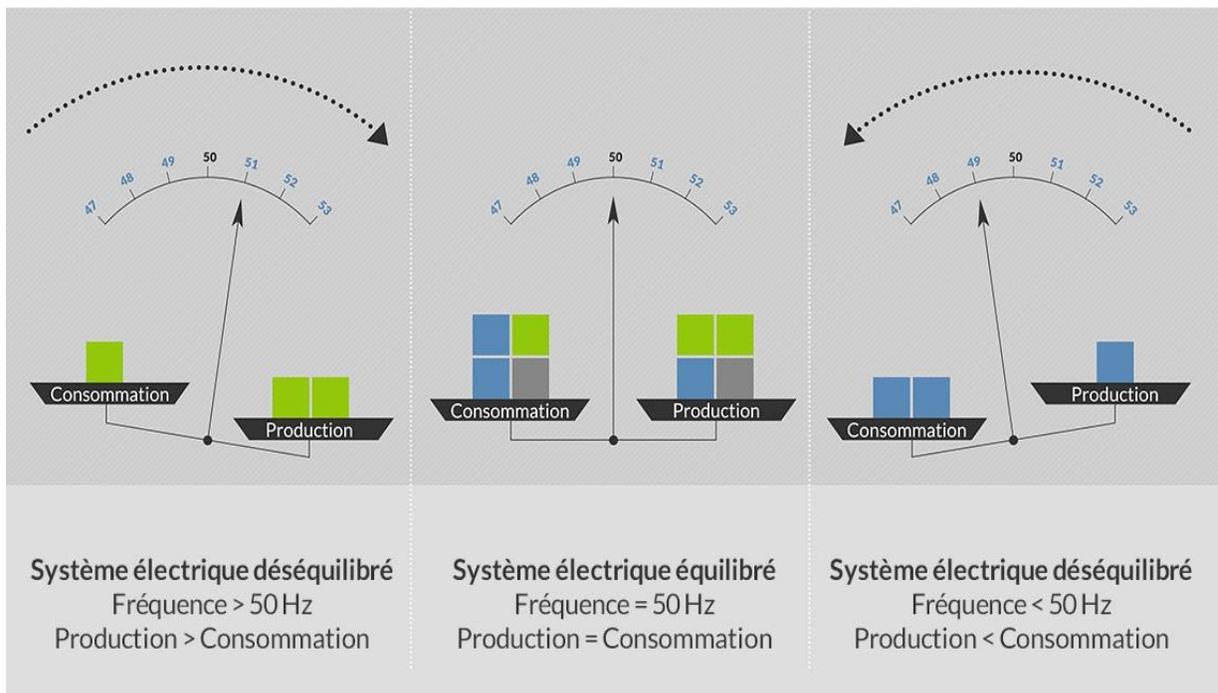


Figure I.13 : Variation de la fréquence en fonction de la demande et la production.

En effet, de nombreux éléments techniques du système électrique (moyens de production, certains appareils électriques, les moteurs, etc.) ont été conçus pour fonctionner à fréquence de référence ; au réseau Européen, cette valeur nominale est de 50 Hz y compris l'Algérie. Aux états unis cette fréquence est de l'ordre de 60 Hz.

En outre la grande fluctuation de fréquence, est inadmissible pour certains composants, dont les groupes de production, qui se déconnectent du réseau (ilotage). Pour l'Algérie la plage de variation normale de la fréquence est de 0.2 Hz, c'est-à-dire (50 ± 0.2) Hz à cause de ce fait la Sonelgaz (Algérie) a tracé un planning bien précis face aux aléas et pour affronter des situations pareilles (Un plan de défense se basant sur un délestage par minimum de fréquence). Ainsi, des écarts même mineurs de la fréquence de référence peuvent déstabiliser ou entraîner tout le réseau dans un ilotage partiel ou total et causer des conséquences dommageables comme un black-out (black-out d'Algérie l'an 2003).

- **Réglage de la tension :**

Au niveau des réseaux de transport, les limites inférieures de tensions ont lié à la sécurité du système électrique dans son ensemble ; une tension trop basse aura les conséquences suivantes :

- Surcharge des éléments de transport (ligne est transformateurs) par augmentation du courant, et risque de déclenchement des protections associées.
- Instabilité de tension pouvant entraîner un effondrement de tension.
- Perte des éléments de production (stabilité statique des alternateurs, limites de fonctionnement des groupes et de leurs auxiliaires) [7].

I.6 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.

Pour suivre les fluctuations de la consommation, étant donnée le peu de flexibilité de la consommation, la production doit être contrôlable [11].

I.6.1 Fluctuations de la consommation :

Les fluctuations de la consommation peuvent être classées en trois catégories :

- ❖ **Fluctuations infra journalières** : la consommation d'électricité peut fluctuer d'une façon importante :

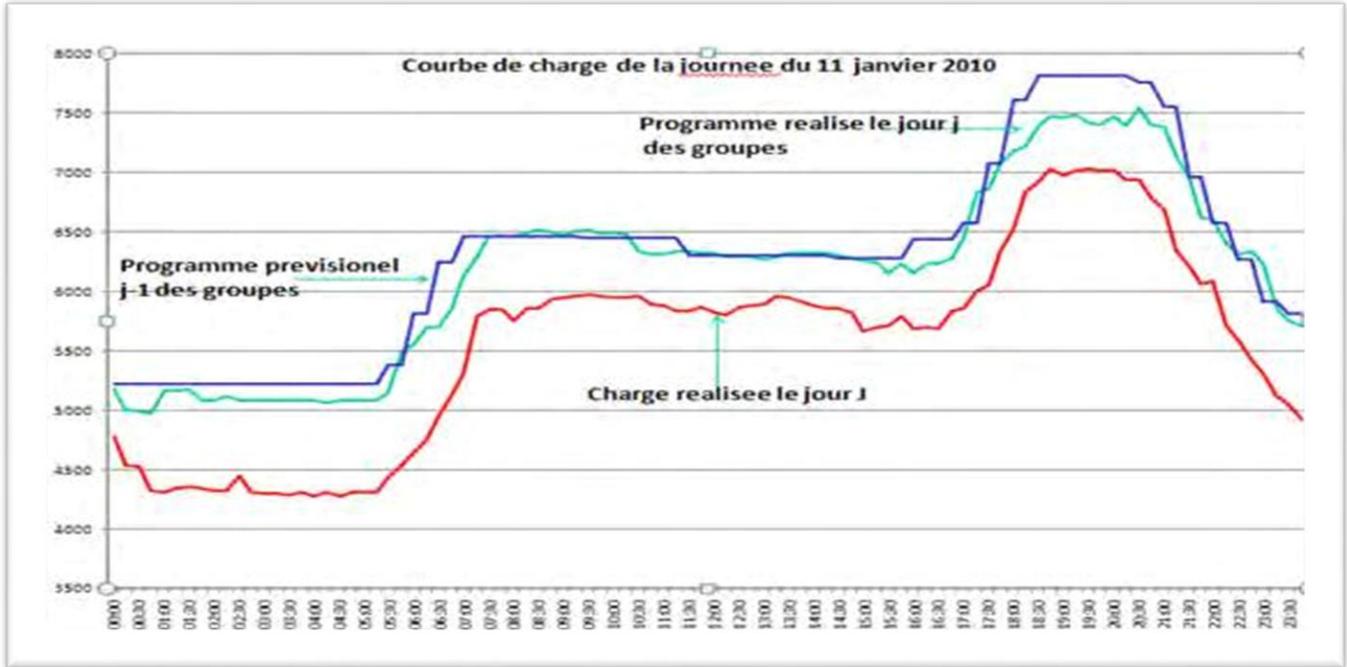


Figure I.14 : Courbe de charge de la consommation énergétique en Algérie ; fluctuations journalières [10]

- ❖ **Fluctuations hebdomadaires** : Jour ouvrable / week-end

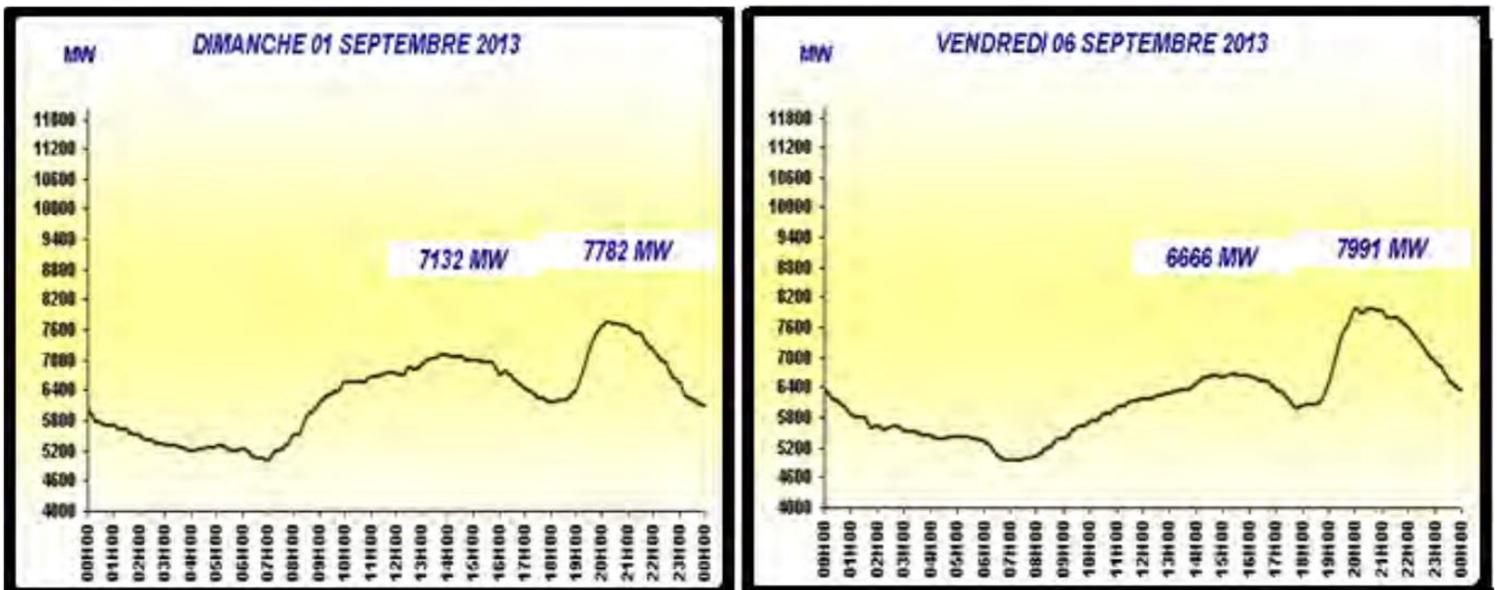


Figure I.15 : Courbe de charge de la consommation énergétique en Algérie ; fluctuations hebdomadaires [10]

❖ **Fluctuations saisonnières : jour été / jour hiver**

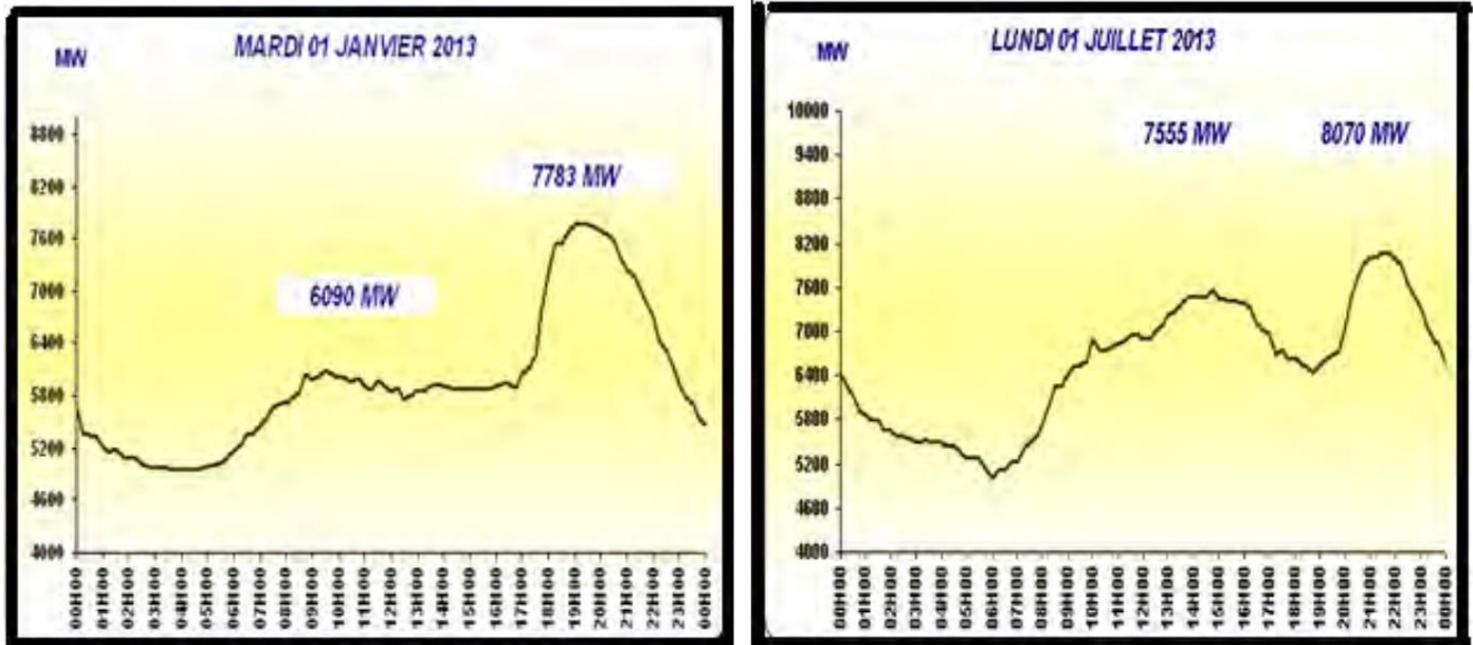


Figure I.16 : Courbe de charge de la consommation énergétique en Algérie fluctuations saisonnières [10]

I.6.2 Les Prévisions De La Consommation :

Une multitude de variables sont utilisées pour expliquer et prédire le niveau de consommation d'électricité : la température, l'heure de la journée, le jour de la semaine (jour ouvrable, weekend), la plupart de ces variables ont une relation directe avec : les conditions climatiques, habitudes de consommation, rythmes de vie et pays considéré.

En fait, plus les prévisions sont réalisées en avance par rapport au moment de la consommation, moins elles sont précises. En particulier celles liées aux conditions météorologiques, peuvent se modifier dans ce laps de temps.

Des prévisions éloignées du temps réel génèrent des erreurs, elles sont effectuées plusieurs fois par jour se basant principalement sur la combinaison des consommations réelles des jours précédents et la prévision des conditions climatiques, etc. Donc une actualisation en permanence à fin que les erreurs soient le plus minimum possible, pour ce faire les prévisions sont divisées en trois parties [3] :

- a) **Journalières** : pendant toute la semaine (Le jour : j+1 jusqu'à J+7) en s'appuyant sur les statistiques faites, les conditions météorologiques, les jours fériés, les weekends, les vacances, les événements qui peuvent y avoir (grèves, événements sportifs, etc).

- b) **Hebdomadaires** : autrement dit la semaine $s+1$, en tenant compte des programmes de démarrage et marche des centrales, la réserve, l'interconnexion internationale.
- c) **Annuelles** : pour l'année $n+1$, détermination du calendrier de production et des besoins en combustibles, maintenance et entretien des moyens de production et des ouvrages de transport.

Bien que la prévision de la consommation s'affine lorsqu'on s'approche de la période prévue. Mais il y'aura toujours des écarts entre les prévisions faites et la consommation réelle. Ces écarts, peuvent conduire à des erreurs de prévision [8].

À titre d'exemple, une baisse de la température moyenne de 1° C sur l'ensemble de la France peut entraîner, en hiver, une augmentation de la consommation de plus de 1000 MW (approximativement la taille d'une tranche nucléaire) [10].

I.7 La production de l'électricité en Algérie :

L'énergie électrique en Algérie est générée en grande majorité par des turbines à gaz et des turbines à vapeur. Elles constituent les moyens par excellence de production d'électricité du fait du développement des technologies de pointe. Cela se justifie aussi par leur rapidité de démarrage et leurs faibles coûts d'investissement. L'Algérie s'est investie dans l'encouragement de la production de l'électricité à partir de sources renouvelables. La principale cause de cette politique est associée à la question environnementale et à la sécurité de l'approvisionnement. L'Etat a mis en place des plans très ambitieux pour la promotion du secteur de l'électricité.

Le nouveau programme national de développement de l'énergie renouvelables 2015-2030. En effet, le but visé est la préservation des ressources fossiles en diversifiant les filières de production out en étant capable de répondre à la forte demande en électricité [2],[6]. Selon les dernières statistiques de l'entreprise de Sonelgaz La capacité supplémentaire nationale de production d'électricité au cours de la période 2017-2027 sera de 21 307 MW, dont 20 994 MW ont déjà été décidés et 313 MW sont en projets. L'investissement pour la période 2017-2027 sera de : 1 949 Milliards DA [9],[6].

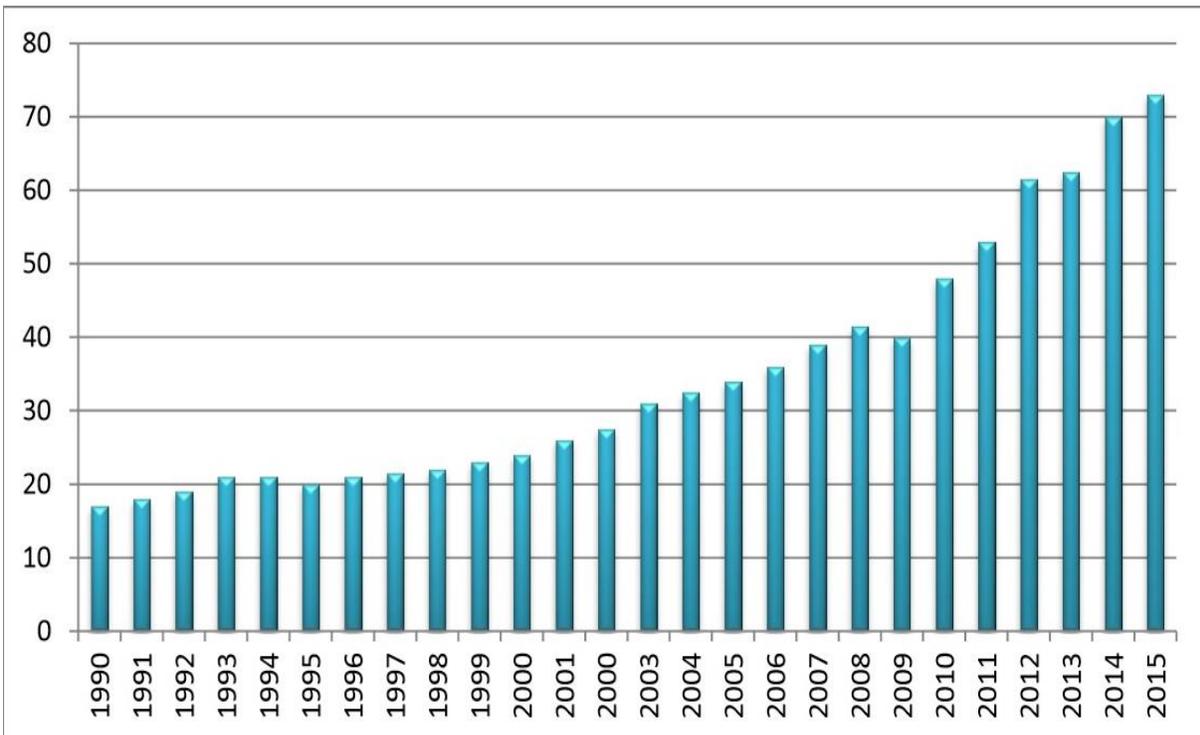


Figure I.17 : Production d'électricité en Algérie (1990-2015) en TWH.

I.8 Stratégie de développement de l'énergie électrique en Algérie :

En Algérie fait Ce programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22 000 MW entre 2011 et 2030 dont 12 000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10 000 MW à l'exportation. L'exportation de l'électricité est toutefois conditionnée par l'existence d'une garantie d'achat à long terme, de partenaires fiables et de financement extérieur. A la faveur de ce programme, les énergies renouvelables se placent au cœur des politiques énergétique et économique menées par l'Algérie : d'ici 2030, environ 40% de la production d'électricité destinée à la consommation nationale sera d'origine renouvelable. En effet, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir de solaire photovoltaïque et du solaire thermique qui seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance.

Le programme des énergies renouvelables est défini ainsi pour les différentes

Phases :

- ❖ A l'horizon 2015, une puissance totale de près de 650 MW serait installée
- ❖ D'ici 2020, il est attendu l'installation d'une puissance totale d'environ 2 600 MW pour le marché national et une possibilité d'exportation allant jusqu'à 10 000 MW.

I.9 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre des généralités sur les différents aspects techniques qui caractérisent un système énergétique (la production, le réseau transport, et les différents types de centrales électrique et la fonction de réseaux électrique). Les notions de base sur de la qualité de fréquence, le réglage de la tension et le stratège de développement de production d'énergie électrique dans Algérie

Chapitre 2 :

Formulation mathématique du problème de dispatching économique

II.1 Introduction :

Le problème du dispatching économique d'un réseau de production et de transport de l'énergie a toujours été un thème intensément étudié dans l'histoire de l'électricité. Les nombreuses publications sur ce sujet en sont une preuve bien claire.

Les premières recherches ont négligé les pertes dues au réseau de distribution et ont conduit à la loi bien connue : Répartir la demande sur les unités génératrices de sorte que les différents coûts marginaux de production soient égaux.

KIRCHMAYER a ensuite indiqué l'importance de considérer ces pertes et a proposé la "méthode des coefficients 'B' pour les calculer. Elle suppose, entre autres, des tensions constantes sur tout le réseau et ne livre que le dispatching des puissances actives. Plusieurs améliorations de la proposition originale ont été développées et certaines appliquées industriellement.

Une technique intéressante concernant la répartition optimale de la puissance réactive, indépendamment de celle de la puissance active, est due à R. Baumann. Un nouvel essor fut donné en 1961 par la publication de M. J. Carpentier, dans laquelle il pose le problème du dispatching économique sous sa forme générale en tenant compte des limitations du réseau et propose une méthode de solution [10].

II.2 Description de Répartition économique de l'électricité :

Le problème de la répartition économique est devenu une tâche décisive dans l'exploitation et la planification du réseau électrique. L'objectif est de programmer la production des groupes turbines-alternateurs engagés de manière à répondre à la demande de charge requise à un coût minimum et à satisfaire toutes les contraintes opérationnelles du réseau [13].

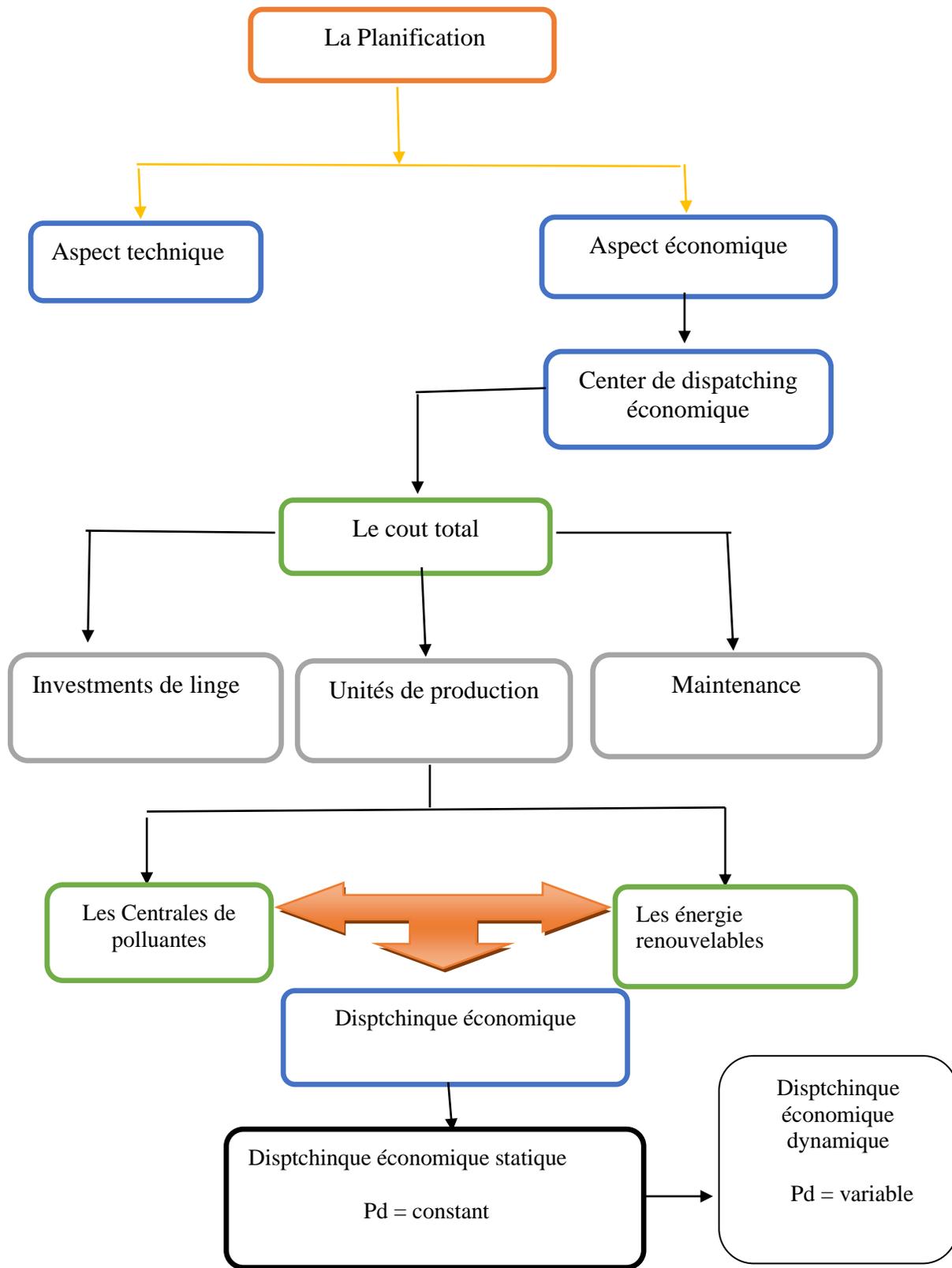


Figure II.1 : Classification du problème de planification de la puissance active

II.3 Bilan de puissance :

Le système énergétique (unités de production, système de control et de protection, station de transport et de distribution) doit assurer instantanément et d'une manière dynamique la vérification du bilan de puissance qui est :

La somme des puissances produites doit être égale à la somme des puissances consommées avec considération des pertes. [7]

II.4 Dispatching Economique :

Dispatchings Economique Le dispatching économique de puissance consiste à répartir la puissance active demandée entre les différentes centrales interconnectées dans un réseau électrique avec un coût minimal. Cette distribution doit évidemment respecter les limites de production des centrales et les capacités de transport des lignes électriques et les transformateurs. La variable à optimiser est donc le coût de production [14].

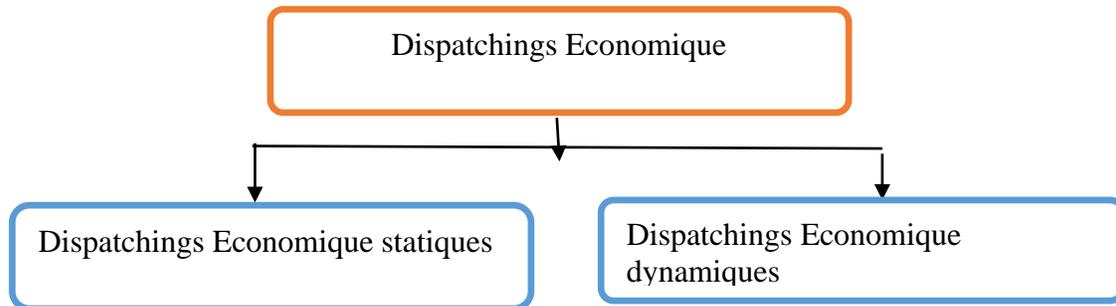


Figure II.2 : Classification du problème de dispatching économique.

II.5 Problème de Dispatching économique :

Le problème du dispatching économique statique sans pertes est peu complexe car le seul paramètre qui influence le coût est la puissance active générée par les unités de production (sans tenir compte de la puissance perdue dans les lignes lors des transits de puissance entre les centrales et les charges) dont la résolution est faite pour un instant précis.

Notant que les générateurs à combustible distincts possèdent différents coûts pour fournir le même montant d'énergie électrique, c'est important de se rendre compte que le générateur le plus efficace du système ne peut pas produire de l'électricité au plus bas coût qu'un générateur bon marché ne peut pas être le plus rentable, puisqu'un générateur qui se trouve trop loin du centre de la charge donne des pertes de transmission énormes, et donc le rend peu économique de fonctionner.

Cependant ces pertes varient en fonction de la répartition des puissances entre les centrales et la charge. Ainsi, Contrairement à celui sans pertes, le dispatching économique avec pertes est plus compliqué, il tient compte de la topologie du réseau. Les centrales qui produisent la puissance dont le transit provoque d'importantes pertes seront pénalisées en multipliant leur coût incrémental par un facteur de pénalité, donc il est à noter qu'il est plus économique de produire l'énergie avec un coût plus cher pour un lieu consommation de près qu'un coût moins cher pour une charge plus loin [14].

Le dispatching économique avec perte est un procédé itératif qui doit converger vers la solution optimale. Si on prend en considération les pertes de puissance constantes, on doit évaluer celles-ci et les inclues dans la demande.

Lorsque le problème prend une dimension dynamique (dispatching économique dynamique) , c'est-à-dire lorsque la demande évolue dans un intervalle de temps donné (24 heures), plus la complexité de l'algorithme qui présente une demande variable dans le temps ,une autre complexité s'ajoute à ce problème car il faut tenir compte dans ce cas les états des centrales ainsi que les contraintes Rampes des générateurs [10].

II.6 Dispatching économique statique :

Le dispatching économique est un problème d'optimisation statique qui consiste à répartir la production de la puissance active demandée entre les différentes centrales du réseau [26]. L'objectif principal du dispatching économique est de trouver la contribution en puissance de chaque groupe de production du système électrique, de sorte que le coût total de production soit minimisé que possible pour n'importe quelle condition de charge tout en respectant les contraintes physiques de ces générateurs [10].

II.7 Fonction objective :

L'optimisation de la puissance active est un cas particulier du problème d'optimisation standard. Pour une fonction objective quadratique, La formulation mathématique de la fonction coût quadratique est présentée sous la forme suivante [7] :

$$\mathbf{Min f} = \sum_{i=1}^{N_g} (a_i + b_i p_i + c_i p_{gi}^2) (\$/h) \quad (\text{II. 1})$$

Avec :

f : Le coût total de la production en (\$/h).

N_g : Le nombre des unités de production.

P_{gi} : La puissance active générée de l'unité de production i .

a_i , b_i et c_i sont les coefficients de la fonction coût [7].

La Figure (II.3) présente La variation du coût en fonction de la puissance générée pour une fonction coût quadratique [14].

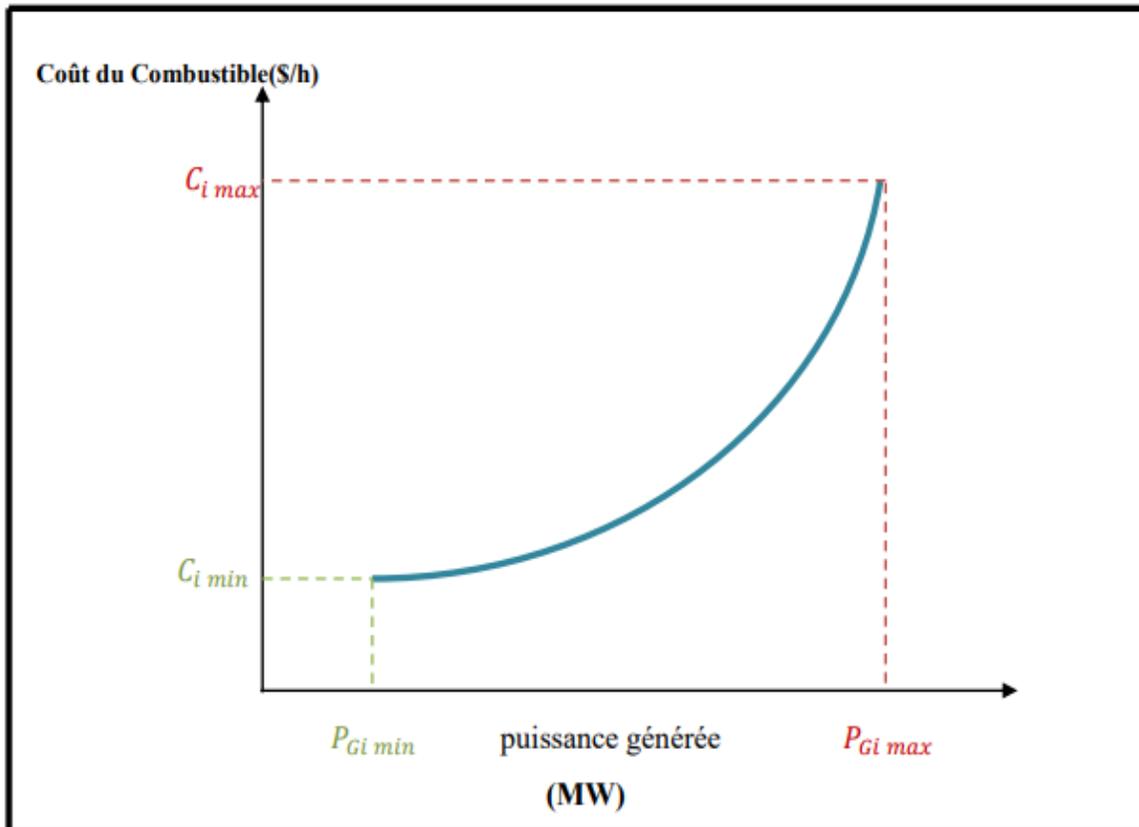


Figure II.3 : La variation du coût en fonction de la puissance générée.

II.8 Les contraintes :

II.8.1 Contraintes d'égalité :

Dans le dispatching économique, la fonction objective à minimiser est le coût total de production des groupes thermiques, de telle sorte que la charge électrique du système soit entièrement satisfaite. [10]

✿ Cas d'un Système sans pertes :

Dans ce cas, la seule contrainte est que la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la charge totale de système [10] :

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

✿ Cas d'un système avec pertes :

Dans les systèmes réels, le transport de l'énergie électrique vers les jeux de barre de charge est souvent accompagné par des pertes de transmission. Le problème du dispatching économique devient un peu compliqué par rapport au cas précédent où les pertes ont été négligées. Si on désigne par **PL** les pertes totales de puissances actives, la contrainte d'égalité devient [10] :

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{gi} = Pd + PL \quad (\text{II. 3})$$

II.8.2 Contrainte d'inégalité :

La répartition de la demande sur les unités de production doit en plus respecter les limites maximales admissibles de production de chaque générateur de production **P_{gi} min** et **P_{gi} max**. Par conséquent, le problème du dispatching économique se formule mathématiquement comme suit [12] :

- La puissance active du jeu de barre de référence :

$$P_{gimin} \leq P_{gi} \leq P_{gimax}; \quad i=1, \dots, ng.$$

- Les puissances réactives générées au niveau des unités de production :

$$Q_{gimin} \leq Q_{gi} \leq Q_{gimax} \quad ; \quad i=1, \dots, ng$$

- Pour garder la qualité de service électrique et la sécurité du système, les niveaux de tension des jeux de barres doivent toujours être entre leurs limites maximales et minimales [10] :

$$V_{ikmin} \leq V_{ik} \leq V_{ikmax} \quad ; \quad i=1, \dots, ng.$$

II.8.3 Estimation des pertes :

Dans les réseaux électriques réels les générateurs sont situés loin du centre de la charge électrique, alors les pertes de transport deviennent importantes et on estime les pertes par la méthode de B coefficient ou l'écoulement de puissance [17].

II.8.4 Méthode des coefficients 'β' :

La méthode de β coefficient estime les pertes de transmission en fonction des puissances actives générées. Ont utilisé la forme plus précise (formule de Kron) de l'équation pour estimer les pertes présentées comme suit [17]:

$$P_L = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} B_{ij} P_{Gj} + \sum_{j=1}^{NG} B_{0j} P_{Gj} + B_{00} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

B_{ij} : Sont les coefficients des pertes, souvent supposés constants.

II.9 Les contraintes pratiques :

Il y a plusieurs contraintes pratiques nous les mentionnons :

- L'effet du point valve.
- Effet des Zones interdites.
- Effet du multi-combustibles.
- Effet de l'émission des gaz toxiques.
- Effet des Rampes de générateur.

II.9.1 L'effet du point valve :

D'habitude, les grandes centrales thermiques disposent de plusieurs vannes d'admission de vapeur, qui sont utilisées pour le contrôle de la puissance délivrée par l'unité. Chaque fois qu'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. La Figure (II.4) montre la courbe de coût typique d'une unité thermique avec trois vannes d'admission de vapeur. L'effet d'ouverture de vanne est souvent modélisé par l'équation (II.8) en ajoutant une composante sinusoïdale à la fonction quadratique de base [12].

$$F(P_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + |e_i \sin_i(f_i(P_{gi}^{min} - P_{gi}))|) (\$/h) \quad (\text{II.5})$$

Où a_i, b_i, c_i, e_i, f_i sont les coefficients de coût de l'unité génératrice i.

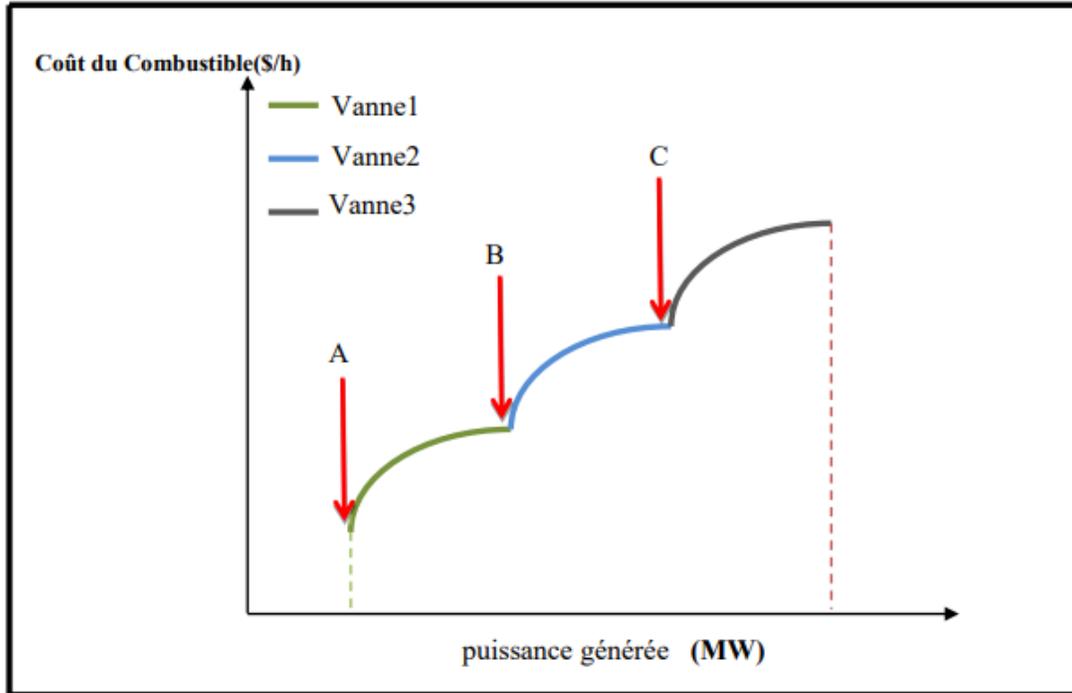


Figure II.4 : Effet de l'ouverture des vannes pour une unité thermique.

II.9.2 L'effet de l'émission des gaz toxiques :

Les émissions des gaz toxiques rejetés par les unités de générations thermiques dues à la combustion des carburants d'origines fossiles. [17]

→L'émission atmosphérique peut être représentée par une fonction qui relie les émissions avec la puissance générée par chaque unité. L'émission de SO₂ dépend de la consommation de carburant et a pour effet la même forme que le (coût du carburant).

→L'émission de NO_x est difficile à prédire et sa production est associée à de nombreuses comme la température de la chaudière et le contenu de l'air.

→La fonction d'émission en tonnes/h qui représente les émissions de SO₂ et de NO_x est une fonction de la puissance du générateur et est exprimée comme suit. [10]

$$F_e = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + d_i \exp(e_i P_{gi})) [\text{Ton/h}] \quad (\text{II.6})$$

Où a_i, b_i, c_i, e_i sont les coefficients de la fonction émission attachées à chaque groupe de production.

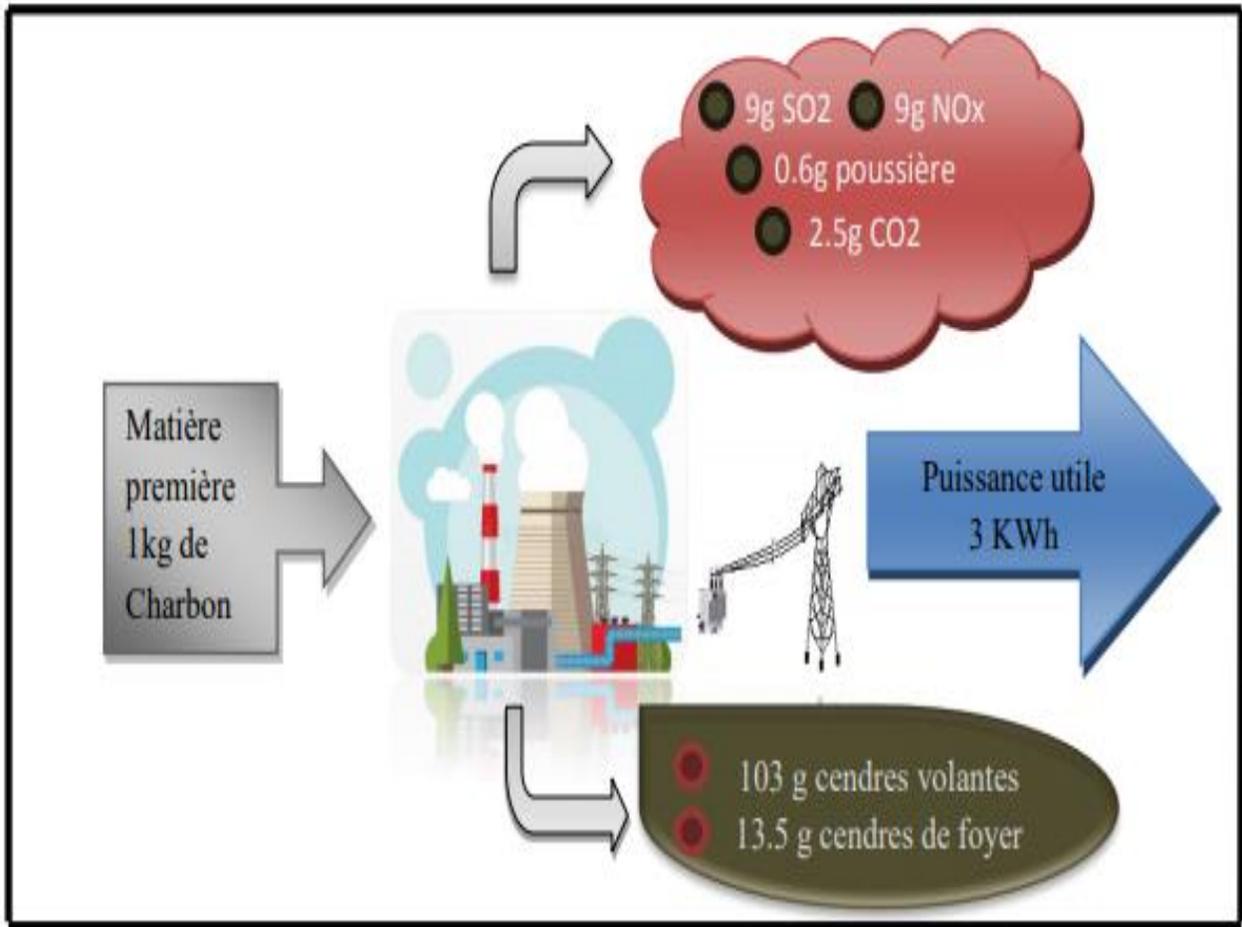


Figure II.5 : Rejets d'une centrale au charbon en une seule journée.

II.9.3 L'effet des Zones interdites :

Généralement, on admet que la puissance fournie par les unités thermiques peut être ajustée d'une manière continue dans le fonctionnement du générateur, mais dans la pratique il existe des zones ou régions de fonctionnement indésirable posées par 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 du coût de combustible.

La puissance générée théoriquement compris entre $P_{gi\ min} \leq P_{gi} \leq P_{gi\ max}$,

Mais dans la pratique, les unités thermiques peuvent avoir des régions de fonctionnement indésirables pour des problèmes liés essentiellement à la stabilité de l'unité, des vibrations importantes sont ressenties au niveau des paliers de la machine quand en travail dans ces régions, la puissance générée doit être située en dehors de ces dernières créant ainsi des discontinuités au niveau de la courbe de coût du combustible. Ce type de fonction est caractérisé par un espace de

solution non convexe. Les zones de fonctionnement prohibées sont représentées par l'équation sous dessous :

$$P_i \begin{cases} P_i^{min} \leq P_i \leq P_{i1}^L \\ P_{ik-1}^u \leq P_i \leq P_{ik}^L \\ P_{izi}^u \leq P_i \leq P_i^{max} \end{cases} \quad (II.7)$$

Avec :

1ni est le nombre de zones prohibées dans la i^{ieme} unité de production K : est l'indice de la zone prohibée pour la i^{ieme} unité de production. P_{ik}^L, P_{ik}^u : Sont les minimum et le maximum limites de la k^{ieme} zone prohibée de l'unité.

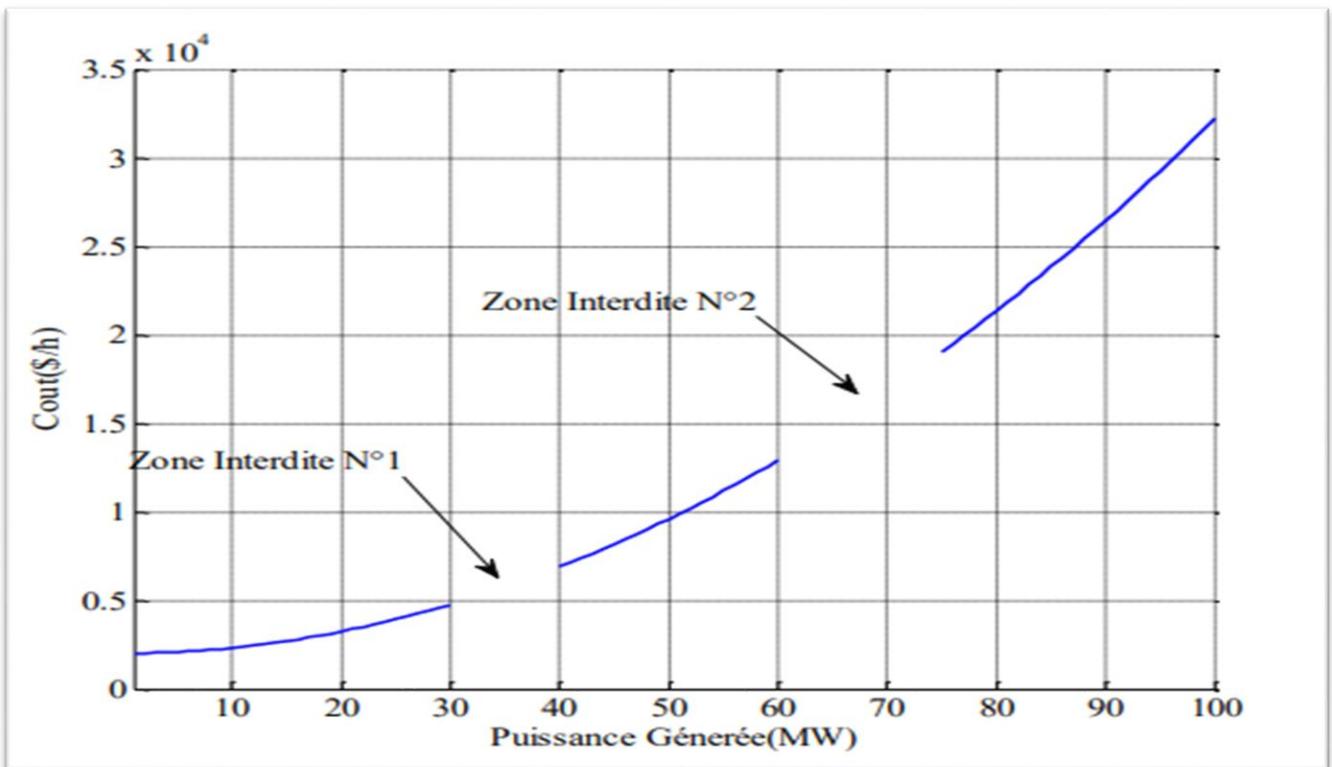


Figure II.6: Caractéristique de coût avec deux zones de fonctionnement interdites.

II.9.4 L'effet du multi 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 Figure (II.7), qui s'écrivent comme suit :

$$f_i(P_{gi}) \begin{cases} a_{i1} + b_{i1}P_{gi} + c_{i1}P_{gi}^2 \text{ combustible 1} \\ a_{i2} + b_{i2}P_{gi} + c_{i2}P_{gi}^2 \text{ combustible 2} \\ a_{ik} + b_{ik}P_{gi} + c_{ik}P_{gi}^2 \text{ combustible k} \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

Où a_{ik}, b_{ik}, c_{ik} sont les coefficients de coût de l'unité i avec le combustible k. Ce modèle est communément appelé modèle quadratique par morceaux. D'après la figure (II.7), on peut confirmer que le combustible le plus économique est celui qui est représenté par le morceau le plus inférieur de la courbe [12].

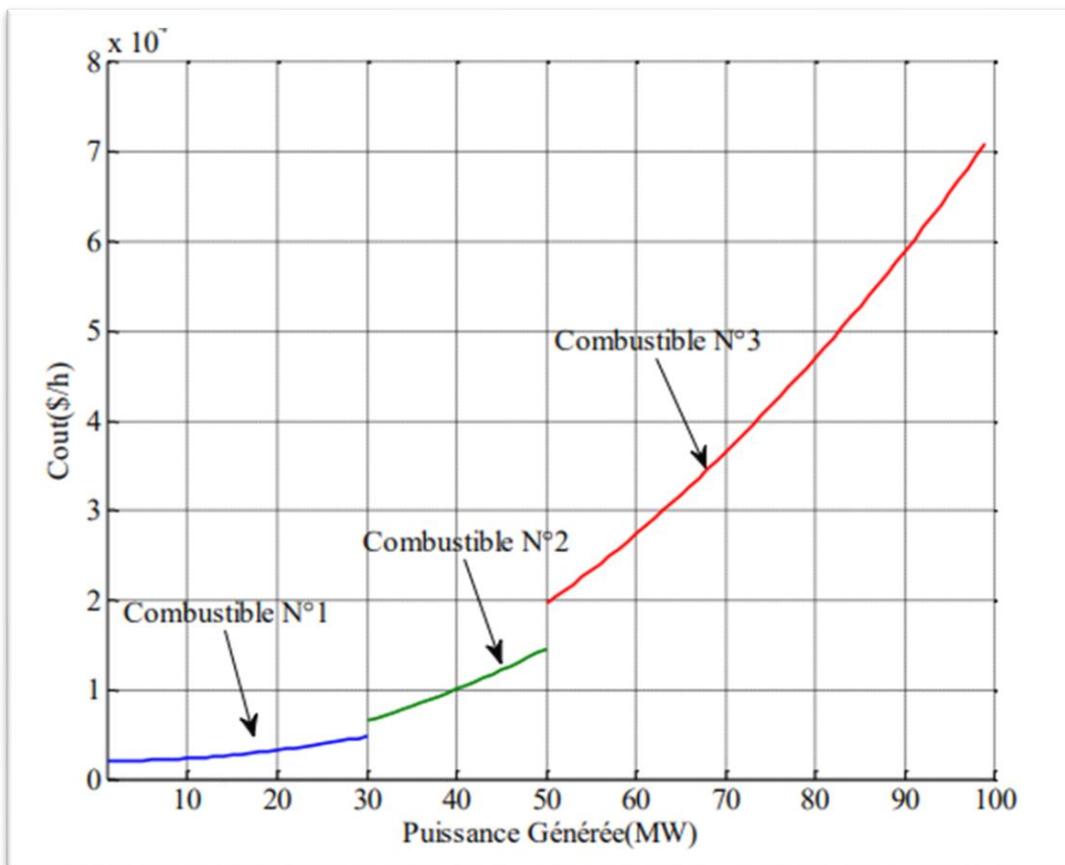


Figure II.7: Courbe de coût du combustible d'une unité thermique avec trois types de combustible

II.9.5 L'effet des Rampes de générateurs :

Le caractère de flexibilité ou de souplesse de moyens de production à court terme représente la vitesse à laquelle chaque moyen de production peut changer le niveau de sa production après un signal donné. Nous trouvons des moyens de production plus flexibles, comme les centrales hydrauliques (avec réservoir) et les centrales à combustion ou les moteurs diesel (avec des temps de démarrage faibles et des contraintes faibles de rampe). Au contraire, les centrales thermiques et nucléaires sont peu flexibles, les centrales nucléaires doivent être programmées la veille pour réaliser des variations importantes, on définit la contrainte rampe comme limites inférieures et supérieures de production d'une heure à une autre que le générateur ne peut pas les dépassées en aucun cas, dans le cas contraire les unités thermiques sont subites de fortes contraintes au niveau de leurs rotors causant ainsi des dégâts préjudiciables [12].

II.10 Dispatching économique dynamique :

Dans le dispatching économique dynamique (DED), les données des systèmes d'essai convexes ou non convexes doivent être envisagées pour 24 heures de demande de systèmes. Par conséquent, les données de coefficients du générateur, coefficients de la ligne de transmission, total la demande, les limites de taux de rampe et les zones d'exploitation interdites, Il est nécessaire pour l'évaluation statistique des systèmes pour technique [18].

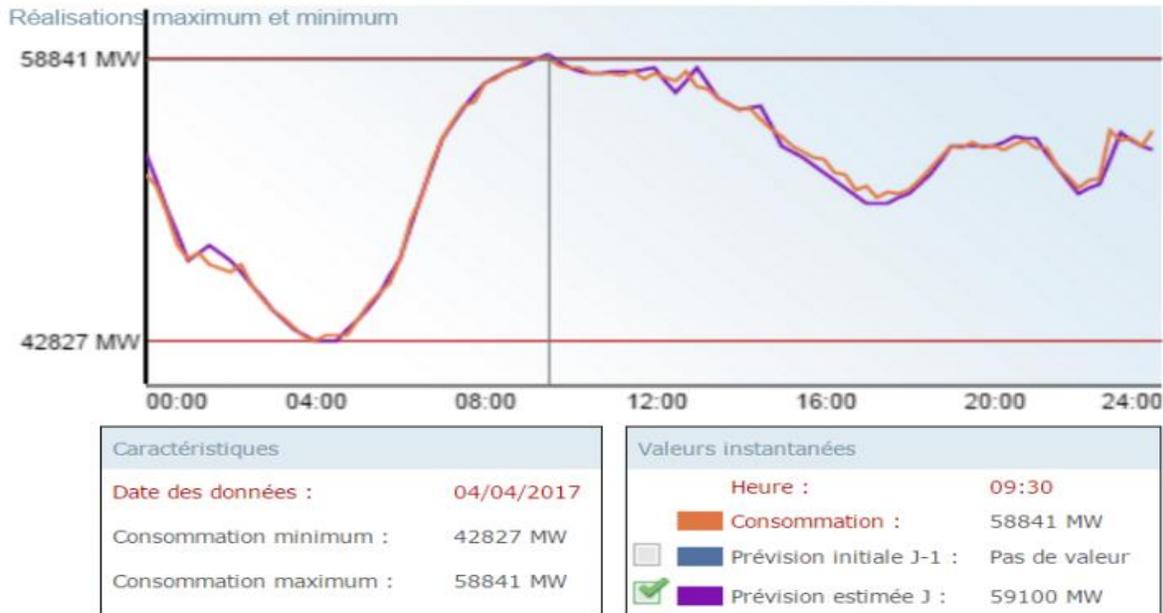


Figure II.8 : Courbe de charge réelle pour 24 heures France

II.11 Formulation mathématique de (DED) :

Par ailleurs le problème de l'optimisation peut être formulé mathématiquement par l'équation (II.12)

$$\min(TC) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{ng} C_{it} P_{it} \quad (II.9)$$

Avec :

C_{it} : est le coût de l'unité i à l'instant t .

ng : Nombres des unités de production.

P_{it} : est la puissance produite par l'unité i à l'instant t .

T : le nombre total des heures de l'opération. La fonction de coût à optimiser peut-être une caractéristique quadratique, non linéaire, non linéaire avec contraintes Rampes

II.12 Contraintes liés au DED :

II.12.1 Contraintes d'égalité :

$$\sum_{i=1}^{ng} P_{it} = P_d(t) \quad , t = 1, 2, 3 \dots , T \quad (II.10)$$

$I=1, 2, 3 \dots ng$ (Nombre total de générateurs de production).

P_d : C'est la puissance demandée totale.

II.12.2 Contraintes d'inégalité :

$$P_{i,t}^{min} \leq P_{i,t} \leq P_{i,t}^{max} \quad , t= 1, 2, 3, \dots, T$$

$P_{i,t}^{min}, P_{i,t}^{max}$: Sont les maximas et les minimas de la puissance délivrée des unités de production

II.13 Optimisation Multi-Objectives de coût et de l'émission :

La fonction de l'émission est une fonction non linéaire qui est modélisée par l'équation suivante :

$$Fe(p_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} 10^{-2} (\alpha_i + \beta_i p_i + \gamma_i p_{gi}^2 + \exp(\lambda_i p_{gi})) \quad (II.11)$$

C'est une équation qui représente le total des émissions de CO2 et le gaz NOX générés par les unités de production en (ton/h) les coefficients : $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \lambda_i, \xi_i$ sont les coefficients des émissions de générateurs de productions. L'équation de coût à optimiser tenant en considération les émissions de gaz à effet de serre est donnée par l'équation suivante :

$$H(p_{gi}) = \sum_{i=1}^{Ng} (a_i + b_i p_i + c_i p_{gi}^2 + 10^{-2} (\alpha_i + \beta_i p_i + \gamma_i p_{gi}^2 + \xi_i \exp(\lambda_i p_{gi})) \quad (II.12)$$

Le critère de l'optimisation multi-objective a été formulé en se basant sur l'équation sous dessous : Avec h est une valeur appartient à l'intervalle [0 1]

$$\mathbf{H}(\mathbf{p}_{gi}) = (\mathbf{1}-\mathbf{h}) * \mathbf{f}(\mathbf{p}_{gi}) + \mathbf{h} * \mathbf{fe}(\mathbf{p}_{gi}) \quad (\text{II.13})$$

L'optimisation multi objectives consiste à minimiser simultanément et dynamiquement le coût et l'émission et qui tient en compte toutes les contraintes pratiques et de sécurités [12].

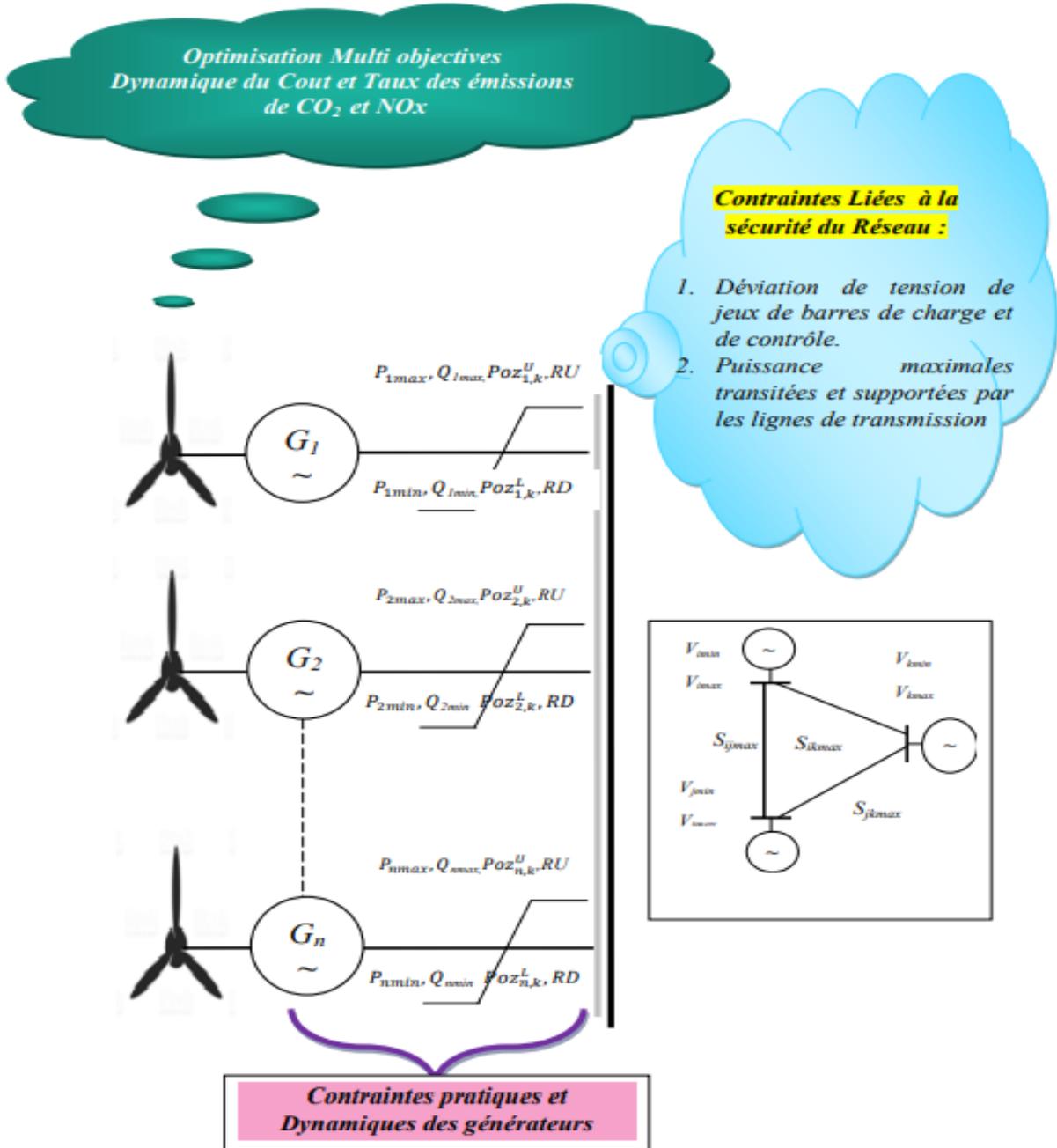


Figure II.9 : Représentation du rôle de l'optimisation multi objective

II.14 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé des notions sur le dispatching économique avec les différents effets sur la fonction objectif de coût de production et les contraintes pratiques et en plus comment formuler le problème de dispatching économique. Nous notons que la solution du problème de la répartition économique en tenant compte des limites pratiques, qui sont l'effet de la valve et l'effet des zones restreintes, devient compliqué, et les méthodes mathématiques simples ne peuvent pas atteindre une solution idéale et cela nécessite l'utilisation de méthodes d'amélioration solides. Dans le chapitre suivant, nous mentionnerons ces méthodes et comment appliquer des techniques d'amélioration globale pour résoudre le problème de dispatching économique pratique.

Chapitre 3 :

Les méthodes d'optimisation

métaheuristiques

III.1 Introduction :

Un problème d'optimisation est un problème dont on peut distinguer une ou plusieurs fonctions coût qui permettent de différencier une bonne solution d'une mauvaise. Lorsqu'un nouveau problème d'optimisation se pose en ingénierie, il faut parfois définir de nouvelles méthodes de résolution car l'utilisation de ces méthodes pour résoudre le problème d'OPF est complexe au niveau de la modélisation et du calcul et elles ne donnent pas de solutions exactes surtout si la fonction objective ou les contraintes sont vraiment non linéaires. C'est pourquoi, on propose l'utilisation des méthodes métaheuristiques qui n'exigent aucune condition sur la continuité, la dérivabilité et la linéarité de la fonction objective du problème à optimiser [19]. L'avantage des métaheuristiques réside dans leur robustesse pour résoudre les problèmes d'optimisation difficiles aux données incertaines, incomplètes ou trop bruitées [20].

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques techniques d'optimisation largement utilisées pour résoudre le problème de dispatching économique (DE) à savoir l'algorithme génétique (GA), l'optimisation par essaim de particules (PSO), et l'algorithme de chauve-souris (BAT)

III.2 Définition D'optimisation :

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum (de l'optimum) d'une fonction donnée. On peut aussi trouver des problèmes d'optimisation pour lesquelles les variables de la fonction à optimiser sont contraintes d'évoluer dans une certaine partie de l'espace de recherche. Dans ce cas, on a une forme particulière de ce que l'on appelle un problème d'optimisation sous contraintes [21].

Dans l'analyse de réseaux électrique plusieurs fonctions peuvent être optimisées (coût de production, l'émission des gazes toxique, les pertes de transmission...etc.) Avec considération les contraintes d'égalité et d'inégalité pour obtient des solutions optimales acceptable [13].

III.3 Les méthodes métaheuristiques :

Les métaheuristiques sont un ensemble d'algorithmes d'optimisation visant à résoudre les problèmes d'optimisation difficiles. Elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes Génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essaims particulaires). Ces techniques métaheuristiques peuvent être classées en deux groupes les méthodes à population de solutions connues sous le nom d'algorithmes

évolutionnaires comme les algorithmes génétiques...etc., ainsi que les méthodes à solution unique comme le recuit simulé. Les méthodes métaheuristiques ont prouvé leurs efficacités dans le domaine de l'optimisation mono-objectif. Actuellement les recherches qui utilisent ces algorithmes sont développées pour la résolution des problèmes d'optimisation multi objectif, en tenant compte de plusieurs contraintes et de nouvelles configurations des réseaux électriques surtout à l'associations de sources des énergies renouvelables où la résolution de ce system complexe est un défi [22].

III.4 Classification des Méthodes Métaheuristiques :

❁ Méthodes métaheuristiques à population :

Ce genre de méthodes exige une population des individus ou de particules dans un domaine de recherche pour l'exploration et la recherche d'un optimum global. Parmi ces méthodes on trouve :

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

❁ Méthodes Métaheuristiques à solution unique (Parcours) :

Pour ce type de métaheuristiques, on utilise un parcours pour avoir un optimum. A partir d'une solution unique x_0 , considérée comme point de départ (calculée par exemple par une heuristique constructive), la recherche consiste à passer d'une solution à une solution voisine par déplacements successifs. L'ensemble des solutions que l'on peut atteindre à partir d'une solution x est appelé voisinage $N(x)$ de cette solution. Déterminer une solution voisine de x dépend bien entendu du problème traité. Ce type regroupe par exemple le Recuit Simulé (RS), la Recherche Taboue (RT), et la méthode GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) [23].

III.5 Avantages des Méthodes Métaheuristiques :

- ❖ Ces méthodes sont applicables dans la plupart des problèmes d'optimisation : multimodaux, non continus, contraints, bruités, multi-objectifs, dynamiques, etc.
- ❖ Elles n'exigent pas d'hypothèse par rapport à l'espace d'état.
- ❖ Elles sont flexibles par rapport aux nouvelles contraintes et nouveaux critères à prendre en compte.

❖ Les résultats sont en général exploitables et interprétables par le décideur [24].

Dans ce chapitre, nous concentrons sur trois types exemples des algorithmes d'optimisation métaheuristiques :

- ❖ AG (Algorithme génétique)
- ❖ PSO (Algorithme de l'essaim de particules)
- ❖ BAT (Algorithme d'optimisation par chauve-souris)

III.6 Algorithme génétique :

III.6.1 Introduction :

Les algorithmes génétiques (AG) sont des algorithmes d'optimisation stochastique fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Ils ont été initialement développés par John Holland (1975). En 1989, Goldberg a publié un livre de référence pour les algorithmes génétiques " *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning* ". Qui décrit l'utilisation de ces algorithmes dans le cadre de résolution de problèmes concrets, a permis de mieux faire connaître ces derniers dans la communauté scientifique et a marqué le début d'un nouvel intérêt pour cette technique d'optimisation, notamment après la parution de puissants calculateurs dans les années 90.

C'est actuellement une méthode le plus diffusé et les plus utiliser dans la résolution des problèmes d'optimisations dans des nombreux domaines d'applications [6].

III.6.2 Définition Algorithme génétique :

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : sélections, croisements, mutations, etc. Ils appartiennent à la classe des algorithmes évolutionnaires [25]. On peut dire que l'algorithme génétique est une méthode de programmation qui repose sur le principe de l'évolution pour effectuer la recherche d'une solution adéquate à un problème.

III.6.3 Principe de l'algorithme génétique :

Les algorithmes génétiques (GA) sont des algorithmes d'optimisation stochastique fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Leur fonctionnement est extrêmement simple. On part avec une population de solutions potentielles (chromosomes) initiales arbitrairement choisies. On évalue leur performance (fitness) relative. Sur la base de ces performances on crée une nouvelle population de solutions potentielles en utilisant des opérateurs évolutionnaires simples : la sélection, le croisement et la mutation. On recommence ce cycle jusqu'à ce que l'on trouve une solution satisfaisante [26].

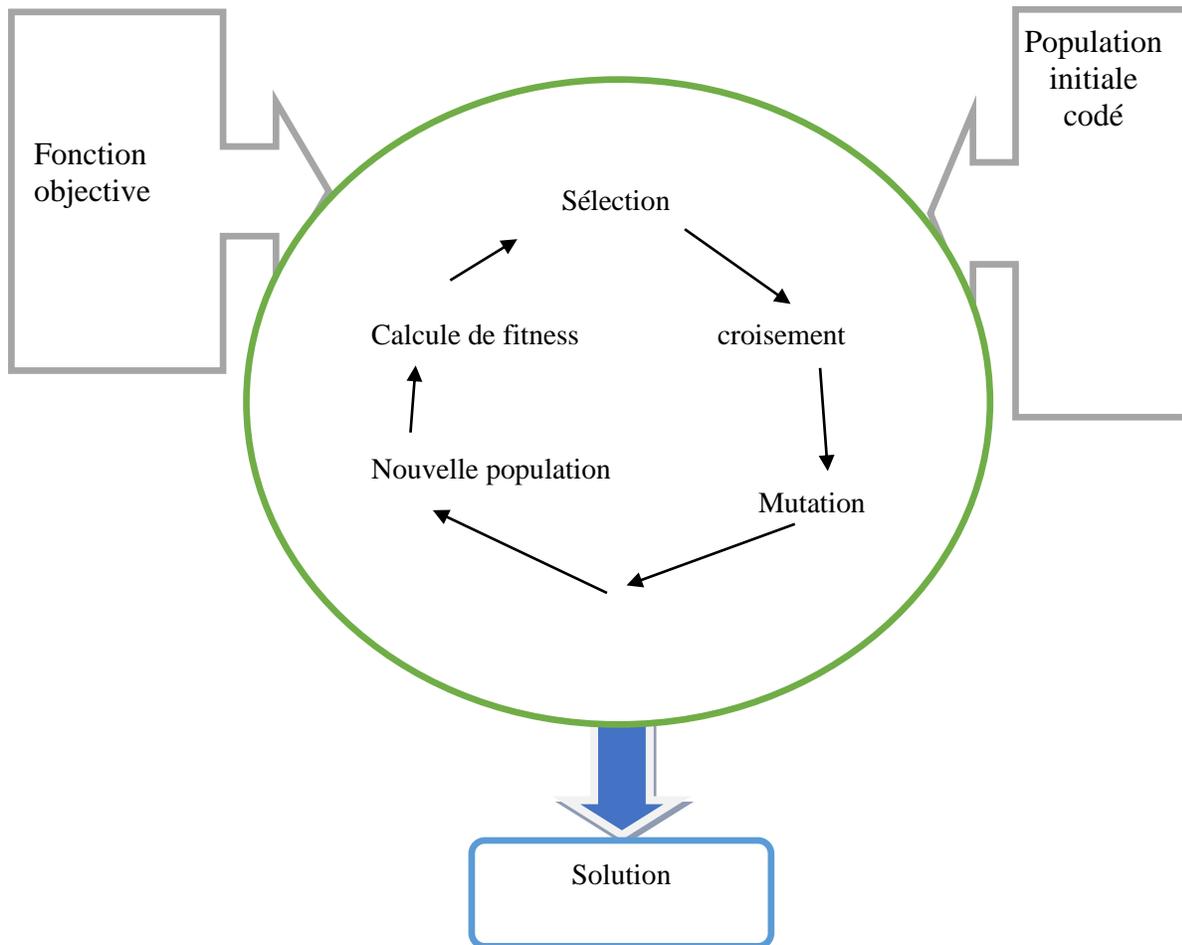


Figure III.1: Schéma de principe de fonctionnement de l'algorithme génétique [17].

III.6.4 Les Opérateurs Génétiques

Chaque étape de GA est associée à un opérateur décrivant la façon de manipuler les individus :

III.6.4.1 Sélection :

Pour déterminer quels individus sont plus enclins à se reproduire, une sélection est opérée. Il existe plusieurs techniques de sélection :

- ✓ La sélection par tirage à la roulette (roulette-wheel selection)
- ✓ La sélection par tournoi (tournament selection),
- ✓ La sélection par rang (ranking selection), etc.

III.6.4.2 Croisement :

L'opérateur de croisement combine les caractéristiques d'un ensemble d'individus parents (généralement deux) préalablement sélectionnés, et génère de nouveaux individus enfants. Là encore, il existe de nombreux opérateurs de croisement, par exemple :

✓ Le croisement en un point :

Pour chaque couple, on choisit au hasard un point de croisement figure (III-4). Le croisement s'effectue directement au niveau binaire, et non au niveau des gènes. Un croisement peut être coupé au milieu d'un gène.

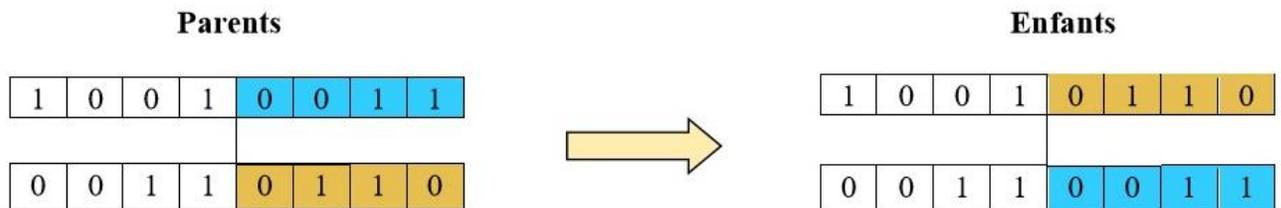


Figure III.2: Représentation schématique du croisement en un point

✓ Le croisement en n-points ($n \geq 2$) :

On choisit au hasard deux points de croisements successifs. Cet opérateur est généralement considéré comme plus efficace que le précédent.

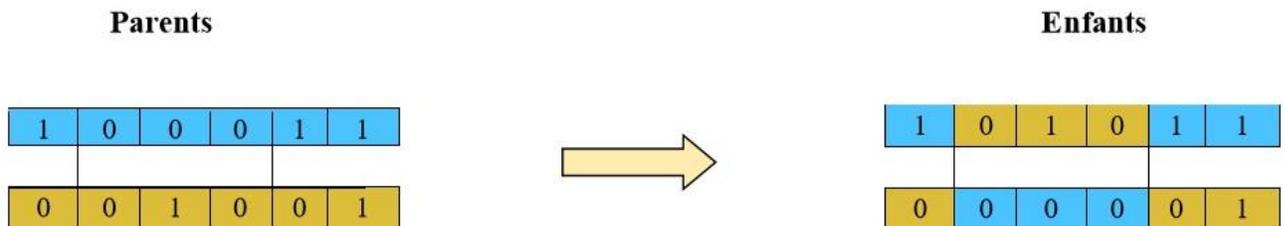


Figure III.3: Représentation schématique du croisement en deux points

croisement ne pourra pas faire apparaître le 1, par contre il est possible que l'opérateur de mutation le fasse. [27]

III.6.4.4 Remplacement :

Le remplacement (ou sélection des survivants), comme son nom l'indique, remplace certains des parents par certains des descendants. Le plus simple est de prendre les meilleurs individus de la population, en fonction de leurs performances respectives, afin de former une nouvelle population (typiquement de la même taille qu'au début de l'itération).

L'algorithme génétique recherche le ou les extrema d'une fonction définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants [6] :

- Le codage de l'élément de population.
- La fonction de performance pour calculer l'adaptation de chaque individu de la population.
- Le croisement des individus d'une population pour obtenir la population de la génération suivante.
- L'opération de mutation des individus d'une population afin d'éviter une convergence prématurée.
- Les paramètres de réglage ou de dimensionnement : taille de la population, probabilités de croisement et de mutation, critère d'arrêt.

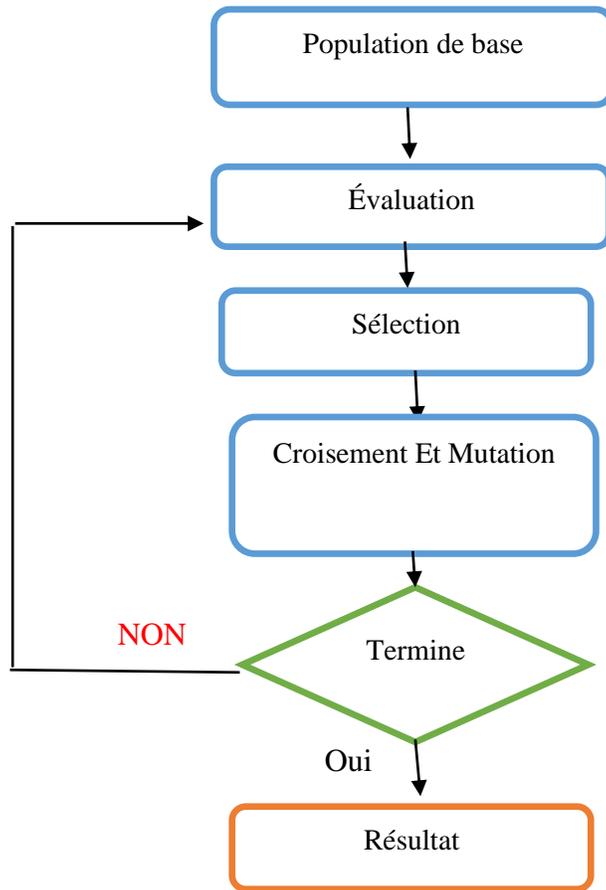


Figure III.6: Organigramme de l’algorithme génétique simple [6].

III.7 Les avantages et les inconvénients des algorithmes génétiques :

Avantages tels que :

- ⊗ La simplicité de l’approche.
- ⊗ La possibilité de paralléliser l’algorithme.
- ⊗ La facilité d’implémentation.
- ⊗ La flexibilité : peut être facilement modifié pour d’autres problèmes.
- ⊗ Il gère les problèmes d’optimisations multi-objectives et multimodales.
- ⊗ Il permet une bonne exploration de l’espace de recherche D’autre part

Inconvénients pour cet algorithme tels que :

- ⊗ L’ajustement de différents paramètres : taille de population, taux de mutation...etc.

- ✿ Son exécution qui est lente par rapport à d'autres méthodes.
- ✿ Sa convergence prématurée
- ✿ Il ne peut pas garantir des temps de réponse constants [28].

III.8 Algorithme d'optimisation par essaim des particules (PSO)

L'Optimisation par Essaim de Particule (PSO) a été proposée par Kennedy et Eberhart en 1995. Cette méthode est inspirée du comportement social des animaux évoluant en essaim. L'exemple le plus souvent utilisé est le comportement des bancs de poissons. En effet, on peut observer chez ces animaux des dynamiques de déplacement relativement complexes, alors qu'individuellement chaque individu a une intelligence limitée et une connaissance seulement locale de sa situation dans l'essaim. Un individu de l'essaim n'a pour connaissance que la position et la vitesse de ses plus proches voisins. Chaque individu utilise donc, non seulement, sa propre mémoire, mais aussi l'information locale sur ses plus proches voisins pour décider de son propre déplacement. Des règles simples, telles qu'aller à la même vitesse que les autres, se déplacer dans la même direction ou encore rester proche de ses voisins sont des exemples de comportements qui suffisent à maintenir la cohésion de l'essaim, et qui permettent la mise en œuvre de comportements collectifs complexes et adaptatifs. L'intelligence globale de l'essaim est donc la conséquence directe des interactions locales entre les différentes particules de l'essaim. La performance du système entier est supérieure à la somme des performances de ses parties [30].

Kennedy et Eberhart se sont inspirés de ces comportements socio-psychologiques pour créer l'(PSO). Un essaim de particules, qui sont des solutions potentielles au problème d'optimisation, survole l'espace de recherche, en quête de l'optimum global. Le déplacement d'une particule est influencé par les trois composantes suivantes :

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

Dans le cas d'un problème d'optimisation, la qualité d'un site de l'espace de recherche est déterminée par la valeur de la fonction objective en ce point. La Figure III.7 illustre la stratégie de déplacement d'une particule.

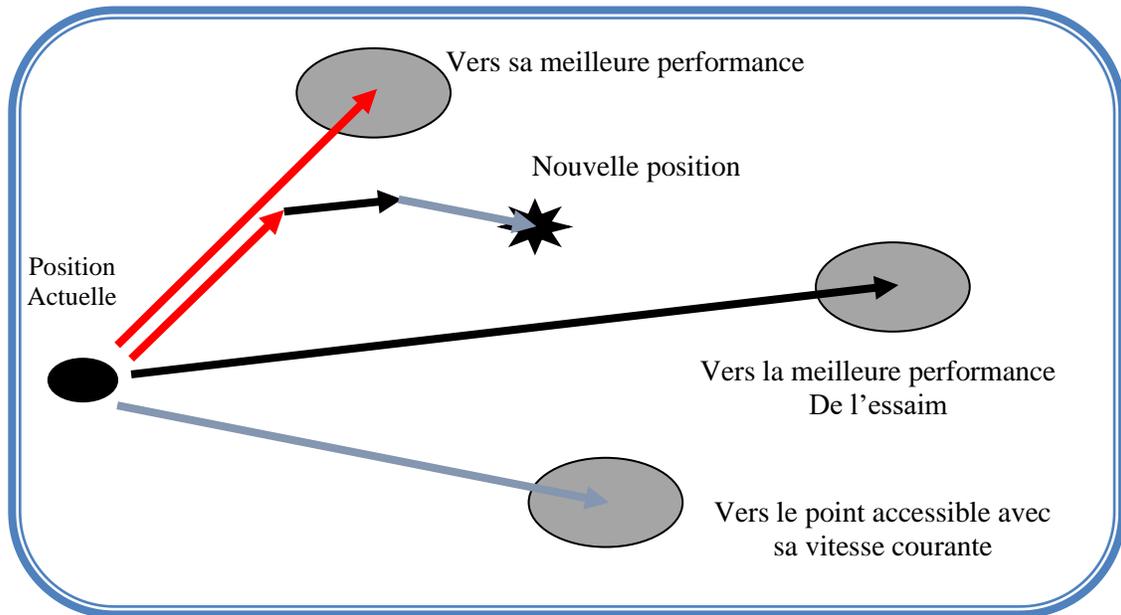


Figure III.7 : Représentation schématique du déplacement d'une particule

La position de chaque particule de l'essaim est déterminée par le système d'équation suivant :

$$\begin{aligned}
 V(t+1) &= w * V(t) + C1 * rand_1 * (Pbest(t) - X(t)) + C2 * rand_2 * (Gbest(t) - X(t)) \\
 x(t+1) &= x(t) + V(t+1)
 \end{aligned}
 \tag{III.1}$$

Tel que :

$X(t)$: Position de la particule $P(t)$.

$V(t)$: Vitesse de la particule $P(t)$.

$Pbest(t)$: Meilleure fitness obtenue pour la particule $P(t)$.

$Gbest(t)$: Position de la particule $P(t)$ pour le meilleur fitness

où w est en général une constante appelée, coefficient d'inertie, $C1$ et $C2$ sont deux constantes, appelées coefficients d'accélération, $rand_1, rand_2$ sont deux nombres aléatoires tirés uniformément de l'intervalle $[0,1]$ à chaque itération et pour chaque dimension.

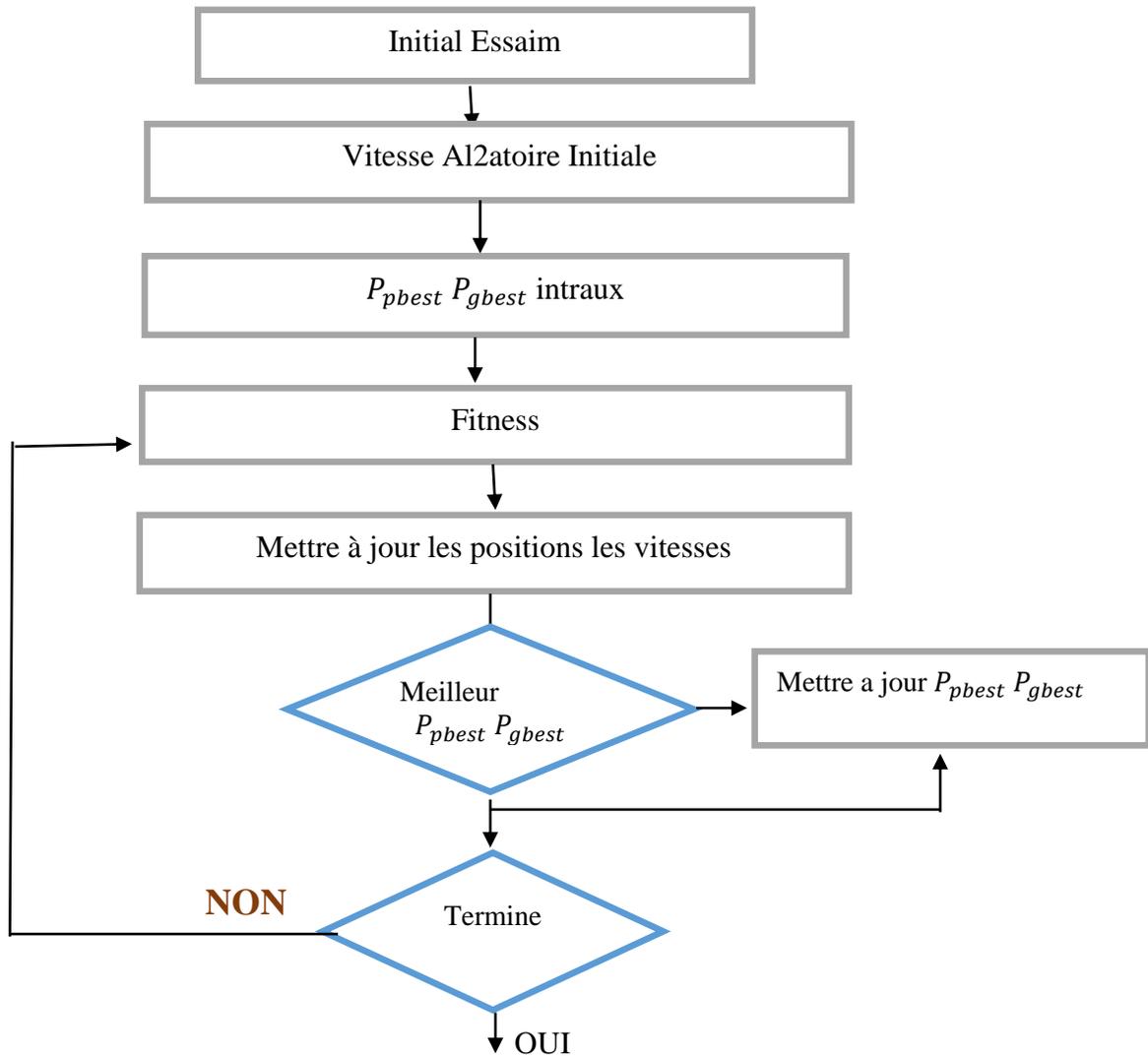


Figure III.8 : L'organigramme de l'algorithme PSO.

III.9 L'algorithme d'optimisation par chauve-souris (BAT) :

III.9.1 Introduction :

L'une des méthodes métaheuristiques les plus prometteuses est l'algorithme de chauve-souris qui se base sur la simulation du comportement d'écholocation des chauves-souris. La capacité de l'écholocation est fascinante car ces chauves-souris peuvent trouver leurs proies et discriminer différents types d'insectes, même dans l'obscurité complète. Ils y parviennent en émettant des signaux sonores vers l'environnement et en écoutant les échos qui leur renvoient. Ils

peuvent identifier la localisation d'autres objets et mesurer instinctivement la distance à laquelle ils sont éloignés en retardant le retour du son. Dans la littérature, des travaux de recherche ont proposé un ensemble de modifications ou d'hybridations sur l'algorithme de chauve-souris dans le but d'améliorer ses performances [29].

Dans ce chapitre nous allons en premier lieu aborder brièvement le comportement d'écholocation des chauves-souris.

III.9.2 Echolocation des chauves-souris :

L'algorithme standard des chauves-souris était basé sur les caractéristiques d'écholocation ou de bio-sonar de microbes.

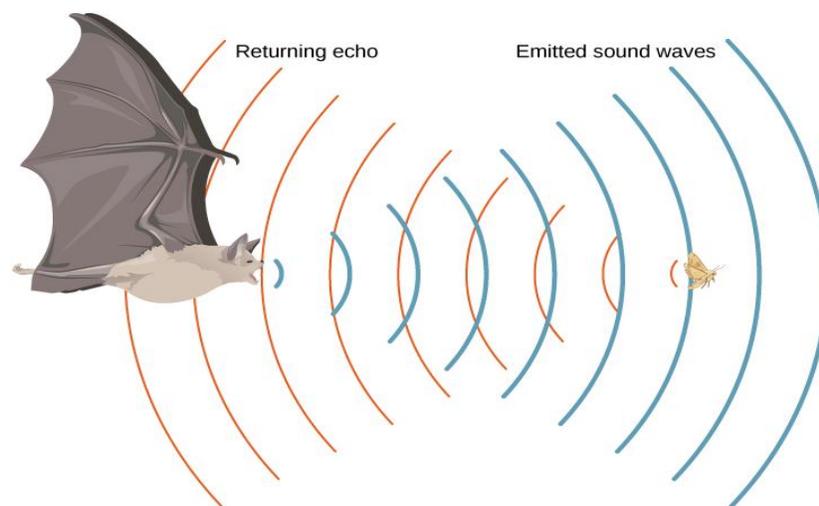


Figure III.9 : Principe de l'écholocation.

III.9.3 Optimisation par l'algorithme des chauves-souris :

L'algorithme des chauves-souris, est essentiellement composé des trois étapes suivantes, et qui seront répétées jusqu'à atteindre un certain nombre d'itérations :

- Evaluer le fitness de chaque chauve-souris
- Mettre à jour les meilleures solutions locales et globales.
- Mettre à jour les positions, les vitesses et les fréquences de chacune des chauves-souris.

Les deux premières étapes sont assez simples. L'évaluation du fitness de chacune des chauves-souris s'effectue à l'aide de la fonction objectif. Tandis que la mise à jour des meilleures solutions locales et globales s'effectue en comparant le fitness courant de chacune des

chauves-souris avec le fitness de la meilleure solution qu'elle a rencontré jusqu'ici, puis de choisir la meilleure d'entre elles. Quant à la recherche de la solution globale, il suffira de comparer toutes les meilleures solutions locales et garder la meilleure.

La troisième étape est la plus cruciale, en effet, le mouvement des chauves-souris est responsable de l'efficacité de l'algorithme. Les règles définissant la nouvelle solution et mettant à jour la position et la vitesse de chacune des chauves-souris dans un espace de dimensions sont les suivantes :

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (\text{III. 2})$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*) f_i \quad (\text{III.3})$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (\text{III. 4})$$

Tels que :

f_i : la fréquence d'émission de la chauve-souris x_i

B_i : un vecteur aléatoire tiré à partir d'une distribution uniforme.

Pour la recherche locale, une fois une solution est sélectionnée parmi les meilleures solutions courantes, une nouvelle solution pour chaque chauve-souris est générée localement en utilisant le parcours aléatoire

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A^t \quad (\text{III. 5})$$

D'où $\epsilon \in [1, -1]$ est un nombre aléatoire, tandis que $A^t \epsilon < A^t_i >$ est la moyenne d'intensité de

Toutes les chauves-souris à l'instant t .

Fonction objectif $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)^T$
 Initialiser la population de chauves-souris x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) et v_i
 Définir la fréquence des impulsions f_i en x_i Initialiser les taux de pouls r_i et le
 volume A_i
 Tant que ($t <$ nombre maximum d'itérations)
 Générer de nouvelles solutions en ajustant la fréquence,
 Et mise à jour des vitesses et des localisations / solutions [équations (III.2) à
 (III.4)]
 Si ($\text{rand} > r_i$)
 Choisissez une solution parmi les meilleures solutions
 Générer une solution locale autour de la meilleure solution sélectionnée
 Fin si
 Générer une nouvelle solution en volant au hasard
 Si ($\text{rand} < A_i$ & $f(x_i) < f(x_*)$)
 Accepter les nouvelles solutions
 Augmente-le r_i et réduit A_i
 Fin si
 Classez les chauves-souris et trouvez le meilleur x_* actuel
 Fin tant que
 Résultats de post-traitement et visualisation

Figure III.10 : Pseudo code de l'algorithme des chauves-souris

III.10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons défini les deux algorithmes utilisés pour optimiser le problème de dispatching économique, ces deux algorithmes sont l'algorithme génétique (GA) et l'algorithme d'optimisation par essaim des particules (PSO).

Chapitre 4 :

Résultats de Simulation

IV.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'application des méthodes d'optimisations globales nommées aussi métaheuristiques pour résoudre le problème de dispatching économique environnemental statique et dynamique. Afin de donner un aspect pratique au problème de dispatching économique, l'effet de valves associées aux unités de production est considéré. Au début les deux fonctions objectives cout et émission ont été optimisés individuellement. Puis, les deux fonctions ont été optimisées simultanément ce qui permet de déterminer un compromis entre le cout de production et l'émission de gaz.

IV.2 Stratégie de travail :

La figure (IV.1) résume la stratégie et la méthodologie de travail réalisée pour résoudre le problème de dispatching économique environnemental.

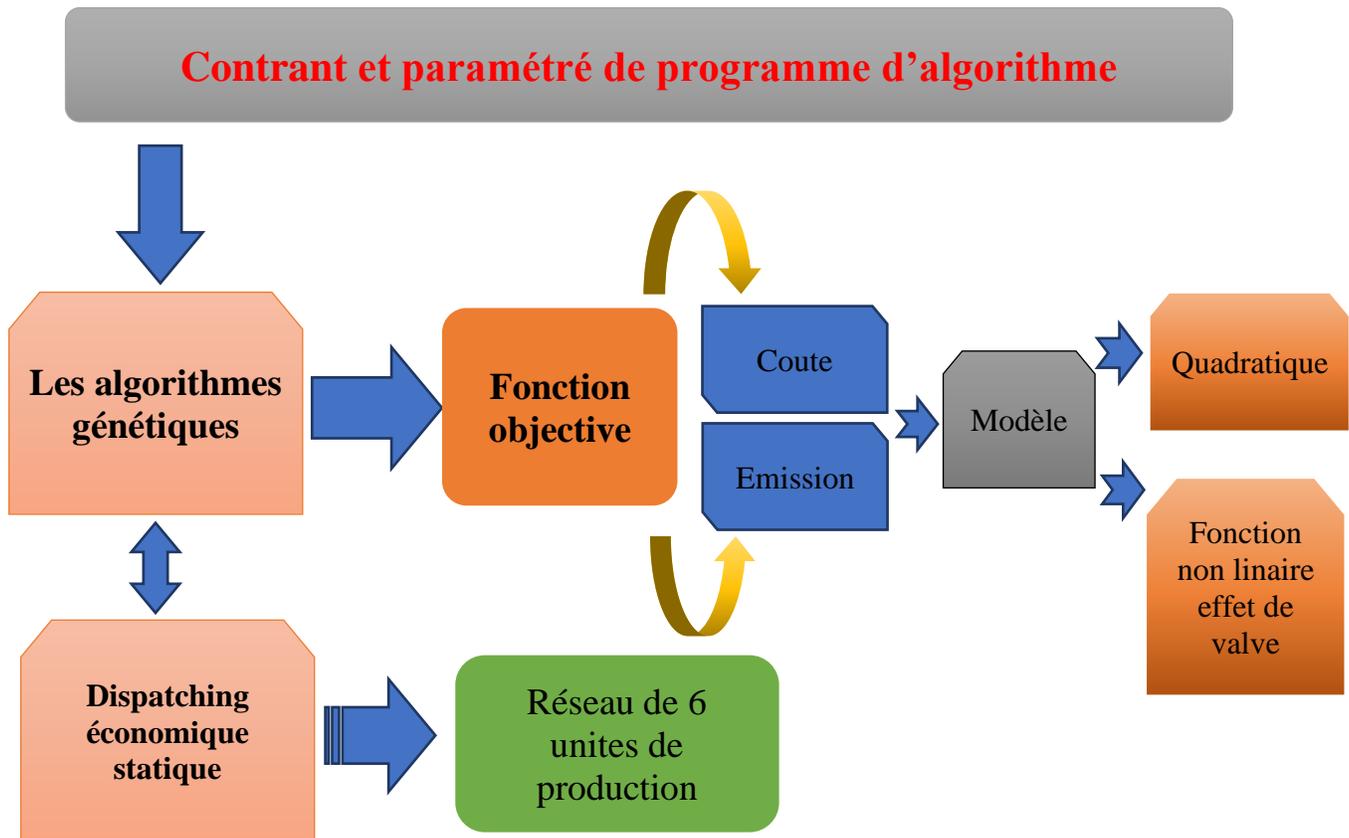


Figure IV.1 : Méthodologie et stratégie d'optimisation.

IV.3.1.1 Cas d'étude 1 : Minimisation de la fonction du cout des générateurs :

Pour ce premier cas, l'algorithme génétique est appliqué pour minimiser le coût de production total des unités de production. La fonction objective est de type quadratique. Les caractéristiques techniques des générateurs sont présentées dans le tableau (IV.1).

Générateurs	Les coefficients de la fonction coût			Les limites de la puissance générée	
	A	B	C	Pg min	Pg max
G1	0	2	0.00375	50	200
G2	0	1,75	0.0175	20	80
G3	0	1	0.0625	15	50
G4	0	3,25	0.00834	10	35
G5	0	3	0.025	10	30
G6	0	3	0.025	12	40

Tableau IV.1 : les données du réseau test 1 (réseau de 6 unités).

- **Optimisation Par Les Algorithmes Génétiques (GA) :**

Vue l'aspect stochastique associés aux méthodes métaheuristiques, au début on a fait plusieurs exécutions avec différentes valeurs des paramètres du GA tels que, le nombre de population, la sélection la mutation, et le nombre d'itérations. Parmi les exécutions on a choisi le meilleur résultat qui correspond au coût minimal avec les paramètres suivants :

- **Le nombre d'itération maximale : 100**
- **La taille du problème : 40**
- **Codage : réel**
- **La sélection : 0.5**
- **La mutation : 0.05**
- **Le croisement : 0.85**

Un commençant tout d’abord avec la fonction de cout de génération. Après avoir exécuté notre programme d’optimisation mono-objectif avec les paramètres indiqué précédemment on a eu les résultats suivants :

Pgi	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10
Pg1	185.1794	185.3982	185.7186	183.1311	185.9787	185.8557	184.8524	168.9488	184.6157	185.3097
Pg2	47.2193	46.7576	46.203	47.9853	46.1825	46.2364	47.4227	51.5901	47.0674	46.8145
Pg3	18.9605	19.1247	19.3995	19.4624	19.1829	19.2924	19.1086	20.3253	19.3465	19.2693
Pg4	10.0024	10.1179	10	10.8003	10.0445	10.0154	10	18.9155	10.3609	10.0052
Pg5	10.0383	10.0015	10.0779	10.0093	10.0062	10.0001	10.0016	11.4525	10.0013	10.0008
Pg6	12.0001	12	12.001	12.0116	12.0051	12	12.0148	12.1678	12.0083	12.0006
Sum (Pgi)	283.4	283.3999	283.4	283.4	283.3999	283.4	283.4001	283.4	283.4001	283.4001
Coût (\$/h)	767.6104	767.6057	767.6239	767.6801	767.6148	767.6121	767.6118	770.2419	767.6206	767.6039
Emission (ton/h)	0.3949	0.3955	0.3964	767.6801	0.3973	0.3969	0.3939	0.3492	0.3931	0.3954
Coût total (\$/h)	985.0886	985.4058	985.9013	981.6616	986.3733	986.1522	984.5347	962.5337	984.0661	985.2465
Er=Sum (Pgi)-PD	-2.84e-13	3.41e-13	5.68e-13	-1.71e-13	-1.71e-13	-5.68e-14	3.98e-13	-5.68e-14	-1.71e-13	1.14e-13

Tableau IV.2 : Les résultats d’optimisation mono-objective de la fonction quadratique du coût de production total par utilisation d’AG.

Les résultats d’optimisation sont récapitulés dans le tableau (IV.2). Le cout optimal trouvé est de 767.6039 \$/h, l’émission de gaz non optimisé engendré est de 0.3954 ton/h.

On remarque que les valeurs optimales des puissances actives des générateurs sont dans leurs limites admissibles.

Les puissances générées optimales avec leurs limites min et max :

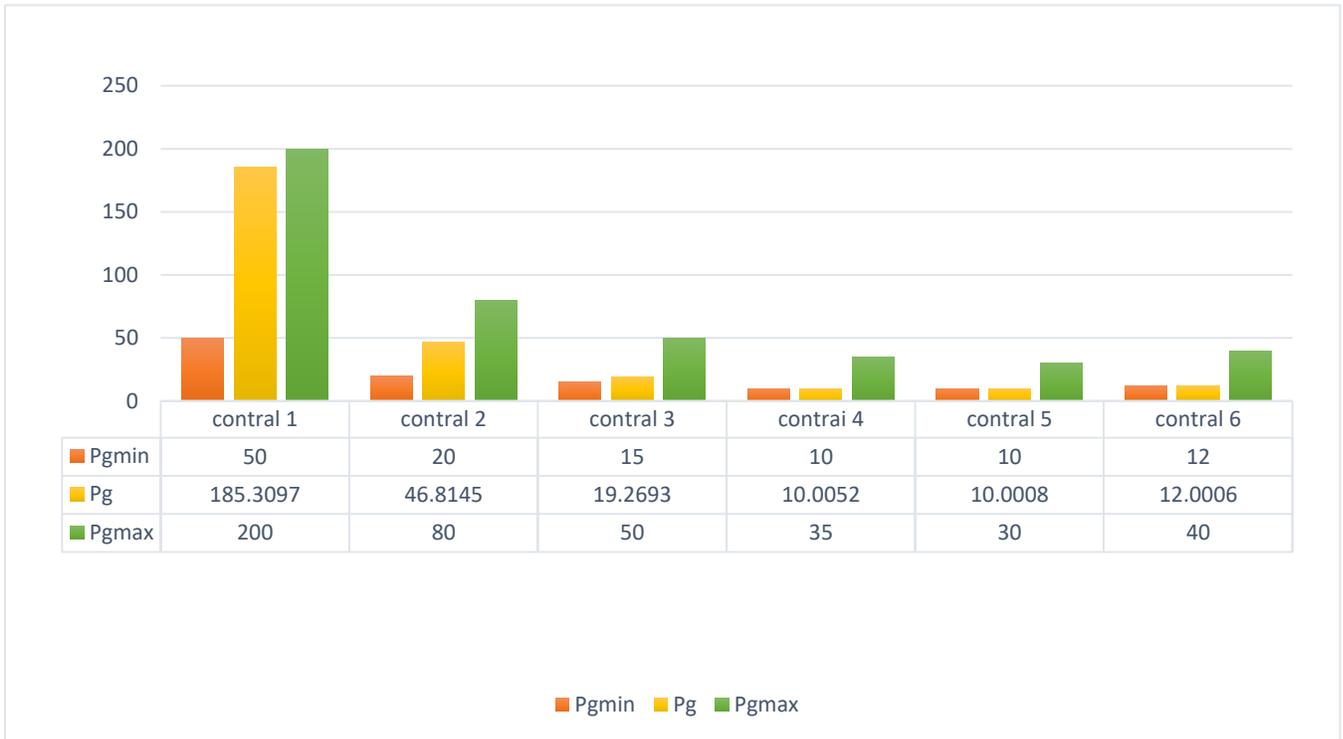


Figure IV.3: Répartition optimales des puissances générées.

Fonction Quadratique Du Coût \$/H

Best: 767.604 Mean: 767.613

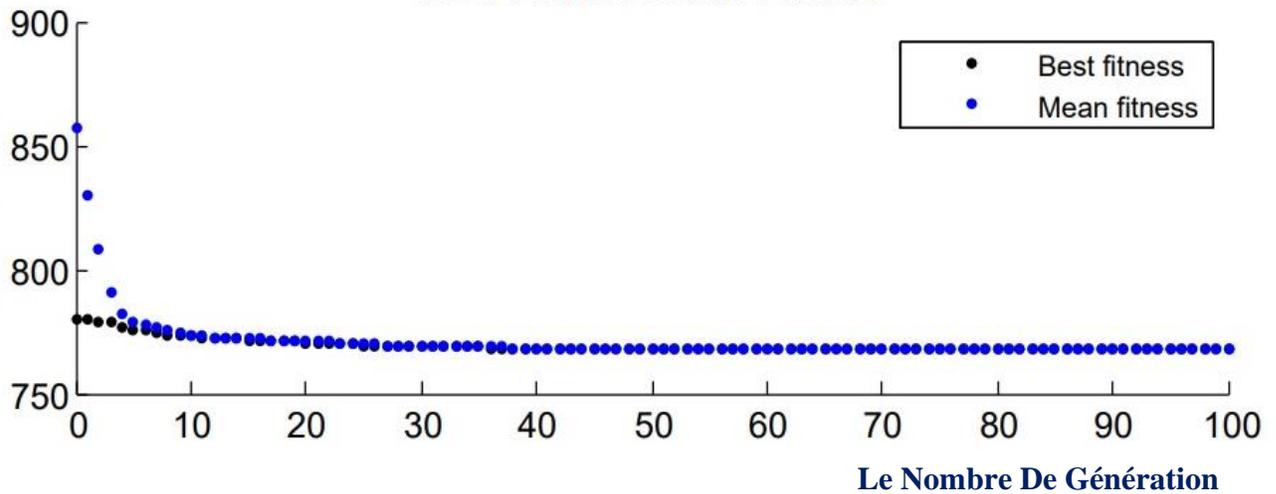


Figure IV.4 : la caractéristique de convergence de l'AG pour minimiser de coût

Les Meilleure Individus

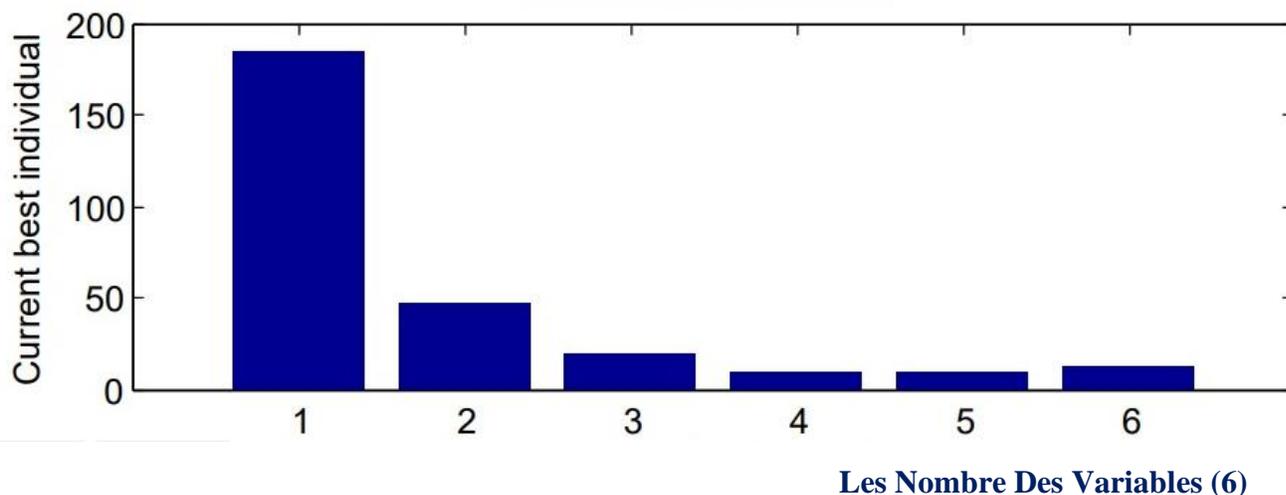


Figure IV.5 : la caractéristique les meilleurs individus (puissances générées).

IV.3.1.2 Cas d'étude 2 : Minimisation de l'émission de gaz toxiques :

A cause des effets néfastes de ces gaz toxiques, on peut prendre en considération le problème d'émission des gaz dans l'écoulement de puissance optimal sous forme d'une fonction objectif à minimiser pour limiter le taux de ces émissions. Ce deuxième cas d'étude est consacré à optimiser l'émission de gaz. L'objectif principal consiste à déterminer la répartition optimale des puissances générées aux niveaux des sources de production thermique pour minimiser le dégagement de gaz. Les coefficients associés à la fonction objective émission de gaz associé au réseau test IEEE 30-Bus sont présentés dans le tableau (IV.3) :

Générateurs	Les coefficients de la fonction l'émission de gaz					Les limites des puissances générées	
	a.10 ⁻²	b. 10 ⁻⁴	c. 10 ⁻⁶	d.10 ⁻⁴	e. 10 ⁻²	Pg min	Pg max
G1	4.091	-5.554	6.49	2	2.857	50	200
G2	2.543	-6.047	5.638	5	3.333	20	80
G3	4.258	-5.094	4.586	0.01	8	15	50
G4	5.326	-3.55	3.38	2	2	10	35
G5	4.258	-5.094	4.586	0.01	8	10	30
G6	6.131	-5.555	5.151	10	6.667	12	40

Tableau IV.3 : Données des coefficients d'émission des gaz toxiques du réseau électrique IEEE 30-JB.

Le modèle de la fonction objective de l'émission de gaz est formulé comme suit :

$$Fem(P_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + d_i \exp_i((e_i P_{gi}))) \text{ [ton/h]} \quad (IV.1)$$

On peut calculer le coût engendré par l'effet de l'émission de gaz comme suit :

$$Ftem (\$/h) = Fem.E, \quad (IV.2)$$

Avec $E=550.66$ (\$/h), qui représente le facteur de cout d'émission de gaz.

Après avoir appliqué l'algorithme génétique, les résultats d'optimisation sont récapitulés dans le tableau. Pour ce cas d'étude, l'émission de gaz est minimisée à 0.2165 ton/h, qui est meilleur par rapport au cas d'étude 1. L'optimisation de l'émission à engendré une augmentation, du coût de production à la valeur 915.47 \$/h. cela prouve le conflit existant entre les deux fonctions objectives à savoir, le coût de production des unités thermique et l'émission de gaz. Les résultats d'optimisation sont récapitulés dans le Tableau (IV.4), la convergence de l'algorithme pour la Fonction émission de gaz est présentée dans la figure (IV.7).

PGi	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10
Pg1	66.317	71.21	71.36	69.459	69.77	70.534	69.176	70.417	70.484	69.831
Pg2	68.469	64.155	63.519	68.382	63.894	63.954	63.01	65.259	64.871	68.342
Pg3	49.985	49.951	49.895	49.894	49.987	49.968	49.79	49.989	49.866	49.984
Pg4	34.999	34.972	34.972	34.95	34.985	34.992	34.978	34.908	34.99	34.992
Pg5	29.955	29.994	29.983	29.974	29.949	29.994	29.997	29.971	29.985	29.992
Pg6	33.672	33.108	33.668	30.738	34.813	33.954	36.447	32.853	33.2	30.256
Sum (Pgi)	283,397	283,397	283,397	283,398	283,398	283,396	283,399	283,397	283,397	283,397
Coût (\$/h)	922.7613	914.724	914.7066	915.9993	918.1355	916.35	919.7074	915.8644	915.5769	915.478
Emission (ton/h)	0.2164	0.2168	0.2169	0.2165	0.2169	0.2168	0.2173	0.2167	0.2167	0.2165
Coût total (\$/h)	1.04e+03	1.03e+03	1.03e+03	1.04e+03	1.04e+03	2.52e-04	1.04e+03	1.04e+03	1.03e+03	1.03e+03

Tableau IV.4 : Les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de l'émission de gaz par utilisation d'AG

Les puissances générées optimales avec leurs limites min et max :

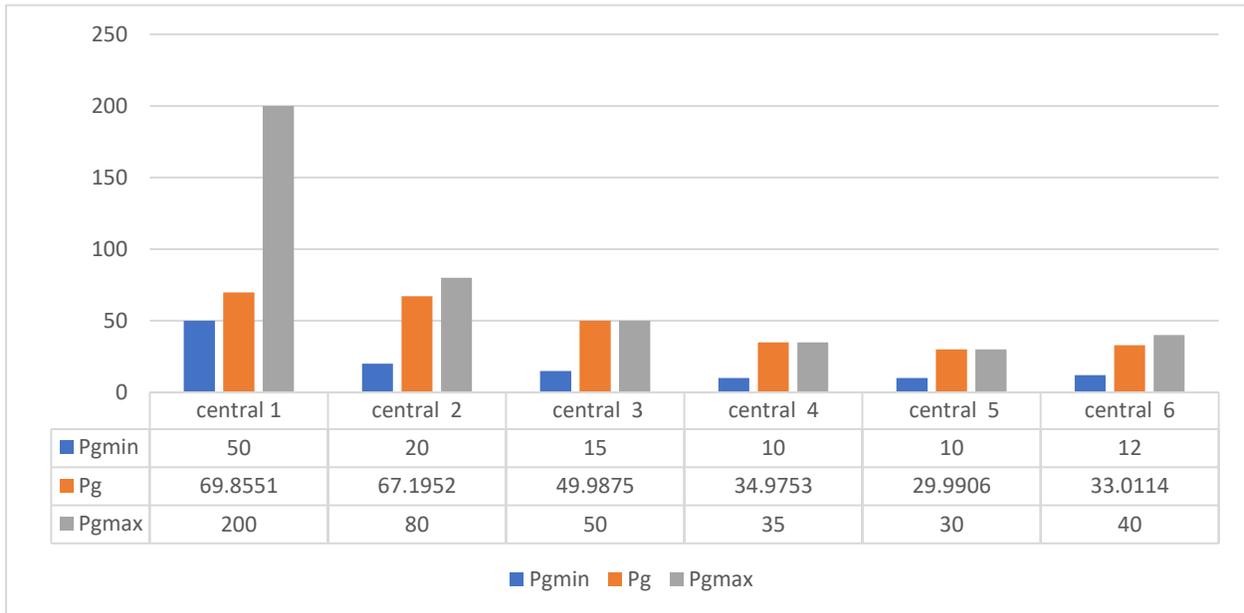


Figure IV.6: Répartition optimales des puissances générées.

Fonction D'émission Des Gaz Toxique Kg/H

Best: 0.216578 Mean: 0.216613

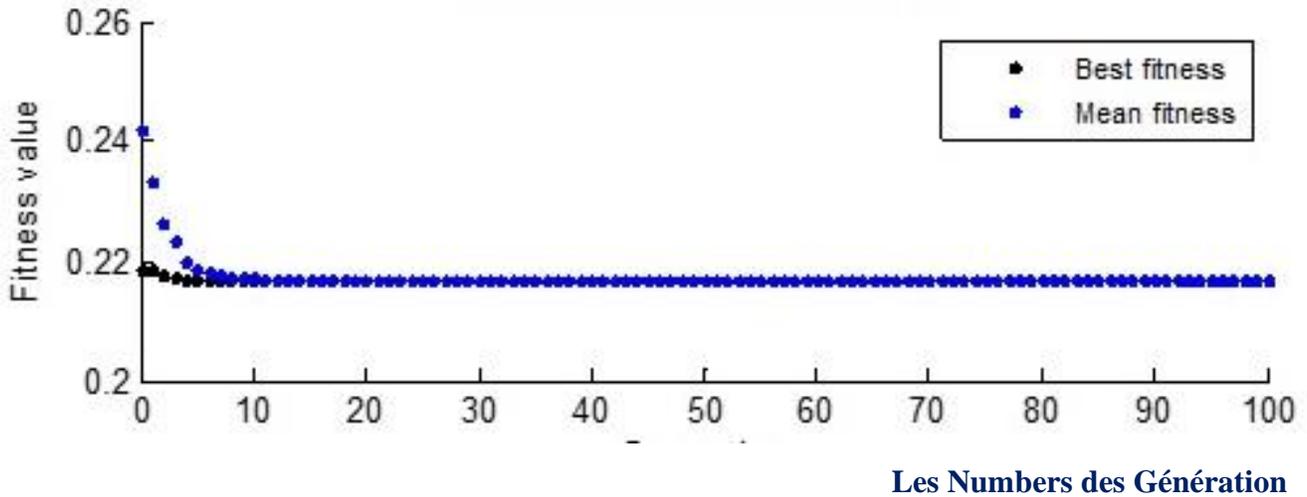


Figure IV.7 : Caractéristiques de convergence de l'émission de gaz par utilisation de l'AG réseau test IEEE 30-Bus.

IV.3.2 Cas d'étude 3 : Minimisation de la fonction du cout total de Génération avec considération l' effet de valve :

L'algorithme génétique est appliqué pour minimiser le coût de production des unités de production avec considération de l'effet de valve. La fonction objective est de type non linéaire. Les caractéristiques techniques des générateurs sont présentées dans le tableau (IV.5)

Générateurs	Les coefficients de la fonction non linéaire					Les limites de la puissance générée	
	a	b	c	d	e	Pg min	Pg max
G1	0	2	0.00375	18	0.037	50	200
G2	0	1.75	0.0175	16	0.038	20	80
G3	0	1	0.0625	14	0.04	15	50
G4	0	3.25	0.00834	12	0.045	10	35
G5	0	3	0.025	13	0.042	10	30
G6	0	3	0.025	13.5	0.041	12	40

Tableau IV.5 : Données des coefficients La fonction objectif non linéaire du réseau électrique IEEE 30-JB.

PGi	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10
Pg1	168.4170	168.5420	177.3489	161.3995	169.7678	165.3527	164.0901	174.9030	161.9594	161.9953
Pg2	46.1374	47.2204	45.4541	49.4303	47.0491	47.9952	47.2784	44.6176	45.8926	49.7254
Pg3	24.3712	24.5717	22.3482	30.2342	24.7461	25.5131	28.1166	24.1528	28.0973	27.8551
Pg4	14.8985	14.7843	12.7052	12.8921	15.9893	15.1639	14.2300	12.0780	14.0315	14.8739
Pg5	11.4220	10.4991	10.0406	11.1667	10.0422	11.0390	10.3177	10.6142	12.9680	11.0521
Pg6	18.1540	17.7825	15.5030	18.2772	15.8055	18.3360	19.3673	17.0344	20.4512	17.8982
Coût (\$/h)	815.5088	814.9894	808.3483	823.1835	813.7452	817.2658	820.6768	811.5785	822.9025	820.0775
Emission (ton/h)	0.3460	0.3467	0.3704	0.3295	0.3499	0.3388	0.3357	0.3631	0.3299	0.3310
Coût (\$/h)	1006.10	10059.0	1012.30	1004.60	1006.40	1003.80	1005.50	1001.15	1004.60	1002.40

Tableau IV.6 : Les résultats d'optimisation de la fonction objective non linéaire du coût de production par utilisation de l'AG.

La Fonction Non Linéaire De Cout \$/H

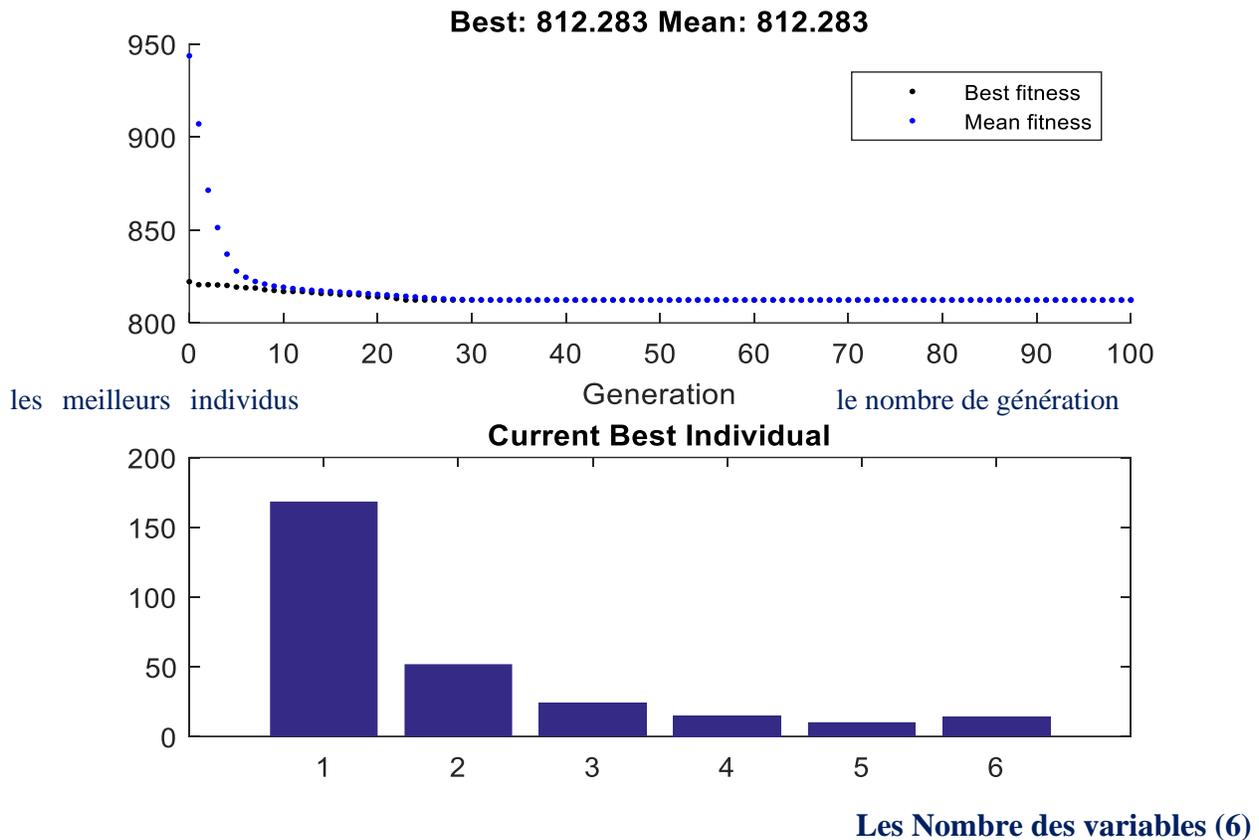


Figure IV.8 la caractéristique de convergence de l'AG : minimisation de coût de production avec considération de l'effet valve pour une exécution.

Pour ce cas d'étude, l'effet de valve est tenu en compte dans le modèle de la fonction objective des unités de production. Due à l'effet stochastique associé aux méthodes d'optimisation globales et en particulier à l'algorithme génétique, l'AG doit être exécutée plusieurs fois pour localiser la meilleure solution. Après avoir exécuté le programme plusieurs fois, les meilleurs résultats d'optimisation sont récapitulés dans le tableau (IV.6). La courbe de convergence de l'algorithme génétique pour la minimisation du coût de production est présentée dans la Figure (IV.8). Le coût optimal trouvé est de **808.3483**\$/h, qui est supérieur au cout optimisé avec considération de la fonction quadratique, cela est due à l'effet de valve. L'émission de gaz non optimisé engendré est de **0.3704**ton/h.

On remarque que les valeurs optimales des puissances actives des générateurs sont dans leurs limites admissibles.

Les puissances générées optimales avec leurs limites min et max :

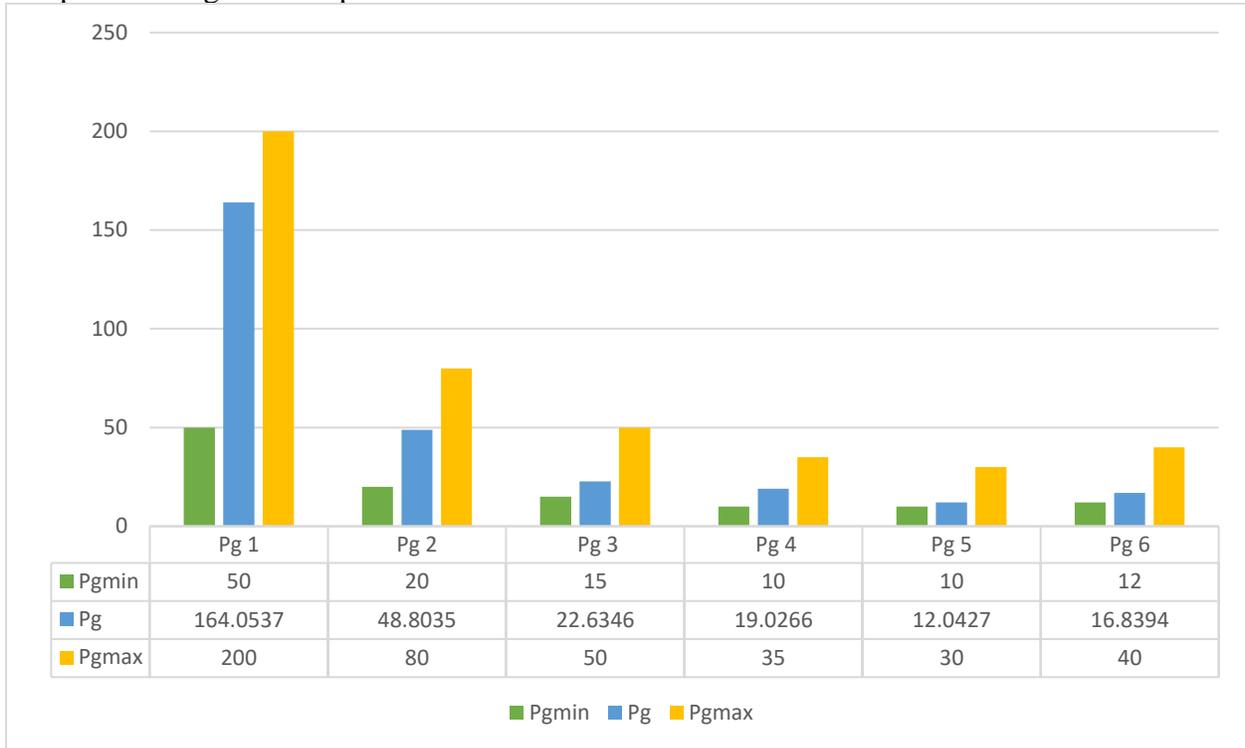


Figure IV.9: Répartition optimales des puissances générées.

IV.4 Comparaison des résultats entre fonction quadratique et fonction non linéaire (effet de valve) :

D'après les résultats d'optimisation obtenus, d'une part, on remarque que le coût optimisé avec considération de l'effet valve est supérieur au cas sans effet valve. En pratique, l'effet valve doit être considéré lors du processus de dispatching économique. D'autre part, on constate que l'optimisation du coût entraîne une augmentation de l'émission de gaz, cela explique clairement le conflit existant entre les deux fonctions objectives. En pratique, on s'intéresse à trouver un compromis entre le coût de combustible et l'émission de gaz ce qui exige de traiter ce problème comme un problème multi objective.

IV.5 Application de l'algorithme de chauve-souris :

IV.5.1 Minimisation du coût de production type quadratique :

Ce test est dédié à appliquer l'algorithme pour minimiser le cout de production des générateurs.

Le programme est exécuté plusieurs fois, les résultats de dix exécutions sont récapitulés dans le tableau (IV.7). Le cout optimal optimisé par cet algorithme est de **767.6030** \$/h.

PGi	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10
Pg1	185.3955	185.4259	185.3769	185.4055	185.3047	185.3750	185.3009	185.3265	185.4491	185.2266
Pg2	46.8525	46.8478	46.8708	46.8353	46.9722	46.9195	46.8352	46.9556	46.7926	47.0176
Pg3	19.1418	19.1122	19.1303	19.0888	19.1072	19.0940	19.1246	19.1142	19.0978	19.1111
Pg4	10.0009	10.0083	10.0001	10.0622	10.0007	10.0010	10.1393	10.0001	10.0585	10.0020
Pg5	10.0005	10.0042	10.0100	10.0081	10.0108	10.0104	10.0000	10.0000	10.0008	10.0398
Pg6	12.0087	12.0017	12.0118	12.0001	12.0045	12.0001	12.0000	12.0036	12.0012	12.0029
Coût (\$/h)	767.6040	767.6032	767.6057	767.6048	767.6045	767.6034	767.6060	767.6030	767.6042	767.6077
Emission (ton/h)	0.3955	0.3956	0.3955	0.3956	0.3953	0.3955	0.3952	0.3953	0.3957	0.3950

Tableau IV.7: Les résultats d'optimisation de la fonction objective quadratique du coût de production par utilisation de l'algorithme BAT.

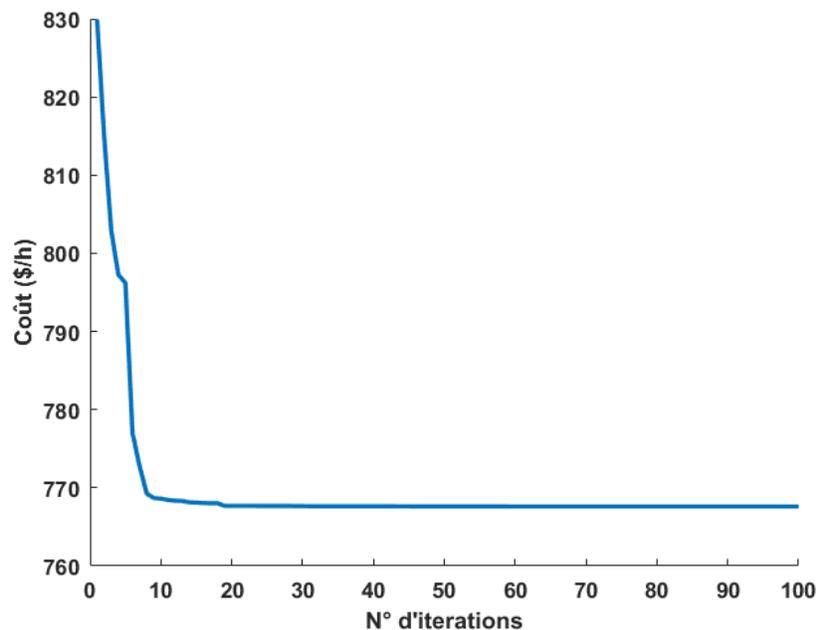


Figure IV.10: Convergence de BAT : minimisation de coût de production sans considération de l'effet valve.

Les puissances générées optimales avec leurs limites min et max :

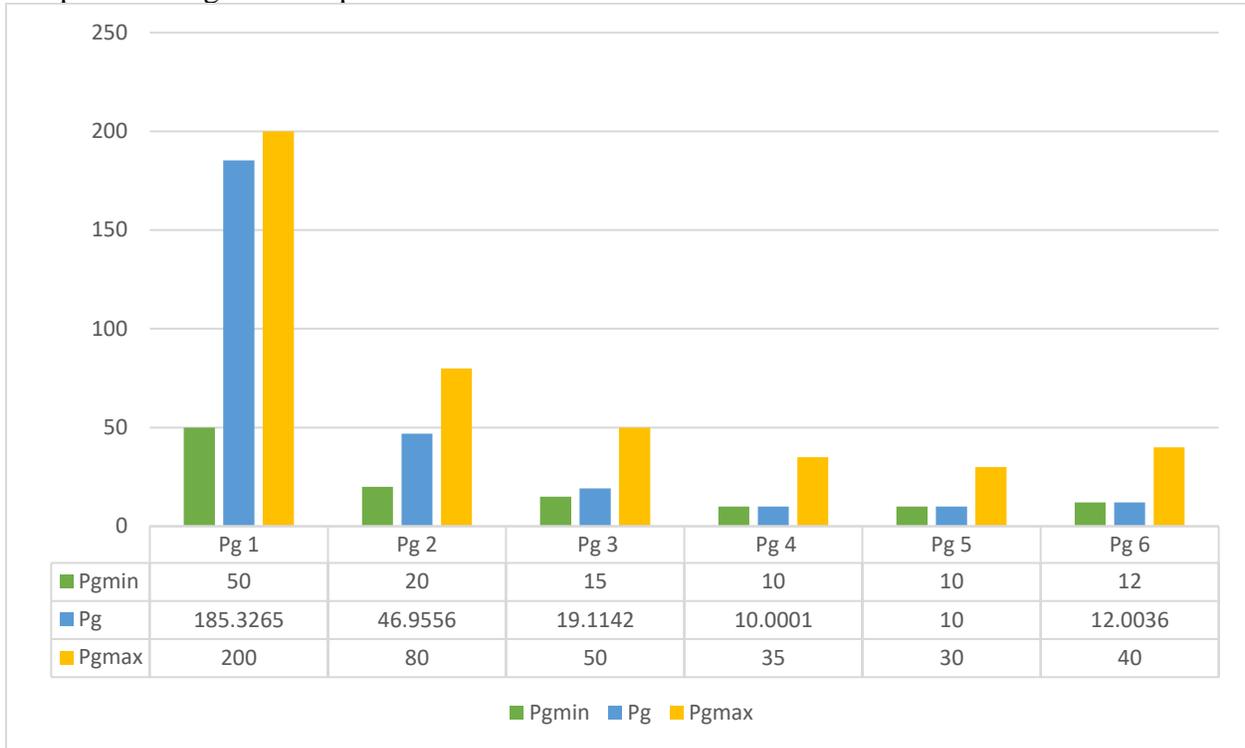


Figure IV.11: Répartition optimales des puissances générées.

IV.5.2 Minimisation du coût de production avec considération de l'effet de valve :

Afin de démontrer l'efficacité de cet algorithme en termes de qualité de solution et temps d'exécution, l'algorithme BAT est appliqué pour minimiser le coût de production avec considération de l'effet valve. La valeur du coût optimisée par l'algorithme BAT est de **792.8076** \$/h, l'émission de gaz engendrée est de **0.4467**ton/h, le vecteur optimal des puissances générées optimales est [199.9999 35.8009 15.4972 10.0201 10.0068 12.0751] MW. Il faut noter que les contraintes d'égalité et d'inégalités sont vérifiées. En effet, l'erreur entre la somme des puissances générées et la puissance demandée est de l'ordre de **-5.6843e-14**. La convergence de l'algorithme pour la fonction coût avec considération de l'effet valve est présentée dans la Figure (IV.11). On voit que l'algorithme à localiser la meilleure solution avec un nombre d'itération limité.

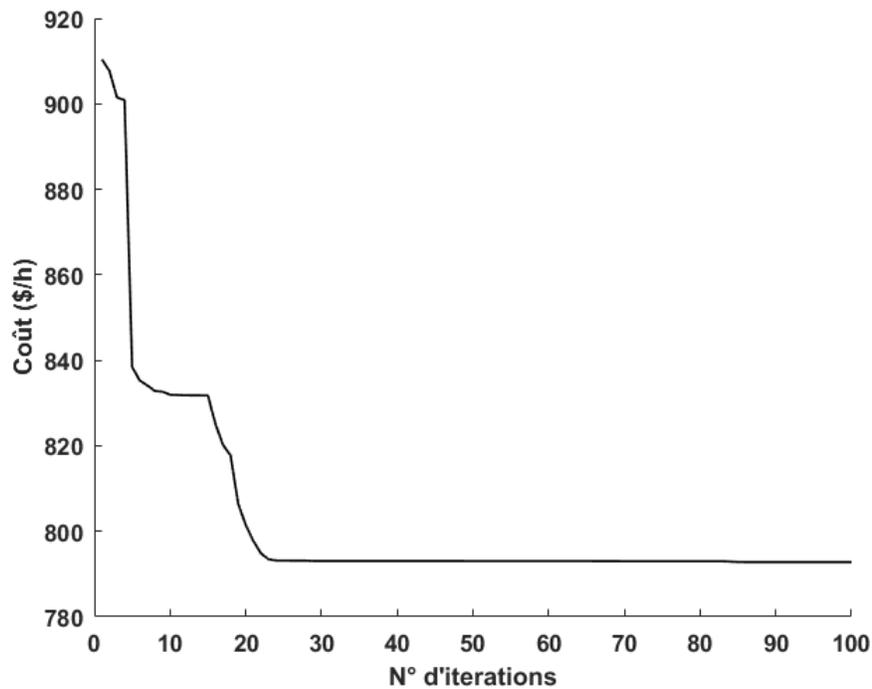


Figure IV.12 : Convergence de BAT : minimisation de coût de production avec considération de l'effet valve.

PGi	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10
Pg1	200.0000	199.9656	199.9971	199.9815	199.5385	199.9994	199.9948	200.0000	200.0000	189.0179
Pg2	36.2711	34.8225	36.0451	35.2296	35.0924	35.5987	35.5982	35.7020	36.0282	22.3821
Pg3	15.0968	16.2044	15.2751	15.0161	15.9335	15.1693	15.5804	15.0032	15.2698	15.0000
Pg4	10.0245	10.0491	10.0779	11.0063	10.1680	10.0047	10.0391	10.2588	10.0007	35.0000
Pg5	10.0077	10.0826	10.0009	10.1518	10.0494	10.6174	10.0594	10.2532	10.1013	10.0000
Pg6	12.0000	12.2758	12.0039	12.0148	12.6182	12.0105	12.1281	12.1828	12.0001	12.0000
Coût (\$/h)	792.7754	793.0461	793.0461	793.3312	793.5019	793.1072	792.8810	793.1394	792.8057	813.7047
Emission (ton/h)	0.4468	0.4464	0.4467	0.4466	0.4447	0.4466	0.4466	0.4467	0.4467	0.4086
Coût total (\$/h).10 ³	1.0388	1.0388	1.0388	1.0393	1.0384	1.0390	1.0388	1.0391	1.0388	1.0387

Tableau IV.8 : Les résultats d'optimisation de la fonction objective non linéaire du coût de production par utilisation de l'algorithme BAT.

Les puissances générées optimales avec leurs limites min et max :

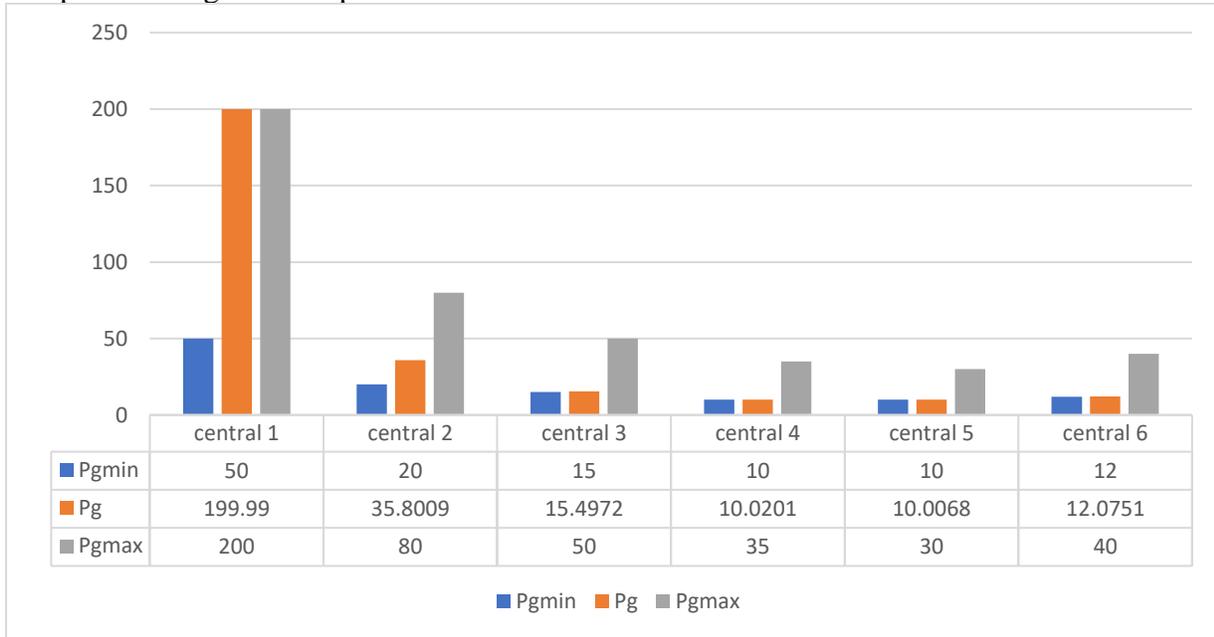


Figure IV.13: Répartition optimales des puissances générées.

IV.5.3 Minimisation de l'émission de gaz :

Pour ce test, l'algorithme BAT est appliqué pour minimiser l'émission de gaz. Les puissances générées optimales sont récapitulées dans le tableau 9. La valeur de l'émission optimale trouvée par cet algorithme est de 0.2163 ton/h qui est meilleur à celle achevée par l'algorithme génétique. La figure (IV.14) montre la convergence de l'algorithme BAT pour la minimisation de l'émission de gaz. Il faut noter que cet algorithme converge rapidement vers la Meilleure valeur à partir de la dixième itération.

PGi	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10
Pg1	66.7072	66.6638	66.6426	66.6135	66.6569	66.7343	66.6602	66.3922	66.6548	62.4448
Pg2	69.3609	69.5317	69.5379	69.5894	69.5133	69.4154	69.5122	70.0672	69.5088	65.9552
Pg3	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	50.0000
Pg4	35.0000	35.0000	35.0000	35.0000	35.0000	35.0000	35.0000	35.0000	35.0000	35.0000
Pg5	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000
Pg6	32.3320	32.2044	32.2195	32.1971	32.2299	32.2502	32.2276	31.9406	32.2363	40.0000
Coût (\$/h)x10 ³	0.9915	0.9914	0.9915	0.9915	0.9915	0.9914	0.9915	0.9914	0.9915	1.0041
Emission (ton/h)	0.2163	0.2164	0.2163	0.2183						
Coût total (\$/h)x10 ³	1.1106	1.1106	1.1106	1.1106	1.1106	1.1105	1.1106	1.1106	1.1106	1.1243

Tableau IV.9 : Les résultats d'optimisation de la fonction objective non linéaire du coût de production par utilisation de l'algorithme BAT.

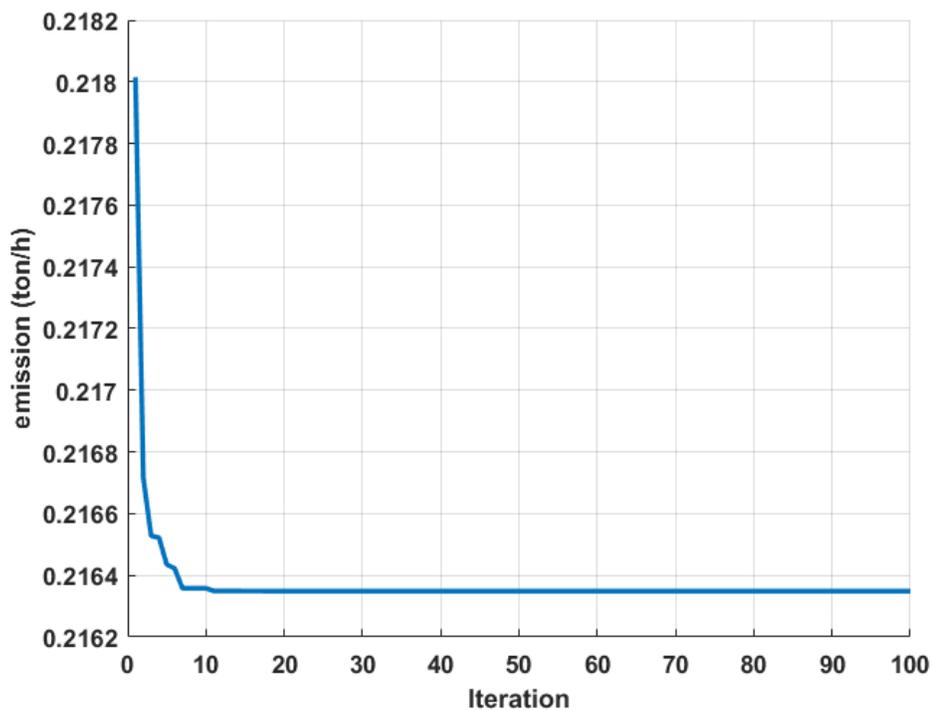


Figure IV.14 : Convergence de l’algorithme BAT : minimisation de l’émission de gaz.

Les puissances générées optimales avec leurs limites min et max :

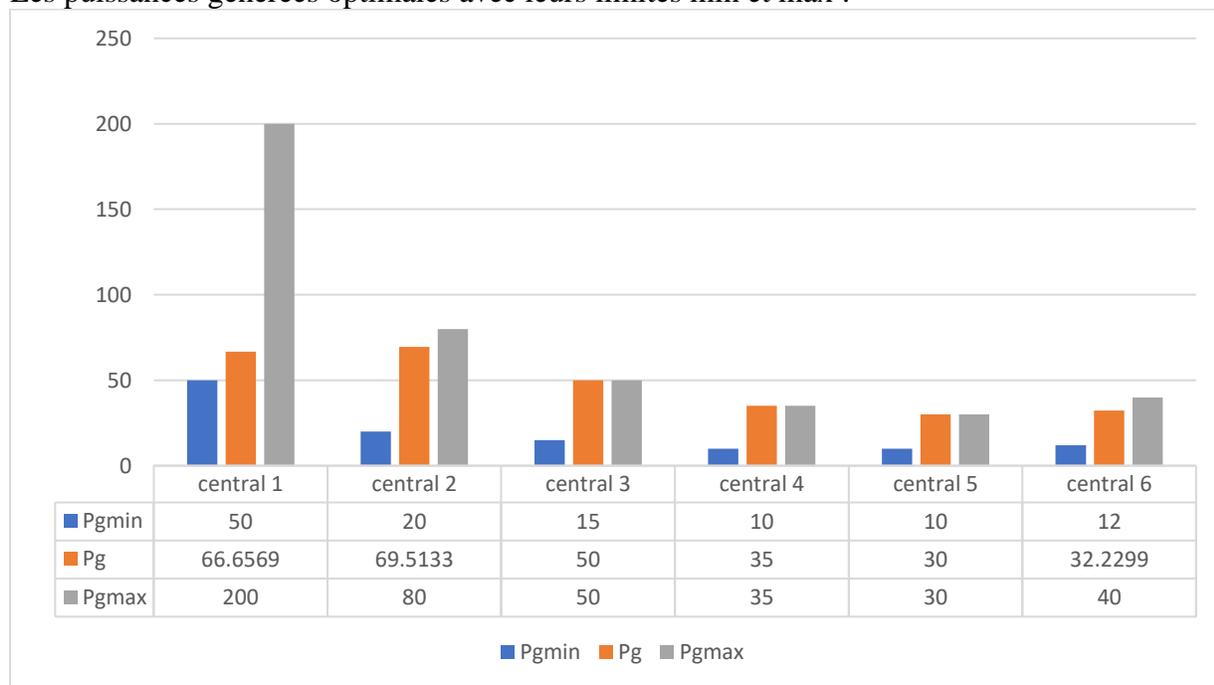


Figure IV.15: Répartition optimales des puissances générées.

IV.6Analyse comparative :

Cette section est consacrée à donner une comparaison des résultats obtenus par la méthode de l'AG et l'algorithme BAT en termes de qualité de solution et temps d'exécution. Pour les trois tests effectués, on remarque que les valeurs optimisées du coût, l'émission de gaz par utilisation de l'algorithme BAT sont meilleurs que celles obtenus par application de l'algorithme génétique. D'autre part, l'algorithme BAT permet de localiser la valeur optimale de la fonction objective avec un nombre d'itération limité, ce qui nécessite un temps d'exécution réduit par rapport à l'algorithme génétique.

Variables de contrôles	Résultat de l'algorithme génétique : fonction quadratique sans pertes	Résultat de l'algorithme de chauve-souris (BAT) : fonction quadratique sans pertes
Pg1	185.3097	185.3265
Pg2	46.8145	46.9556
Pg3	19.2693	19.1142
Pg4	10.0052	10.0001
Pg5	10.0008	10.0000
Pg6	12.0006	12.0036
La puissance générée totale (MW)	283.4000	283.4000
Le coût de production (\$/h)	767.6039	767.6030
L'erreur de coût	\$/h	
L'émission des gaz toxique non optimisée (ton/h)	0.3954	0.3953

Tableau IV.10 : Comparaison entre les deux méthodes : minimisation du coût : fonction quadratique.

Variables de contrôles	Résultat de l'algorithme génétique : considération de l'effet de valve, sans pertes	Résultat de l'algorithme de chauve-souris (BAT) : considération de l'effet de valve, sans pertes
Pg1	177.3489	200.0000
Pg2	45.4541	36.2711
Pg3	22.3482	15.0968
Pg4	12.7052	10.0245
Pg5	10.0406	10.0077
Pg6	15.5030	12.0000
La puissance générée totale (MW)	283.4000	283.4000
Le coût de production (\$/h)	808.3483	792.7754
L'erreur de coût	\$/h	
L'émission des gaz toxique non optimisée (ton/h)	0.3704	0.4468

Tableau IV.11 : Comparaison entre les deux méthodes : minimisation du coût pour la fonction non linéaire, avec considération de l'effet valve.

IV.7 Dispatching économique dynamique :

Afin de donner l'aspect réel au problème de dispatching économique, une nouvelle contrainte nommée Ramp est introduite, cette contrainte dépend de la variation dynamique de la puissance demandée. L'objectif principal du dispatching économique dynamique est de trouver la contribution en puissance de chaque groupe de production du système électrique, de sorte que le coût total de production soit minimisé que possible pour n'importe quelle condition de charge tout en respectant les contraintes physiques de ces générateurs.

L'algorithme de chauve-souris (BAT) a été adapté et validé pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique appliqués sur un réseau test composé de 5 unités de production.

IV.7.1 Réseau test 2 : réseau avec 5 unités de production

Ce deuxième réseau test se compose de 5 unités de production, les puissances demandées pour une durée de 2 heures sont récapitulés dans le tableau (IV.12), pour ce cas d'étude, l'algorithme de chauve-souris nommé BAT est appliqué pour minimiser le cout de production pour une période de 24 h tout en considérant l'effet de rampe. Deux scenarios ont été élaborés pour démontrer l'importance pratique de considérer l'effet de valve, le premier scenario consiste à optimiser le cout total sans considérés l'effet de Ramp, alors que le deuxième scenario est appliqué avec considération de l'effet Ramp. Le schéma équivalent de réseau électrique du réseau test 2 est présenté dans la Figure (IV.15). Les caractéristiques du réseau test 2 sont récapitulées dans le tableau (IV.12).

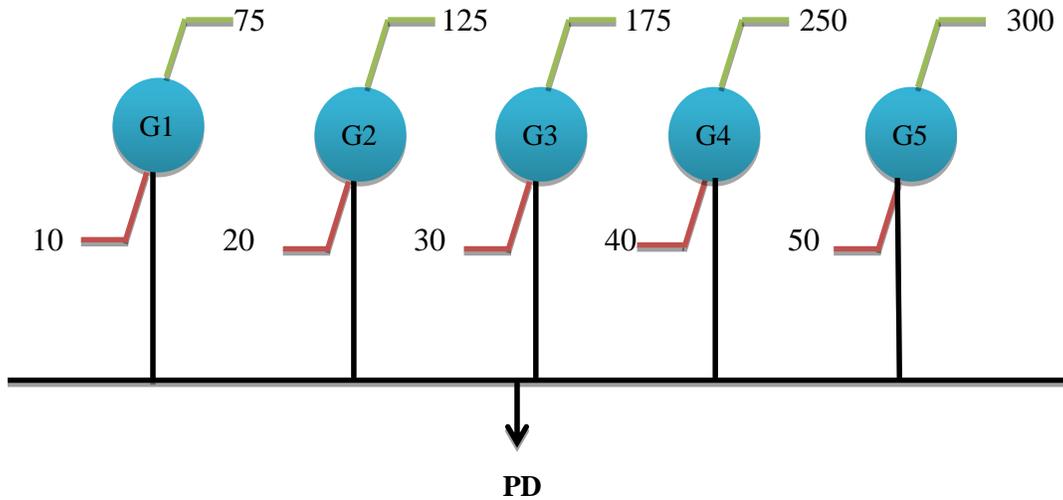


Figure IV.16 : Schéma équivalent du réseau électrique du réseau test 2 : 5 unités de production.

Générateurs	Les coefficients de la fonction coût					Les limites de la puissance générée		Les contraintes de Ramp Up et Ramp Dawn	
	a	b	c	e	f	Pgmin	Pgmax	UR	DR
G1	25	2	0.008	100	0.042	10	75	30	30
G2	60	1.8	0.003	140	0.04	20	125	30	30
G3	100	2.1	0.0012	160	0.038	30	175	40	40
G4	120	2	0.001	180	0.037	40	250	50	50
G5	40	1.8	0.0015	200	0.035	50	300	50	50

Tableau IV.12 : Les données du réseau test 2 (réseau de 5 unités)

Heure	Puissance demandée [MW]	Heure	Puissance demandée [MW]
1	328.0000	13	563.2000
2	348.0000	14	552.0000
3	380.0000	15	523.2000
4	424.0000	16	464.0000
5	446.4000	17	446.4000
6	486.4000	18	486.4000
7	500.8000	19	523.2000
8	523.2000	20	563.2000
9	552.0000	21	544.0000
10	563.2000	22	484.0000
11	576.0000	23	421.6000
12	592.0000	24	370.4000

Tableau IV.13 : Les puissances demandées pour 24 heures du Réseau test 2.

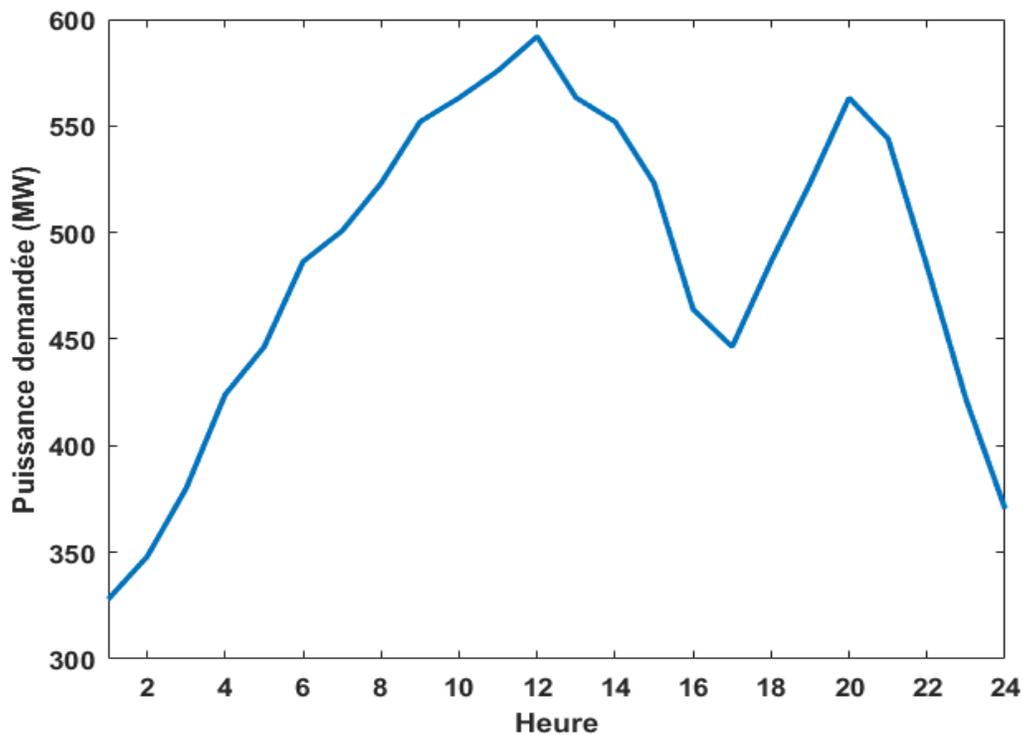


Figure IV.17 : Courbe de charge journalière : réseau test 5 unités.

IV.7.2 Minimisation du coût de production Application de l'algorithme de chauve-souris :

IV.7.2.1 Fonction objective quadratique (sans effet de valve)

Nous allons utiliser l'algorithme chauve-souris dans cette partie du travail où le programme calculera l'énergie requise pour chaque heure tout en maintenant les contraintes d'égalités et d'inégalités, en particulier la contrainte Ramp Up et Ramp Dawn dans leurs limites admissibles. Les variables de contrôles optimisés en fonction de la variation de la puissance demandée pour une durée de 24 H sont récapitulées dans le tableau (IV.14).

Heure	P_D [MW]	P_{G1} [MW]	P_{G2} [MW]	P_{G3} [MW]	P_{G4} [MW]	P_{G5} [MW]
1	328.0000	11.3944	63.7183	34.2958	91.1549	127.4366
2	348.0000	12.2394	65.9718	39.9296	97.9155	131.9437
3	380.0000	13.5915	69.5775	48.9437	108.7324	139.1549
4	424.0000	15.4507	74.5352	61.3380	123.6056	149.0704
5	446.4000	16.3972	77.0591	67.6479	131.1775	154.1183
6	486.4000	18.0873	81.5662	78.9155	144.6986	163.1324
7	500.8000	18.6958	83.1887	82.9718	149.5662	166.3775
8	523.2000	19.6423	85.7127	89.2817	157.1380	171.4254
9	552.0000	20.8592	88.9577	97.3944	166.8732	177.9155
10	563.2000	21.3324	90.2197	100.5493	170.6592	180.4394
11	576.0000	21.8732	91.6620	104.1549	174.9859	183.3239
12	592.0000	22.5493	93.4648	108.6620	180.3944	186.9296
13	563.2000	21.3324	90.2197	100.5493	170.6592	180.4394
14	552.0000	20.8592	88.9577	97.3944	166.8732	177.9155
15	523.2000	19.6423	85.7127	89.2817	157.1380	171.4254
16	464.0000	17.1408	79.0423	72.6056	137.1268	158.0845
17	446.4000	16.3972	77.0592	67.6479	131.1775	154.1183
18	486.4000	18.0873	81.5662	78.9155	144.6986	163.1324
19	523.2000	19.6423	85.7127	89.2817	157.1380	171.4254
20	563.2000	21.3324	90.2197	100.5493	170.6592	180.4394
21	544.0000	20.5211	88.0563	95.1408	164.1690	176.1127

22	484.0000	17.9859	81.2958	78.2394	143.8873	162.5915
23	421.6000	15.3493	74.2648	60.6620	122.7944	148.5296
24	370.4000	13.1859	68.4958	46.2394	105.4873	136.9916
Coût Total (\$)				3.2842e+4		

Tableau IV.14 : Résultats des puissances générées optimales du réseau test 2 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve).

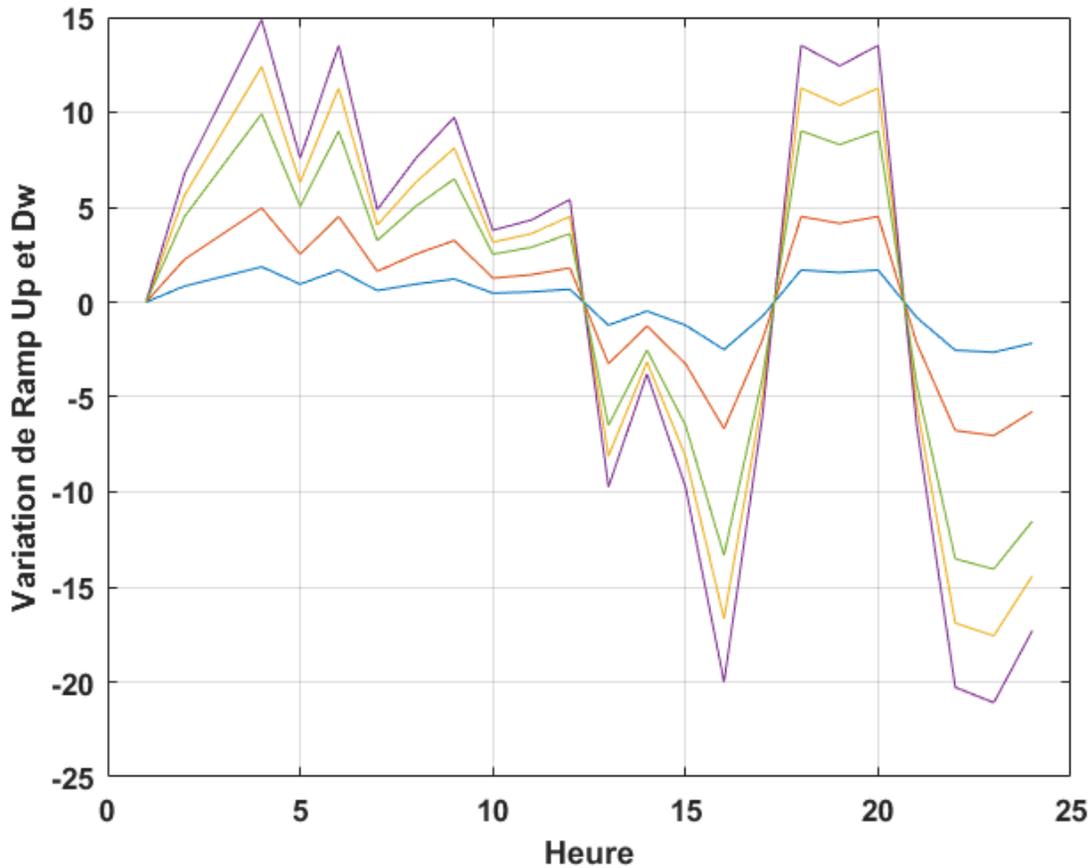


Figure IV.18: La variation de la contrainte Rampe du réseau test 2 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve).

IV.7.2.2 Fonction objective non-linière (effet de valve)

Pour ce deuxième cas, l'algorithme chauve-souris est appliqué pour minimiser le coût de production total pendant 24 h avec considération de l'effet de valve et les contraintes rampes (RU et RD). Les variables de contrôles optimisés en fonction de la variation de la puissance demandée pour une durée de 24 H sont récapitulées dans le tableau (IV.15). Le coût total de production optimisé est de 3.6661×10^4 \$, qui est supérieur au cas 1 (sans l'effet valve). Il faut

noter que les contraintes d'égalités et d'inégalités sont vérifiées. La figure (IV.18) montre la variation de la contrainte RU et RD pour une durée de 24 H.

Heure	P_D [MW]	P_{G1} [MW]	P_{G2} [MW]	P_{G3} [MW]	P_{G4} [MW]	P_{G5} [MW]
1	328.0000	10.0000	20.0000	30.0000	40	228.0000
2	348.0000	28.4804	20.0000	30.0000	40	229.5196
3	380.0000	58.4804	22.0000	30.0000	40	229.5196
4	424.0000	75.0000	49.4804	30.0000	40	229.5196
5	446.4000	67.4000	79.4804	30.0000	40	229.5196
6	486.4000	75.0000	109.4804	32.4000	40	229.5196
7	500.8000	75.0000	125.0000	31.2804	40	229.5196
8	523.2000	75.0000	107.4000	71.2804	40	229.5196
9	552.0000	72.6602	98.5398	111.2804	40	229.5196
10	563.2000	75.0000	106.0069	112.6735	40	229.5196
11	576.0000	75.0000	118.8069	112.6735	40	229.5196
12	592.0000	75.0000	125.0000	122.4804	40	229.5196
13	563.2000	75.0000	106.0069	112.6735	40	229.5196
14	552.0000	71.2671	98.5398	112.6735	40	229.5196
15	523.2000	42.4671	98.5398	112.6735	40	229.5196
16	464.0000	12.4671	69.3398	112.6735	40	229.5196
17	446.4000	10.0000	54.2069	112.6735	40	229.5196
18	486.4000	20.0000	84.2069	112.6735	40	229.5196
19	523.2000	42.4671	98.5398	112.6735	40	229.5196
20	563.2000	72.4671	108.5398	112.6735	40	229.5196
21	544.0000	63.2671	98.5398	112.6735	40	229.5196
22	484.0000	33.2671	68.5398	112.6735	40	229.5196
23	421.6000	10.0000	38.5398	103.5406	40	229.5196
24	370.4000	10.0000	20.0000	70.8804	40	229.5196
Coût Total \$					3.6661e+4	

Tableau IV.15 : Résultats des puissances générées optimales du réseau test 2 avec considération l'effet de valve.

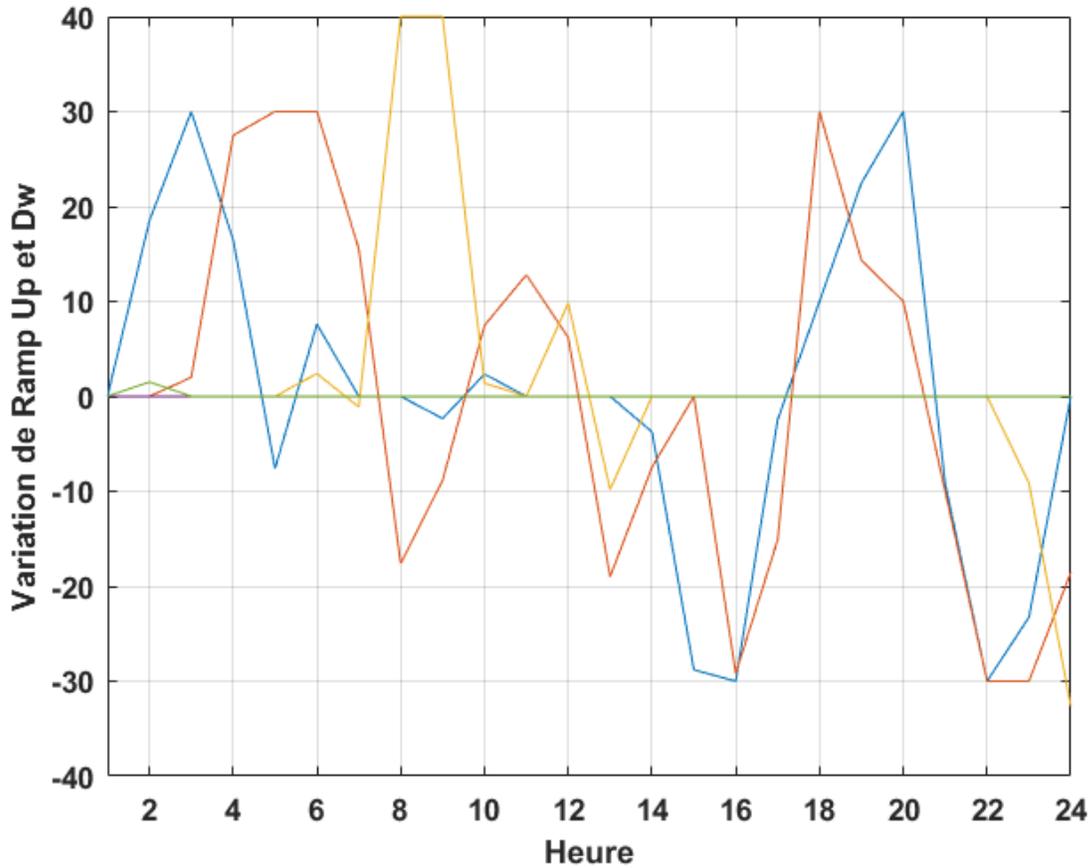


Figure IV.19 : La variation de la contrainte Rampe du réseau test 2 avec fonction objective non-linéaire (avec l'effet de valve).

IV.8 Conclusion :

Dans ce chapitre deux algorithmes à savoir, l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris ont été appliqué avec succès pour résoudre le problème de dispatching économique statique et dynamique avec considération de la contrainte effet de valve et la contrainte rampe. Les résultats obtenus montrent clairement l'efficacité de l'algorithme BAT à résoudre le problème de dispatching économique en termes de réduction de la fonction objective à savoir le coût du combustible et l'émission de gaz. D'autre part l'algorithme BAT a prouvé son avantage en termes de réduction du temps d'exécution par rapport à l'algorithme génétique.

CONCLUSION GENERALE

Le rôle de dispatching économique est d'assurer la production de l'énergie électrique avec le coût minimal. Dans ce présent travail, et après avoir formulé le problème du dispatching économique, nous avons adapté et appliqué deux techniques d'optimisation métaheuristiques à savoir, l'algorithme génétique l'algorithme de chauve-souris (BAT) pour minimiser le coût des unités de production et l'émission de gaz. Nous avons considéré plusieurs cas d'études :

- Le premier cas d'étude consiste à la minimisation de la fonction cout type quadratique
- Le deuxième cas d'étude consiste à la minimisation de et l'émission de gaz.
- Le troisième cas d'étude à pour objectif de minimiser le coût de production tout en considérant la caractéristique non linéaire de la fonction objective du cout affectée par l'effet de l'ouverture des vannes d'admission de gaz.
- Le quatrième cas est consacré à résoudre le problème de dispatching économique dynamique tout en considérant simultanément l'effet de valve et la contrainte rampe.

Les résultats obtenus dans le chapitre IV montrent clairement l'efficacité de l'algorithme BAT à résoudre le problème de dispatching économique en termes de réduction de la fonction objective à savoir le coût du combustible et l'émission de gaz. D'autre part l'algorithme BAT a prouvé son avantage en termes de réduction du temps d'exécution par rapport à l'algorithme génétique.

Comme perspectives nous proposons de résoudre le problème multi objective du dispatching économique dynamique tout en considérant l'émission des gaz et l'intégration des sources renouvelable.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Wikipédia “ Le réseau de transport électrique ”, (Dernière modification de cette page le 20 janvier 2018)
- [2] H. Belila « Présentation Du Réseau Electrique, Terminologie Et Concept De Base » Université Larbi Ben M’hidi OEB 2014/2015
- [3] Marcelo SAGUAN « l’analyse économique des architectures de marché électrique application au marketé design du temps réel ». Thèse de doctorat, université Paris Sud 11 /2007.
- [4] M. Fatah Amir « Etude du fonctionnement des centres de production dans un système de marché libre de l’énergie électrique » Thèse de magister université de Batna ,2011/2012.
- [5] fig. courbe de charge Operateur du système électrique Algérien. <http://www.ose.dz>
- [6] CHICHA Abdelhak, « Minimisation dynamique du coût de production des centrales électriques », Mémoire de Master en Électrotechnique, Option : Réseaux Electriques, Université de Biskra, 2019
- [7] Cours_Dispatching_Economique_Matlab_Mahdad
- [8] RTE [2003]. Gestionnaire du Réseau de Transport d’Electricité, France (RTE), « Mémento de la sûreté du système électrique » - <http://www.rte-france.com>, 2003.
- [9] Jean-cloude Sabonnasière, Nouredine Hadjsaid“ Lignes et Réseaux Électriques 3 Fonctionnement dans le Cadre de la Libéralisation des Marches ”, Lavoisier (hermès science),2008
- [10] L’Abed Imen “ Dispatching Economique Dynamique des Réseaux Electriques par Les Méthodes Méta-Heuristique ”, (Mémoire magister), Université Constantine,1, 2013.
- [11] Arnaud Vergnol “Intégration dans le Réseau Electrique et le Marché de L’électricité de Production Décentralisée D’origine Renouvelable Gestion des Congestions Locales ”, (Thèse de Doctorat), l’école centrale de Lille, 2010
- [12] Mr. ADEL ANDRÉ TAGHER. Thèse doctorat. L’école polytechnique fédérale, Zurich 1969.
- [13] KHAMED Okba, "Dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les méthodes méta-heuristique", Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l’obtention du diplôme de Master en réseaux électriques, Université Mohamed Khider Biskra 2012 / 2013.

- [14] Aucharki Zina Belacel Ourdia « Dispatching Economique de la puissance dans un Réseau Electrique en utilisant les Algorithmes Génétiques » (Mémoire magister) Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 24 /09/2017.
- [15] Imad Eddine et Chemsah Mohamed Taher « Résolution de dispatching économique par des méthodes d'optimisations métaheuristique » L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued 27/05/2017
- [16] Aamir Nawaz, Ehtasham Mustafa, Nasir Saleem, Muhammad Irfan Khattak, Muhammad Shafi, Abdul Malik, "Solving Convex And Non-Convex Static And Dynamic Economic Dispatch Problèmes Using Hybrid Particle Multi-Swarm Optimization", Tehnički vjesnik journal, 24, 4(2017), 1095-1102
- [17] Laaouad. Mohamed (Mémoire magister) Université de Biskra, 1 juin 2017
- [18] Mostefa HAMED, Dispatching Economique Dynamique par Utilisation de Méthodes d'optimisation globales université de Biskra 14/01/2013.
- [19] Daoudi Rachid " Optimisation des Puissances Réactives Par La Méthode Essaim de Particules (PSO) Dans un R D'énergie Électrique ", (Thèse Magister), École Nationale Supérieure de l'enseignement Technologique d'Oran, 2012.
- [20] Ahmed Nouredine Benaichouche "Conception de Métaheuristiques D'optimisation pour la Segmentation D'images : Application aux Images IRM du Cerveau et aux Images deTomographieparEmissiondePositons", (thèsedoctorat), Université-paris-EstFrançais, 2014.
- [21] Saihi Mourad "Optimisation Mono et Multi Objectif de L'écoulement de Puissance avecIntégrationdeSTATCOMDansLeRéseauElectrique", (mémoiremaster), Université Mohamed Khider Biskra , 2013.
- [22] S. Moussa « Optimisation de l'écoulement de puissance par une méthode métaheuristiques (technique des abeilles) en présence d'une source renouvelable (éolienne) et des dispositifs FACTS » Mémoire de Magister, Université de Sétif 2012.
- [23] ABID YAKOUB, CHENNOUF LAKHDAR, CHELI SALAH, " Application d'une méthode métaheuristique à la répartition optimale des puissances dans les réseaux électriques avec une fonction multi objective", Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme Master Académique en Electrotechnique 2016.
- [24] ZEGGAR SEIF-EDDINE « Dispatching Economique D'Energie Electrique Par Essaims De Particules Et Algorithmes Génétiques » UNIVERSITE CONSTANTINE I 2012/2013

- [25] C. Eyquem et A. Montaut, Les Algorithmes Génétiques, 21 juin 2001.
- [26] Thomas VALLEE et Murat YILDIZOGLU « présentions de algorithms génétique et leur application en économique » 2001
- [27] Douis Imad Eddine et Chemsah Mohamed Taher « Résolution de dispatching économique par des méthodes d'optimisations métaheuristique » L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued 27/05/2017
- [28] Jebari Hakim, Rahali, Azzoizi Saida, Samadi Hassan “Hybridation des Métaheuristiques pour la Résolution de Problème D'ordonnancement Multi-Objectif dans un Atelier Flow-Shop ”, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01260744> ,23 avril 2016.
- [29] Amina Be boudi et Mohamed Cherif Bouras Département de Mathématique Université Badji Mokhtar-Annaba, BP 12, Annaba, Algérie 2017\2018
- [30] Mr. BOUABDALLAH AMARA « Application des algorithmes génétiques Au dispatching économique et environnemental. Mémoire de MASTER Université Mohamed Khider Biskra Juin 2012