

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية 1  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الآلية و الالكتروتقني  
Département d'Automatique et électrotechnique



## Mémoire de Master

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Machin électrique

Présenté par

Bessekri Rania

&

Belhadeb Brahim

# L'étude De Dispatching Economique par une méthode Méta-heuristique

Proposé par : DR Naas KHERFANE

Année Universitaire 2022-2023



## REMERCIEMENT

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant, car Il m'a donné la vie, la santé et la tranquillité d'esprit pour mener à bien ce travail.

Tout d'abord, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à notre, Encadreur Dr. **Naas KHERFANE**. Pour nous avoir Accompagné et passer son temps et ses efforts pour obtenir de bons résultats.

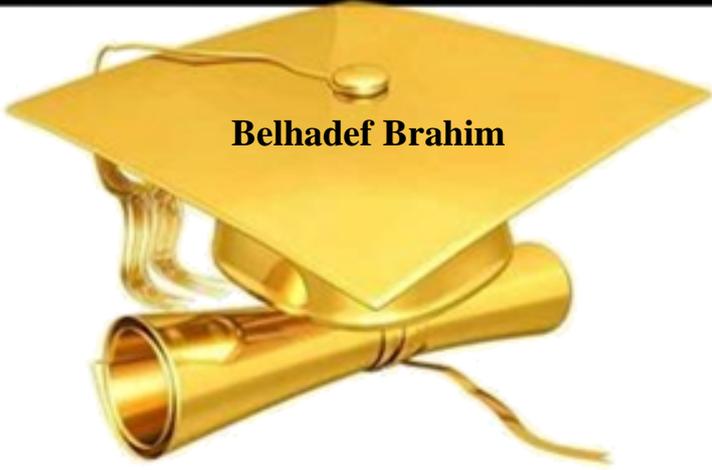
Je tiens à remercier les membres du jury pour accepter d'examiner notre travail.

J'adresse également mes sincères remerciements à tous les enseignants du département dans notre parcours académique qui a duré 5 ans

À l'Université Saad DahlabBlida 1.

Je remercie également ma famille et mes amis, en particulier nos parents qui nous ont soutenus et nous ont donné la force pour d'atteindre nos objectifs.





**Belhaded Brahim**



# Dédicace

C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail.

A mes chers et respectueux parents en récompense de leur sacrifice tout Lelong de ma vie,

A mon cher frère,

A toutes mes amis et ami(e)s,

A toute ma famille.





Bessekri rania



# Dédicace

C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail.  
A mes chers et respectueux parents en récompense de leur sacrifice  
tout long de ma vie,  
A ma chère belle-sœur,  
A mon cher frère,  
A toutes mes amis,  
A toute ma famille.



## Résumé

La combustion des matières premières dans les centres de production d'électricité, a conduit à l'émergence de gaz à effet de serre, provoquant ainsi un changement climatique et ses effets sur l'atmosphère

L'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (orientation environnementale) a été de contrecarrer au coût de production (orientation économique), ce qui a conduit à la réflexion de trouver une solution de compromis qui tient compte de l'orientation environnementale et économique simultanément. On est donc devant un problème multi-objectif.

Dans ce travail, nous allons utiliser un algorithme méta-heuristique pour trouver une la solution

Mots clés : Dispatching, économique, environnementale, émissions de gaz.

---

## Abstract

The combustion of raw materials in electricity production centers has led to the emergence of greenhouse gases, thus causing climate change and its effects on the atmosphere.

The objective of reducing greenhouse gas emissions (environmental orientation) was to counteract the cost of production (economic orientation), which led to the reflection of finding a compromise solution that takes into account the orientation environmental and economic simultaneously. We are therefore faced with a multi-objective problem.

In this work, we will use a meta-heuristic algorithm to find a solution

---

## ✓ ملخص

أدى احتراق المواد الخام في مراكز إنتاج الكهرباء إلى ظهور غازات الاحتباس الحراري ، مما تسبب في تغير المناخ وتأثيراته على الغلاف الجوي

كان الهدف من تقليل انبعاث غازات الاحتباس الحراري (التوجه البيئي) هو مواجهة تكلفة الإنتاج (التوجه الاقتصادي) ، مما أدى إلى التفكير في إيجاد حل وسط يأخذ في الاعتبار التوجه البيئي والاقتصادي في وقت واحد. لذلك نحن نواجه مشكلة متعددة الأهداف

لإيجاد حل في هذا العمل، سوف نستخدم خوارزمية

## Liste Des Figure

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1 :</b>	Structure des réseaux électriques	<b>14</b>
<b>Figure I.2 :</b>	Structure de l'unité de production	<b>15</b>
<b>Figure I.3 :</b>	Organigramme représentant les étapes de la production d'électricité	<b>17</b>
<b>Figure I.4 :</b>	schéma représente le principe de fonctionnement d'une centrale thermique	<b>18</b>
<b>Figure I.5 :</b>	schéma représente le principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire	<b>19</b>
<b>Figure I.6 :</b>	schéma représente le principe de fonctionnement d'une hydroélectrique	<b>19</b>
<b>Figure I.7:</b>	Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque	<b>20</b>
<b>Figure I.8:</b>	Schéma de principe d'une production éolienne.	<b>21</b>
<b>Figure I .9 :</b>	Schéma générale d'un réseau électrique	<b>22</b>
<b>Figure I.10 :</b>	Classification des réseaux électriques selon le niveau de tension	<b>22</b>
<b>Figure II.1 :</b>	Classification du problème de planification de la puissance active	<b>26</b>
<b>Figure II.2 :</b>	Classification du problème de dispatching économique.	<b>28</b>
<b>Figure II.3 :</b>	Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique	<b>30</b>
<b>Figure II.4 :</b>	La variation du coût en fonction de la puissance générée	<b>31</b>
<b>Figure II.5 :</b>	Effet de l'ouverture des vannes pour une unité thermique	<b>35</b>
<b>Figure II.6:</b>	Caractéristique de coût avec deux zones de fonctionnement interdites	<b>36</b>
<b>Figure II.7:</b>	Courbe de coût du combustible d'une unité thermique. Avec trois types de combustible	<b>37</b>
<b>Figure II.8:</b>	Schéma bloc représente les conditions exigées pour pouvoir formuler un problème d'optimisation.	<b>40</b>
<b>Figure II.9:</b>	Algorithme de programmation évolutionnaire	<b>42</b>
<b>Figure II.10:</b>	Image d'un trou blanc, d'un trou noir et d'un Worm Hole	<b>43</b>
<b>Figure II.11:</b>	Processus de MVO	<b>45</b>
<b>Figure III.1 :</b>	résultats d'optimisation multi-objective (les fonctions cout, émission).	<b>47</b>
<b>Figure III.2 :</b>	Représente le choix de la solution.	<b>50</b>
<b>Figure III. 3 :</b>	Le tridimensionnel de Pareto pour le coût, l'émission, parte	<b>52</b>
<b>Figure III.4 :</b>	Le bidimensionnel de Pareto pour le coût, et l'émission	<b>52</b>
<b>Figure III.5 :</b>	Le tridimensionnel de Pareto pour le coût, l'émission, parte	<b>56</b>
<b>Figure III.6 :</b>	Le bidimensionnel de Pareto pour le coût, et l'émission	<b>56</b>

## Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
<b>Tableau II.1 :</b>	de matrice Coefficients B (10 unités)	<b>48</b>
<b>Tableau II.2:</b>	Les données coûts de production du réseau électrique à 10 unités.	<b>49</b>
<b>Tableau III.3:</b>	Les données coûts d'émission du réseau électrique à 10 unités.	<b>50</b>
<b>Tableau III.4:</b>	Puissance et coût combustible et l'émission	<b>50</b>

<b>Tableau III.5 :</b>	Les puissances générées correspondent au point de décision (optimisation multi-objectif cout-émission).	<b>53</b>
<b>Tableau III.6 :</b>	Puissance et coûts d'émission du réseau électrique 10unités.	<b>54</b>
<b>Tableau III.7 :</b>	Puissance et coût combustible et l'émission	<b>55</b>
<b>Tableau III.8 :</b>	Les puissances générées correspondent au point de décision (optimisation multi-objectif cout-émission).	<b>57</b>

# Sommaire

## REMERCIEMENT

Dédicace

Résumé

Introduction générale .....11

## **Chapitre I: Généralités Sur Les Réseaux Électriques.....13**

I.1 Introduction.....13

I.1 Définition d'un réseau électrique.....13

I.3 Techniques générales de la production de l'électricité.....15

I.3.1 sources primaires d'énergie.....15

I.3.2. les énergies secondaires .....16

I.4.Type des centrales de production.....16

I.5. Centrales électriques classiques (thermique et nucléaire).....17

I.5.1. Centrales thermiques classiques.....17

I.5.2. Centrale classiques nucléaire.....18

I.6. Centrales hydroélectriques.....19

I.7. Centrales solaires ou photovoltaïques.....20

I.8 Centrales éoliennes.....20

I.9 Le réseau de transport et de répartition..... 21

I.10 Le réseau de distribution..... 22

I.11 Conclusion.....23

## **Chapitre II: Formulation du problème de dispatching économique.....24**

I.1 Introduction..... 24

II.1.1. Historique.....24

II.2 Description de Répartition économique de l'électricité.....25

II.3 Dispatching Economique..... 26

II.4 Problème de Dispatching économique.....27

II.5 Le dispatching économique dynamique.....28

II.6 Dispatching économique statique .....29

II.7 l'objectif du dispatching économique.....29

II.8. Généralités sur le dispatching économique.....30

II.8.1 La fonction de coût.....30

II.8.2 Minimisation des coûts de génération.....31

II.9 Les contraintes.....32

II.9.1 Les contraintes d'égalité.....32

II.9.2 Les contraintes d'inégalités.....32

II.10 Pertes de transmission.....	33
II.11 Les contraintes pratiques.....	34
II.11.1 Caractéristique avec l'effet d'ouverture des vannes.....	34
II.11.2 L'effet des Zones interdites.....	35
II.11.3 L'effet du multi combustibles.....	36
II.11.4 L'effet de l'émission des gaz toxiques.....	37
II.11.5 L'effet des Rampes de générateurs.....	38
II.12 Le modèle mathématique de dispatching environnemental.....	38
II.13 Définition de l'optimisation.....	39
II.14 L'optimisation multi-objective.....	40
II.14.1 Fonction multi-objective.....	41
II. 15 Optimisation du multivers (MVO).....	42
II.16 Conclusion.....	45
<b>Chapitre III: Résultats et interprétations.....</b>	<b>46</b>
III.1 Introduction.....	46
III.2 Optimisation multi-objectif.....	46
III.3 Formulation du Problème.....	46
III.4 Minimisation (cout de production, émission de gaz toxique).....	47
III.5 Dispatching économique avec pertes.....	48
III.5.1 Estimation des pertes par la Méthode du 'B-Coefficient' $\mu$ .....	48
III.6 Résultats Obtenues.....	50
III.6.1 Réseau test 1 : 10 unités (lisse).....	50
III.6.2 Résultat et simulation.....	50
III.6.3 Comparaison avec des autres programmes.....	51
III.7 Réseau test 2 : 10 unités (non lisse).....	54
III.8 Résultat et simulation.....	55
III.8.1 Comparaison entre les résultats coût combustible et l'émission du réseau électrique à 10unités.....	57
III.9 Conclusion.....	59
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>60</b>

### Introduction générale

La croissance démographique et l'industrialisation sont les premiers facteurs de l'augmentation continue de la consommation d'énergie électrique. Par conséquent, pour équilibrer production et consommation, il faudra installer davantage de centrales et d'équipements électriques, mais cela nécessite :

- ✓ Excellent investissement (coût très élevé).
- ✓ Il a un effet néfaste sur l'environnement (émission de gaz).

Le réseau électrique est un lien entre les centres de production et les centres de consommation. L'énergie produite sera acheminée par des lignes hautes et très haute tension, puis des lignes de distribution (moyenne tension) et enfin par des lignes basse tension jusqu'aux derniers consommateurs selon des indicateurs de qualité.

L'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée. La production doit donc constamment s'adapter à la consommation. De même, il est nécessaire d'ajuster les puissances actives et de fonctionnement des générateurs interconnectés dans un réseau électrique dans leurs limites admissibles afin que la charge électrifiée fluctue simultanément et parfois avec une certaine protection de l'environnement, le tout à des pertes modérées

Le problème de la distribution économique de l'énergie joue un rôle très important dans le fonctionnement des systèmes électrique conventionnels afin de répartir judicieusement les énergies générées à partir de toutes les stations. Outre l'aspect économique, la solution au problème de la transformation économique permet d'assurer une sécurité aux frontières pour les producteurs et un bon transfert de compétences.

- ✓ Le coût de production,
- ✓ L'émission du gaz toxique vers l'environnement
- ✓ Les pertes totales dans les lignes de transport

Enfin, ce mémoire compose de trois chapitres présentés comme suit :

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à donner une définition générale sur le système électrique et leurs parties liés à la production, la stratégie de fonctionnement des centrales électriques, les lignes de transport ainsi que les différentes fonctions du réseau.

Dans le deuxième chapitre, nous avons donné quelques définitions et formules de base pour le problème de la répartition économique. Dans ce chapitre, nous expliquons comment résoudre le problème de transfert économique en tenant compte des pertes à l'aide de la

## Introduction générale

méthode des coefficients  $\beta$ , puis discutons des limites pratiques concernant les unités de production et l'effet de point de soupape. Zones restreintes. Effet multi-combustible. Émissions de gaz toxiques. Sécurité du générateur. Aussi, dans le deuxième chapitre, nous avons donné quelques définitions de base sur l'optimisation, diverses contraintes d'égalité et d'inégalité et leur application pour réduire les trois fonctions objectifs (problème de coût de production, dégagement de gaz toxique et pertes). Pour les transports). Des formules pour des problèmes d'optimisation à usage général avec contraintes sont introduites et discutées, et enfin nous avons également mentionné la méthode multi-vase.

Le troisième chapitre, intitulé Tests, est une application qui représente la partie pratique de notre mémoire et traite principalement en détail Le problème du dispatching économique multi-objectifs en tenant compte de la réduction des taux d'émission de gaz toxiques et l'effet de point de soupape. Nous avons utilisé dans ce travail une nouvelle méthode méta-heuristique qui est la méthode de l'optimisation multi-vers MVO Des différents résultats obtenus ont été discutés et comparés aux autres méthodes qui existent dans la littérature.

## Chapitre I : Généralités Sur Les Réseaux Électriques

### I.1 Introduction

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus utilisée au monde et l'une des plus énergie dont les humains ne peuvent se passer. Le réseau électrique repose sur un ensemble d'infrastructures visant à produire de l'énergie électrique et à la transporter vers les consommateurs. Il à été le premier à étudier le projet de réseau électrique Thomas Edison, qui créa le premier réseau électrique à courant continu en 1882 aux États-Unis Cela a permis aux scientifiques et aux inventeurs d'optimiser l'énergie. En 1885, William Stanley a inventé le premier transformateur AC et En 1888, Nikola Tesla inventa un moteur à courant alternatif. À partir de là, les réseaux de courant alternatif ont éclipsé l'avenir des réseaux à courant continu car ils fournissent plus de puissance sur de plus grandes distances, grâce à des niveaux de tension plus élevés.

Pour cela le réseau électrique doit également assurer la gestion dynamique du système production-transport et consommation, avec des ajustements conçus pour assurer la stabilité de tous. Par conséquent, davantage de réseaux devraient être développés pour garantir que la qualité d'énergie et livrée selon les normes techniques et à faible coût.

### I.1 Définition d'un réseau électrique

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et un coût raisonnable. 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. [1]

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, la structure des réseaux électriques est présentée dans **Figure I.1**

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. [2]

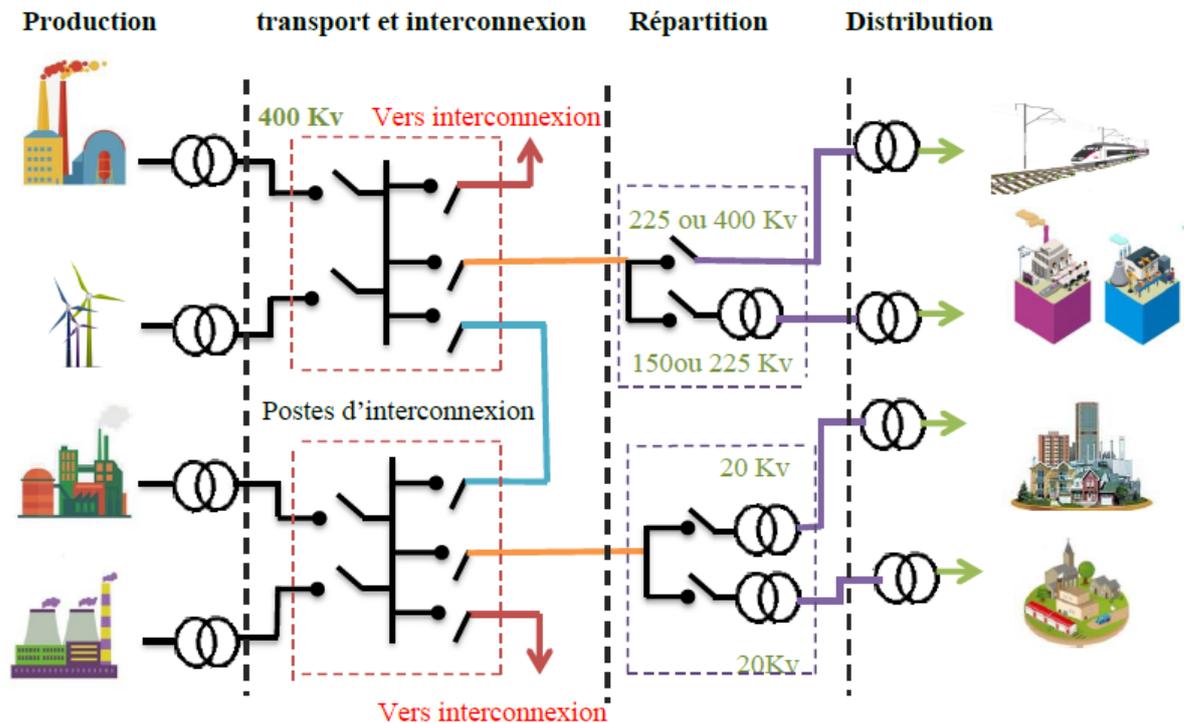
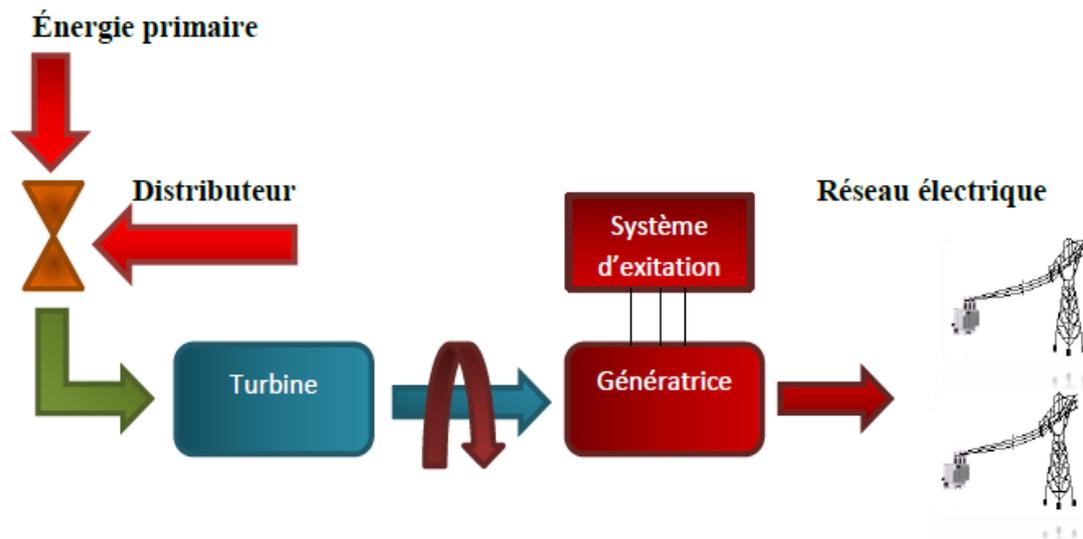


Figure I.1 : Structure des réseaux électriques.

#### ❖ Unité de production

Les grands groupes de production d'énergie électrique sont en général basés sur des alternateurs synchrones de grandes tailles entraînés par des turbines à vapeur, à gaz ou hydrauliques. Ils sont connectés sur le réseau de transport via un transformateur de groupe. [3]

Une centrale électrique établit une chaîne énergétique afin de fabriquer de l'électricité: une énergie primaire (chimique, nucléaire, mécanique, ..) subit une ou plusieurs conversions pour devenir finalement une énergie électrique. Toutes les centrales électriques possèdent un élément commun fondamental: l'alternateur qui joue le rôle de convertisseur d'énergie (sauf les centrales photovoltaïques). En effet, il convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. [4]



**Figure I.2 :** Structure de l'unité de production

### I.3 Techniques générales de la production de l'électricité

#### I.3.1 sources primaires d'énergie

Les sources d'énergie se répartissent en deux grands segments : les matières premières et les phénomènes naturels. De manière générale, les premières fournissent les énergies dites fossiles alors que les secondes fournissent les énergies dites renouvelables.

L'énergie primaire est issue de la nature avant d'être transformé. En cas de non-utilisation de la source primaire dans son état initial, elle est exploitée afin de la transformer en une source d'énergie secondaire utilisable et transportable. Voici la liste des sources d'énergie primaires :

[5]

- ✓ Uranium
- ✓ Charbon
- ✓ Hydrocarbures
- ✓ Rayonnement du soleil
- ✓ Force du vent
- ✓ Pétrole
- ✓ Gaz naturel

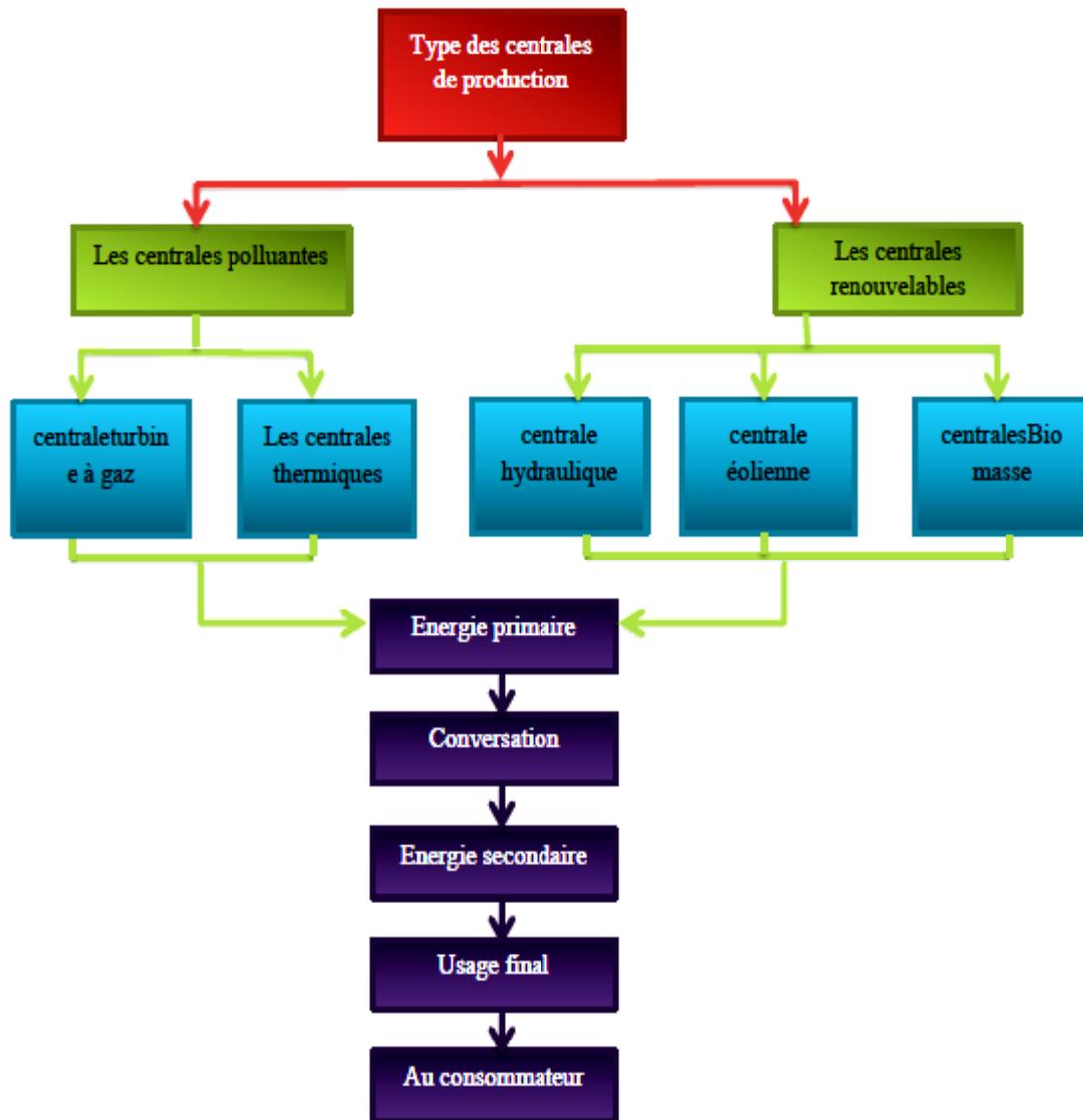
**I. 3.2 les énergies secondaires**

L'énergie secondaire est celle obtenue grâce à la transformation d'énergie. Contrairement à la source d'énergie primaire, l'énergie secondaire est plus simplement stockable, transportable et utilisable. Les énergies secondaires sont également connues sous le nom de "vecteurs énergétiques". La transformation d'énergie se fait grâce aux différentes centrales suivantes :

- ✓ Centrale nucléaire
- ✓ Centrale thermique à flamme (fossile)
- ✓ Centrale hydraulique
- ✓ Centrale éolienne
- ✓ Centrale solaire photovoltaïque
- ✓ Centrale géothermique
- ✓ Cogénération
- ✓ Centrale solaire thermique à concentration

**I.4.Type des centrales de production**

Les types de centrales électriques sont divisés en deux familles distinctes soit Les centrales polluantes et Les centrales renouvelables. La différence entre les deux est qu'il est difficile de contrôler les quantités d'électricité produite par Les centrales renouvelables contrairement aux Les centrales polluantes qui ont l'avantage de pouvoir utiliser les conditions du marché pour produire de l'électricité. [6]

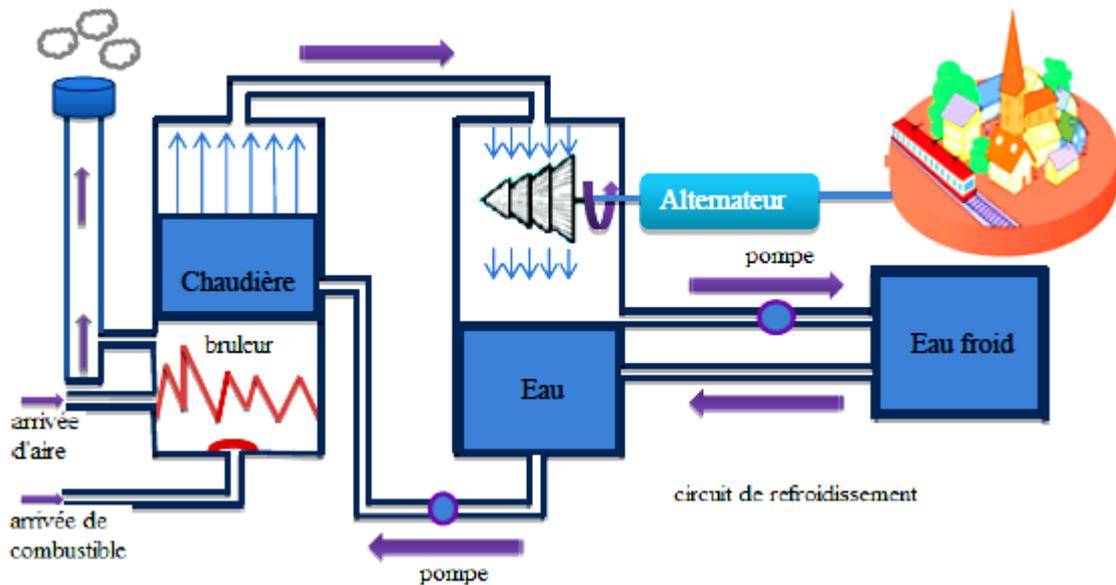


**Figure I.3 :** Organigramme représentant les étapes de la production d'électricité

## I.5. Centrales électriques classiques (thermique et nucléaire)

### I.5.1. Centrales thermiques classiques

Sont appelées également centrales thermiques à flamme, elles fonctionnent avec l'énergie produite par une chaudière à vapeur alimentée par du charbon, du gaz naturel, du fuel mais aussi de la biomasse. Cette vapeur actionne une turbine qui, à son tour, entraîne un alternateur pour produire de l'électricité. [7]

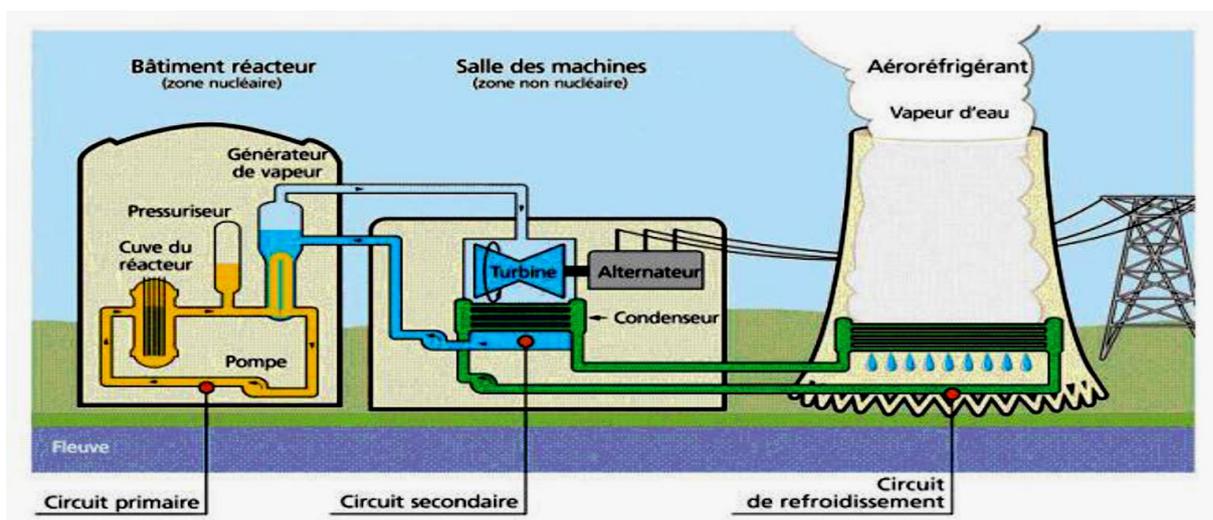


**Figure I.4 :** schéma représente le principe de fonctionnement d'une centrale thermique

### I.5.2. Centrale classiques nucléaire

Les centrales nucléaires sont des usines de production d'électricité. Ce sont des centrales thermiques dont la source de chaleur est l'énergie dégagée par la fission d'un matériau nucléaire, le combustible. Cette chaleur est transformée en énergie mécanique, puis électrique.

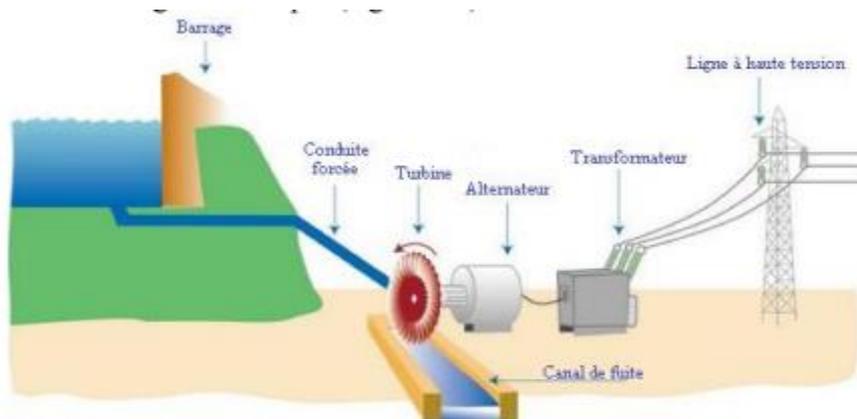
[8]



**Figure I.5 :** schéma représente le principe de fonctionnement d'une centrale Nucléaire

## I.6. Centrales hydroélectriques

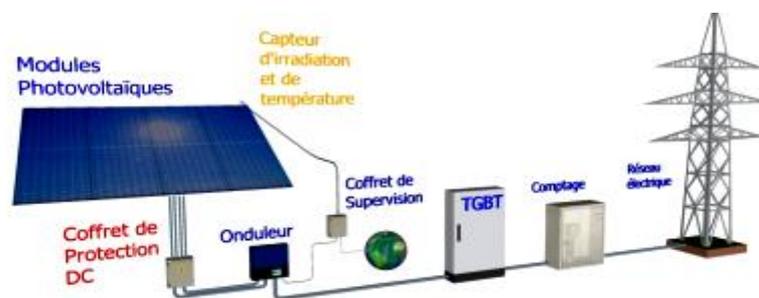
Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (figure I.6).



**Figure I.6 :** schéma représente le principe de fonctionnement d'une hydroélectrique

## I.7. Centrales solaires ou photovoltaïques

Un premier processus consiste à fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire en utilisant les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux (figure I.7). Un autre procédé utilise des miroirs pour concentrer le flux d'énergie vers un foyer où de l'eau est vaporisée pour entraîner un alternateur.

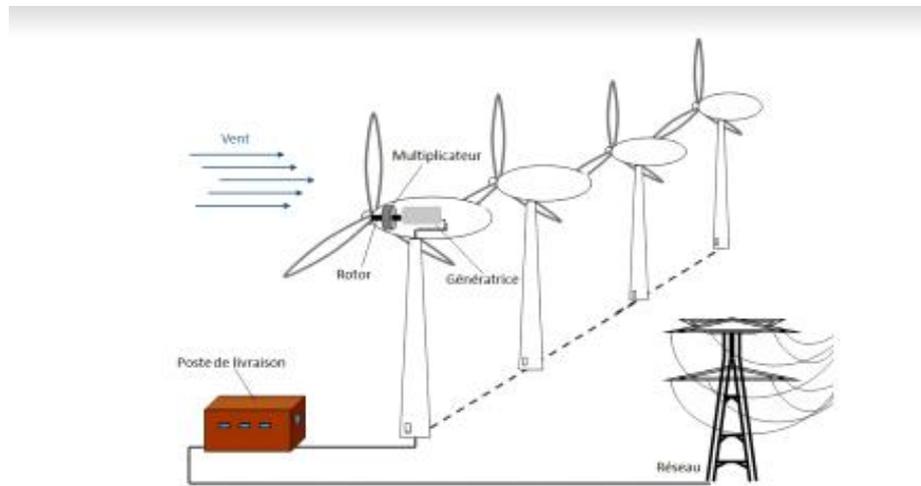


**Figure I.7:** Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque

## I.8 Centrales éoliennes

L'énergie du vent provient de celle du soleil qui chauffe inégalement les masses d'air, provoquant des différences de pression atmosphérique et donc des mouvements de circulation de l'air. L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, disponible partout (en quantités différentes) et bien sûr sans rejet polluant dans l'atmosphère.

L'éolienne transforme la puissance de translation du vent en puissance de rotation. Un alternateur est mécaniquement couplé à l'axe des pales (rotor) pour produire les tensions triphasées. Un dispositif de régulation permet d'obtenir une vitesse de rotation constante compatible avec la fréquence du réseau (50Hz), (figure I.8).



**Figure I.8:** Schéma de principe d'une production éolienne

## I.9 Le réseau de transport et de répartition

La première de ces divisions est le réseau de transport (400kV, 225kV) ou réseau de haute tension de niveau B (HTB). C'est à ce niveau de tension que sont assurées les interconnexions entre régions au niveau nationale et les échanges (importation/exportation) d'énergie électrique au niveau internationale. Sur ce réseau sont connectées les centrales de production classique comme les centrales nucléaires. Ces réseaux ont une architecture maillée, ainsi les productions ne sont pas isolées mais toutes reliées entre elles ou interconnectées, cette structure permet une sûreté de fonctionnement accrue par rapport à une structure de réseau dite radiale puisqu'elle assure la continuité du service ou d'alimentation en cas d'aléas comme la perte d'une ligne, d'une production, etc.

Le deuxième niveau de tension est le réseau de répartition (63kV, 90kV), celui-ci assure le transport des réserves en électricité composées de l'énergie puisée au réseau de transport et de productions de plus petites échelles vers les zones de consommations et à quelques gros clients industriels directement connectés à celui-ci.

La gestion de la tension et de la fréquence des réseaux de transport et de répartition est effectuée de manière centralisée.

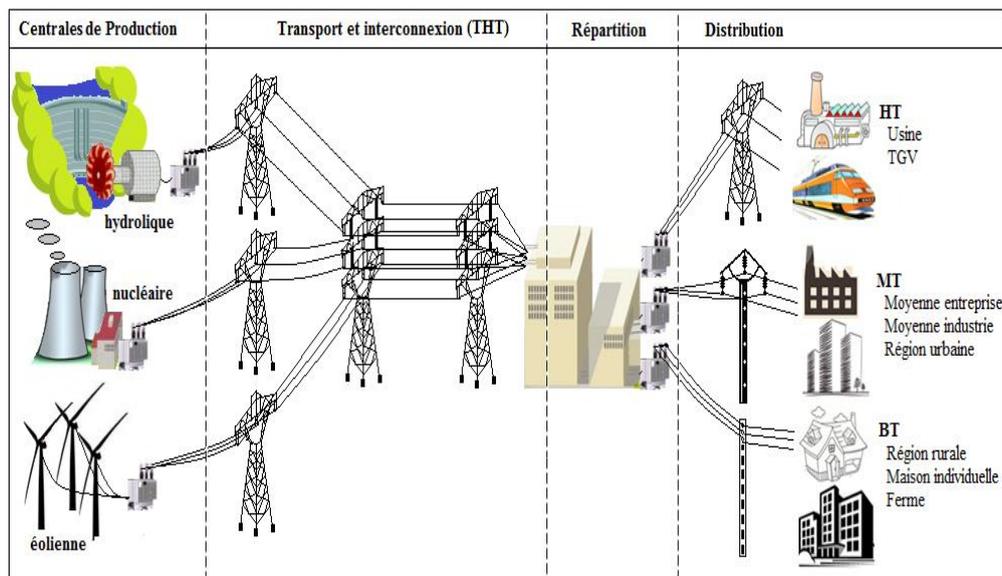
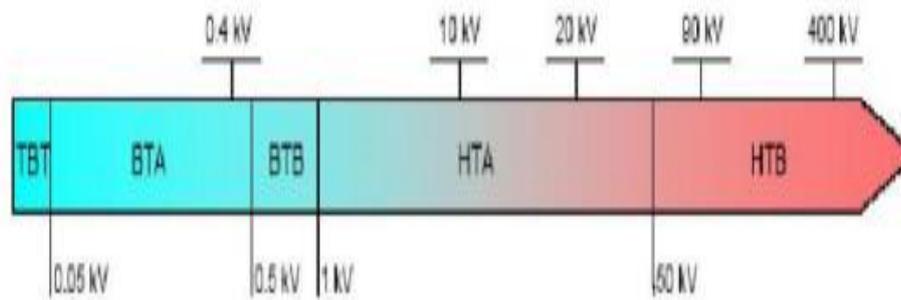


Figure I .9 : Schéma générale d'un réseau électrique

### I.10 Le réseau de distribution

La troisième et dernière subdivision est le réseau de distribution (20kV, 400V). Ce réseau a pour fonction d'alimenter l'ensemble de la clientèle principalement connectée à ce réseau. Son exploitation est gérée par un Gestionnaire de Réseau de Distribution (GRD).

Les réseaux de distribution ont principalement une structure radiale. A la différence d'une structure maillée, une structure radiale est une structure arborescente. Ainsi, le flux de puissance n'a qu'un trajet possible pour transiter du poste de transformation HTB/HTA ou HTA/BT vers le point de consommation considéré.



**Figure I.10 :** Classification des réseaux électriques selon le niveau de tension

Les niveaux de tension alternative sont définis comme suit :

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

La définition des différents niveaux de tension résulte à la fois de choix historiques et d'optimisations technico-économiques entre le coût d'installation et de maintenance des ouvrages et leur capacité à transporter l'énergie électrique du point de production au point consommateur en générant un minimum de pertes. Ainsi, le niveau de tension HTA à 20 kV s'est imposé pour la distribution car, il permet de minimiser le nombre de postes sources et de limiter les chutes de tension tout en utilisant des matériels peu exigeants en termes de tenue de tension [9].

## I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un concept général du contexte énergétique mondial. Nous avons également mentionné les différentes centrales électriques.

Depuis l'apparition des réseaux électriques ceux-ci ont toujours connu des évolutions. Ces évolutions avaient pour but majeur d'améliorer le fonctionnement des réseaux.

L'insertion à grande échelle de la production décentralisée dans les années à venir semble énergétiquement et économiquement intéressante

## Chapitre II: Formulation du problème de dispatching économique

### I.1 Introduction

Le but principal du dispatching économique est de trouver la contribution en puissance de chaque unité de génération du système électrique, de sorte que le coût total de production soit minimisé le plus possible pour n'importe quelle condition de charge tout en respectant les contraintes physiques de ces générateurs.

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

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

#### II.1.1 Historique

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 considérant 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][11]

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 [12].

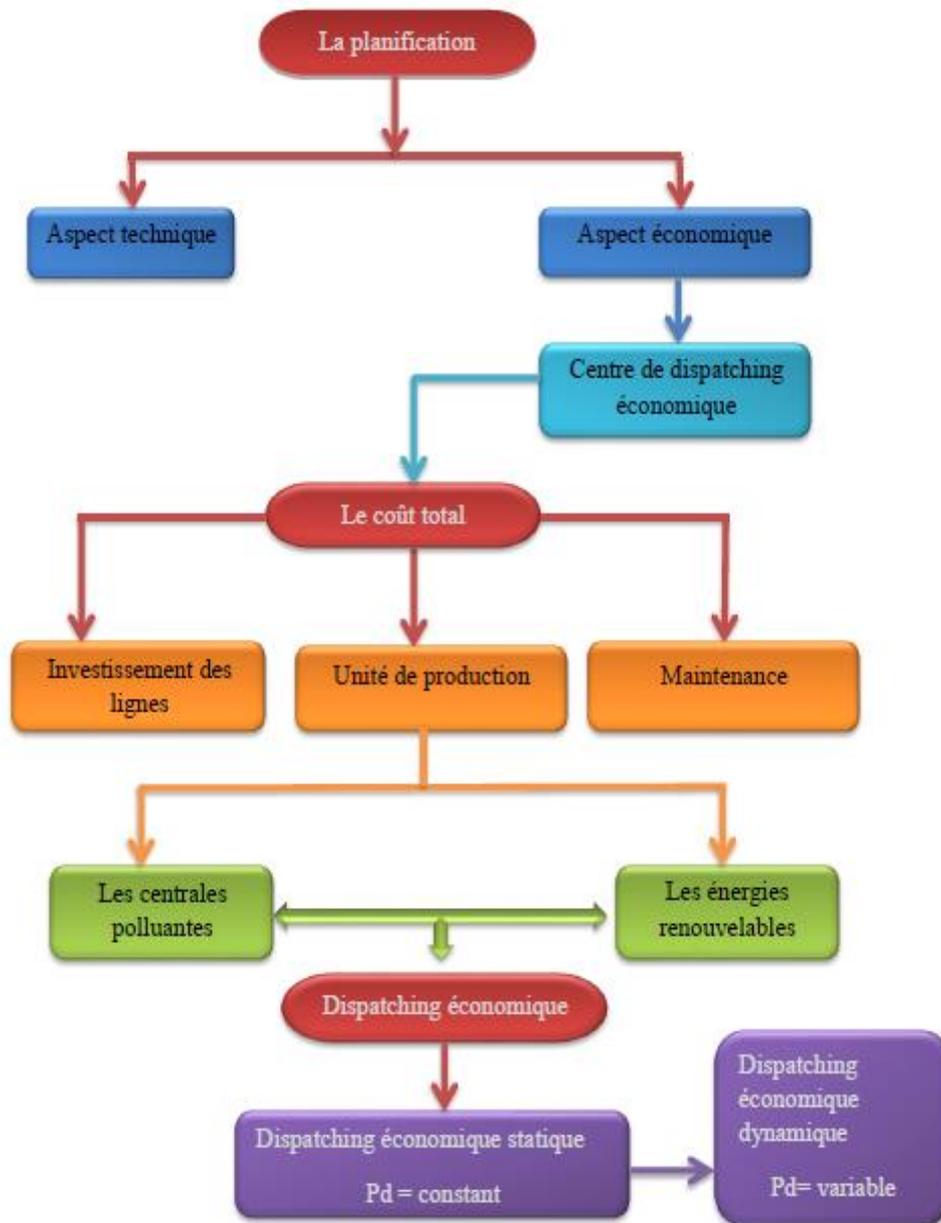
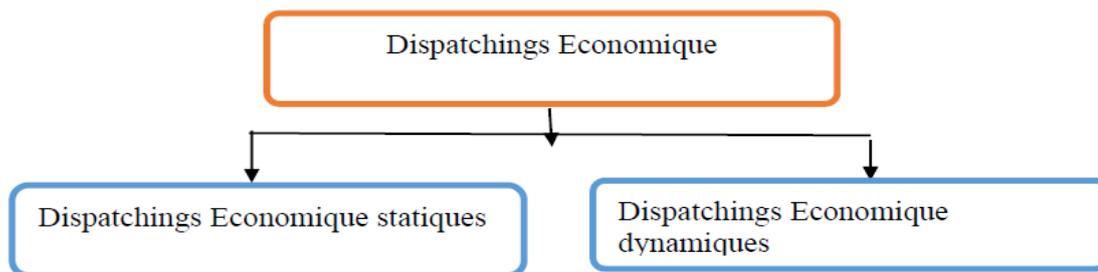


Figure II.1 : Classification du problème de planification de la puissance active.

II.3 Dispatching 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 [13].



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

#### II.4 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 [13].

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 inclure 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 [14].

## II.5 Le dispatching économique dynamique

Le dispatching économique dynamique (DED) est une extension du problème de dispatching économique qui vise à programmer les unités thermiques en service avec la demande de la charge prévue au cours d'une période de planification donnée à un coût d'exploitation minimum [32]. Le problème de dispatching économique dynamique est la minimisation de cout de production de N unité thermique sur une période de planification « T »

On tient compte des contraintes suivantes:

- ✓ Contrainte d'équilibre ou balance de puissance :

La production totale dans un intervalle de temps « t » doit satisfaire la demande et les pertes de transport. Cette contrainte est exprimée par :

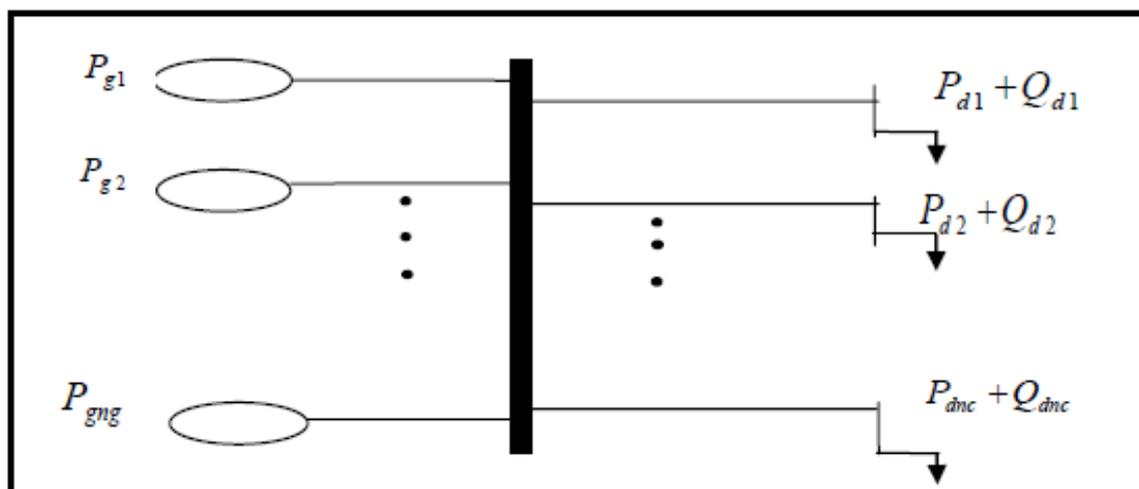
$$\sum_{i=1}^{ng} Pt - Pl - Pd = 0 \quad (\text{II.15})$$

## 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 [15]. 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 [14].

## II.7 l'objectif du dispatching économique

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



**Figure II.3 :** Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique

## II.8. Généralités sur le dispatching économique

### II.8.1 La fonction de coût

Le coût de production d'une centrale est généralement modélisé par une fonction polynomiale du second degré en PG (puissance active générée par la centrale) dont les coefficients sont des constantes propres à chaque centrale [19].

Par conséquent, le coût de la puissance générée est modélisé sous la forme d'une équation polynomiale quadratique :

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

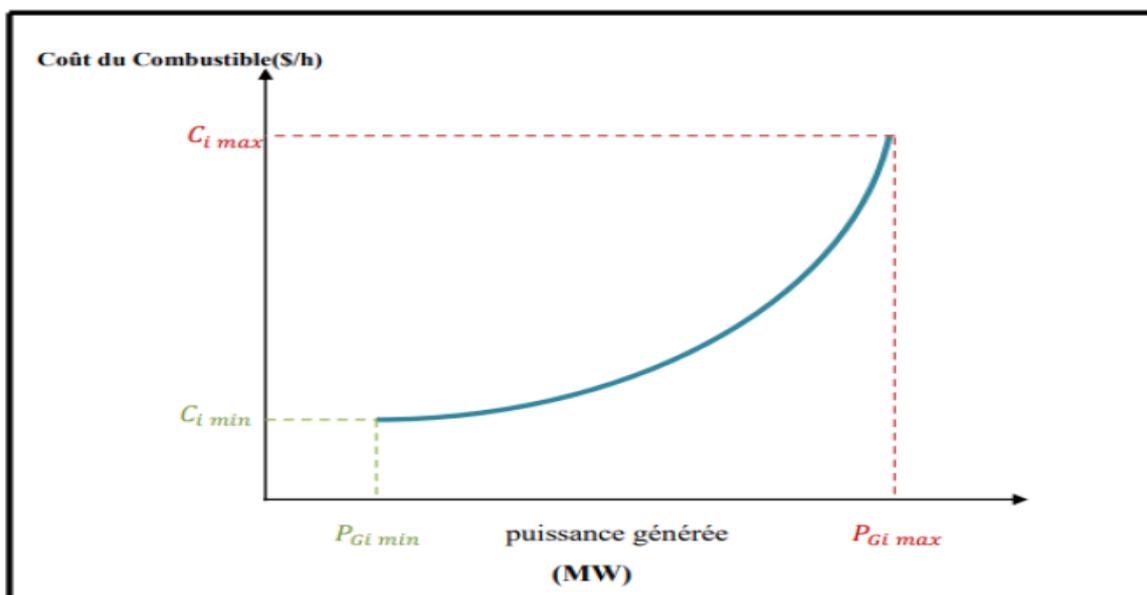
Avec :

C : 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.

Où Pg est la puissance générée (en MW) par la centrale considérée et a, b et c des coefficients constants propres de la centrale qui sont obtenu par l'expérience.



**Figure II.4 :** La variation du coût en fonction de la puissance générée.

Le coût de l'énergie à l'entrée du générateur, est évalué en (KDA/hr), ou (\$/MW), qui représente la quantité de fuel ou de combustible nécessaire pour le fonctionnement de la chaudière [17].

Pour un système de production d'énergie électrique composée de plusieurs centrales, le coût total de la production de ce système est :

$$C_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^{ng} C_i \quad [\$/h]. \text{(II.2)}$$

Cette fonction représente la fonction Objectif de notre étude qu'il faudra minimiser afin d'obtenir un fonctionnement optimal.

### II.8.2 Minimisation des coûts de génération

Le but principal du dispatching économique est la minimisation du cout de production de chaque générateur et donc le cout total. D'autre part, on sait trèsbien que les facteurs influençant sur le cout sont résumés en trois points essentiels :

- ✓ le rendement de fonctionnement des générateurs.
- ✓ le cout du combustible.
- ✓ les pertes dans les lignes de transmission.

Et pour minimiser la fonction de cout, on peut ajuster sur l'un des points précédents. Cette minimisation peut être traduite par la condition suivante :

$$\text{Min } (F_t) = \text{Min } \left( \sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_{gi}) \right) \text{ avec } F = \sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_{gi}) \text{(II.3)}$$

Ng: Le nombre des générateurs.

F : La fonction de cout total de la production

### II.9 Les contraintes

Les puissances actives générées optimales correspondant à un coût minimal, doivent obligatoirement respecter les contraintes de type égalité et inégalité. Les contraintes de sécurité expriment qu'en cas de perte d'un ou plusieurs ouvrages de production et/ou de transport, le réseau continu à fonctionner dans des limites admissibles [18].

### II.9.1 Les contraintes d'égalité

Dans le dispatching économique, la fonction objective à minimiser est le coût total de production des générateurs, de telle sorte que la charge électrique du système soit entièrement satisfaite. On peut dire que les contraintes d'égalités vérifient la loi de Kirchhoff, bilans d'énergie. [14]

➤ **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 [19] :

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{gi} = P_d \quad (\text{II.4})$$

➤ **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 [19] :

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

### II.9.2 Les contraintes d'inégalités

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

$$P_{gi} (\min) \leq P_{gi} \leq P_{gi} (\max) \quad i, 1, 2, \dots, \quad (\text{II.6})$$

Il faut bien évidemment respecter les valeurs limites de productions des centrales pour le maintien de la sécurité du système. Donc, les contraintes d'inégalité s'intéressent par le domaine de fonctionnement admissible, possible (limitation des ressources, sécurité...) [20].

## II.10 Pertes de transmission

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 [21].

$$PL = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} B_{ij} P_{Gj} + \sum_{j=1}^{NG} B_{0i} P_{Gj} + B_{00} \quad (\text{II.7})$$

$B_{ij}$ ,  $B_{0i}$  et  $B_{00}$  : sont les coefficients de perte ou B-coefficients.

$B_{0i}$  : facteur linéaire variable.

$B_{00}$  : Facteur constant.

**B-Coefficients:** on les appelle aussi les coefficients de perte, supposés constants pour une base gamme de charges, et une précision raisonnable est attendue lorsque les conditions de fonctionnement réelles sont proches de la base conditions de cas utilisées pour calculer les coefficients. Ils sont généralement représentés par  $B_{ij}$ .

## II.11 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.11.1 Caractéristique avec l'effet d'ouverture des vannes

D'habitude les grandes centrales thermiques disposent de plusieurs vannes d'admission de vapeur, qui sont utilisées pour le contrôle de la puissance générée. 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 de combustible. Avec l'ouverture graduelle de la vanne, ces pertes diminuent progressivement jusqu'à ce que la vanne soit complètement ouverte. [22]

La figure (II.5) présente la courbe de coût typique d'une unité thermique avec trois vannes d'admission de vapeur. Les points A, B et C sont des points de fonctionnement lorsque les vannes sont ouvertes. L'effet d'ouverture de vannes est souvent modélisé comme rectification de la fonction quadratique de base par l'ajout d'une composante sinusoïdale [25][23][24]

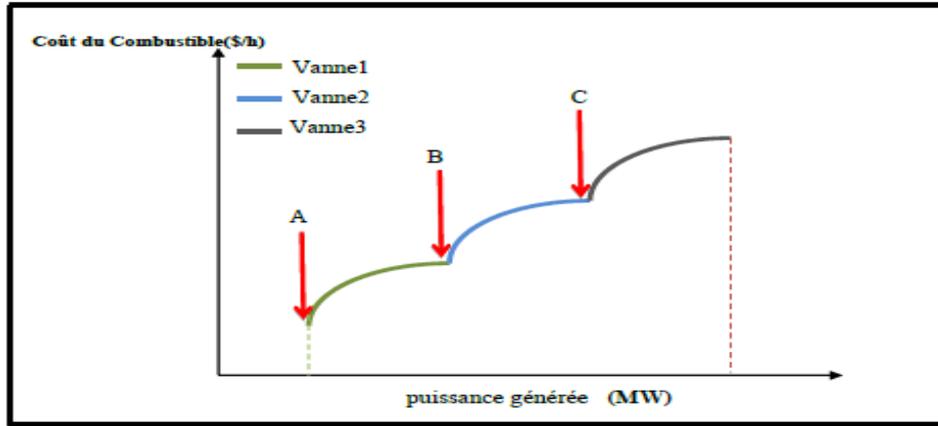


Figure II.5 : Effet de l'ouverture des vannes pour une unité thermique.

L'effet d'ouverture de vanne est souvent modélisé en ajoutant une composante sinusoïdale à la fonction quadratique de base [26].

$$(P_{gi}) = \sum_{i=1}^{NG} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + |e_i \sin(d_i(P_{gi}^{min} - P_{gi}))|) \text{ (\$/h)} \quad (II.8)$$

### II.11.4 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. [30]

→ L'émission atmosphérique peut être représentée par une fonction qui relie les émissions avec la puissance générée par chaque unité. L'émission de SO<sub>2</sub> dépend de la consommation de carburant et a pour effet la même forme que le (coût du carburant).

→ L'émission de NO<sub>x</sub> 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 SO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> est une fonction de la puissance du générateur et est exprimée comme suit. [14]

$$Fe = \sum_{i=1}^{NG} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + d_i \exp(e_i P_{gi})) \text{ (\$/h)} \quad (II.11)$$

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

### II.11.5 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 pré

### II.12 Le modèle mathématique de dispatching environnemental

La quantité des émissions des gaz toxiques peut être mathématiquement représentée comme fonction des puissances électriques générées. [31].

- Fonction quadratique:

$$E_i(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i \quad (\text{II.12})$$

- Fonction cubique:

$$E_i(P_i) = \alpha_i P_i^3 + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 + \sigma_i \quad (\text{II.13})$$

- Fonction avec l'effet des vannes :

$$E_i(P_i) = \alpha_i P_i^2 + \beta_i P + \gamma_i + \eta_i \times \exp(\delta_i \times P_i) \quad (\text{II.14})$$

### II.13 Définition de l'optimisation

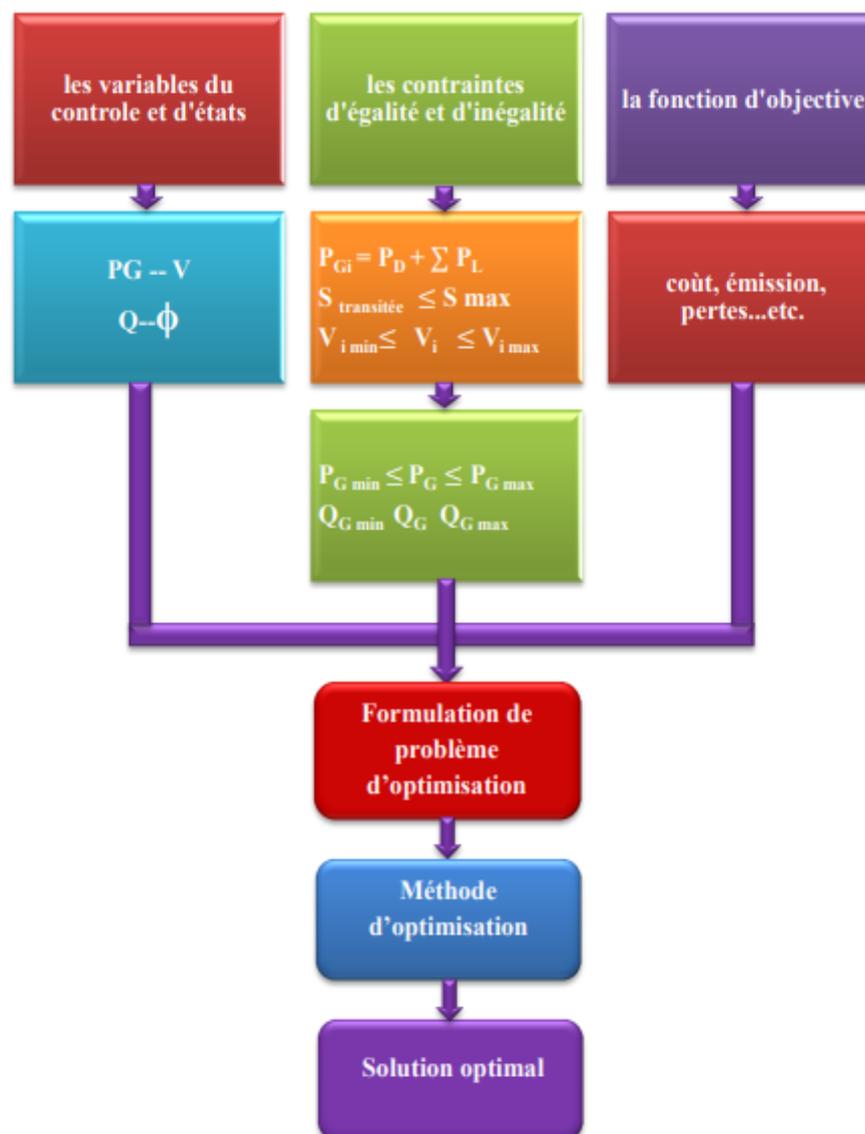
Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum (de l'optimum) d'une fonction donnée [40]. On peut aussi trouver des problèmes d'optimisation pour lesquelles les variables de la fonction à optimiser sont contraintes

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. [41]

Donc optimiser, revient à minimiser ou maximiser une fonction en respectant certaine condition préalable. Cette fonction dite « Objectif » peut être un cout (minimiser), profit (maximiser), production (maximiser). Les fonctions objectifs sont diverses ainsi que les contraintes (conductions) selon le problème à optimiser. [41]

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 optimal acceptable.

Dans la figure suivante nous allons expliquer quelles conditions exigées pour pouvoir formuler un problème d'optimisation et la possibilité d'obtenir une solution optimale.



**Figure II.8:** schéma bloc représente les conditions exigées pour pouvoir formuler un problème d'optimisation.

## II.14L'optimisation multi-objective

La formulation précédente était relative à un problème dans lequel on recherchait un optimum pour une fonction objectif ( $f$  dans l'expression précédente). Cependant, lorsque l'on modélise un problème, on cherche souvent à satisfaire plusieurs objectifs. Par exemple, on veut un système performant et on veut aussi que ce système consomme peu. Dans ce cas, on parle de problème d'optimisation multi-objective (ou problème d'optimisation multicritère). [33]

Un problème multi-objectif ou multicritère peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes et optimise un vecteur de fonctions objectives. Par la suite, nous allons voir que les problèmes d'optimisation ont en général plusieurs solutions car la définition d'un optimum ne peut pas être établie dans les problèmes multi objectifs. [34]

### II.14.1 Fonction multi-objective

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

$$Fe = \sum_{i=1}^{NG} (\alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2 + \xi_i \exp(\lambda_i P_{gi})) (\$/h) \quad (II.19)$$

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  $\alpha_i, \dots, \xi_i$  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 :

$$H(pgi) = \sum_{i=1}^{NG} (\alpha_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 + (\alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2 + \xi_i \exp(\lambda_i P_{gi})) (\$/h) \quad (II.20)$$

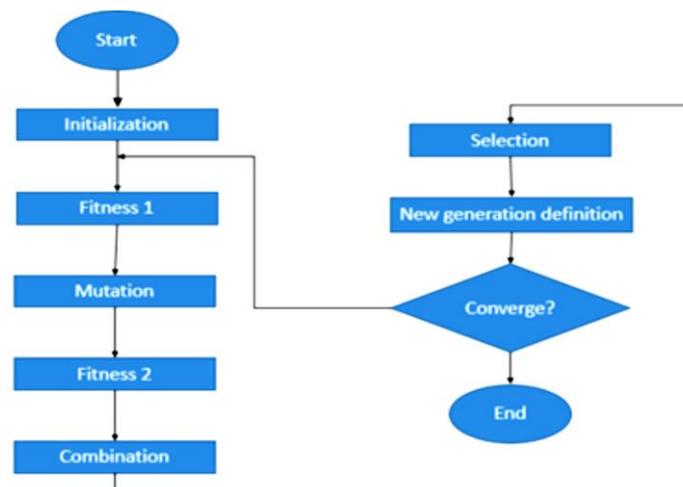
Le critère de l'optimisation multi-objective a été formulé en se basant sur l'équation sous dessous : Avec  $h$  est une valeur appartient à l'intervalle  $[0 \ 1]$

$$H(pgi) = (1-h) * f(pgi) + h*(pgi) \quad (II.21)$$

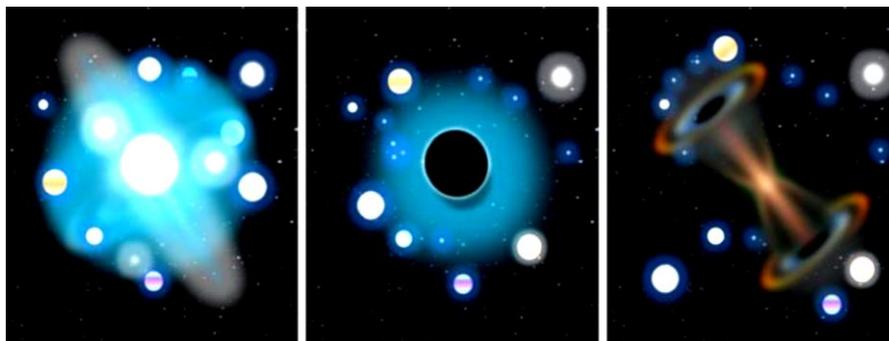
L'optimisation multi objectives consiste à minimiser simultanément et le coût et l'émission et qui tient en compte toutes les contraintes pratiques et de sécurités [29]

## II. 15 Optimisation du multivers (MVO) [39]

La technique MVO a été proposée pour la première fois par Seyedali Mirjaliliin 2016[39]. Elle a été inventée pour simuler le comportement des trous blancs, des trous de ver et des trous noirs. Ces trous sont représentés dans la Figure II.9. Un trou blanc n'existe pas réellement dans l'univers, mais certains scientifiques astronomes ont supposé que le Big Bang pouvait agir comme un trou blanc qui a entraîné l'occurrence du Big Bang. Dans une théorie du multivers, on suppose que les parallèles se sont heurtés les uns aux autres lorsque le Big Bang s'est produit. Un trou noir, qui a le rôle opposé d'un trou blanc, a absorbé tous les objets et les planètes qui l'entourent avec sa force de gravité [44]. Les trous de ver sont des trous interconnectés aux différents coins d'un univers. Dans la théorie du multivers, les trous de ver agissent comme un chemin de voyage dans le temps ou l'espace, où les objets peuvent se déplacer instantanément d'une partie à n'importe quelle autre partie d'un univers.



**Figure II. 9 :** Algorithme de programmation évolutionnaire



**Figure II.10** : Image d'un trou blanc, d'un trou noir et d'un Wormhole

Cette opération est réalisée selon la formule.

$$x_j^i = \begin{cases} X_j + TDR \times \{(ub_j - lb_j) \times r3 + lb_j\} & r2 < 0.5 \quad r1 < WEP \\ X_j - TDR \times \{(ub_j - lb_j) \times r3 + lb_j\} & r2 \geq 0.5 \quad r1 < WEP \\ x_j^i & r1 \geq WEP \end{cases}$$

(II.21)

Parmi eux,  $x_j^i$  représente le j-émet objet du i-émet univers, qui équivaut au j-émet Composant de la i-émet solution.  $X_j$  représente le Jaime objet dans l'univers optimal actuel,  $ub_j$  et  $lb_j$ , sont les bornes supérieure et inférieure de l'objet  $x_{ji}$ , et  $r1$ ,  $r2$  et  $r3$  sont des nombres aléatoires dans la plage de  $[0,1]$ .  $WEP$  et  $TDR$  sont deux paramètres importants.  $WEP$  représente la probabilité de l'existence de trous de ver dans l'espace multivers, et  $TDR$  représente la longueur de pas de l'objet se déplaçant vers l'univers optimal actuel. Ils sont mis à jour selon la formule (II.22) et la formule (II.23)) respectivement.

$$WEP = WEP_{\min} + \frac{time}{\max time} \times (WEP_{\max} - WEP_{\min}) \quad (II.22)$$

$$TDR = 1 - (time / \max time)^{1/6} \quad (II.23)$$

Où  $time$  est le nombre actuel d'itérations et  $\max time$  est le nombre maximum d'itérations. Lorsque  $\max time = 500$ , la valeur  $TDR$  diminue de manière concave de 0,6 à 0.  $WEP_{\min} = 0,2$ ,  $WEP_{\max} = 1$ ,  $WEP$  augmente linéairement de 0,2 à 1.

### II.15.1 Amélioration de l'initialisation de la population

L'initialisation de la population utilise généralement des fonctions correspondantes pour générer aléatoirement des chromosomes selon les codes chromosomiques conçus. Ces chromosomes sont tous des solutions réalisables au problème d'optimisation, et ils constituent

ensemble la population initiale en tant qu'individus initiaux. Quand générer la population initiale, en plus d'assurer la probabilité aléatoire, pour améliorer les performances de l'algorithme, le traitement suivant est souvent nécessaire : d'abord, rendre la population initiale aussi répartis dans l'espace des solutions autant que possible pour éviter de tomber dans l'optimum local ; Quelques méthodes simples sont utilisés pour cribler préalablement les solutions initiales générées et éliminer la partie la plus pauvre de la solution.

Cet article tire les leçons de la stratégie d'apprentissage par opposition proposée dans la littérature [45] et propose une méthode pour générer une solution initiale uniformément distribuée. Tout d'abord, générez une première population de solutions  $N$  réparties aléatoirement selon la formule (II.24).

Chaque solution est un vecteur  $D$ -Dimensionnel, c'est-à-dire  $X_{ji} = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_D^i)$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ . Alors selon la formule (II.25),  $N$  opposé solutions d'apprentissage  $(X_j^i)^t$  correspondant aux solutions initiales sont générées. De cette manière,  $2N$  initial des solutions sont générées. Selon leur fitness descendante, les  $N$  premières solutions sont sélectionnées comme solutions initiales de l'algorithme.

$$x_j^i = lb_j + rand(0,1)(ub_j - lb_j) \quad (II.24).$$

$$(x_j^i)^t = lb_j + ub_j - x_j^i \quad (II.25).$$

Où  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ ,  $ub_j$  et  $lb_j$  sont les bornes supérieure et inférieure de la  $j$ -ème dimension du vecteur, respectivement.

### II.15.2 Amélioration du TDR

Dans l'algorithme MOMVO, l'optimisation de l'algorithme repose principalement sur le trou noir à traverser par le trou de ver et voyager dans l'univers optimal. Le taux de distance parcouru TDR est une variable importante pour coordonner les capacités d'exploration et de développement d'algorithmes, et c'est le paramètre principal qui affecte l'optimisation de base de l'algorithme MOMVO. Mais la valeur TDR dans l'algorithme MOMVO est réduite de manière concave de 0,6 à 0, et la plage de changement est trop étroite. On peut voir à partir de l'équation (II.21) qu'une valeur TDR plus élevée est propice aux capacités d'exploration

globales, et qu'une valeur TDR plus petite est propice au développement local en profondeur. Ici, la tendance itérative plus rapide devrait être maintenue dans le stade précoce de l'itération pour l'exploration globale, et une tendance itérative plus lente devrait être maintenue dans la dernière étape de l'itération pour le développement local. Par conséquent, ce document propose ce qui suit facteur de convergence non linéaire :

$$TDR = [\log_2(-time / \max time + 2)]^6 \quad (II.26).$$

### II.15.3 Amélioration de la stratégie de leadership d'élite

Étape 1 : Initialiser le nombre N d'univers, WEP, TDR, maxime, etc.

Étape 2 : Générer tous les univers de la population de première génération selon les formules (II.24) et (II.25).

Étape 3 : Calculez la valeur de fitness de chaque population d'univers.

Étape 4 : Obtenez la valeur de fitness optimale actuelle et l'univers optimal et enregistrez-les.

Étape 5 : entrez dans la boucle principale. Mettre à jour les valeurs de WEP et TDR selon les formules (II.22) et (II.26).

Étape 6 : Mettre en œuvre le mécanisme de la roulette.

Étape 7 : Mettre à jour les univers selon la formule (II.21) pour obtenir la population d'univers mise à jour.

Étape 8 : Calculer l'univers optimal de la nouvelle population d'univers. Si c'est mieux que l'actuel univers optimal, remplacez-le, sinon, l'univers optimal actuel est toujours conservé.

Étape 9 : Si le nombre actuel d'itérations atteint le nombre maximum d'itérations, quittez le boucler et produire la forme physique optimale et l'univers optimal ; sinon, retournez à l'étape3.

L'algorithme MVO simule le concept de l'univers en configurant le nombre d'univers souhaitables, comprenant les fonctions de données et le nombre d'itérations maximum. L'algorithme MVO est illustré dans la Figure II.11. MVO va produire l'inflation de l'univers,

le trier et normaliser les données. Cela mettra automatiquement à jour la position de chaque univers et calculera la valeur de la probabilité d'existence des trous de ver (WEP) et du taux de distance de déplacement (TDR) de chaque univers. L'algorithme de sélection de la roue de roulette (RWS) est utilisé pour créer des indices de trous blancs en fonction des valeurs de WEP et TDR. Ensuite, le moteur d'optimisation mettra à jour la courbe de convergence et créera le graphique de convergence.

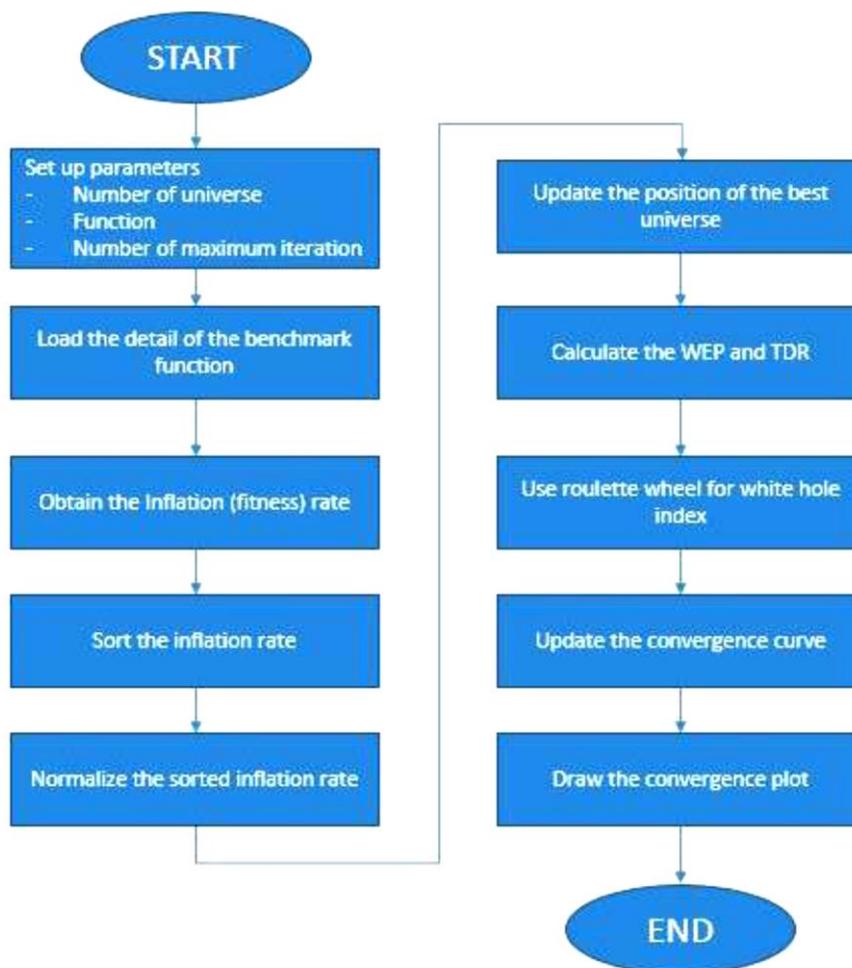


Figure II.11 : Processus de MVO

## II.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté Formulation du problème de dispatching économique, les fonctions objectives, les contraintes liés au problème ainsi que les méthodes méta-heuristiques Multivers MVO adoptée pour résoudre notre problème (qui sera un problème multi-objectif).

### Chapitre III : Résultats et interprétations

#### III.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats numériques relatives à l'application multi-verse, pour optimiser la fonction d'émission des gazes toxiques, les pertes de transmissions et le cout total de production pour Fonction lisse, et Fonction non lisse, Dans notre travail il y'a plusieurs tests seront proposés.

Le calcul sera fait en utilisant Multi-verse qui est bien définie dans ce chapitre ainsi que son principe de fonctionnement et son application à la résolution du problème de dispatching économique.

#### III.2 Optimisation multi-objectif

L'optimisation multi-objective nous aide à trouver un compromis entre deux ou trois fonctions objectifs en même temps à chaque fois.

Nous appliquerons notre travail à un programme écrit dans l'environnement MATLAB.

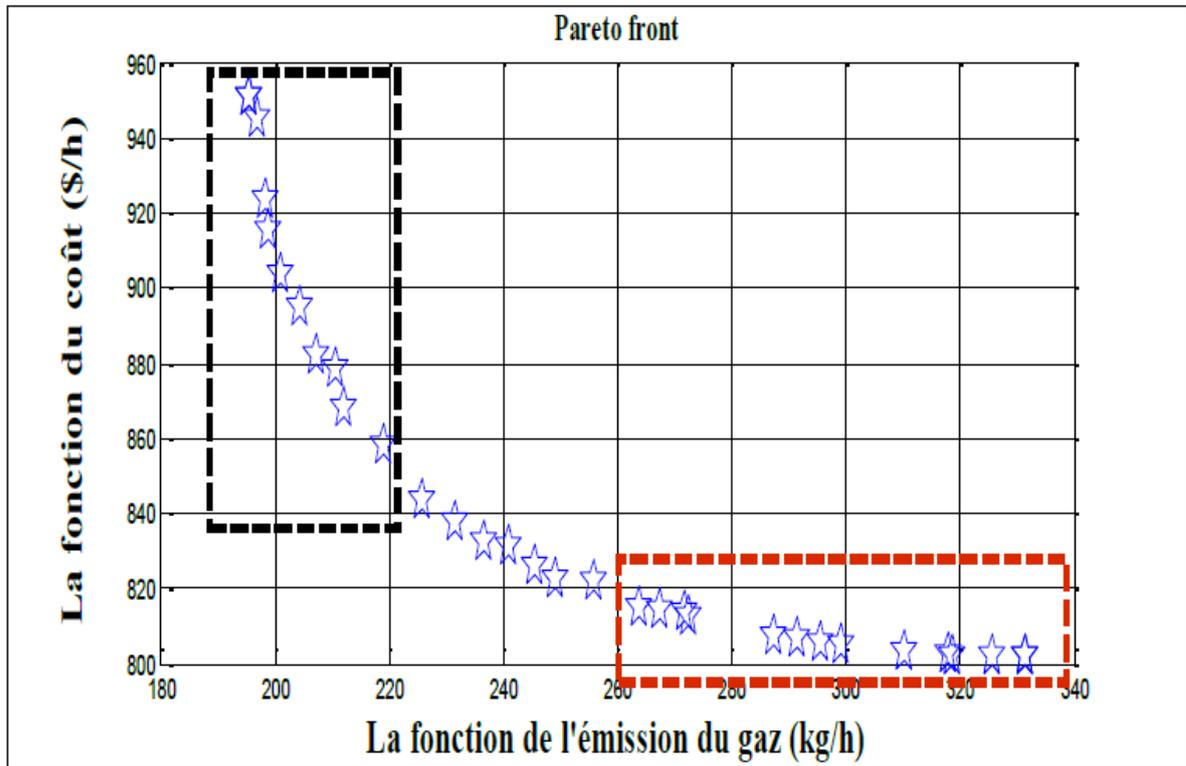
Nous avons utilisée code source de Seyedali, Mirjalili [39] et la

Paramètres de la méthode : la taille de la population et le nombre maximal d'itérations étaient respectivement de 80 et 500.

#### III.4 Minimisation (cout de production, émission de gaz toxique)

Dans ce cas, on a appliqué notre programme développé pour la minimisation multi-objectif de deux fonctions objectives: coût et émission de gaz toxique.

La figure suivante présente un front de Pareto qui contient des valeurs des deux fonctions objectives à minimiser (cout de production et émission des gazes toxique).



**Figure III.1 :** résultats d'optimisation multi-objective (les fonctions coût, émission).

Les points qui sont dans le rectangle rouge sont des solutions optimal de la fonction du coût pour les qu'elle la fonction de l'émission du gaz sera divergé. Par contre les points qui sont dans le rectangle noir ce sont des solutions optimal de la fonction de l'émission pour les qu'elle la fonction du coût de production sera divergé. Et les points entre eux ce sont les solutions optimale pour les deux fonctions objectives (coût et émission) en même temps ces solutions représentes des compromis entre les deux fonctions.

### **III.5 Dispatching économique avec pertes**

#### **III.5.1 Estimation des partes par la Méthode du ‘B-Coefficient’ $\mu$ [46]**

Afin de démontrer l’impact des pertes sur le cout total, dans cette partie les pertes sont estimés par la méthode de B coefficient. Ces pertes sont estimées par une matrice donnée comme suit :

0.000049	0.000014	0.000015	0.000015	0.000016	0.000017	0.000017	0.000018	0.000019	0.000020
0.000014	0.000045	0.000016	0.000016	0.000017	0.000015	0.000015	0.000016	0.000018	0.000018
0.000015	0.000016	0.000039	0.000010	0.000012	0.000012	0.000014	0.000014	0.000016	0.000016
0.000015	0.000016	0.000010	0.000040	0.000040	0.000010	0.000011	0.000012	0.000014	0.000015
0.000016	0.000017	0.000012	0.000014	0.000035	0.000011	0.000013	0.000013	0.000014	0.000016
0.000015	0.000015	0.000012	0.000010	0.000011	0.000035	0.000012	0.000012	0.000016	0.000015
0.000017	0.000015	0.000014	0.000011	0.000013	0.000012	0.000038	0.000016	0.000016	0.000018
0.000018	0.000016	0.000014	0.000012	0.000013	0.000012	0.000016	0.000040	0.000015	0.000016
0.000019	0.000018	0.000016	0.000014	0.000015	0.000014	0.000016	0.000015	0.000042	0.000019
0.000020	0.000018	0.000016	0.000015	0.000016	0.000015	0.000018	0.000016	0.000019	0.000044

**Tableau II.1 : matrice Coefficients B (10 unités)**

### III.6 Résultats Obtenues

#### III.6.1 Réseau test 1 : 10 unités (lisse)

Le premier test est accompli sur un réseau électrique, Constitué de 30 jeux de barres 10 générateurs, puissance demandée pour ce réseau test vaut 2000 MW

Les coefficients de la fonction de coûts de production du réseau électrique à 10 unités. Et les limites min et max des puissances actives des 10 générateurs sont donnés dans le tableau

<b>J.D.B</b>	<b>P<sub>gi</sub></b>		<b>Coefficients de coût</b>		
	<b>P<sub>min</sub>(MW)</b>	<b>P<sub>max</sub>(MW)</b>	<b>C (\$/(MW)<sup>2</sup>h)</b>	<b>b (\$/MWh)</b>	<b>a (\$/h)</b>
<b>1</b>	10	55	0.12951	40.5407	1000.403
<b>2</b>	20	80	0.10908	39.5804	950.606
<b>3</b>	47	120	0.12511	36.5104	900.705
<b>4</b>	20	130	0.12111	39.5104	800.705
<b>5</b>	50	160	0.15247	38.539	756.799
<b>6</b>	70	240	0.10587	46.1592	451.325
<b>7</b>	60	300	0.03546	38.3055	1243.531
<b>8</b>	70	340	0.02803	40.3965	1049.998
<b>9</b>	135	470	0.02111	36.3278	1658.569
<b>10</b>	1150	470	0.01799	38.2704	1356.659

**Tableau II.2:** Les données coûts de production du réseau électrique à 10 unités.

<b>J.D.B</b>	<b>P<sub>gi</sub></b>		<b>Coefficients de coût d'émission</b>				
	<b>P<sub>min</sub>(MW)</b>	<b>P<sub>max</sub>(MW)</b>	<b>C(\$/h)</b>	<b>B(\$/MWh)</b>	<b>A(\$/(MW)<sup>2</sup>h)</b>	<b>ξ (\$/h)</b>	<b>λ (\$/h)</b>
1	10	55	4.702	-398.64	36000.12	0.25475	0.01234
2	<b>20</b>	<b>80</b>	4.652	-395.24	35000.56	0.25475	0.01234
3	<b>47</b>	<b>120</b>	4.652	-390.23	33000.56	0.25163	0.01215
4	<b>20</b>	<b>130</b>	0.420	390	33000.56	0.25163	0.01215
5	<b>50</b>	<b>160</b>	0.420	+023.77	1385.93	0.2497	0.012
6	<b>70</b>	<b>240</b>	0.680	+032.77	1385.93	0.2497	0.012
7	<b>60</b>	<b>300</b>	0.680	-054.55	4026.69	0.248	0.0129
8	<b>70</b>	<b>340</b>	0.680	-054.55	4026.69	0.2499	0.01203
9	<b>135</b>	<b>370</b>	0.460	-051.12	4289.55	0.2547	0.01234
10	<b>150</b>	<b>370</b>	0.460	051.12	4289.55	0.2547	0.01234

**Tableau III.3:** Les données coûts d'émission du réseau électrique à 10 unités.

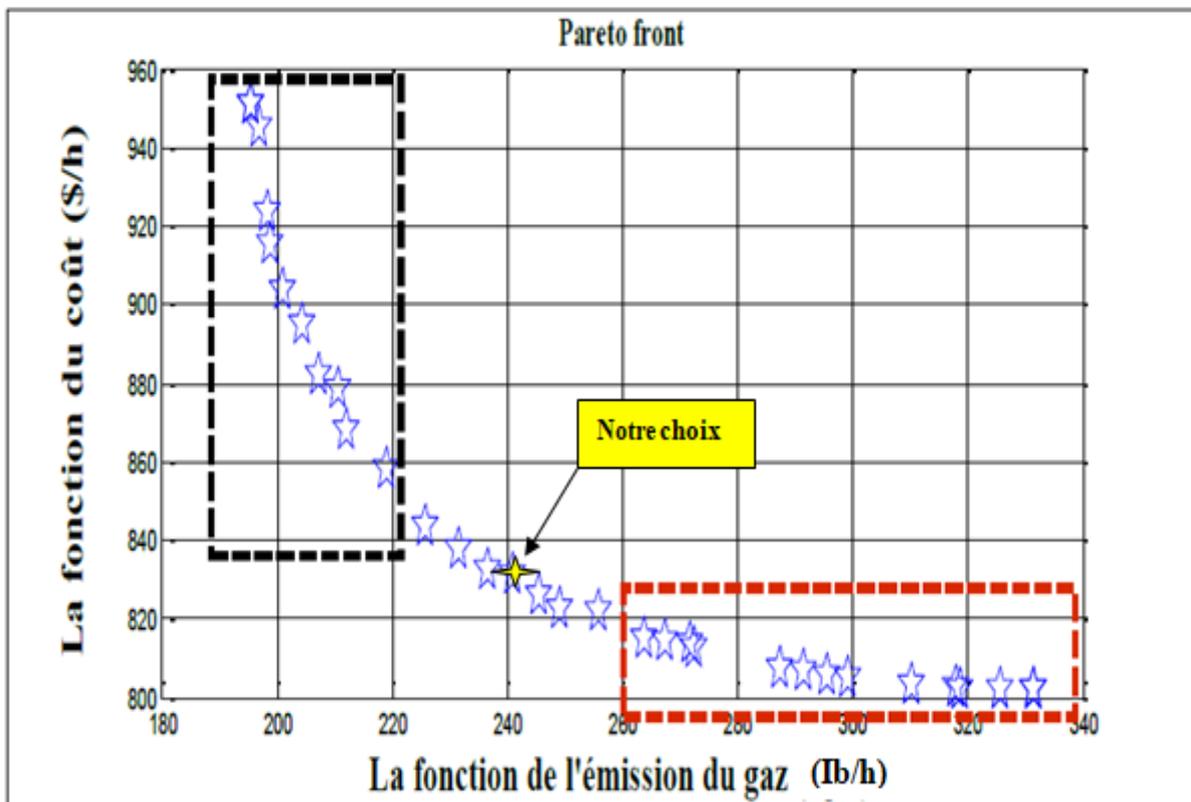
### III.6.2 Résultat et simulation

Pour une puissance demandée de **2000MW** les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

	<b>P<sub>g</sub> [MW]</b>
<b>1</b>	<b>54.4377</b>
<b>2</b>	<b>77.1757</b>
<b>3</b>	<b>91.8775</b>
<b>4</b>	<b>85.5361</b>
<b>5</b>	<b>109.1690</b>
<b>6</b>	<b>95.7388</b>
<b>7</b>	<b>300</b>
<b>8</b>	<b>340</b>
<b>9</b>	<b>461.5135</b>

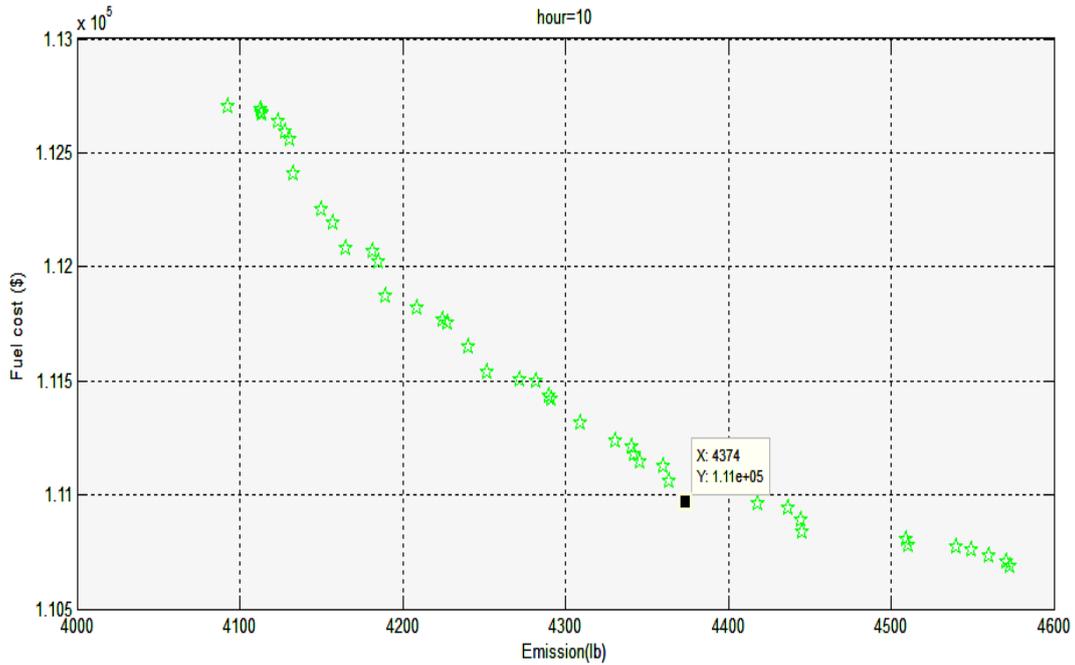
<b>10</b>	<b>461.5025</b>
<b>Cout de production (\$/h)</b>	<b>110970</b>
<b>Cout d'émission (Ib/h)</b>	<b>4370</b>
<b>les pertes de transmission (MW)</b>	<b>77</b>

**Tableau III.4: Puissance et coût combustible et l'émission**



**Figure III.2 :** Représente le choix de la solution.

Alors on peut déterminer la valeur de l'émission des gazes toxique vers l'environnement qui correspondants à ces valeurs (coût de production et les pertes de transmission) par le remplacement des puissances générées au niveau des générateurs dans la fonction d'émission du gaz toxique.



**Figure III.4 :**Le bidimensionnel de Pareto pour le coût, et l'émission

La valeur du coût choisi (optimal) de 110970(\$/h) et la valeur de l'émission du gaz vers l'environnement est de 4370(Ib/h).

Alors on peut le déterminer la valeur des pertes qui correspondant à ces valeurs (coût-émission) par le remplacement des puissances générées au niveau des générateurs dans la fonction des pertes de transmission donc la valeur des pertes est de 77(MW).

### III.6.3 Comparaison avec des autres programmes

Pour une puissance demandée de **200MW**, les résultats des puissances actives, les pertes de transmission et du cout total sont données dans le **Tableau III.5**

	Pg [MW]		
	CIHSA [37]	DE [38]	Multi-verse
<b>1</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>54.4377</b>
<b>2</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>77.1757</b>
<b>3</b>	<b>107.0251</b>	<b>106.9347</b>	<b>91.8775</b>
<b>4</b>	<b>99.89873</b>	<b>100.6003</b>	<b>85.5361</b>
<b>5</b>	<b>81.89797</b>	<b>81.47679</b>	<b>109.1690</b>

<b>6</b>	<b>83.21844</b>	<b>83.02687</b>	<b>95.7388</b>
<b>7</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
<b>8</b>	<b>340</b>	<b>340</b>	<b>340</b>
<b>9</b>	<b>470</b>	<b>470</b>	<b>461.5135</b>
<b>10</b>	<b>470</b>	<b>470</b>	<b>461.52025</b>
<b>les pertes de transmission (MW)</b>	<b>87.04</b>	<b>87.0387</b>	<b>77</b>
<b>Cout de production (\$/h)</b>	<b>111261.5018</b>	<b>111497.631</b>	<b>110970</b>
<b>Cout d'émission (Ib/h)</b>	<b>3832.2652</b>	<b>3932.243301</b>	<b>4370</b>

**Tableau III.5:** Les puissances générées correspondent au point de décision (optimisation multi-objectif cout-émission).

### Interprétation

D'après les résultats trouvés, nous pouvons dire qu'il existe un petit écart entre les forces de productions optimales, le coût de production, les pertes de transport et les émissions de gaz.

Dans l'étude de ce cas, on a appliqué notre programme développé à un multi-objectif minimisation des deux fonctions objectives: coût de combustible et émission des gaz toxiques. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau la valeur optimale du coût et obtenu égale à **110970** (\$/h) et le valeur de émission et obtenu égale à **4370** (Ib/h). Cette valeur est meilleure aux résultats obtenus dans la référence [38] [37]

### III.7 Réseau test 2 : 10 unités (non lisse)

Deuxième test est accompli sur un réseau électrique, Constitué de 10 jeux de barres 10 générateurs, et puissance demandée pour ce réseau test vaut 2000 MW

Les coefficients de la fonction non lisse (point de valve) de coûts de production du réseau électrique à 10 unités. Et les limites min et max des puissances actives des 10 générateurs sont donnés dans le tableau

<b>J.D.B</b>	<b>P<sub>gi</sub></b>		<b>Coefficients de coût</b>				
	<b>P<sub>min</sub>(MW)</b>	<b>P<sub>max</sub>(MW)</b>	<b>C</b> (\$/(MW) <sup>2</sup> h)	<b>b</b> (\$/MWh)	<b>a</b> (\$/h)	<b>di</b> (\$/h)	<b>ei(rad/MW)</b>
<b>1</b>	10	55	0.12951	40.5407	1000.403	33	0.0174
<b>2</b>	20	80	0.10908	39.5804	950.606	25	0.0178
<b>3</b>	47	120	0.12511	36.5104	900.705	32	0.0162
<b>4</b>	20	130	0.12111	39.5104	800.705	30	0.0168
<b>5</b>	50	160	0.15247	38.539	756.799	30	0.0148
<b>6</b>	70	240	0.10587	46.1592	451.325	20	0.0163
<b>7</b>	60	300	0.03546	38.3055	1243.531	20	0.0152
<b>8</b>	70	340	0.02803	40.3965	1049.998	30	0.0128
<b>9</b>	135	470	0.02111	36.3278	1658.569	60	0.0136
<b>10</b>	1150	470	0.01799	38.2704	1356.659	40	0.0141

**Tableau III.6** : Puissance et coûts d’émission du réseau électrique 10unités.

### III.8 Résultat et simulation

Dans le cas non linéaire les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

	<b>P<sub>g</sub> [MW]</b>
<b>1</b>	55.0000
<b>2</b>	80.0000
<b>3</b>	88.5306
<b>4</b>	82.5093
<b>5</b>	100.5454
<b>6</b>	106.9903
<b>7</b>	300.0000
<b>8</b>	340.0000
<b>9</b>	460.8487
<b>10</b>	463.0016
<b>Cout de production (\$/h)</b>	<b>110970</b>
<b>Cout d’émission (Ib/h)</b>	<b>4370</b>

Les pertes (MW)	77.4
-----------------	------

Tableau III.7:Puissance et coût combustible et l'émission

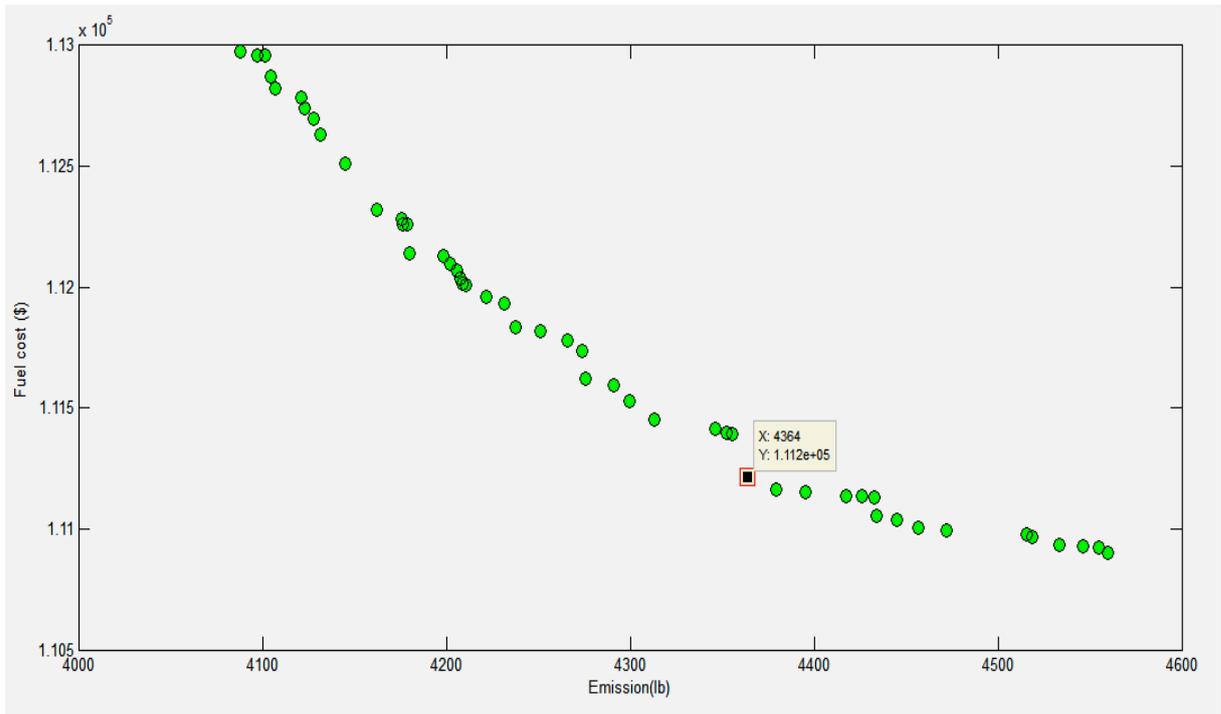


Figure III.6 :Le bidimensionnel de Pareto pour le coût, et l'émission

Le décideur va choisir un point à partir des conditions qui le satisfait. Dans ce cas on va choisir au niveau de la zone du coude une solution car cette zone est contient les meilleurs solutions pour les fonctions optimisé.

La valeur du coût choisi est de **111210**(\$/h) et la valeur de l'émission du gaz vers l'environnement est de **4360**(IB/h).

Alors on peut le déterminer la valeur des pertes qui correspondant à ces valeurs (coût-émission) par le remplacement des puissances générées au niveau des générateurs dans la fonction des pertes de transmission donc la valeur des pertes est de **77.4** (MW).

### III.8.1 Comparaison entre les résultats coût combustible et l'émission du réseau électrique à 10unités.

Pour une puissance demandée de **2000MW**, les résultats des puissances actives, les pertes de transmission et du cout total sont données dans le **Tableau III.8**

	Pg [MW]			
	ABC_PSO [36]	RS [43]	DE [35]	Multi-verse
1	55	54.9999	55	55
2	80	80	79.89	78.85
3	106.93	107.6263	106.8253	81.13
4	100.5668	102.5948	102.8307	91.95
+5	81.011	80.7015	82.2418	115.83
6	300	81.1210	80.4352	134.52
7	340	300	300	300
8	470	340	340	318.87
9	470	470	469.8975	470
10	470	470	469.8975	431.35
perte de transmission (MW)	87.0344	87.0434	/	77.4
Cout de production (\$/h)	111500	111498.6581	111500	111210
Cout d'émission (lb/h)	4571.2	4584.8366	4581	4360

**Tableau III.8:** Les puissances générées correspondent au point de décision (optimisation multi-objectif cout-émission).

#### Interprétation

- A travers les résultats trouvés, on peut dire qu'il y a un petit écart entre les puissances générées optimales, le cout de production et les pertes de transmission

- ✓ Le **Cout de production** donné par **Multi-verse** est de **111210 \$/h** et par **ABC\_PSO / DE** est de **111500 \$/h**, ce qui représente une différence de **290 \$/h..**
  - ✓ Le **Cout de émission** donné par **Multi-verse** est de **4360 Ib/h** et par **ABC\_PSO** est de **4571.2 Ib/h**, ce qui représente une différence de **211.2 Ib/h.**
  - ✓ les pertes de transmission donné par **Multi-verse** est de **77.4 (MW)** et par **ABC\_PSO** est de **87.0344 (MW)**, ce qui représente une différence de **9.63(MW).**
- 
- D'après ce qui précède la méthode MVO a donné de meilleurs résultats ce qui montre sa capacité à résoudre des problèmes multi-objectifs

### III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous proposons la méthode multivers MVO comme méthode d'optimisation pour résoudre le problème d'optimisation des flux d'énergie. L'objectif est de réduire les fonctions objectives, à savoir : le coût du carburant et les émissions de gaz. En tenant compte des limitations pratiques telles que l'effet de l'ouverture des vannes. Et utiliser des coefficients pour calculer les pertes. La robustesse de la méthode proposée a été vérifiée sur des grilles de test de 10 unités de production). Nous avons appliqué cette méthode pour résoudre un problème avec plusieurs objectifs (coût du carburant, émission de gaz et l'effet d'ouverture des vannes).

### Conclusion générale

Le début de ce mémoire est de résoudre l'un des problèmes les plus importants dans le domaine de fonctionnement et exploitation des réseaux électriques qui est le problème de dispatching économique (cas multi-objectifs)

Des travaux de recherche cités dans la littérature confirment que les méthodes mathématiques ne suffisent pas à résoudre tous les problèmes complexes d'optimisation. Des méthodes méta-heuristiques d'optimisation ont été introduites et considérées comme une alternative pour résoudre de nombreux problèmes d'optimisation.

Dans notre recherche, nous avons traité le problème de la répartition économique considérons plusieurs fonctions objectifs, à savoir : la fonction de coût lisse et non lisse (l'effet ouvrir les vannes) en plus des pertes sur les lignes de transmission,

Ainsi les émissions de gaz des générateurs producteurs-

Nous avons utilisé une nouvelle méthode méta-heuristique le multivers MVO où elle a donné de meilleurs résultats, ça montre sa capacité à résoudre des problèmes multi-objectifs

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] : L. Boufenneche ‘‘ RESEAUX ELECTRIQUES’’ Université des Frères Mentouri Constantine 1, 2017/2018
- [2] : SAADAOUI Abdelkader, Institut Supérieur des Etudes Techniques De Radès 2013/2014
- [3] : Boris Berseneff. ‘‘ Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur. Sciences de l’ingénieur ‘‘ Université de Grenoble, 2010. Français. <tel-00575940v2>
- [4] : Khadija BEN KILANI ‘Réseaux Électriques de Puissance’, École nationale d'ingénieurs de Tunis 2013-2014
- [5] : effy. Les principales sources d'énergie sur Terre, Les sources primaires d'énergie, naturellement présentes
- [6] : Jean –François Desjardins, ‘‘élaboration d’une stratégie de gestion de centrales hydro-électriques appliquée au marché québécois’’ 2008
- [7] : edf.les différents types de centrales thermiques, Centrales thermique et nucléaire
- [8]: academie235, Comment une centrale nucléaire produit-elle de l’électricité
- [9] : Wikipédia ‘‘ Le réseau de transport électrique ’’, (Dernière modification de cette page le 20 janvier 2018)
- [10] : Mr. ADEL ANDRÉ TAGHER. Thèse doctorat. L’Ecole polytechnique fédérale, Zurich 1969.
- [11]: KHAMED Okba Dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les méthodes méta-heuristique Université Mohamed Khider Biskra 2013
- [13] : 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.
- [14] : L’Abed Imen ‘‘ Dispatching Economique Dynamique des Réseaux Electriques par Les Méthodes Méta-Heuristique ’’, (Mémoire magister), Université Constantine, 1, 2013.
- [15] :Thomas VALLEE et Murat YILDIZOGLU « présentions de algorithmes génétique et leur application en économique » 2001
- [16] SEGHEIR Tayeb. MOGDAD Med Tayeb, Résolution de dispatching économique par la méthode pattern search; Mémoire de Master, Université EL-Oued, 2011
- [17] : LAICHE Youcef, FADHEL Medchaouki Mémoire de fin d’Etude en vue de l’Obtention du Diplôme de Ingénieur d’Etat en Génie Électrique « Optimisation De La Répartition Des Puissances dans Les Réseaux Electriques Par L'utilisation Des Les ALGORITHMES GENETIQUES » Centre Universitaire d’El-oued promotion 2010.

[18] SI TAYEB Abdelkader, "Méta heuristiques pour l'optimisation des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique" Mémoire de Magister, Université-Oran, 2011.

[19] : Wikipédia " Le réseau de transport électrique ", (Dernière modification de cette page le 20 janvier 2018)

[20]: Zeghib Abdelmalek Mémoire de fin d'Etude en vue de l'Obtention du Diplôme de Master Académique en Génie Électrique «Répartition optimal des puissances actives d'un réseau électrique utilisent les algorithmes génétiques » Centre Universitaire d'El-oued promotion 2010/2011

[21] Laaouad. Mohamed (Mémoire magister) Université de Biskra, 1 juin 2017

[22]Hardiansyah., Solving Economic Dispatch Problem with Valve-Point Effect using a Modified ABC Algorithm, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 3, 3, pp. 377-385, 2013.

[2 3] : SAYAH Samir « Application de l'Intelligence Artificielle pour le fonctionnement Optimal des Systèmes Electriques » THÈSE de Doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas — Sétif.2010

[24] : Li F, Morgan R, Williams D. "Hybrid genetic approaches to ramping rate constrained dynamic economic dispatch". ElectrPowSyst Res1997;43 (Nov):97–103.

[25] : J. Eto, J. Undrill, P. Mackin, H. Illian, C. Martinez, M. O'Malley, and K. Coughlin. "Use of Frequency Response Metrics to Assess the Planning and Operating Requirements for Reliable Integration of Variable Renewable Generation". Berkeley, CA, Tech. Rep. LBNL-4142E, Dec. 2010

[26]M.A. Abido, Multi-objective evolutionary algorithms for eclectic power dispatch problem. IEEE Trans. Evolutionary Computation, Vol. 10(3), pp. 315-329, June 2006.

[27] : Mostefa HAMED , Dispatching Economique Dynamique par Utilisation de Méthodes d'Optimisation globales université de Biskra 14/01/2013

[28] : Pr Mahdad belkacem 'Dispsatching Economique par Matlab', 1ère partie: Méthodes mathématiques , Eitions Al-Djazair

[29]Mr. ADEL ANDRÉ TAGHER. Thèse doctorat. L'école polytechnique fédérale, Zurich 1969.

[30] Laaouad. Mohamed (Mémoire magister) Université de Biskra, 1 juin 2017

[31] :La courbe Diagramme de charge, <http://www.ose.dz/courbes.php>

[32] : X. Xia et A. M. Elaiw, "Dynamic Economic Dispatch: A Review", the Online journal on electronics and electrical engineering (OJEEE), Vol. 2, issue: NR 2, reference Number: W09-0043.

[33] :Yann collette et Patrick Siarry. optimisation multi-objectif. Groupe Eyrolles, 2002,

[34] :Alain Berro. thèse doctorat. Optimisation multi-objectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique. Université des sciences sociales Toulouse I, le 18 décembre 2001.

[35] : M. Basu , " Economic Environmental Dispatch Using multi-objective differential Evolution", Elsevier Applied Soft Computing 11,(2011), pp 2845-2853

**[36] :Dr. Nicodemus Abungu Odero,** "Combined economic and emission dispatch solution using ABC-PSO hybrid algorithm with valve point loading effect", International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 12, December 2012 1 ISSN 2250-3153

**[37] :** Hamid Rezaie, M.H. Kazemi-Rahbar , Behrooz Vahidi , Hasan Rastegar , "solution of combine economic and emission dispatch problem using a novel chaotic improved harmony search algorithm", Department of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology (AUT), 424 Hafez Ave, Tehran, Iran ,b Department of Electrical Engineering, Shahed University, Persian Gulf Freeway, Tehran, Iran , page 09,16 August 2018.

**[38] :** LOUETRI Fatiha ,MESBAHI Ibtissem, ," DispatchingEconomique par Utilisation de Méthodes d'Optimisation Méta heuristiques" Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued Faculté de Technologie

**[39]**S. Mirjalili, P. Jangir, S. Z. Mirjalili, S. Saremi, and I. N. Trivedi, Optimization of problems with multiple objectives using the multi-verse optimization algorithm, Knowledge-based Systems, Volume 134, 15 October 2017, Pages 50-71 available in:[https://au.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/63796-multi-objective-multi-verse-optimization-momvo-algorithm?s\\_tid=srchtitle](https://au.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/63796-multi-objective-multi-verse-optimization-momvo-algorithm?s_tid=srchtitle)

**[40] :**Y. Colletto et P. Siarry, " Optimisation Multi-objectif," EYROLLES, Nov. 2002.

**[41] :** Cours de l'enseignant Me. NAIMI Djemai. Université de Biskra 2012.

**[42] :** A. Laifa. thèse de Magister. Ecole Nationale polytechnique, Evaluation de la Stabilité de Tension d'un Réseau d'énergie électrique Développement et Application Des Indices De Stabilité. 27 juin 1995

**[43] :** Ziane Ismail. Pr. Gherbi Fatima Zohra , Pr. Benhamida Farid, Pr. Benhamida Farid, Dr. Lakdja Fatiha, "Contribution à l'application de l'optimisation multi-objective par la méthode de recuit simulé au dispatching dynamique "UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI-BEL-ABBES .

**[44]:**Muhammad Haziq Suhaimi, Ismail Musirin, Muzaiyanah Hidayab, Shahrizal Jelani,Mohd Helmi Mansor,Multiverse optimisation based technique for solving economic dispatch in power system,Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science Vol. 20, No. 1, October 2020, pp. 485~491

**[45] :** Gao, W.F., Liu, S.Y. (2012) A modified artificial bee colony algorithm. Computers & Operations Research, 39(3):687-697.

**[46] :** M. Basu, Department of Power Engineering, Jadavpur University, Kolkata 700098, India Received 14 August 2006; received in revised form 14 June 2007; accepted 17 June 2007

