



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Electrotechnique  
Réseau électrique

Réf. :

---

Présenté et soutenu par :  
**CHICHA Abdelhak**

Le : dimanche 7 juillet 2019

## *Minimisation dynamique du coût de production des centrales électriques*

---

### Jury :

Mme SAADI Aicha	MCA	Université de Biskra	Président
Mme BECHA Habiba	MCB	Université de Biskra	Examineur
Mr MAHDAD Belkacem	Pr	Université de Biskra	Rapporteur

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*

*Minimisation dynamique du coût de  
production des centrales électriques*

**Présenté par :**

**CHICHA Abdelhak**

**Avis favorable de l'encadreur :**

**Pr. MAHDAD Belkacem**

**Avis favorable du Président du Jury :**

*Mme. SAADI Aicha*

**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 :*

# *Minimisation dynamique du coût de production des centrales électriques*

**Proposé et Dirigé par : Pr. MAHDAD Belkacem**

## **RESUME**

Ce mémoire de fin d'étude traite le problème de dispatching économique (DE) avec considération de contraintes pratiques imposées par les unités de production à savoir l'effet de valve, les zones interdites, les contraintes rampes et les pertes dans les lignes de transmission. Ce mémoire focalise la lumière sur l'adaptation et l'application de deux algorithmes de l'intelligence artificielle à savoir, l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris pour résoudre le problème de DE statique et dynamique tout en considérant les contraintes d'égalité et d'inégalités. L'efficacité des deux algorithmes proposés en termes de qualité de solutions et convergences est prouvée et validée pour plusieurs réseaux test à savoir 6, 13, et 5 unités. Afin de donner d'avantage un aspect pratique au sujet traité, l'émission de gaz est aussi considérée dans le problème d'optimisation, les résultats obtenus par l'optimisation mono objective confirment clairement la contradiction qui existe entre la minimisation du coût de production et la minimisation de l'émission, ce qui oblige les experts à utiliser l'optimisation multi objectif comme un moyen efficace pour résoudre ce type de problème combiné .

**Mots clés :** dispatching économique, l'effet de valve, zones interdite, contraintes rampes, Algorithme génétique, Algorithme de chauve-souris, Coût de combustible, Emission de gaz.

# Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nous avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail.

Je tiens à remercier avec gratitude mon enseignant encadreur Pr.Belkacem MAHDAD, qui a suivi et dirigé ce travail avec son aide, son orientation judicieuse et sa disponibilité, Je le remercie également pour la liberté et aussi pour la confiance, la patience et la compréhension qu'il m'a toujours

J'exprime aussi ma gratitude à tous les enseignants de génie électrique Biskra qui nous ont permis d'accroître notre niveau de connaissances et notre capacité d'analyse particulièrement Mr. Salhi Ahmed, Mr. Naimi djemai, Pr.Srairi Kamal, Mr.Mimoun souri mohamed

Merci également à ma famille et en particulier ma mère et mon Cher oncle Abdelhamid CHICHA et mon frère Mohamed Salah, pour l'encouragement constant et leur aide moral sans retenue tout au long de mes études.

« Une personne qui n'a jamais commis d'erreur...

...n'a jamais tenté d'innover »

Albert Einstein

# Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma mère, qui m'a toujours soutenue et œuvrée pour mon succès avec ses sacrifices, son amour et son soutien continu, remercie Dieu parce qu'elle est présente dans ma vie.

Mes frères Mohamed El Saleh, Hamza, Issa, Ayoub, Nabil, Youssef, Elias, Amin, Abdelali et mes sœurs Asma, Yasmine, Hanane, Iman, Radia, Afaf , Hadjer et Laila pour ceux qui détiennent dans leurs yeux souvenirs de mon enfance et de ma jeunesse , car c'est grâce à leurs soutiens que j'ai pu arriver à ce stade, sans oublier les fils de mes frères Anfal, Wael, Ossama, et Ikram ,Yassin et AbdelRahman, tasnime , ...

Mes oncles, Abdelhamid , Houssin , Said, Ali, Abdelbasset , Halim, ainsi que toute ma tante et mes grand-mères , qui on m'encourageaient toujours et été une aide pour moi.

À tous mes proche amis Abdellah, Ishak, Nadji, Fateh , Riad, Yassine, Oussama, Mostafa, Salim et adel ainsi qu'à tous mes amis et mes êtres chers à l'inconnu dans les salles de la mémoire.

Pour mes collègues Yassin, Marwan et Khir eddine , Nadjib Et Lilia et Widad à toute mes collègues chacun de son nom de la promotion 2019 « Réseau électrique »

A tous les enseignants de ma période d'étude

## Résumé

### Résumé

Ce mémoire de fin d'étude traite le problème de dispatching économique (DE) avec considération de contraintes pratiques imposées par les unités de production à savoir l'effet de valve, les zones interdites, les contraintes rampes et les pertes dans les lignes de transmission. Ce mémoire focalise la lumière sur l'adaptation et l'application de deux algorithmes de l'intelligence artificielle à savoir, l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris pour résoudre le problème de DE statique et dynamique tout en considérant les contraintes d'égalité et d'inégalités. L'efficacité des deux algorithmes proposés en termes de qualité de solutions et convergences est prouvée et validée pour plusieurs réseaux test à savoir 6, 13, et 5 unités. Afin de donner d'avantage un aspect pratique au sujet traité, l'émission de gaz est aussi considérée dans le problème d'optimisation, les résultats obtenus par l'optimisation mono objective confirment clairement la contradiction qui existe entre la minimisation du coût de production et la minimisation de l'émission, ce qui oblige les experts à utiliser l'optimisation multi objectif comme un moyen efficace pour résoudre ce type de problème combiné.

**Mots clés :** dispatching économique, l'effet de valve, zones interdite, contraintes rampes, Algorithme génétique, Algorithme de chauve-souris, Coût de combustible, Emission de gaz.

### ملخص

نتعرض في هذه المذكرة إلى معالجة إشكالية التوزيع الأمثل للطاقة الحقيقية مع مراعاة القيود التطبيقية المتعلقة بوحدات الإنتاج الحرارية، كالقيود المتعلقة بفتح الصمامات، مناطق التشغيل المحرمة، قيود الإنتاج التدرجي للطاقة من ساعة إلى أخرى وكذا الفقد في خطوط النقل الكهربائية. هذه المذكرة تسلط الضوء على تطبيق خوارزمية الهندسة الوراثية وطريقة الوطويط لإيجاد الحل المثلى لتكلفة الوقود مع مراعاة قيود التساوي وعدم التساوي وكذا مراعاة الطلب الطاقي المبرمج خلال 24 ساعة. فعالية الطرق المقترحة تم تطبيقها على شبكات كهربائية قياسية 6، 13 و 5 وحدات إنتاج. ولكي نعطي بعدا لأهمية الموضوع فقد أدرجنا تحليل إشكالية التقليل من انبعاث الغازات الضارة بالمناخ. نتائج البرمجة المتحصل عليها تؤكد أن التقليل من تكلفة الوقود وانبعاث الغازات هدفين متناقضين تماما يتطلب تطبيق تقنيات خاصة تسمح بإيجاد حلول توافقية لدوال هدف متعددة.

**كلمات المفاتيح:** التوزيع الأمثل للطاقة، فتح الصمامات، مناطق التشغيل المحرمة، قيود الإنتاج التدرجي للطاقة، خوارزمية الهندسة الوراثية، طريقة الوطويط، تكلفة الوقود، انبعاث الغازات.

# Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Sommaire .....	I
Liste des Tableaux.....	VI
Liste des Figure.....	IX
Liste des Nomenclature.....	XIII
Introduction Général .....	1

## Chapitre I

I.1 Introduction .....	4
I.2 Notions de base .....	4
I.2.1 Définition d'un réseau électrique .....	4
I.2.2 Structure des réseaux électriques .....	5
I.2.2.1 Différents types de structures.....	5
I.2.2.2 Les différentes fonctions du réseau.....	6
I.3 Energie électrique en Algérie.....	7
I.3.1 La production de l'électricité en Algérie.....	7
I.3.2 Coût marginal de production .....	9
I.3.3 La demandent d'électricité en Algérie .....	9
I.4 Unité de production .....	10
I.5 Les unités électriques .....	10
I.6 Type des centrales de production .....	12
I.7 Stratégie de fonctionnement des Centrales électriques.....	13
I.7.1 La centrale à turbine à gaz.....	13
I.7.2 Les centrales à cycle combiné .....	14
I.7.3 La centrale hydraulique .....	14
I.7.4 La centrale éolienne .....	14
I.7.5 Les centrales nucléaires .....	15
I.8 Les indices de qualité d'énergie .....	16
I.8.1 Le réglage de fréquence .....	16
I.8.2 Réglage de tension .....	18
I.9 Présentation du central cycle simple Oumache 2 –Biskra- 456,89 MW .....	19
I.9.1 Fiche technique de la centrale TG (2x228.44 MW).....	20

## Sommaire

I.9.2 Description la turbine Siemens SGT5-4000F .....	21
I.9.3 Caractéristique technique de la turbine Siemens SGT5-4000F .....	22
I.9.4 Description de l'alternateur SGen5-1000A .....	23
I.9.5 Caractéristique technique de l'alternateur SGen5-1000A.....	23
II.10 Conclusion .....	24

## Chapitre II

II.1 Introduction .....	25
II.2 Historique.....	25
II.3 Description de Répartition économique de l'électricité.....	25
II.4 Bilan de puissance .....	27
II.5 Dispatching Economique .....	27
II.5.1 Problème de Dispatching économique.....	27
II.6 Dispatching économique statique .....	28
II.6.1 Caractéristiques des systèmes électriques .....	28
II.6.2 Caractéristiques des systèmes électriques .....	32
II.7 Formulation d'un problème de dispatching économique.....	32
II.7.1 Fonction objective.....	32
II.7.2 Les contraintes .....	33
II.7.2.1 Contraintes d'égalité .....	33
II.7.2.2 Contrainte d'inégalité.....	33
II.7.3 Dispatching économique avec des limites sur les puissances générées .....	34
II.7.4 Dispatching économique avec les pertes en fonction des puissances générées.....	35
II.7.4.1 Méthode des coefficients ' $\beta$ ' .....	35
II.8 Les contraintes pratiques .....	36
II.8.1 Caractéristique avec l'effet d'ouverture des vannes .....	37
II.8.2 Caractéristique avec des zones de fonctionnements prohibées .....	38
II.8.3 Caractéristique de plusieurs types de combustible .....	39
II.9 Dispatching économique dynamique.....	40
II.10 Formulation mathématique de (DED) .....	40
II.11 Contraintes liés au DED .....	41
II.11.1 Contraintes d'égalité .....	41
II.11.2 Contraintes d'inégalité.....	41
II.11.3 Contraintes Rampes de générateurs .....	41

# Sommaire

II.12 Dispatching économique environnementale .....	42
II.13 Conclusion.....	43

## Chapitre III

III.1 Introduction .....	44
III.2 Définition d'optimisation .....	44
III.2.1 Fonction Objective .....	44
III.2.2 Variables de décision .....	45
III.2.3 L'espace d'état (l'espace de recherche).....	45
III.2.4 Définition des contraintes.....	45
III.3 Classification des problèmes d'optimisation .....	45
III.4 Formulation d'un problème d'optimisation Mono-objective .....	45
III.4.1 Minimum global .....	46
III.4.2 Minimum local .....	46
III.5 L'optimisation Multi-objective.....	47
III.6 Choix d'une méthode.....	48
III.7 Méthodes d'optimisation.....	48
III.7.1 Les méthodes d'optimisation mathématique (exacte) .....	49
III.7.2 Les méthodes d'optimisation approchées .....	50
III.7.2.1 Les méthodes Heuristiques.....	50
III.7.2.2 Méthodes méta heuristiques.....	50
III.8 Les méthodes hybrides .....	51
III.9 Optimum de Pareto .....	51
III.9.1 Concept d'optimalité au sens de Pareto.....	51
III.9.2 Notion de dominance .....	52
III.9.3 frontière de Pareto .....	52
III.10 Algorithme génétique .....	53
III.10.1 Domaine d'application.....	54
III.10.2 Présentation des algorithmes génétiques (AG) .....	55
III.10.3 Principe générale.....	56
III.11 Algorithmes à essaims de particules PSO (Particle Swarm Optimization).....	57
III.11.1 Organigramme général de PSO .....	60
III.12.1 Echolocation des chauves-souris.....	62
III.12.2 Comportement des microbes .....	62

## Sommaire

III.12.3 L'acoustique d'écholocation .....	63
III.12.4 Algorithme de chauve-souris .....	63
III.12.5 Mouvement de chauve-souris.....	65
III.13 Conclusion .....	67

## Chapitre IV

IV.1 Introduction .....	68
IV.2 Une vue générale sur le programme Matlab .....	68
IV.2.1 Utilisation de l'algorithme génétique (ga) à base de Matlab .....	69
IV.2.2 Procédure de travaille d'une instruction « gamultiobj » sur MATLAB.....	70
IV.3 Stratégie de travail.....	71
IV.4 Les réseaux électrique sélectionnés pour l'étude .....	72
IV.5 Présentation de réseau d'étude .....	72
IV.6 Paramètre de l'algorithme .....	77
IV.6.1 les paramètres de l'algorithme génétique .....	77
IV.6.2 les paramètres de l'algorithme de chauve-souris .....	77
IV.7 Cas d'étude de Dispatching économique statique .....	78
IV.8 Optimisation du coût de production .....	78
IV.8.1 test 1 : réseau IEEE 30 bus avec 6 unités de production .....	78
IV.8.1.1 Fonction quadratique sans pertes .....	78
IV.8.1.1.1 Application de l'algorithme génétique .....	78
IV.8.1.1.2 L'application de l'algorithme de chauve-souris .....	80
IV.8.1.2 Fonction quadratique avec pertes .....	83
IV.8.1.3 Fonctions non linéaires sans pertes.....	84
IV.8.1.3.1 Application de l'algorithme génétique .....	84
IV.8.1.3.2 l'application de l'algorithme de chauve-souris .....	86
IV.8.1.4 Fonction non linéaire avec pertes.....	88
IV.8.2 Test 2 avec une puissance demandé égale 1800 MW .....	89
IV.8.2.1 Fonction quadratique sans perte.....	89
IV.8.2.1.1 Application de l'algorithme génétique .....	89
IV.8.2.1.2 Application de l'algorithme de chauve-souris .....	90
IV.8.2.2 fonction quadratique avec perte.....	93
IV.8.2.3 Fonction non linéaire sans perte .....	94
IV.8.2.3.1 Application de l'algorithme génétique .....	94

## Sommaire

---

IV.8.2.3.2 l'application de l'algorithme de chauve-souris .....	96
IV.8.2.4 fonction non linéaire avec perte .....	98
IV.8.3 Test 2 avec une puissance demandée égale 2520 MW .....	100
IV.8.3.1 Optimisation de coût de production sans perte .....	100
IV.8.3.2 Optimisation de coût de production avec pertes .....	104
IV.9 Dispatching économique dynamique .....	105
IV.9.1 Minimisation du coût de production .....	105
IV.9.1.1 Application de l'algorithme de chauve-souris .....	105
IV.9.1.1.1 Fonction quadratique (sans effet de valve) et sans pertes.....	105
IV.9.1.1.2 Fonction non linéaire (avec effet de valve) et sans pertes .....	107
IV.10 Dispatching de l'émission des gaz toxique .....	109
IV.10.1 Minimisation de l'émission des gaz toxique sans pertes .....	109
IV.10.2 Minimisation de l'émission des gaz toxique avec pertes.....	111
IV.11 Conclusion .....	113
Conclusion générale .....	114
Bibliographie.....	116

## Liste des tableaux

N°	Titre	page
<b>Chapitre I</b>		
<b>Tableau I.1</b>	: fiche technique et montant de la réalisation de centrale TG Biskra	<b>21</b>
<b>Tableau I.2</b>	: la fiche technique de la Turbine SGT5-400F	<b>22</b>
<b>Tableau I.3</b>	: la fiche technique de l'alternateur SGen5-1000A	<b>23</b>
<b>Chapitre IV</b>		
<b>Tableau IV.1</b>	: les données du réseau test 1 (réseau de 6 unités).	<b>73</b>
<b>Tableau IV.2</b>	: Les données du réseau test 2 (réseau de 13 unités).	<b>74</b>
<b>Tableau IV.3</b>	: Les données du réseau test 3 (réseau de 5 unités)	<b>76</b>
<b>Tableau IV.4</b>	: Les puissances demandées pour 24 heures du Réseau test 3.	<b>76</b>
<b>Tableau IV.5</b>	: Les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par utilisation d'AG.	<b>79</b>
<b>Tableau IV.6</b>	: Les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par l'algorithme de chauve-souris : réseau test 1.	<b>80</b>
<b>Tableau IV.7</b>	: Comparaison entre les 02 méthodes : minimisation du coût pour une fonction quadratique : réseau test 1.	<b>82</b>
<b>Tableau IV.8</b>	: Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique : de coût avec pertes par utilisation de l'algorithme de chauve-souris : réseau test 1.	<b>83</b>
<b>Tableau IV.9</b>	: résultats de la fonction quadratique avec et sans considération des pertes par l'algorithme de chauve-souris	<b>84</b>
<b>Tableau IV.10</b>	: Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction non linéaire de coût par utilisation de l'AG	<b>85</b>
<b>Tableau IV.11</b>	: les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût sans perte par l'algorithme de chauve-souris : réseau test 1.	<b>86</b>
<b>Tableau IV.12</b>	: Comparaison entre les deux méthodes pour la fonction quadratique réseau test 1	<b>87</b>
<b>Tableau IV.13</b>	: les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût avec pertes par l'algorithme de chauve-souris pour test	<b>88</b>
<b>Tableau IV.14</b>	: les résultats de fonction non linéaire avec perte pour 1 <sup>er</sup> test	<b>88</b>

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau IV.15</b>	: les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par AG	<b>89</b>
		<b>91</b>
<b>Tableau IV.16</b>	: les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par l'algorithme de chauve-souris: réseau test 2.	
<b>Tableau IV.17</b>	: la comparaison entre les 02 méthodes de fonction quadratique de 2 <sup>ème</sup> test	<b>92</b>
<b>Tableau IV.18</b>	: les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût avec les perte par l'algorithme de chauve-souris pour test 2 ( Pd=1800MW)	<b>93</b>
<b>Tableau IV.19</b>	: les résultats de l'algorithme de chauve-souris pour la fonction quadratique de 2 <sup>ème</sup> test avec perte	<b>94</b>
<b>Tableau IV.20</b>	: les résultats d'optimisation mono-objective la fonction de coût non linéaire par AG	<b>95</b>
<b>Tableau IV.21</b>	: les résultats d'optimisation mono-objective la fonction non linéaire de coût par l'algorithme de chauve-souris pour test 2	<b>96</b>
<b>Tableau IV.22</b>	: la comparaison entre les 02 méthodes de fonction non linéaire sans perte de 2 <sup>ème</sup> test avec Pd=1800 MW	<b>97</b>
<b>Tableau IV.23</b>	: les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût avec les perte par l'algorithme de chauve-souris pour test 2 ( Pd=1800MW)	<b>98</b>
<b>Tableau IV.24</b>	: les résultats de la fonction non linéaire avec perte de 2 <sup>ème</sup> test avec Pd=1800 MW	<b>99</b>
<b>Tableau IV.25</b>	: résultats optimales des deux algorithmes pour optimiser la fonction quadratique de coût de production : réseau test 2 : Pd=2520 MW	<b>100</b>
<b>Tableau IV.26</b>	: résultats optimales des deux algorithmes pour optimiser la fonction non linéaire du coût de production : réseau test 2 : Pd=2520 MW.	<b>102</b>
<b>Tableau IV.27</b>	: comparaison des résultats obtenus: fonction coût quadratique et fonction coût non linéaire : réseau test 2 : Puissance demandée égale 2520 MW	<b>104</b>

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau IV.28</b>	: Résultats des puissances générées optimales du réseau test 3 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve).	<b>106</b>
<b>Tableau IV.29</b>	: Résultats des puissances générées optimales du réseau test 3 avec fonction non linéaire (avec l'effet de valve).	<b>108</b>
<b>Tableau IV.30</b>	: résultats d'optimisation d'émission des gaz toxique sans perte.	<b>110</b>
<b>Tableau IV.31</b>	: Résultats d'optimisation d'émission des gaz toxique sans pertes.	<b>112</b>

## Liste des figures

N°	Titre	page
<b>Chapitre I</b>		
<b>Figure I.1</b>	: Structure des réseaux électriques	5
<b>Figure I.2</b>	: Carte du Réseau National de Production et de Transport d'Electricité en 2001	7
<b>Figure I.3</b>	: production d'électricité en Algérie (1990-2015) en TWH	8
<b>Figure I.4</b>	: Structure de l'unité de production	10
<b>Figure I.5</b>	: Appel de puissance en fonction de son temps d'utilisation annuel	11
<b>Figure I.6</b>	: Organigramme représentant les étapes de la production d'électricité	12
<b>Figure I.7</b>	: Schéma synoptique d'une turbine à gaz	14
<b>Figure I.8</b>	: Production d'électricité dans le monde en 2016	15
<b>Figure I.9</b>	: L'équilibre entre la production et la consommation	16
<b>Figure I.10</b>	: la relation entre la consommation et la fréquence (cas d'équilibre )	17
<b>Figure I.11</b>	: la relation entre la consommation et la fréquence ( cas diminution la fréquence )	17
<b>Figure I.12</b>	: relation entre la consommation et la fréquence (cas augmentation de fréquence)	18
<b>Figure I.13</b>	: Photo satellite du site de la centrale d'Oumache	19
<b>Figure I.14</b>	: Vue en 3D de la TG 1&2 et ses auxiliaires	20
<b>Figure I.15</b>	: Schéma des équipements pour un TG	21
<b>Figure I.16</b>	: schéma de la Turbine SGT5-400F	22
<b>Figure I.17</b>	: Alternateur module ( SGen5-1000A)	23
<b>Chapitre II</b>		
<b>Figure II.1</b>	: Classification du problème de planification de la puissance active.	26
<b>Figure II.2</b>	: Catégories de classification du dispatching économique.	27
<b>Figure II.3</b>	: Caractéristique du coût d'un générateur thermique	29
<b>Figure II.4</b>	: Courbe de l'accroissement du coût de combustible	30
<b>Figure II.5</b>	: rejets d'une centrale au charbon en une seule journée.	31
<b>Figure II.6</b>	: Courbe de coût de combustible d'une unité thermique sous l'effet de vannes	37

## Liste des figures

<b>Figure II.7</b>	: Courbe de coût du combustible d'une unité thermique sous l'effet des zones de fonctionnements prohibées.	<b>38</b>
<b>Figure II.8</b>	: Courbe de coût d'une unité thermique alimentée par 3 types de combustibles.	<b>39</b>
<b>Figure II.9</b>	: Demande réelle du système pour différentes saisons construite à l'aide des données de demande de l'Oregon de 2007 à 2011	<b>40</b>

### Chapitre III

<b>Figure III.1</b>	: Structure globale du problème d'optimisation.	<b>44</b>
<b>Figure III.2</b>	: Illustration des différents minima d'une fonction objective.	<b>46</b>
<b>Figure III.3</b>	: définition de $E$ , $F$ et $f$	<b>47</b>
<b>Figure III.4</b>	: Classification des méthodes d'optimisation	<b>49</b>
<b>Figure III.5</b>	: Différents types pour combiner des méthodes d'optimisation	<b>51</b>
<b>Figure III.6</b>	: exemple de dominance	<b>52</b>
<b>Figure III.7</b>	: frontière de Pareto pour l'ensemble des points Pareto-optimaux	<b>52</b>
<b>Figure III.8</b>	: frontière de Pareto pour l'ensemble des points Pareto-optimaux	<b>53</b>
<b>Figure III.9</b>	: Les quatre niveaux d'organisation des AG.	<b>55</b>
<b>Figure III.10</b>	: organigramme de l'algorithme évolutionnaire simple	<b>56</b>
<b>Figure III.11</b>	: Déplacement d'une particule.	<b>58</b>
<b>Figure III.12</b>	: quelque type des chauves-souris	<b>61</b>
<b>Figure III.13</b>	: Echolocation	<b>62</b>
<b>Figure III.14</b>	: Pseudo code de l'algorithme des chauves-souris	<b>66</b>

### Chapitre IV

<b>Figure IV.1</b>	: L'interface de l'algorithme génétique dans le programme Matlab	<b>69</b>
<b>Figure IV.2</b>	: Méthodologie et stratégie d'optimisation.	<b>71</b>
<b>Figure IV.3</b>	: Schéma équivalent du réseau électrique du réseau test 1.	<b>72</b>
<b>Figure IV.4</b>	: Schéma équivalent du réseau électrique de test 2.	<b>73</b>
<b>Figure IV.5</b>	: Schéma équivalent de réseau électrique du réseau test 3	<b>75</b>
<b>Figure IV.6</b>	: La courbe de charge des puissances demandées du réseau test 3.	<b>77</b>
<b>Figure IV.7</b>	: a)Caractéristiques de convergence de l'AG : minimisation de coût : réseau test 1. a) meilleurs individus.	<b>79</b>

## Liste des figures

---

<b>Figure IV.8</b>	: Caractéristiques de convergence de l'algorithme chauve-souris: minimisation du coût : réseau test 1.	<b>81</b>
<b>Figure IV.9</b>	: Répartition optimales des puissances générées.	<b>82</b>
<b>Figure IV.10</b>	: Caractéristiques de convergence de l'algorithme chauve-souris: minimisation de coût sous l'effet de valve: réseau test 1.	<b>83</b>
<b>Figure IV.11</b>	: Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction de coût non linéaire du réseau test 1.	<b>85</b>
<b>Figure IV.12</b>	: Résultats des convergences d'optimisation mono-objective de la fonction non linéaire de coût sans perte : réseau test1.	<b>86</b>
<b>Figure IV.13</b>	: Répartition optimales des puissances générées.	<b>87</b>
<b>Figure IV.14</b>	: Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction de coût quadratique de 2 <sup>ème</sup> réseau test.	<b>90</b>
<b>Figure IV.15</b>	: Résultats des convergences d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût sans pertes du 2 <sup>ème</sup> réseau test avec puissance demandé de 1800 MW.	<b>91</b>
<b>Figure IV.16</b>	: Répartition optimales des puissances générées.	<b>92</b>
<b>Figure IV.17</b>	: Résultats des convergences d'optimisation la fonction quadratique de coût avec les pertes de 2 <sup>ème</sup> test	<b>93</b>
<b>Figure IV.18</b>	: Résultats d'optimisation mono-objective la fonction de coût non linéaire de 2 <sup>ème</sup> test	<b>95</b>
<b>Figure IV.19</b>	: Résultats des convergences d'optimisation mono-objective la fonction non linéaire de coût de 2 <sup>ème</sup> test	<b>96</b>
<b>Figure IV.20</b>	: Répartition optimales des puissances générées.	<b>97</b>
<b>Figure IV.21</b>	: Résultats des convergences d'optimisation la fonction non linéaire de coût avec les pertes de 2 <sup>ème</sup> test	<b>98</b>
<b>Figure IV.22</b>	: convergence de l'algorithme génétique: minimisation de coût de production pour la fonction de coût non linéaire : réseau test 2 (Pd=2520 MW).	<b>101</b>
<b>Figure IV.23</b>	: convergence de l'algorithme chauve-souris : minimisation de cout de production pour la fonction de coût non linéaire : réseau test 2 (Pd=2520 MW).	<b>101</b>

## Liste des figures

---

- Figure IV.24** : convergence de l'algorithme génétique : minimisation de coût de production pour la fonction de coût non linéaire : réseau tes 2. **103**
- Figure IV.25** : Résultats des convergences d'optimisation mono-objective du coût de production : réseau test 2. **103**
- Figure IV.26** : Variation de contrainte Ramp du réseau test 3 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve) **106**
- Figure IV.27** : La variation de la contrainte Ramp du réseau test 3 avec fonction non linéaire (avec l'effet de valve) **108**
- Figure IV.28** : Courbe de convergence de l'algorithme génétique : minimisation de l'émission de gaz toxique sans considération des pertes **110**
- Figure IV.29** : Courbe de convergence de l'algorithme de chauve-souris : minimisation de l'émission de gaz toxique sans considération des pertes **111**
- Figure IV.30** : Courbe de convergence de l'algorithme de chauve-souris : Minimisation de l'émission de gaz toxique avec considération des pertes **112**

# Nomenclature

## Liste des Nomenclature

$\cos(\varphi)$	: Facteur de puissance
$a_i, b_i, c_i$	: les coefficients de coût linéaire de l'unité génératrice $i$
$P_{Gi min}$	: La puissance active générée minimale dans le JB $i$
$P_{Gi max}$	: La puissance active générée maximale dans le JB $i$
$C_{i max}$	: Le coût maximal d'énergie électrique au niveau de la centrale $i$
$C_{i min}$	: Le coût minimal d'énergie électrique au niveau de la centrale $i$
$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$	: coefficients caractéristiques des émissions attachées à chaque groupe de production
$\omega$	: facteur de control d'émission
$F(x)$	: La fonction augmenté de coût linéaire
$H(x)$	: Les contraintes d'inégalité
$G(x)$	: Les contraintes d'égalité
$X$	: Le vecteur des variables d'état.
$n_g$	: le nombre des générateurs
$U$	: Le vecteur des variables de contrôle
$P_{Gi}$	: La puissance active générée dans le JB $i$
$P_D$	: la puissance totale demandée
$P_L$	: représente les pertes totales de transmission
$Q_{gi}$	: La puissance réactive générée dans le JB $i$
$Q_{gi min}$	: La puissance réactive générée minimale dans le JB $i$
$Q_{gi max}$	: La puissance réactive générée maximale dans le JB $i$

## Nomenclature

---

$V_i$	: La tension au niveau du JB
$V_{i \max}$	: La tension maximale au niveau du JB
$V_{i \min}$	: La tension minimale au niveau du JB
$\lambda$	: le multiplicateur de lagrang
$b_{ij}, b_{00}, b_{0j}$	: les coefficients des Pertes
$a_i, b_i, c_i, d_i, e_i$ et $f_i$	: les coefficients de coût non linéaire de l'unité génératrice $i$
$a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}$	: Coefficient de cout de l'unité $i$ avec le combustible $k$
$\Omega$	: La région faisable
$x^*$	: L'optimum global
$S$	: L'espace de recherche global
AG	: Algorithme génétique
BAT	: Algorithme de chauve-souris
PSO	: Algorithme de l'essaim de particules
$s_i^{k+1}, s_i^k$	: Position de la particule $i$ à l'itération $k + 1$ et $k$ respectivement
$v_i^{k+1}$	: vitesse de la particule $i$ à l'itération $k + 1$
$v_i^k$	: Vitesse de l'agent $i$ à l'itération $k$
$w$	: fonction de pondération
$c_j$	: Facteurs de pondération
rand	: nombre aléatoire entre 0 et 1
$s_i^k$	: Position actuelle d'agent $i$ à l'itération $k$
$pbest_i$	: Meilleure position trouvée par la particule $i$ jusqu'ici

## Nomenclature

---

<b>gbest</b>	: Meilleure position trouvée par l'essai jusqu'ici
<b>w<sub>max</sub></b>	: Poids initial
<b>w<sub>min</sub></b>	: Poids final
<b>iter<sub>max</sub></b>	: Nombre d'itérations maximum.
<b>iter</b>	: Itération courante.
<b><math>\lambda</math></b>	: la longueur d'onde du son ultrason
<b>f</b>	: une fréquence constante
<b>v<sub>i</sub><sup>t</sup></b>	: la vitesse à associée de chaque chauve-souris
<b>x<sub>i</sub><sup>t</sup></b>	: emplacement à associée de chaque chauve-souris
<b>x<sub>*</sub></b>	: une meilleure solution actuelle
<b>A<sub>i</sub><sup>t</sup></b>	: est la moyenne d'intensité de toutes les chauves-souris à l'instant t
<b>E</b>	: un nombre aléatoire
<b>A<sub>0</sub></b>	: le volume pour rechercher une proie



**Introduction  
générale**

# Introduction générale

---

Avec l'évolution récente de la croissance démographique et de la renaissance agricole et industrielle dans le monde, toutes ces évolutions ont fait que l'énergie électrique occupe une place très importante dans les branches de l'économie moderne et de la vie courante.

Tous ces facteurs sont en premier lieu les facteurs influençant sur la consommation de l'énergie électrique qui est d'autre part en augmentation continue, ce qui a poussé les scientifiques et les ingénieurs à développer le domaine de l'informatique et de la programmation pour le développement de méthodes et outils permettant d'optimiser l'énergie électrique d'une manière efficace avec un coût minimal et une qualité conforme aux normes.

D'autre part, l'énergie électrique étant très difficilement stockable, il doit y avoir en permanence un équilibre entre la production et la consommation pour cela il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre des centrales électriques, et des différents ouvrages (Transformateurs, lignes de transmission, etc.), ceci conduit à une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel.

Lorsque le réseau subit une perturbation (Court-circuit, perte d'une charge ou d'un groupe, ouverture d'une ligne, etc.), la différence entre les puissances mécanique et électrique conduit à une accélération ou décélération pouvant entraîner la perte de synchronisme d'un ou de plusieurs groupes de génération. Les angles rotoriques oscillent jusqu'à l'intervention des systèmes de réglage et de protection afin de restituer la marche en synchronisme et mener le réseau à un état de fonctionnement stable.

Cependant la demande en électricité varie constamment au cours d'une journée en fonction des horaires de travail, les conditions météorologiques, d'autres critères entrent également en compte comme les périodes de congé, les jours fériés, les weekends, les vacances et les événements qui peuvent y avoir (grèves, événements sportifs...). Pour cet effet la conception du système électrique a été faite de manière que toute une chaîne inséparable est intégrée commençant par : la production, le transport et la distribution arrivant aux consommateurs. On ne peut pas stocker de grandes quantités d'énergie sous forme électrique à vrai dire, c'est la problématique alors qu'on est forcé de produire la même quantité d'électricité qu'on doit consommer, on sait par ailleurs que les groupes de productions ont certaines limitations techniques qu'on ne doit pas les dépasser, ce qui nous conduit à un problème trop compliqué c'est : Comment produire une énergie électrique de haute qualité à moindre coût qui répond aux

# Introduction générale

---

besoins du marché et des consommateurs et en respect des contraintes et des conditions de chaque réseau ? C'est le problème de dispatching économique ?

Dans ce mémoire, nous avons essayé de trouver des solutions à ce problème important par l'adaptation et l'application de deux techniques d'optimisation à savoir l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris (BAT). Ce projet de fin d'étude est structuré en quatre chapitres résumés comme suit:

- **Chapitre I :** Dans ce chapitre on s'est intéressé à définir les différents éléments et structures d'un réseau électrique, on a présenté une description du réseau de transport électrique Algérien. Le principe de fonctionnement de différentes centrales électriques. Une partie spéciale a été consacrée pour donner une description générale sur la centrale de production d'énergie électrique de Biskra-Oumeche de puissance de 456.89 MW.
- **Chapitre II :** Ce chapitre intitulé formulation du problème de dispatching économique, nous avons abordé dans un premier temps quelques définitions de base et la formulation de dispatching économique et leur solution et on a expliqué comment résoudre le problème de dispatching économique avec considération des pertes par utilisation de la méthode des coefficients ' $\beta$ ', puis on a discuté les contraintes pratiques liés aux unités de production, l'effet de l'ouverture des vannes, les zones de fonctionnements prohibées, les contraintes liés au combustibles et particulièrement la contrainte Rampe (Ramp Down, Ramp Up).
- **Chapitre III :** Dans la première section on a fourni un rappel et des définitions de base sur l'optimisation et une formulation du problème d'optimisation mono objectif et multi objectif avec les conditions des limites d'égalité et d'inégalité. Puis nous avons décerné une tentative de classification des méthodes d'optimisation. La deuxième partie est consacré à donner un aperçu sur quelques méthodes d'optimisation globales à savoir l'algorithme génétique (AG), l'essaim de particule (PSO) et l'algorithme de chauve-souris (BAT).
- **Chapitre IV :** Ce chapitre représente la partie simulation de notre mémoire consacré à l'adaptation et l'application de l'algorithme Génétique et l'algorithme de chauve-souris pour résoudre le problème de dispatching statique et dynamique tout en

## Introduction générale

---

considérant les contraintes pratiques associés aux unités de production. Une simulation a été faite sur 03 réseaux test : le réseau IEEE-30 avec 6 unités de production, le deuxième réseau test comporte 13 unités de production. Ces deux réseaux ont été utilisés pour résoudre le problème de dispatching économique statique. Le troisième réseau test de 5 unités de productions est utilisé pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique en considérant les contraintes pratiques à savoir, l'effet de valve et l'effet Ramp.

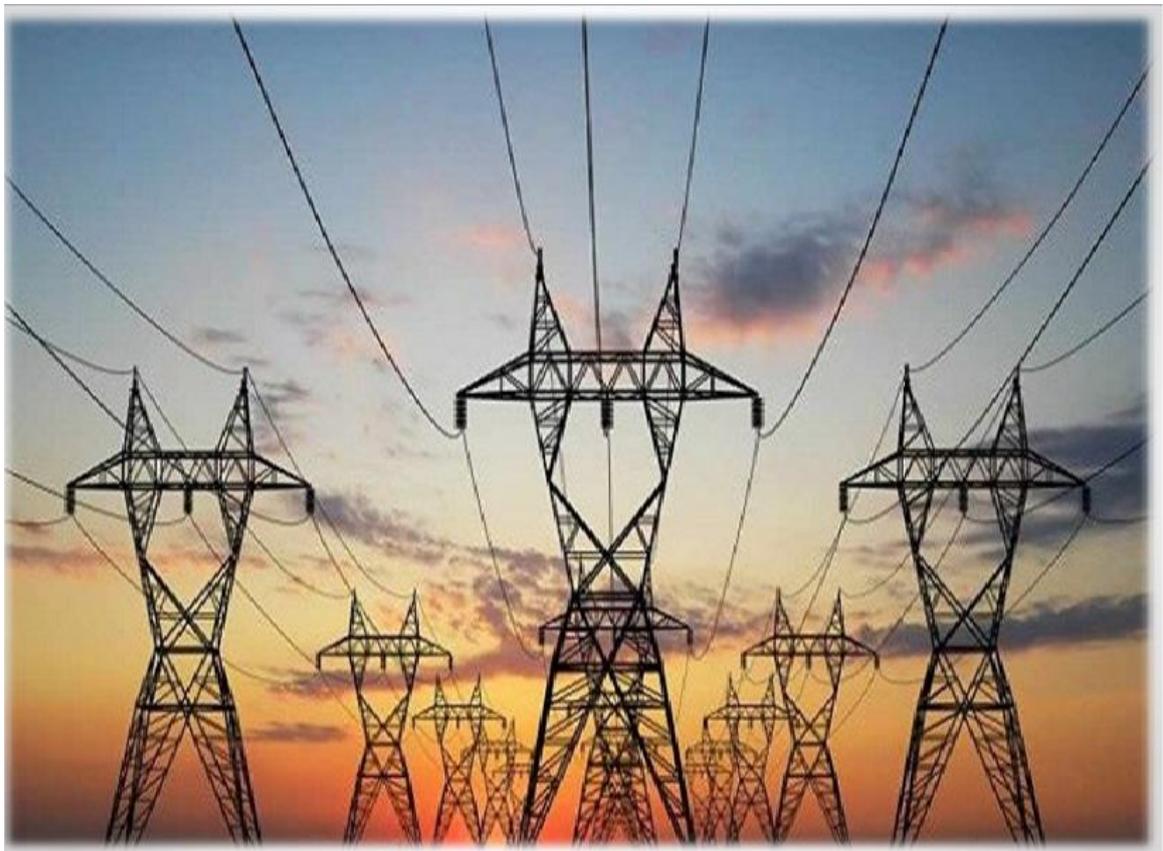
Enfin nous clôturons ce travail par une conclusion générale et des perspectives.

# Chapitre n° I

---

## Généralités sur les systèmes énergétiques

---



# Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

---

## **I.1 Introduction :**

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus utilisée au monde et l'une des plus énergies 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 a 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.2 Notions de base :**

### **I.2.1 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 la figure 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]

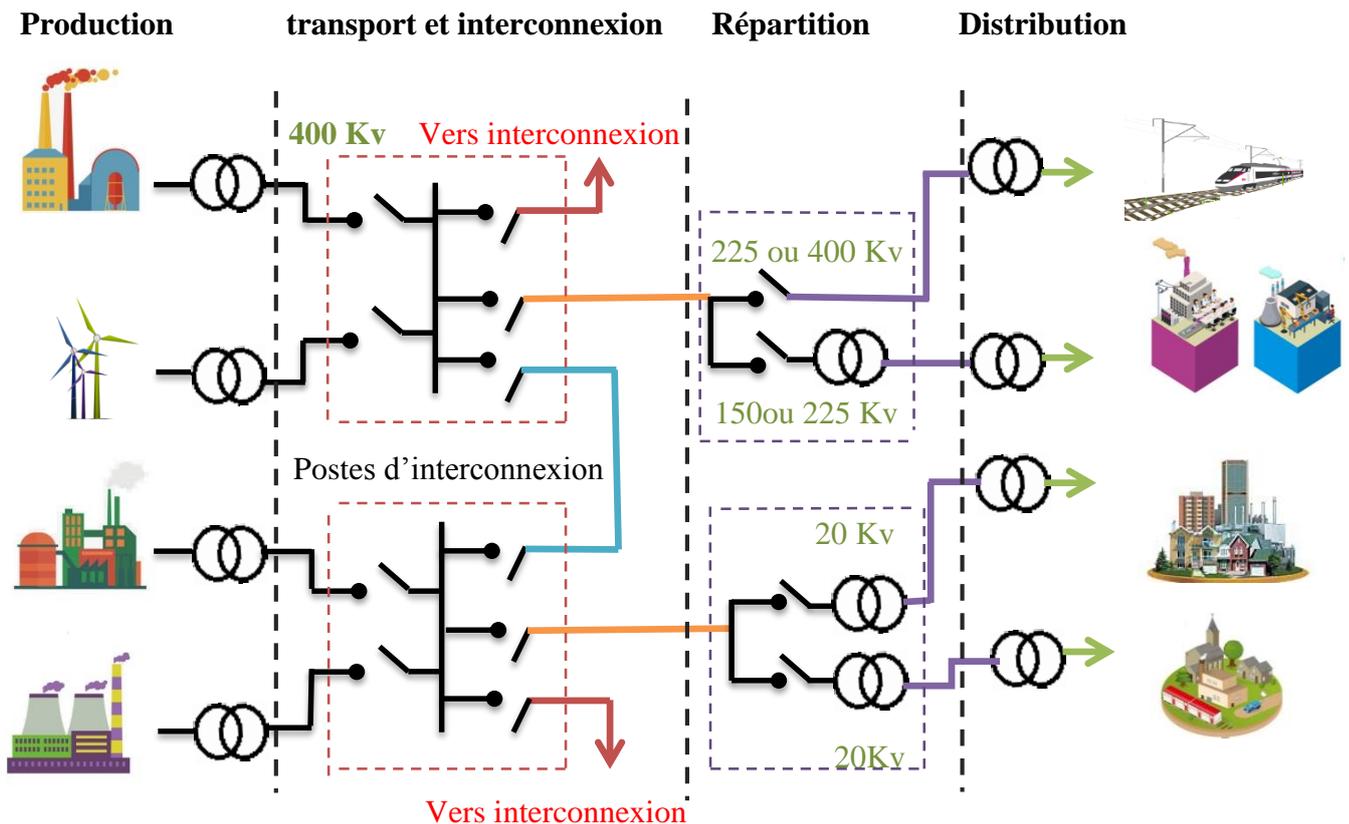


Figure I.1 : Structure des réseaux électriques

## I.2.2 Structure des réseaux électriques :

Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures exposées ci-dessous :

### I.2.2.1 Différents types de structures

- **structure maillée** : les postes électriques sont reliés entre eux par de nombreuses lignes électriques, apportant une grande sécurité d'alimentation.
- **structure radiale ou bouclée** (les postes rouges représentent les apports d'énergie) : la sécurité d'alimentation, bien qu'inférieure à celle de la structure maillée, reste élevée.
- **structure arborescente** (le poste rouge représente l'apports d'énergie) : la sécurité d'alimentation est faible puisqu'un défaut sur la ligne ou sur le poste rouge coupe l'ensemble des clients en aval. [3]

Chaque type de structure possède des spécificités et des modes d'exploitation très différents. Les grands réseaux d'énergie utilisent tous ces types de structure. Dans les niveaux de tension les plus élevés, on utilise la structure maillée : c'est le réseau de transport. Dans les

# Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

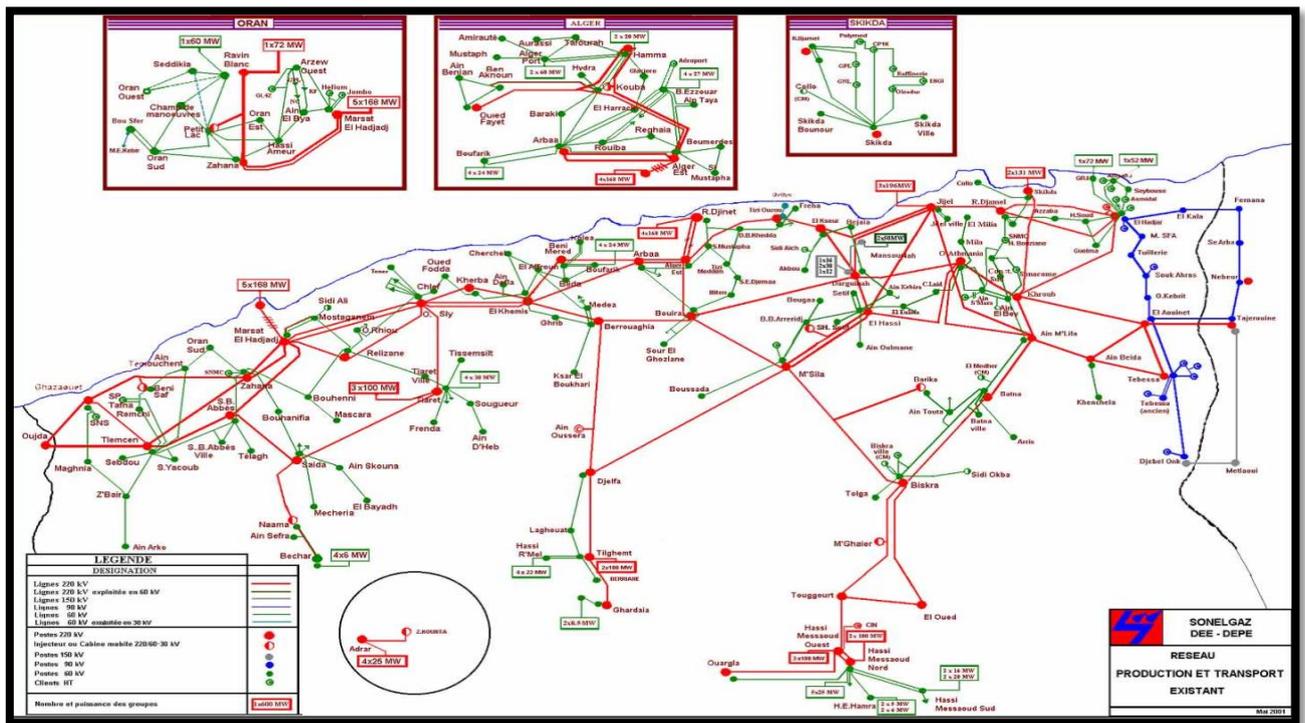
---

niveaux de tension inférieurs, la structure bouclée est utilisée en parallèle de la structure maillée : c'est le réseau de répartition. Enfin, pour les plus bas niveaux de tension, la structure arborescente est quasiment exclusivement utilisée : c'est le réseau de distribution. [3][4]

## I.2.2.2 Les différentes fonctions du réseau

- **Réseau de transport** : Les réseaux des transportes sont des réseaux à très haute tension pour raison économique notamment, afin de minimiser des pertes en ligne. ces réseaux de transport sont des réseaux maillés pour les raison de sécurité. Les réseaux de transport sont caractérisés par des transferts de puissance important avec à moins chute de tension et moins pertes [5]. Un réseau de transport doit être exploité d'une manière particulière: il doit être exploité dans les limites de fonctionnement autorisées. Ces limites ou contraintes du réseau sont exprimées par des valeurs maximales ou minimales sur certaines variables du réseau (fréquence, écoulement de puissance sur les lignes ou transformateurs, niveau de tension, etc.). Si ces limites sont dépassées, le réseau risque de devenir instable. [6]
- **Réseau d'interconnexion** : L'interconnexion est un réseau de transport qui à la particularité d'assurer l'change énergétique. Ce réseau utilisé pour des raisons de technique (il permet de renforcer la stabilité du réseau électrique) et économique, L'interconnexion permet aussi d'améliorer la qualité d'énergie fournie en tension, en fréquence et aussi d'établir une large possibilité de réserve et rendre le réseau plus flexible. [7]
- **Réseau de répartition** : Ce sont les réseaux HT/MT, ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions.
- **Réseau de distribution** : Ce sont les réseaux de moyenne tension (MT) qui fournissent aux réseaux d'utilisation les puissances nécessaires demandées. Ils doivent observer des distances limitées de voisinage, c'est pour cela que ces réseaux se réalisent en souterrain dans les villes.

# Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques



**Figure I.2 :** Carte du Réseau National de Production et de Transport d'Electricité en 2001. [8]

## I.3 Energie électrique en Algérie

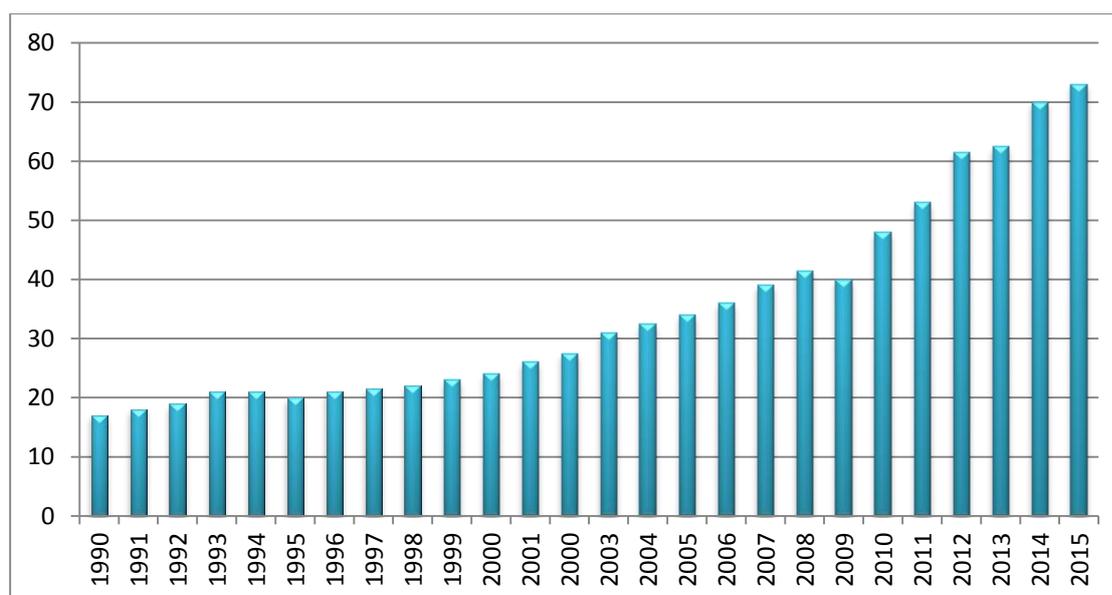
### I.3.1 La production de l'électricité en Algérie

Dès son indépendance en 1962, l'Algérie avait opté pour le développement du secteur de l'énergie, dans le cadre d'une politique nationale visant le développement des infrastructures électriques et gazières. Cette politique prévoit l'accès de la population à l'électricité et au gaz naturel comme une priorité absolue pour l'amélioration de la qualité de vie du citoyen et de la situation économique du pays. Ces dernières années, la demande en électricité a connu une évolution importante et particulièrement élevée en périodes estivale, atteignant des pics de consommation importants.

Cette forte augmentation de la demande une conséquence directe du changement des habitudes des de la consommation et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel. Conscient de cet enjeux et de l'importance de l'accès à l'électricité pour les citoyens, le secteur est fixé comme priorité de développer tous les axes permettant de garantir la couverture à long terme, des besoins en électricité et en gaz du pays, notamment par la diversification des sources d'énergie, l'entreprise Sonelgaz détenait le monopole sur la production, la distribution de l'électricité ainsi que le transport et la distribution du gaz. Sonelgaz en tant qu'entreprise publique au terme du monopole conféré par l'Etat, assume

## Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

seule la mission de service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du Gaz .La promulgation de la nouvelle loi n°02-01 du 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations donné le coup d'envoi pour la réorganisation du secteur et l'ouverture du marché électrique à la concurrence, dominé jusque-là par l'entreprise publique Sonelgaz. La production d'électricité en Algérie n'a jamais connu de baisse (figure N°02). Elle a augmenté de 1980 à 1990 avec un rythme soutenu d'environ 41,5%et de 61,5 %de 1990 à 2000.Selon l'ONS(2011), la production nationale de l'électricité était de 33 915 GWH en 2005 pour atteindre les 43 099 GWH en 2009 et 49 257 GWH en 2011. « La production de l'électricité a enregistré une forte croissance de 8,5 au cours de ce trimestre par rapport à la même période précédant et s'est située à 16.000 GWH » a indiqué la revue algérienne de l'énergie en 2015. Beaucoup d'efforts ont été fournis par Sonelgaz et ses sociétés filiales pour le renforcement des capacités de production .qui a connu ces dernières années une évolution conséquente de la puissance de production d'électricité installée. Celle-ci est passée de 7 492 MW en 2005 à 17238,6 MW en 2015, soit près de 10000 MW additionnelle mise en service en dix ans. [9]



**Figure I.3 :** production d'électricité en Algérie (1990-2015) en TWh.

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. .

# Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

---

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. [9]

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. [10]

## **I.3.2 Coût marginal de production :**

Exprimé en €/kWh, il représente à un instant donné le coût de production d'une unité supplémentaire d'énergie, soit le coût du dernier kWh produit. A l'instar de nombreux systèmes électriques, le système de production est conçu sur un principe « d'ordre de mérite » pour l'appel des moyens de production d'électricité, soit par ordre croissant de coût marginal. Ainsi, les moyens de production à coût marginal de production quasi-nul (l'éolien, le solaire, etc.) ont en théorie une préséance sur d'autres moyens à coût marginal plus élevé (nucléaire, centrales thermiques, etc.) pour produire sur le réseau. [11]

## **I.3.3 La demandent d'électricité en Algérie**

Dès L'or ,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 a pour objectif d'atteindre d'ici 2030 27 %de production de l'électricité à partir des énergie renouvelables dont une capacité solaire photovoltaïque de 13 575 MW selon le Ministre de l'énergie. En effet, le but visé est la préservation des ressources fossiles en diversifiant les filières de production ou en étant capable de répondre à la forte demande en électricité. La compagnie engineering de l'électricité et gaz ( CEEG, SPA : filiale du groupe Sonelgaz) chargée de la réalisation d'infrastructures énergétiques a annoncé la réalisation de la première ferme éolienne de 10,2MW d'Adrar avec une production annuelle de 3,42 GWH ainsi que la centrale photovoltaïque de Ghardaïa qui produit annuellement 2,1 GWH d'électricité. Ces projets ont été mis en marche en juin 2014. [9]

# Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

## I.4 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. [12]

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. [13]

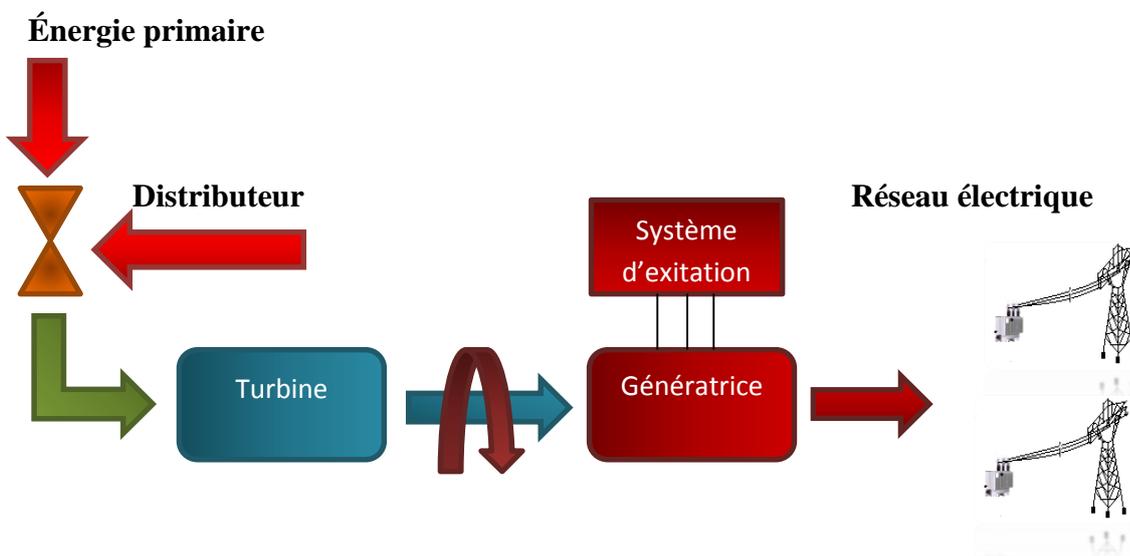


Figure I.4 : Structure de l'unité de production

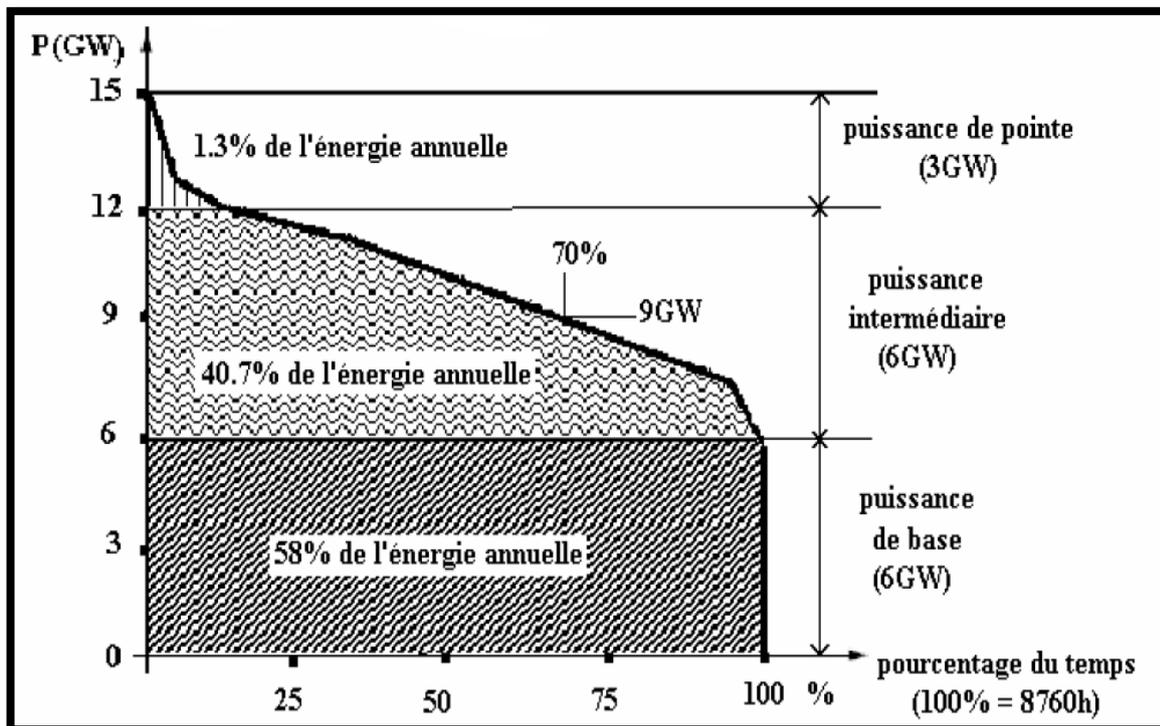
## I.5 Les unités électriques :

Les fluctuations de l'appel de puissance obligent les compagnies d'électricité à prévoir trois classes de centrales de génération :



## Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

1. Les centrales de base de grande puissance qui débitent leur pleine capacité en tout temps. Les centrales nucléaires sont particulièrement aptes à remplir ce rôle.
2. Les centrales intermédiaires de puissance moyenne qui réagissent rapidement aux fluctuations de la demande. C'est le cas des centrales hydrauliques dont le débit est facilement contrôlable.
3. Les centrales de pointe de puissance moyenne qui ne débitent leur pleine capacité que pendant de courtes périodes.



**Figure I.5 :** Appel de puissance en fonction de son temps d'utilisation annuel.

Quand aux considérations énergétiques, la figure 4 révèle que les centrales de base de 6GW fournissent 58% de l'énergie annuelle du réseau. Par contre, les centrales de pointe de 3GW donnent seulement 1.3% de l'énergie totale. L'énergie provenant des centrales de pointe coûte donc beaucoup plus cher que celle des centrales de base, c'est pourquoi les compagnies d'électricité encouragent les usagers à limiter leur charge de pointe.

## I.6 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. [14]

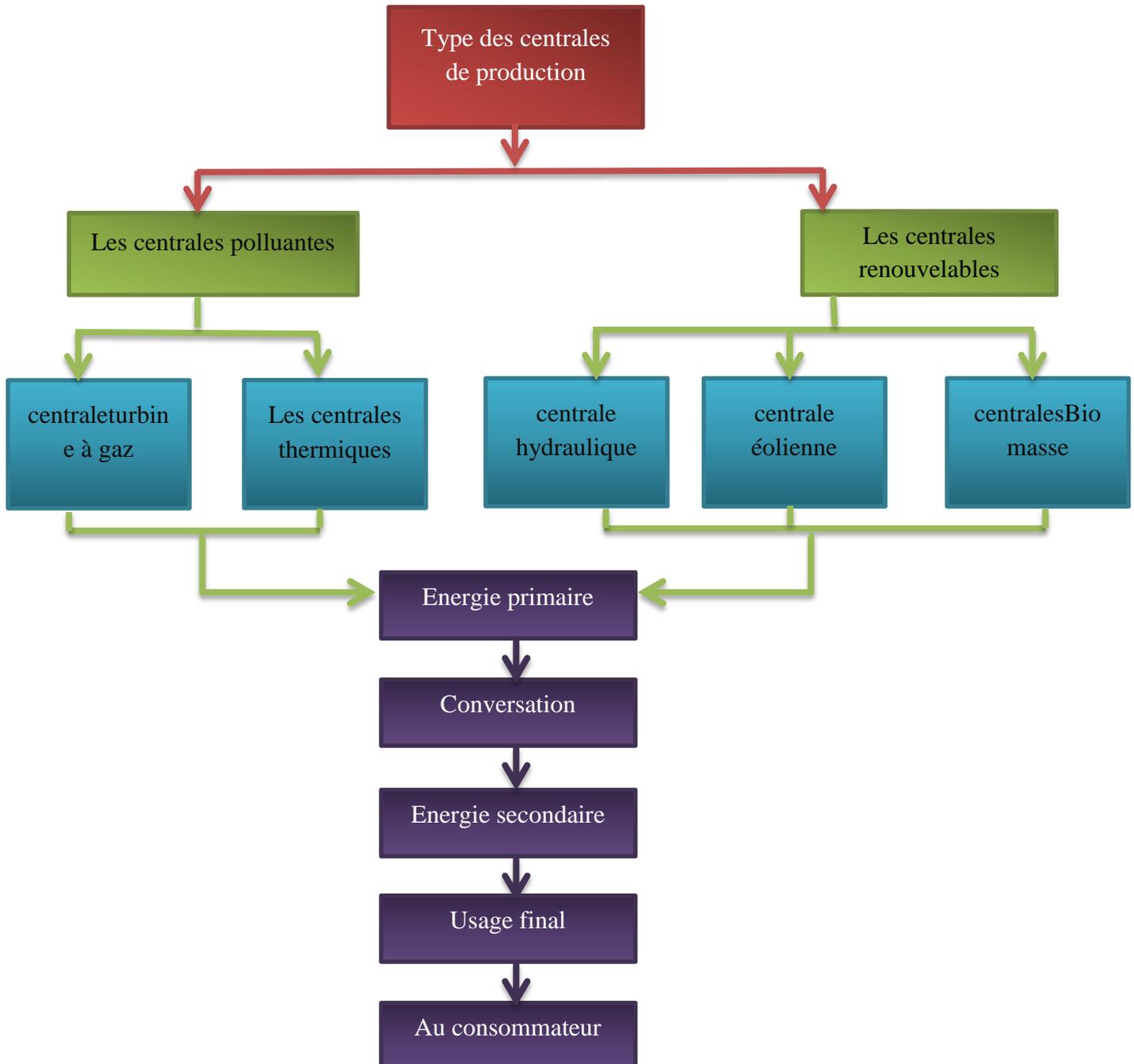


Figure I.6 : Organigramme représentant les étapes de la production d'électricité

## I.7 Stratégie de fonctionnement des Centrales électriques

Trois des principaux générateurs de base sont les centrales nucléaires, les éoliennes et les hydroliennes. Les centrales nucléaires sont arrêtées que très rarement, pour leur entretien entre autres, car les interrompre engendre des couts élevés. De plus, ce type de centrale produit toujours ma même quantité d'électricité. D'un autre coté, la production d'électricité par les éoliennes dépend du vent qui est stochastique et les hydroliennes produisent de l'électricité selon la force du courant dans la rivière ou elles sont installées. Ces deux dernières façon de produire de l'électricité na peuvent connaitre précisément à l''avance la quantité produite et elles ne peuvent en aucun temps s'ajuster à la demande ou au prix de l'électricité .puisque l'électricité doit être consommée au même moment qu'elle est produite, les générateurs de base vendent leur électricité sur le marché dès que les prix sont supérieurs au cout marginal de production.

Les producteurs de pointe sont constitués principalement de centrale au gaz naturel ou au mazout et de centrale hydro-électrique. Dépendamment du type de centrale, elles peuvent démarrer rapidement, par exemple les centrales hydro-électriques, ou nécessiter un certain délai, par exemple les centrales à chaudières qui ont une certaine inertie. Les gestionnaires peuvent décider de faire fonctionner ou non les centrales dépendamment de la demande, du prix du combustible qui est souvent fortement corrélé au prix de l'électricité et du prix de vente de l'électricité. ce type de centrale permet de profiter des conditions du marché dans le but d'optimiser les profits provenant de la production d'électricité. [14]

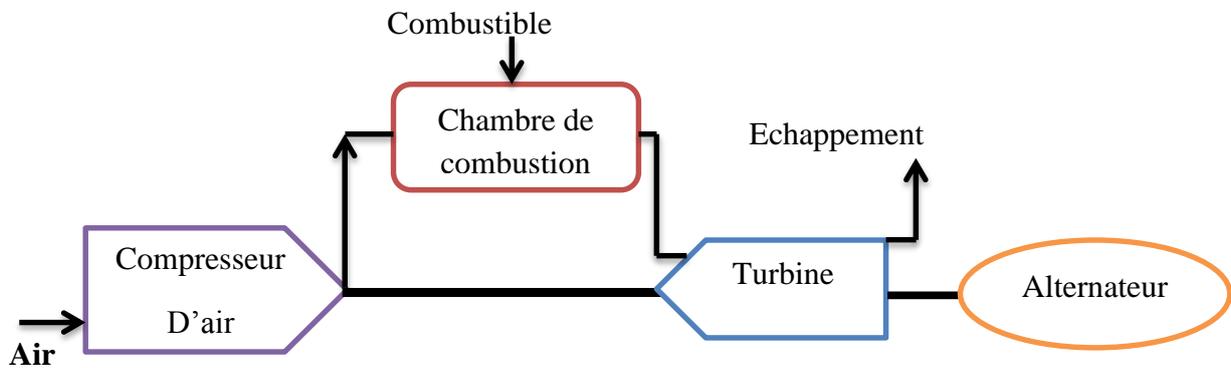
### I.7.1 La centrale à turbine à gaz

La turbine à gaz, aussi appelée turbine à combustion, est une machine thermique qui connaît actuellement un essor croissant, compte tenu de ses excellentes performances (rendement supérieur à 35 % utilisée seule, et à 55 % en cycle combiné). Dans sa forme la plus simple et la plus répandue cette machine est composée de trois éléments :

1. Un compresseur, généralement centrifuge ou axial, qui sert à comprimer l'air ambiant à une pression comprise dans les machines modernes entre 10 et 30 bars environ ;
2. Une chambre de combustion, dans laquelle un combustible injecté sous pression est brûlé avec l'air préalablement comprimé (ce dernier en fort excès afin de limiter la température des gaz brûlés en entrée de la turbine) ;
3. Une turbine, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz à haute température sortant de la chambre de combustion. Une partie significative (60 à 70 %) du travail récupéré sur l'arbre de la turbine sert à entraîner le compresseur.

# Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

Sous cette forme, la turbine à gaz constitue un moteur à combustion interne à flux continu. On notera que le terme de turbine à gaz provient de l'état du fluide thermodynamique, qui reste toujours gazeux, et non du combustible utilisé, qui peut être aussi bien gazeux que liquide (les turbines à gaz utilisent généralement du gaz naturel ou des distillats légers. [13])



**Figure I.7 :** Schéma synoptique d'une turbine à gaz

## I.7.2 Les centrales à cycle combiné

Les centrales à cycle combiné permettent de mettre à profit l'énergie résiduelle de ces gaz chauds qui vont céder leur chaleur dans un échangeur pour faire bouillir le fluide d'un second cycle thermodynamique. La vapeur ainsi obtenue entrainera à son tour une deuxième turbine génératrice d'électricité. La turbine à gaz et la turbine à vapeur (TGV) entraînent chacune un alternateur. L'intérêt de ces centrales, est ainsi double : le rendement est fortement amélioré (jusqu'à 70% contre 35% pour une turbine à gaz seule) et les émissions polluantes s'en trouvent fortement réduites (jusqu'à 50% d'émissions polluantes en moins pour la même quantité d'électricité fournie). [13]

## I.7.3 La centrale hydraulique:

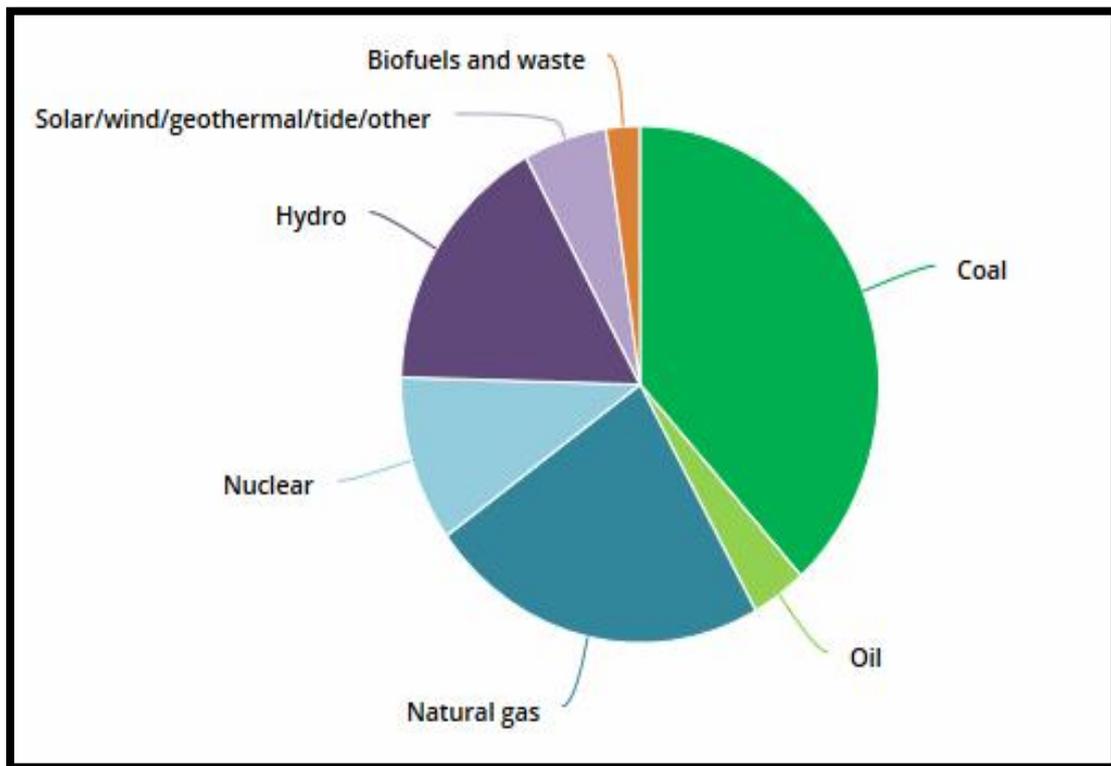
L'énergie renouvelable est la chute de l'eau. L'énergie mécanique de l'eau dans sa chute fait tourner une turbine.

## I.7.4 La centrale éolienne

L'énergie renouvelable est le vent. L'énergie mécanique du vent fait tourner les pâles de l'éolienne qui entraîne un alternateur. Ce dernier transforme cette énergie mécanique en énergie électrique.

## I.7.5 Les centrales nucléaires

Les centrales nucléaires se différencient des centrales thermiques classiques par leur mode de production de la chaleur: la combustion de matières fossiles est remplacée par la fission d'atomes d'uranium. Dans une centrale nucléaire, l'eau du circuit primaire (en contact avec le cœur du réacteur) transmet sa chaleur à l'eau du circuit secondaire (bien séparée du circuit primaire) dans le générateur de vapeur. Les installations mécaniques et électriques d'une centrale nucléaire (turbine - alternateur - condenseur) sont, dans leur principe, les mêmes que celles d'une centrale thermique classique. Le cycle du combustible nucléaire. L'uranium est d'abord enrichi avant d'être placé dans le réacteur nucléaire. A la fin de son utilisation, le combustible nucléaire est placé dans des piscines de stockage en vue de diminuer sa chaleur et sa radioactivité. [13]



**Figure I.8 :** Production d'électricité dans le monde en 2016. [15]

## I.8 Les indices de qualité d'énergie :

Dans la pratique l'énergie électrique fournie par un réseau électrique deux indices de qualité :

- ❖ La Fréquence
- ❖ L'Amplitude de la tension

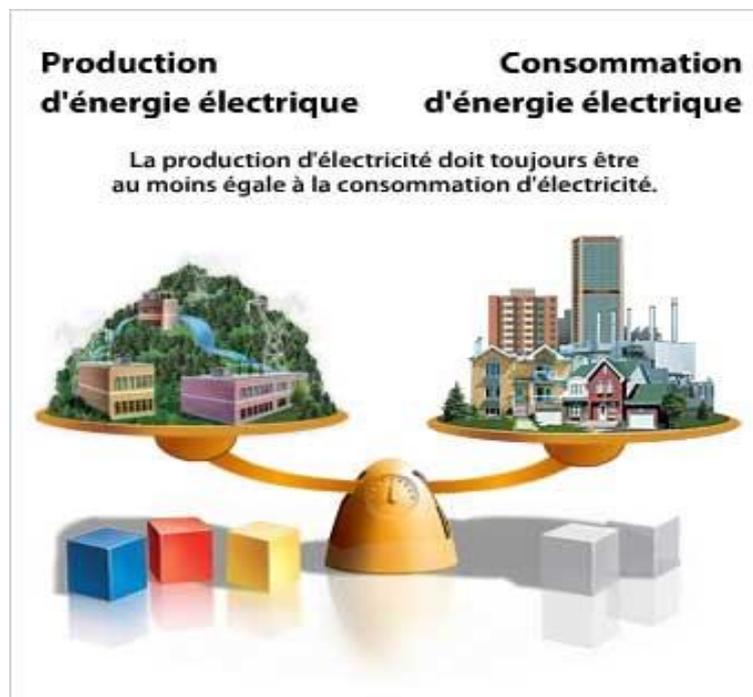
La régulation des réseaux électriques est l'ensemble des moyens mis en œuvre (processus d'asservissement agissant sur un système dynamique) afin de maintenir proches de leurs valeurs de consigne les grandeurs de fréquence et de tension sur l'ensemble du réseau.

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).

### I.8.1 Le réglage de fréquence :

La fréquence règle en adaptant e permanence le niveau de production à celui de la demande (maintien instantané de l'équilibre Production Consommation).

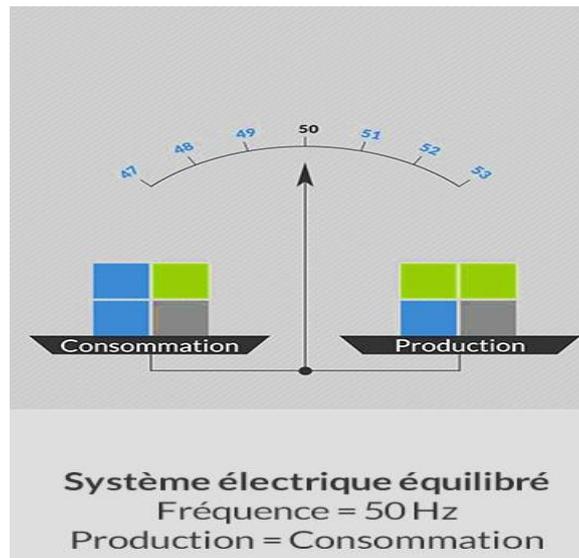
La fréquence varie lorsque la charge du réseau varie, ou alors lorsque des générateurs sont couplés ou découplés du réseau



**Figure I.9 :** L'équilibre entre la production et la consommation

A partir de laquelle nous pouvons ajuster la fréquence pour trois cas :

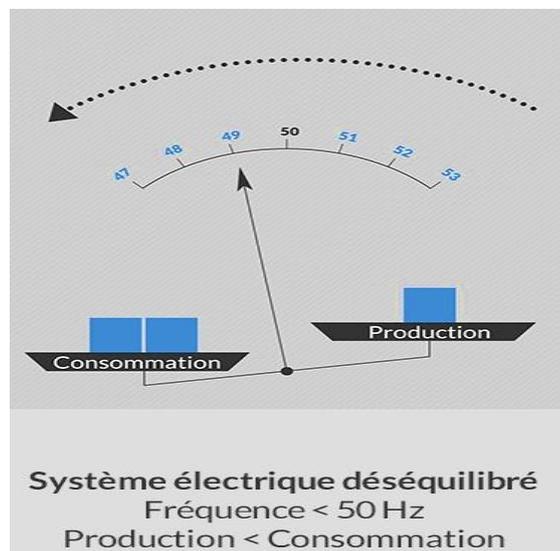
- **Cas 1 (production = consommation)**



**Figure I.10 :** la relation entre la consommation et la fréquence (cas d'équilibre)

Une consommation exactement égale à la production (situation d'équilibre). L'arbre de la turbine conserve son rythme. La fréquence est donc maintenue.

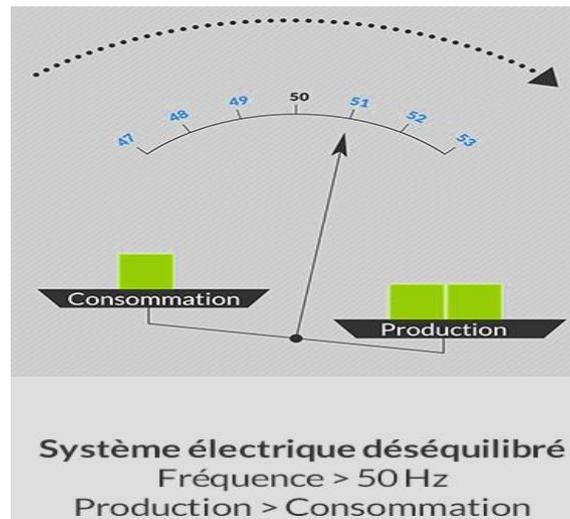
- **Cas 2 (production < consommation)**



**Figure I.11 :** la relation entre la consommation et la fréquence (cas diminution la fréquence)

la consommation augmente (la force de résistance augmente), l'arbre de la turbine va ralentir, donc la fréquence du courant produit va baisser

## ▪ Cas 3 ( production > consommation )



**Figure I.12 :** relation entre la consommation et la fréquence (cas augmentation de fréquence)

La consommation baisse (la force de résistance diminue), l'arbre de la turbine va accélérer, donc la fréquence du courant produit va augmenter

### I.8.2 Réglage de tension :

La tension avec la fréquence, sont des paramètres les plus importants pour la sûreté et la stabilité du système électrique. Le législateur définit des normes d'exploitation des réseaux que les gestionnaires doivent appliquer. Ces normes permettent notamment d'assurer la sûreté du système électrique et la qualité de l'énergie délivrée.

Les gestionnaires ont donc mis en place sur leurs réseaux des systèmes de réglage de tension qui leur permettent de respecter ces normes et donc d'améliorer la qualité et la sûreté sur les réseaux.

Le réglage de la tension en point du réseau est réalisé par la modulation de la puissance réactive produite ou consommée en ce point. Le composant le plus facile à activer est la machine synchrone conventionnelle connectée en ce nœud. Donc on déduit que la tension est un élément très important pour les réglages entre la puissance active et réactive. Pour les réglages de la tension on utilise AVR au niveau du centrale et on peut utiliser le transformateur de réglage pour régler la tension de chaque points du réseau.

## I.9 Présentation du central cycle simple Oumache 2 –Biskra- 456,89 MW



**Figure I.13 :** Photo satellite du site de la centrale d'Oumache

La centrale cycle simple Oumeche 2 -Biskra- 456,89 MW rattaché au pôle de production TV/TG EST s'inscrit dans le cadre du plan d'urgence pour développer le parc de production par une puissance additionnelle de 1600 MW.

Il a pour objectif :

- ✓ De répondre à la demande croissante d'énergie.
- ✓ D'assurer la continuité et la qualité de service.
- ✓ D'assurer la sécurité de l'alimentation en énergie électrique de la région.
- ✓ Assurer un appoint au réseau national interconnecté.

Le site de la centrale Oumeche 2 se situe à 60 KM au Sud de la wilaya de Biskra et occupe une superficie de 17,5 Hectare.

La centrale est composée essentiellement :

- ✓ Deux (02) turbines à gaz type SGT5-4000F Siemens d'une puissance globale de 456.89MW aux conditions du site
- ✓ Un Système d'Alimentation en gaz naturel, et un système d'alimentation en fuel.

## Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes énergétiques

- ✓ Un Système d'Evacuation de l'électricité en 400 kV par le poste mobile (première en Algérie) fourni par le constructeur jusqu'à la réalisation d'un avant-poste Oumache 400 kV.
- ✓ Six (06) groupes électrogènes de secours.
- ✓ Système de protection incendie.
- ✓ Bâtiment administratif, cantine, bâtiment électrique et divers locaux.
- ✓ Station d'eau déminéralisée et système traitement d'eau. [16]



Figure I.14 : Vue en 3D de la TG 1&2 et ses auxiliaires

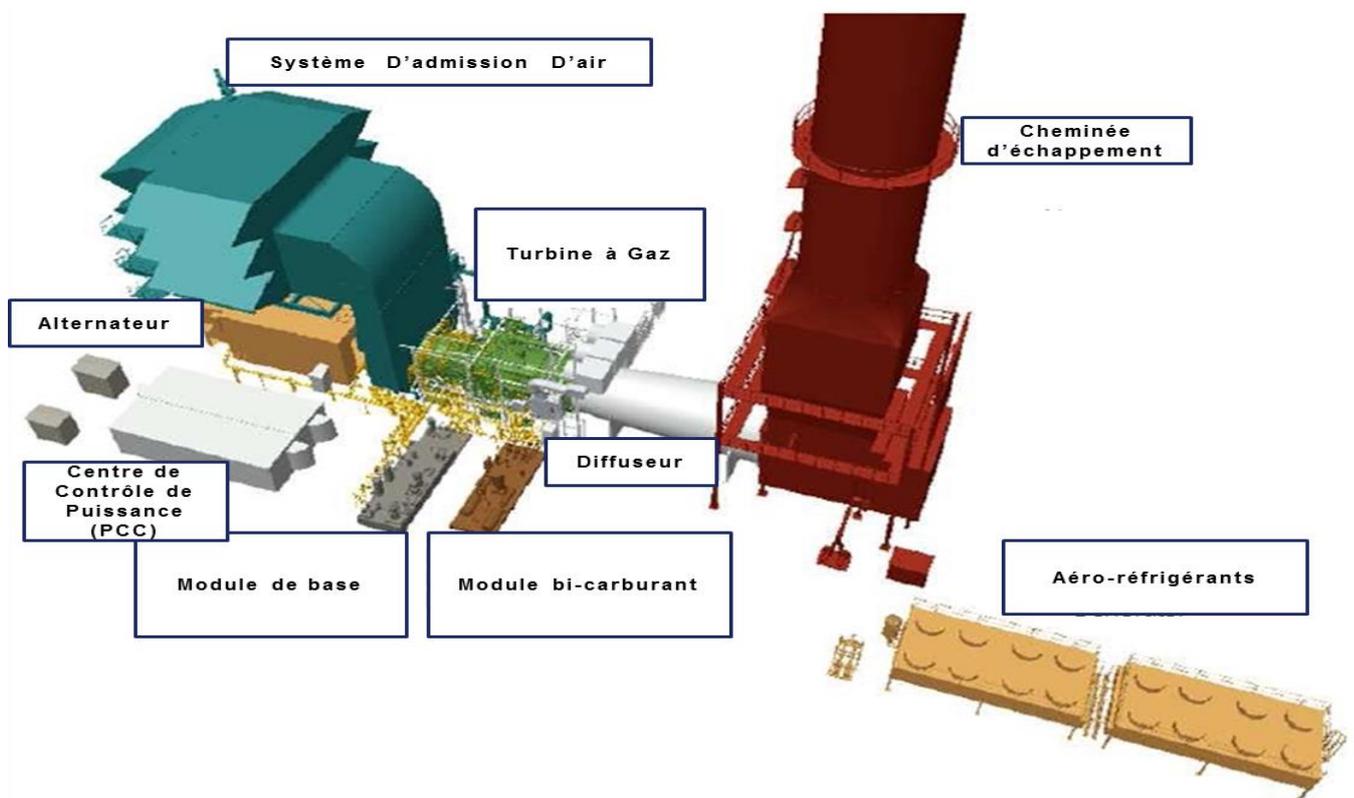
### I.9.1 Fiche technique de la centrale TG (2x228.44 MW)

Les caractéristiques techniques de la centrale sont récapitulées dans le tableau suivant qui inclut toutes les caractéristiques techniques et le Montant de réalisation de la centrale[16]

• <b>Superficie</b>	- 17 500 m <sup>2</sup>
• <b>Maitre d'ouvrage</b>	- SPE. Spa
• <b>Maitre d'œuvre</b>	- CEEG. Spa
• <b>Constructeur</b>	- HANWHA / Corée Sud
• <b>Puissance</b>	- 456.89 MW
• <b>Tension d'évacuation</b>	- 400kV
• <b>Combustible utilisé</b>	- Gaz Naturel - Diamètre 20 pouces
• <b>Combustible de secours</b>	- Gasoil « mazoute »

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité 2 X 12 865 m<sup>3</sup></li> <li>- Autonomie 6 jours</li> </ul>
<b>Montant de réalisation de la centrale TG</b>	
▪ <b>Partie Dinars</b>	9,196 Milliard DZD (HT)
▪ <b>Partie Devises</b>	335,6 Millions Dollar (HT)
▪ <b>Total</b>	44,87 Milliards DZD (HT)

**Tableau I.1 :** fiche technique et montant de la réalisation de centrale TG Biskra



**Figure I.15 :** Schéma des équipements pour un TG

### I.9.2 Description la turbine Siemens SGT5-4000F :

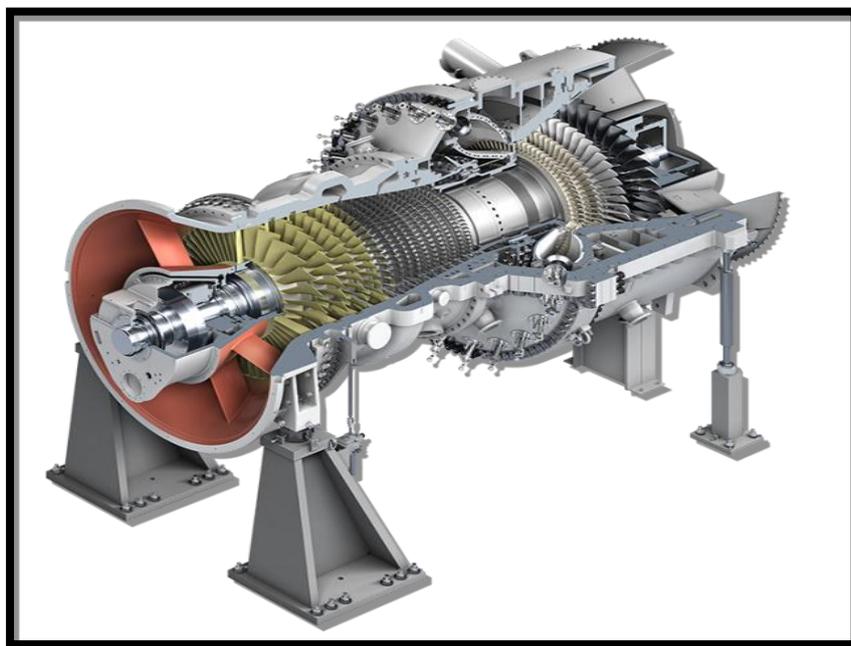
Les turbines à gaz annulaires de chambre de combustion Siemens AG sont des moteurs à arbre unique de conception à un boîtier unique. Ils sont adaptés pour entraîner les générateurs de charge de base, charge partielle et charge de pointe de centrales à une vitesse constante. Ces moteurs peuvent être utilisés dans l'une des nombreuses variantes associées à des applications à cycle combiné. Ils sont adaptés pour un fonctionnement avec des carburants gazeux ou liquides.

[16]

## I.9.3 Caractéristique technique de la turbine Siemens SGT5-4000F

Turbocompresseur à Gaz	
• Type	: SGT5-4000F, 231MW
• Turbine	: Nombre des étages : 4
• Compresseur	: Nombre des étages : 15
• L'aéro-réfrigérant pour l'huile de graissage	: (2 x 100%)
• Cheminée d'échappement	: d'une hauteur de 60m et un diamètre de 7m
• Débit gaz d'échappement	: 1730 m <sup>3</sup> /s
• Température de gaz d'échappement	: 650 °C
• Diffuseur	: Pression min : 2000 Pa
	: Pression max : 5400 Pa

Tableau I.2 : la fiche technique de la Turbine SGT5-400F



Siemens SGT5-4000F

Figure I.16 : schéma de la Turbine SGT5-400F

## I.9.4 Description de l'alternateur SGen5-1000A

L'alternateur est une machine synchrone de 19kV,  $\cos(\varphi)=0,85$ , fourni par Siemens. L'alternateur est fourni avec un Système d'Excitation Statique.

## I.9.5 Caractéristique technique de l'alternateur SGen5-1000A

• <b>Constructeur</b>	: SIEMENS
• <b>Type</b>	: SGen5-1000A
• <b>Tension</b>	: 19kV, Triphasé.
• <b>Fréquence</b>	: 50 Hz à 3000Tr/min
• <b>Facteur de puissance</b>	: 0,85.
• <b>Puissance Nominal</b>	: 231,7MW à 45 °C

Tableau I.3 : la fiche technique de l'alternateur SGen5-1000A



Siemens SGen5-1000A

Figure I.17 : Alternateur module (SGen5-1000A)

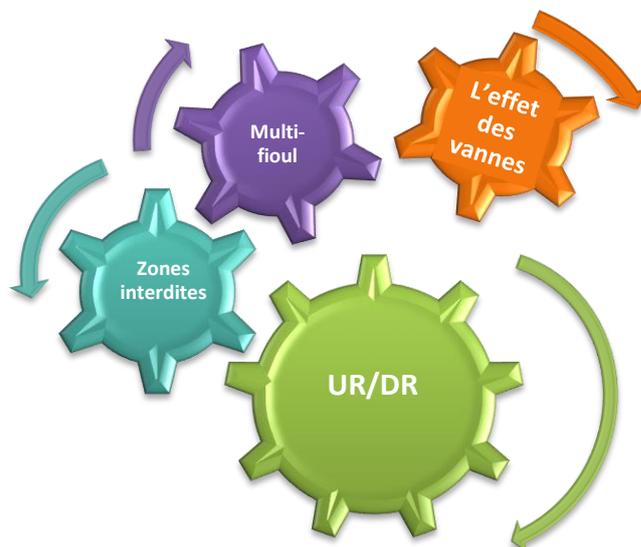
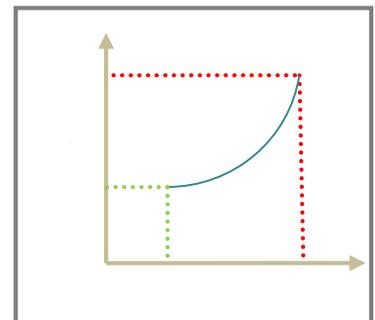
## **II.10 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a défini les différents éléments d'un réseau électrique, et aussi ces différentes structures. Puis on a présenté une description du réseau de transport électrique Algérien. Le principe de fonctionnement de différentes centrales électriques à savoir les centrales thermiques, nucléaires et hydrauliques ont été présentées en bref. Une partie spéciale a été consacrée pour donner une description générale sur la centrale de production d'énergie électrique de Biskra-Oumache. Le prochain chapitre sera consacré à l'étude et l'analyse du problème de dispatching économique.

# Chapitre n° II

## Formulation du problème de dispatching économique

$$\text{Min } F(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2$$



## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

### II.1 Introduction :

L'exploitation des réseaux électriques pose de nombreux problèmes d'ordre technique et économique. L'exploitant du réseau doit assurer en tout temps et en tout lieu la couverture de l'énergie demandée, de garantir une qualité acceptable de la puissance livrée et de procurer une sécurité d'alimentation élevée avec un coût aussi faible que possible. Le problème de dispatching économique dans ces versions statique et dynamique occupe dans nos jours une place déterminante dans la stratégie concurrentielle de l'entreprise, qui se trouve face à face à la libéralisation du secteur d'électricité donc face à une concurrence acharnée, soit pour les nouvelles restrictions liées à l'environnement qu'elle doit les respecter. [17]

### II.2 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.

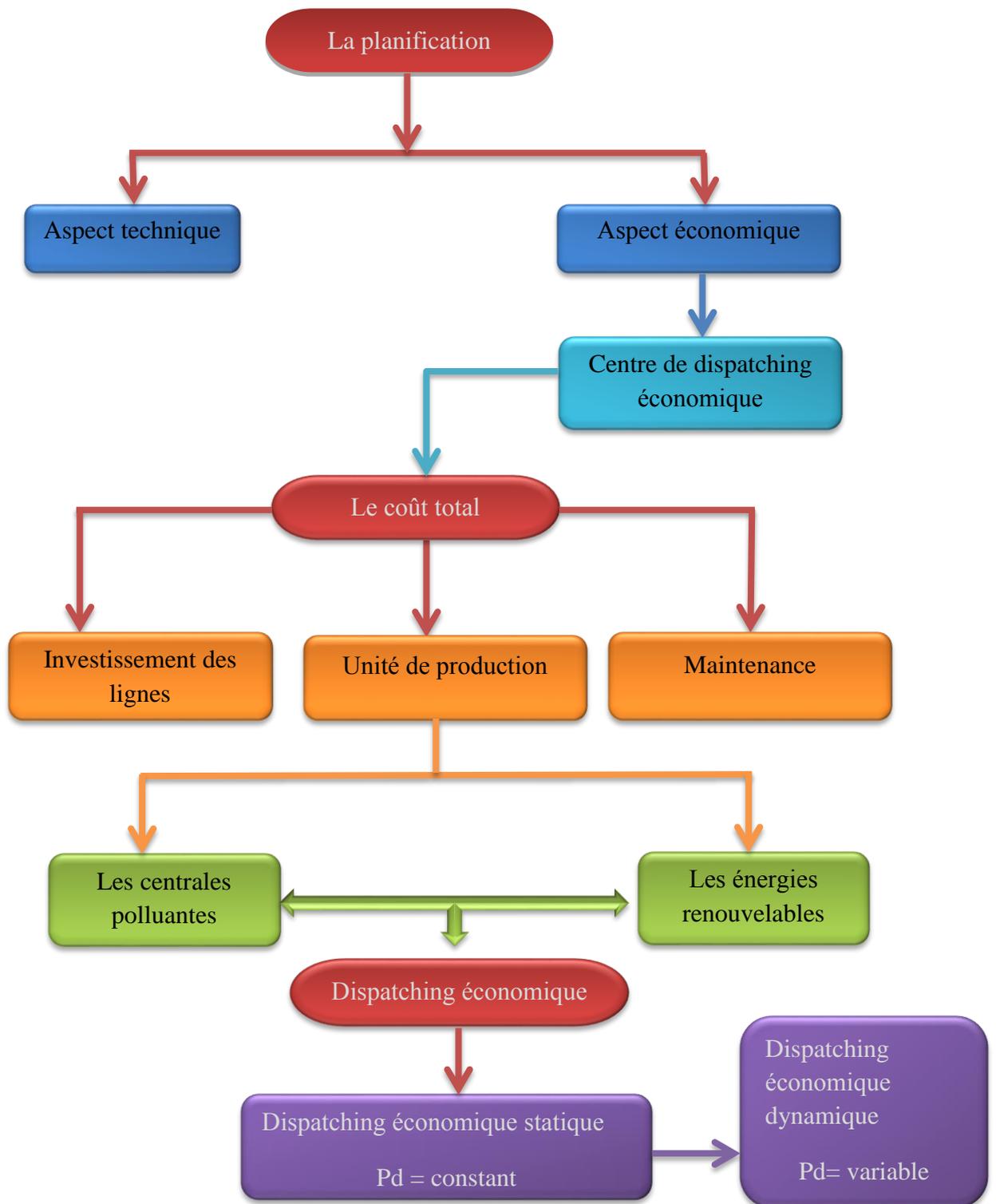
KIRCHMAYER a ensuite indiqué l'importance de considérer ces pertes et a proposé la "méthode des coefficients 'B' pour les calculer. Elle suppose, entre autres, des tensions constantes sur tout le réseau et ne livre que le dispatching des puissances actives. Plusieurs améliorations de la proposition originale 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. [18][19]

### II.3 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. [20]

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique



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

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

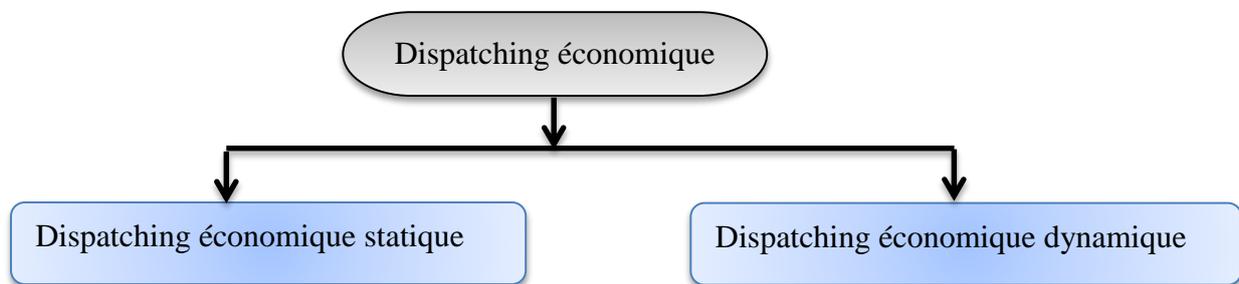
---

### II.4 Bilan de puissance

Le système énergétique constitue une composante essentielle de l'économie moderne à l'échelle mondiale pour n'importe quels pays doit être assuré instantanément l'équilibre entre puissance produites et la puissance demandée (doit être égale la somme de la puissance consommées plus les pertes)

### II.5 Dispatching Economique :

Le dispatching économique est un sous problème du problème de planification des réseaux électriques. Ce problème peut être classé en deux catégories :



**Figure II.2 :** Catégories de classification du dispatching économique.

#### II.5.1 Problème de Dispatching économique

Le dispatching économique est un problème d'optimisation (off line) qui consiste à répartir la production de la puissance active demandée entre les différentes centrales du réseau, de sorte à exploiter ce dernier de la manière la plus économique possible, cette distribution doit évidemment respecter les limites de Production des centrales. La variable à optimiser est donc le coût de production. Le problème du dispatching économique statique sans perte est peu complexe car le seul paramètre qui influence le coût est la puissance active générée par la centrale (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 combustibles 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 et qu'un générateur bon marché ne peut pas être le plus rentable, puisqu'un générateur qui se trouve trop loin du

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

centre de la charge donne des pertes de transmission énormes, et donc le rend peu économique de fonctionner. [17]

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) [21][22][23], 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 [24][25]

### 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 [27][28][17]

#### II.6.1 Caractéristiques des systèmes électriques

**a)**-Les caractéristiques technico-économiques des centrales électriques sont déterminantes pour leur exploitation. Trois types de caractéristiques ont une influence pour l'exploitation d'une centrale électrique à court terme: son coût de production; ses contraintes techniques et sa fiabilité. Le plus important de ces trois caractéristiques est le coût variable de production. Pour les centrales thermiques, il reflète principalement le coût du combustible utilisé et les autres coûts d'exploitation et de maintenance de la centrale. Le coût du combustible est évalué en utilisant des valeurs de consommation spécifiques de chaleur (une quantité d'énergie thermique nécessaire pour produire de l'électricité) de la centrale et le prix du combustible. La valeur de consommation spécifique de chaleur (CSC) est proportionnelle à l'inverse du rendement énergétique: plus la CSC est grande, moins la centrale est performante [29].

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

La fonction coût a une forme non linéaire qui peut être approximée à une courbe quadratique de type :

$$C_{centrale}(P_{Gi}) = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 \quad (\text{II.1})$$

représentée par la Figure suivante :

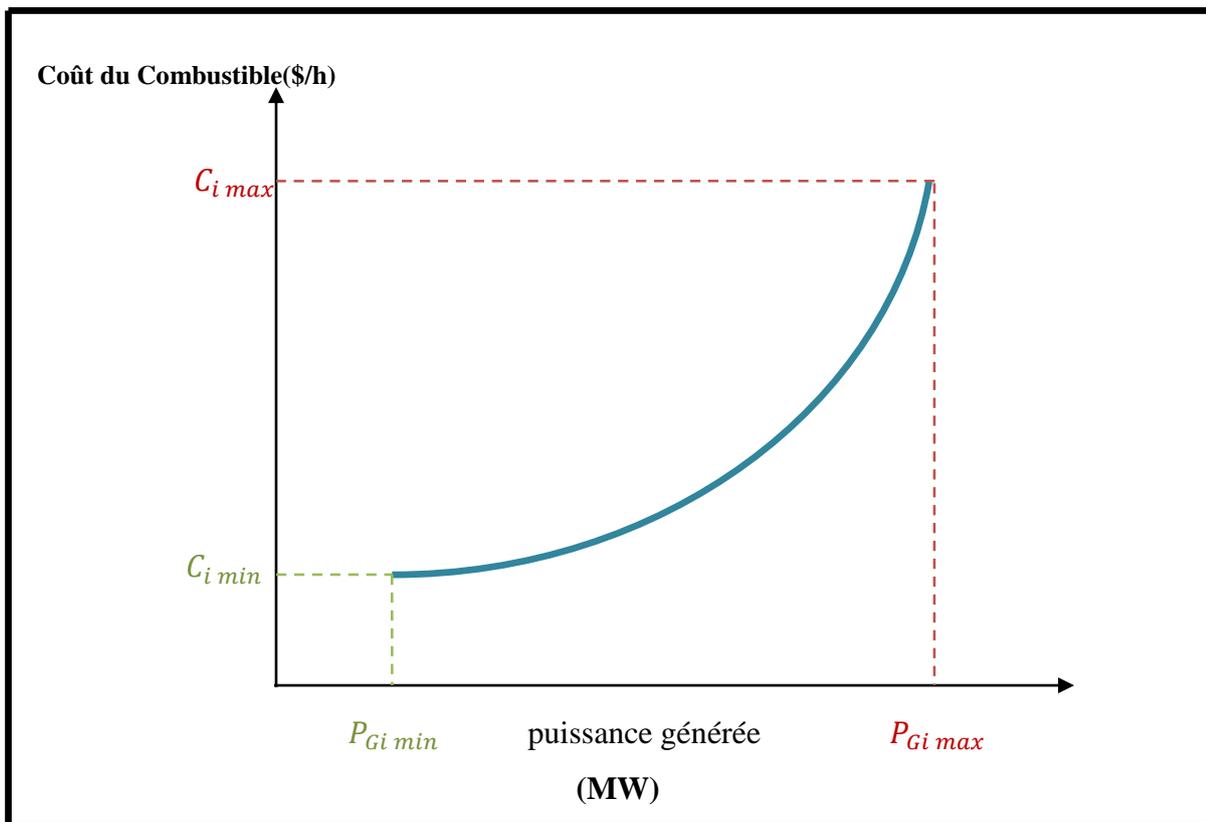
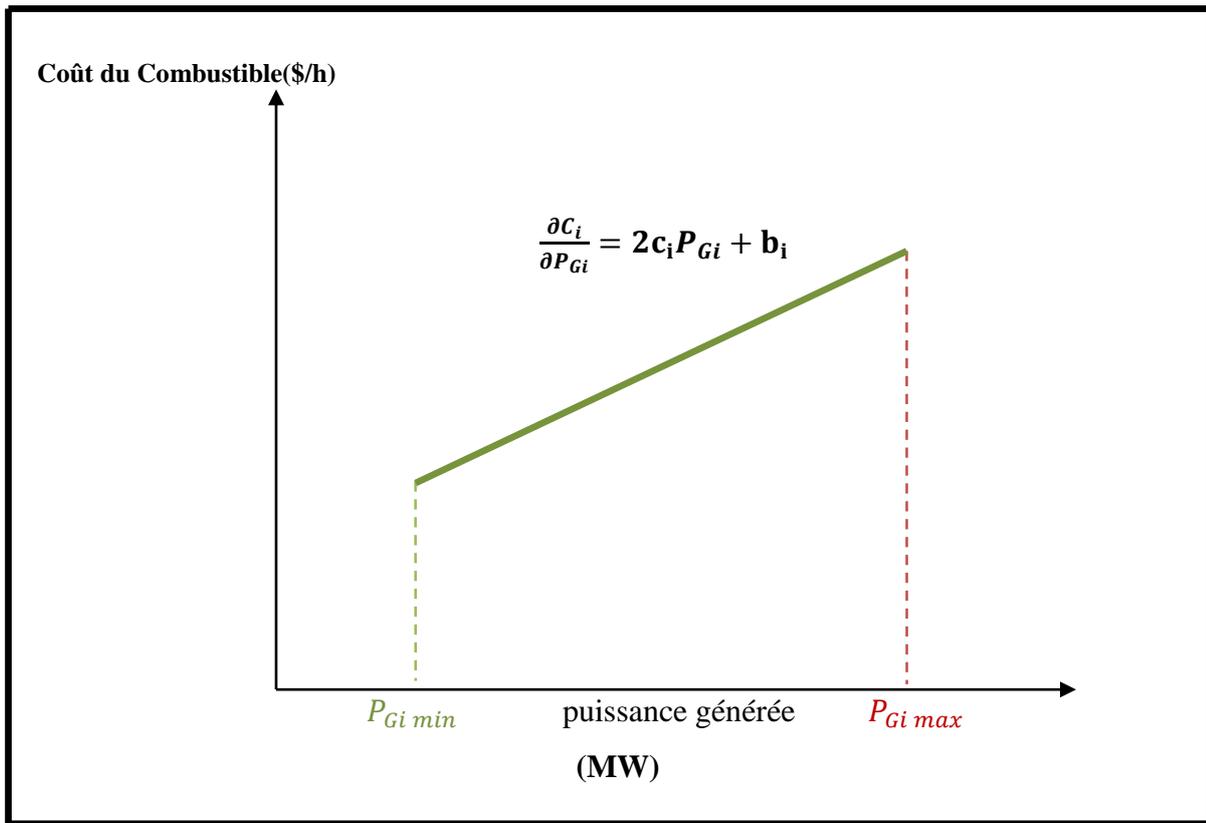


Figure II.3 : Caractéristique du coût d'un générateur thermique

La constante  $a_i$  est appelée coût de marche à vide, elle représente le coût pour maintenir la marche d'une unité de production à production nulle. Le coût incrémental (ou marginal) de production est le coût pour produire une unité supplémentaire d'énergie. Ce coût est important pour prendre les décisions d'exploitation à court terme :

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique



**Figure II.4** : Courbe de l'accroissement du coût de combustible.

Outre le coût variable à court terme, d'autres caractéristiques spécifiques sont importantes à mentionner pour la production d'électricité. C'est le cas notamment du coût spécifique pour démarrer ou arrêter l'unité de production (coût de démarrage et d'arrêt). Par exemple, le coût de démarrage correspond au coût de l'énergie nécessaire pour mettre en fonctionnement toutes les installations permettant la production d'électricité (chaudières, pompes, etc.). Ce coût dépend normalement de l'état de l'unité de production au moment de l'appel à démarrer (démarrage à froid ou à chaud). [30]

**b)**-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).[31][32][33]

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 [33][34]

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

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[33][35]:

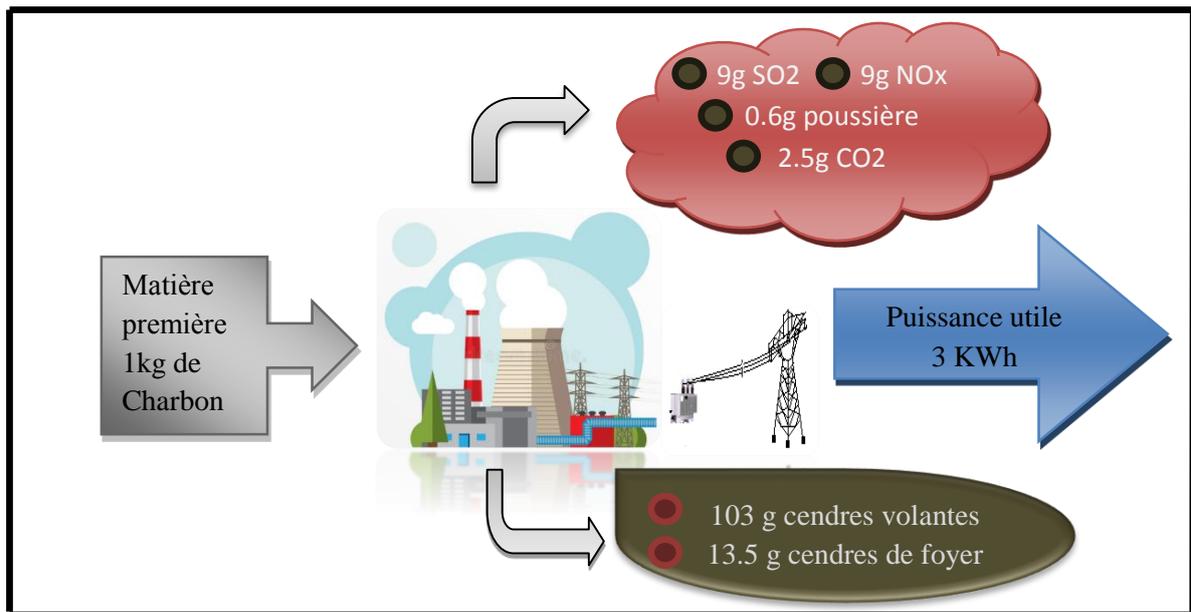
$$F_{cout}(P_G) = \sum_{i=1}^{Ng} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 + d_i \exp(e_i P_{Gi})) \quad [Ton/h] \quad (II.2)$$

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, d_i$  et  $e_i$  les coefficients de la fonction coût modifier avec considération de l'effet de l'émission du gaz (pollution control).

La fonction objective liée avec le contrôle de l'émission du gaz peut être formalisée comme suit:

$$F_{ce} = \omega \cdot F_e \quad [$/h] \quad (II.3)$$

$\omega$  est un facteur de control d'émission \$/Ton.[36]



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

A titre d'exemple la figure II.5 présente les rejets d'une centrale à charbon qui justifient clairement l'importance d'inclure l'effet de pollution dans le problème de dispatching économique.

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

### II.6.2 Caractéristiques des systèmes électriques

La caractéristique coût d'un générateur thermique est représentée par un graphe qui relie le taux du combustible à l'entrée (en Btu/h) avec la puissance électrique délivrée (en MW) de l'unité. La forme de cette courbe est déterminée sur la base des données collectées à partir des essais effectués sur l'unité génératrice.

Il est souvent usuel d'utiliser le taux du coût de combustible (en \$/h) au lieu du taux du combustible (en Btu/h). Cette conversion est accomplie en multipliant le taux du combustible par le prix du combustible (en \$/Btu). La caractéristique qui en résulte et que nous montrons dans la Figure II.3, est connue sous le nom de courbe de coût du combustible. Généralement, pour représenter cette dernière caractéristique, on adopte une fonction quadratique comme il est mentionnée par l'équation (II.1).

### II.7 Formulation d'un problème de dispatching économique

Le problème de dispatching économique c'est un problème d'optimisation statique, qui consiste à trouver le cout minimal possible pour la répartition de la puissance demandé entre les déférentes centrales de ce système électrique[54]. la fonction objective de ce problème représenté par le coût total de la production des puissances actives avec condition avec considération des contraintes pratiques d'égalités et d'inégalités liés aux unités de production.

#### II.7.1 Fonction objective:

Généralement l'objectif le plus utilisé dans la formulation de problème d'optimisation est minimisation du coût total de puissance active générée par des unités de productions, dont les caractéristiques sont complexes et fortement non-linéaire en satisfaisant les contraintes d'égalités et d'inégalités [37][38] La fonction objective totale du système électrique peut alors être écrite comme la somme du modèle quadratique de coût de chaque générateur [39].

$$\text{Minimiser } F(\mathbf{x}) : \sum_{i=1}^{NG} C_i = \sum_{i=1}^{NG} a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad [$/h] \quad (\text{II.4})$$

$$\text{Ou } H(\mathbf{x}) : P_{Gimin} \leq P_{Gi} \leq P_{Gimax} \quad (\text{II.5})$$

$$G(\mathbf{x}) P_{Di} = P_{Gi} + P_{Li} \quad (\text{II.6})$$

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

Tels que  $a_i, b_i, c_i$  représentent les coefficients de coût de la  $i^{\text{ème}}$  unité de production,  $P_{Li}$  sont respectivement la puissance demandée et les pertes actives de transport.

### II.7.2 Les contraintes :

#### II.7.2.1 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. [40]

##### a) 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

$$\sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = P_D \quad (\text{II.7})$$

##### b) 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  $P_L$  les pertes totales de puissances actives, la contrainte d'égalité devient :

$$\sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = P_D + P_L \quad (\text{II.8})$$

#### II.7.2.2 Contrainte d'inégalité

En pratique, la puissance générée  $P_{gi}$  est limitée par une borne inférieure  $P_{gi \min}$  et une borne supérieure  $P_{gi \max}$

$$P_{gi \min} \leq P_{gi} \leq P_{gi \max} \quad ; i = 1 \dots ng$$

En plus des contraintes sur les puissances actives à chaque générateur qui a une influence directe sur la fonction coût, on peut citer d'autres contraintes d'inégalités [41][19]

- La puissance réactive générée  $Q_{gi}$  :

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

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

- 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 [41] :

$$V_{ik \min} \leq V_{ik} \leq V_{ik \max}$$

### II.7.3 Dispatching économique avec des limites sur les puissances générées :

Dans le cas où les puissances des générateurs sont limitées par des bornes inférieures  $P_{gi \min}$  et des bornes supérieures  $P_{gi \max}$ . Le problème d'optimisation est de la forme [42]:

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

(II.9)

Selon

$$\sum_{i=1}^N P_{Gi} = P_D$$

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

Les conditions de Kuhn-Tucker d'optimalité pour ce problème seront données par:

$$\begin{cases} P_{Gi \min} < P_{Gi} < P_{Gi \max} \rightarrow \frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} = \lambda \\ P_{Gi} = P_{Gi \max} \rightarrow \frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} \leq \lambda \\ P_{Gi} = P_{Gi \min} \rightarrow \frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} \geq \lambda \end{cases}$$

(II.10)

Et l'algorithme de résolution de ce problème est comme suit :

1. on calcule la puissance générée de chaque générateur par la formule:

$$P_{Gi} = \frac{1}{2c_i} \left( \left( \sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2c_i} \right)^{-1} \cdot (P_D + \sum_{i=1}^{ng} \frac{b_i}{2c_i}) - b_i \right)$$

(II.11)

2. on vérifie les dépassements des puissances générées:

$$\text{si } P_{Gk} \geq P_{Gk \max} , P_{Gk} = P_{Gk \max}$$

$$\text{si } P_{Gk} \leq P_{Gk \min} , P_{Gk} = P_{Gk \min}$$

3. on prend la puissance générée qui atteint sa limite min ou max comme une charge c.-à-d.:

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

$$P'_{Dk} = -P_{Gk} \quad \text{pour toute puissance générée dépassée } k (k=1, \dots, nk)$$

4. on recalcule l'équation de l'équilibre de puissance comme suit:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \notin nk}}^N P_{Gi} = P_D + \sum_{k=1}^{nk} P'_{Dk} \quad \text{ou bien} \quad \sum_{\substack{i=1 \\ i \notin nk}}^N P_{Gi} = P_D - \sum_{k=1}^{nk} P_{Gk}$$

5. le processus itératif continue en retournant à l'étape 1 jusqu'à ce que toutes les contraintes soient satisfaites.

Cette méthode est applicable si les pertes dans le réseau sont vraiment négligeables. Sinon elle va nous donner de fausses informations de point de vue coût puisqu'elle va répartir la plupart de la demande sur les générateurs qui ont l'incrément du coût le plus petit malgré que ces générateurs sont les plus éloignés de la charge.[43]

### II.7.4 Dispatching économique avec les pertes en fonction des puissances générées

#### II.7.4.1 Méthode des coefficients 'β'

Dans les réseaux électriques réels les générateurs sont situés loin du centre de la charge électrique, alors les pertes de transport deviennent importantes.

La forme la plus simple de ces pertes est :[43]

$$P_L = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{Gi} b_{ij} P_{Gj} \quad (\text{II.12})$$

Une deuxième forme plus précise dite la formule de Kron est la suivante [44]

$$P_L = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{Gi} b_{ij} P_{Gj} + \sum_{j=1}^{ng} b_{0j} P_{Gj} + b_{00} \quad (\text{II.13})$$

Avec les  $b_{ij}$  sont les coefficients des Pertes, souvent supposés constants (en  $MW^{-1}$ ).

Le facteur de pénalité  $L_i$  est en fonction de l'accroissement de perte de transmission:

$$L_i = (1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{Gi}})^{-1} \quad (\text{II.14})$$

Le minimum du coût est obtenu quand l'accroissement du coût de chaque centrale multipliée par son facteur de pénalité est le même pour toutes les centrales de production en service.

$$P_L = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{Gi} b_{ij} P_{Gj} + \sum_{j=1}^{ng} b_{0j} P_{Gj} + b_{00} \quad (\text{II.15})$$

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{Gi}} = 2 \sum_{j=1}^{ng} b_{ij} P_{Gj} + b_{0i}$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial P_{Gi}} = \beta_i + 2c_i P_{Gi}$$

$$\lambda = \frac{\partial f_i}{\partial P_{Gi}} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_{Gi}} = \beta_i + 2c_i P_{Gi} + 2\lambda \sum_{j=1}^{ng} b_{ij} P_{Gj} + b_{0i} \quad (\text{II.16})$$

$$\text{on a : } \sum_{j=1}^{ng} b_{ij} P_{Gj} = b_{ii} P_{Gi} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{ng} b_{ij} P_{Gj}$$

on réarrange l'équation (2.16) on aura:

$$\left(\frac{c_i}{\lambda} + b_{ii}\right) P_{Gi} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{ng} b_{ij} P_{Gj} = \frac{1}{2} \left(1 - b_{0i} - \frac{b_i}{\lambda}\right)$$

On peut écrire les équations sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} \frac{c_1}{\lambda} + b_{11} & b_{11} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & \frac{c_2}{\lambda} + b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & \frac{c_n}{\lambda} + b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ \vdots \\ P_{Gn} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - b_{01} - \frac{b_1}{\lambda} \\ 1 - b_{02} - \frac{b_2}{\lambda} \\ \vdots \\ 1 - b_{0n} - \frac{b_n}{\lambda} \end{bmatrix} \quad (\text{II.17})$$

Si ces facteurs de pénalité sont calculés qu'une seule fois avant d'exécuter le dispatching en utilisant les informations prise de l'écoulement de puissance les solutions trouvées certes sont très proches de la solution optimale mais elles ne prennent pas vraiment avec exactitude l'effet des pertes avec la variation de la puissance générée d'où l'intérêt de la mise à jour du calcul de coefficient B et le recalcule du dispatching jusqu'à ce que la variation de la puissance du jeu de barres de référence sera négligeable.[19]

### II.8 Les contraintes pratiques :

Il y a plusieurs contraintes pratiques Nous les mentionnons

- ✓ Les contraintes des valves
- ✓ Contraintes des zones interdites
- ✓ Multi-fuel
- ✓ Ramp down et Ramp up.[72]

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

### II.8.1 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. La figure (II.6) 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 [29][45][46]

$$F = a_i + b_i \cdot P_{Gi} + c_i \cdot P_{Gi}^2 + |f_i \sin(e_i (P_{Gi}^{\min} - P_{Gi}))| \quad (\text{II.18})$$

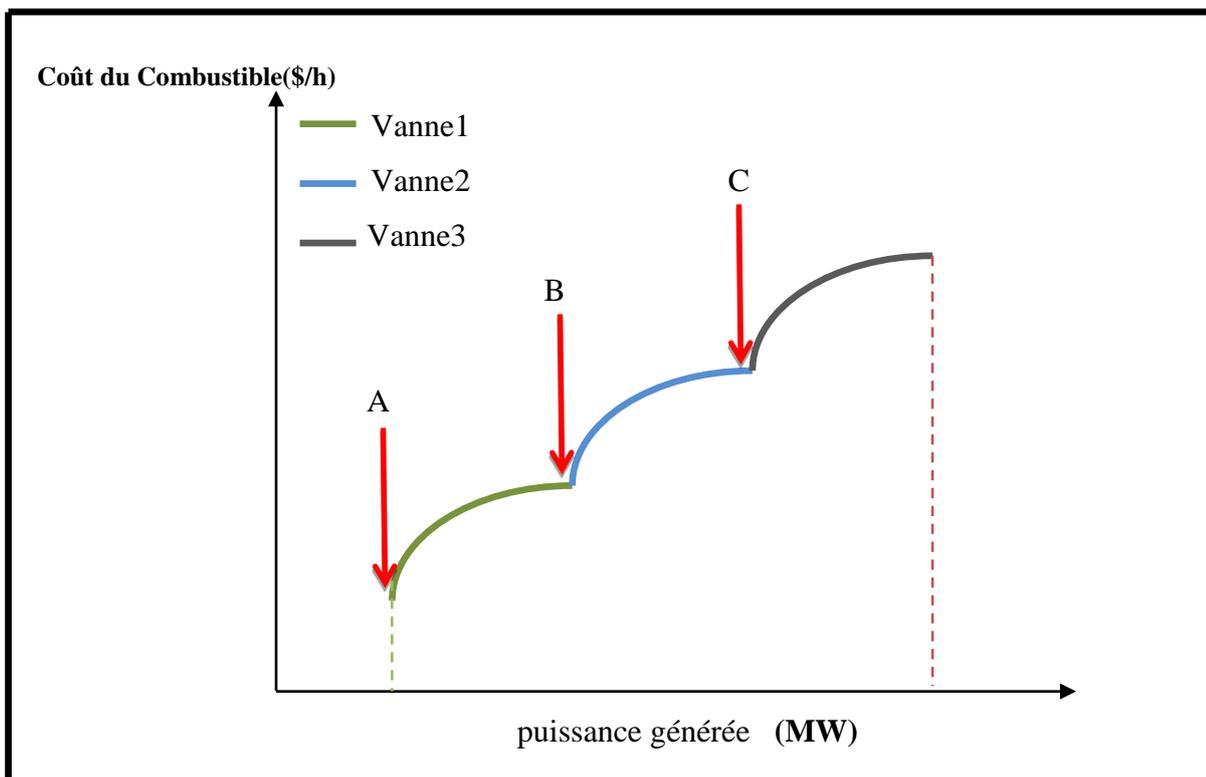
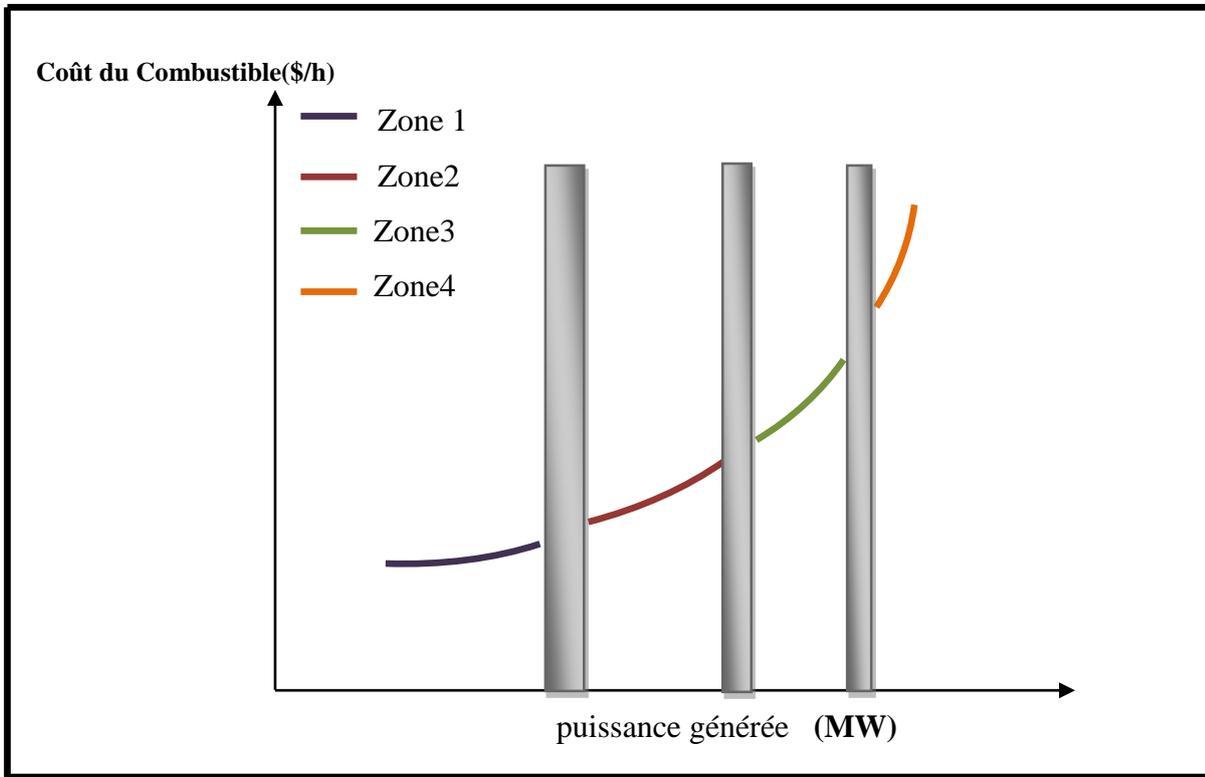


Figure II.6 : Courbe de coût de combustible d'une unité thermique sous l'effet de vannes

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

### II.8.2 Caractéristique avec des zones de fonctionnements prohibées

Dans la pratique, les unités peuvent avoir des régions de fonctionnement indésirables pour des problèmes liés à la stabilité ou des limitations physiques de fonctionnement au niveau des composants des machines (ensemble turbine rotor de la machine synchrone). Ces régions créent des discontinuités au niveau de la courbe du coût de combustible, étant donné que l'unité doit fonctionner à l'intérieur de certaines plages spécifiées. Ce type de fonction est caractérisé par un espace de solution non convexe [17]. La caractéristique de l'effet des zones interdites est présentée dans la figure II.4. La formulation mathématique liés à l'effet des zones interdites est exprimé comme Suit [36] :



**Figure II.7** : Courbe de coût du combustible d'une unité thermique sous l'effet des zones de fonctionnements prohibées.

Les intervalles de fonctionnement pour une unité thermique avec des zones de fonctionnement prohibées sont données par les équations :

$$\left. \begin{array}{l} P_i \in \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,l}^l \\ P_{Gi,k-1}^u \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,k}^l \quad K = 2 \dots \dots, z_i \\ P_{Gi,z_i}^u \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \end{array} \quad (II.19)$$

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

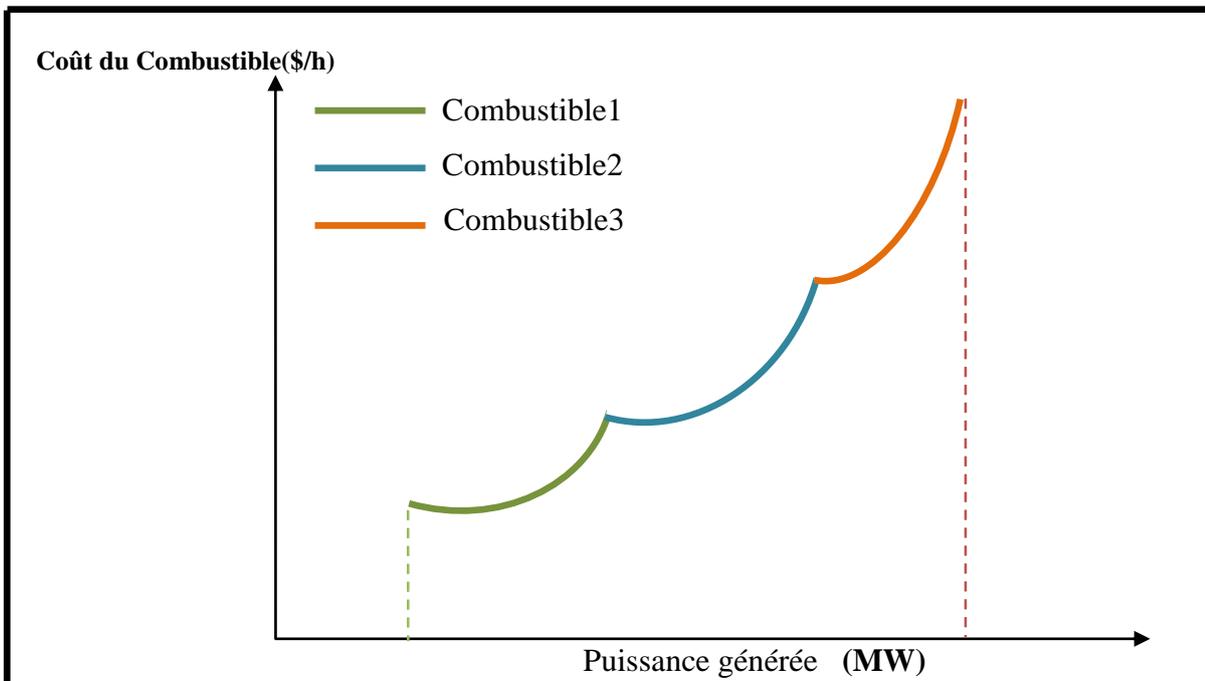
Où  $z_i$  est le nombre de zones prohibées de l'unité  $i$ ,  $P_{Gi,l}^l$  et  $P_{Gi,k}^u$  sont, respectivement, la borne inférieure et la borne supérieure de la zone de fonctionnement prohibée  $k$ .

### II.8.3 Caractéristique de plusieurs types de combustible :

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.8) qui s'écrivent [29]

$$F_i(P_{Gi}) = \begin{cases} a_{i1} + b_{i1} \cdot P_{Gi} + c_{i1} \cdot P_{Gi}^2 & P_{Gi,1}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,1} \\ a_{i2} + b_{i2} \cdot P_{Gi} + c_{i2} \cdot P_{Gi}^2 & P_{Gi,1} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,2} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ a_{ik} + b_{ik} \cdot P_{Gi} + c_{ik} \cdot P_{Gi}^2 & P_{Gi,2} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \end{cases} \quad (\$/hr) \quad (II.20)$$

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. Le combustible le plus économique est représenté par le morceau le plus inférieur de la courbe. Ce type de fonction est également difficile voire impossible à traiter via les techniques standards.

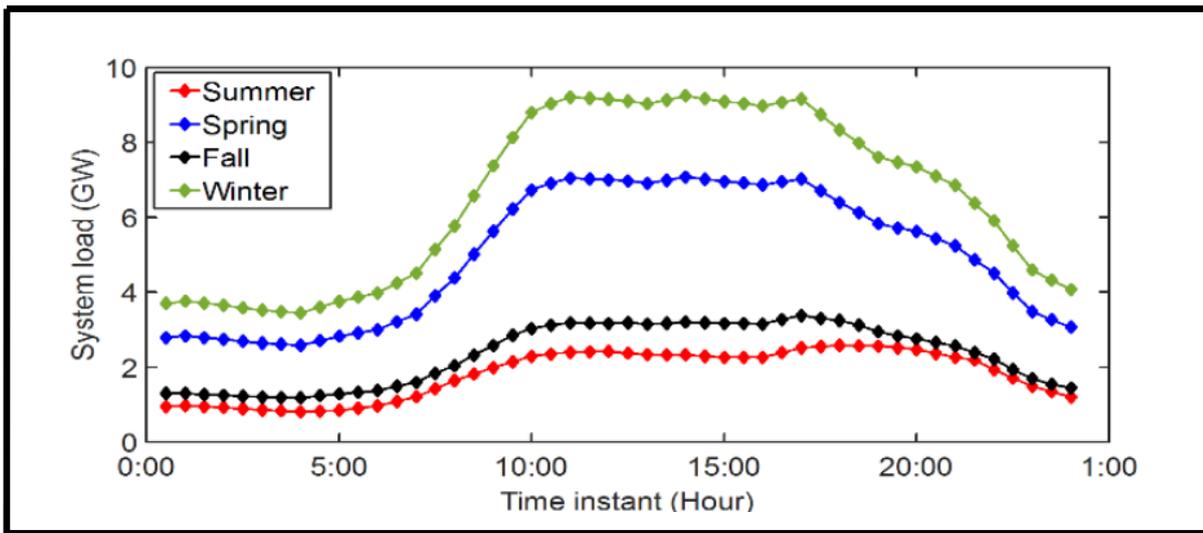


**Figure II.8 :** Courbe de coût d'une unité thermique alimentée par 3 types de combustibles.

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

### II.9 Dispatching économique dynamique

Le dispatching économique est un problème d'optimisation (off line) qui consiste à répartir la production de la puissance active demandée entre les différentes centrales du réseau, de sorte à exploiter ce dernier de la manière la plus économique possible alors [72], la différence entre le dispatching économique statique et dynamique c'est Le dispatching économique dynamique (DED) consiste à trouver la meilleure configuration des puissances produites à un instant donné (heure) et ce en respectant les contraintes d'égalité et d'inégalité prend une dimension dynamique dans le temps et plus la complexité de l'algorithme qui présente une demande variable dans le temps[17] Utilisation de Méthodes d'Optimisation globales, 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[46][47], la demande n'est plus constante mais elle est variable d'une heure à l'autre (24 heures).



**Figure II.9 :** Demande réelle du système pour différentes saisons construite à l'aide des données de demande de l'Oregon de 2007 à 2011.

### II.10 Formulation mathématique de (DED)

Par ailleurs le problème de l'optimisation peut formuler mathématiquement par l'équation(II.21)

$$\min(TC) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{ng} C_{it} P_{it} \quad (\text{II.21})$$

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

Avec  $it$  : est le coût de l'unité  $i$  à l'instant  $t$  ;  $C_{ng}$  : Nombre 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.11 Contraintes liés au DED

#### II.11.1 Contraintes d'égalité :

$$\sum_{i=1}^{ng} P_{it} = P_d(t), t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (\text{II.22})$$

$i=1, 2, 3, \dots, ng$  (Nombre total de générateurs de production).  $P_d$  : c'est la puissance demandée totale

#### II.11.2 Contraintes d'inégalité

$$P_{i,t}^{\min} \leq P_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max}, t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (\text{II.23})$$

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

#### II.11.3 Contraintes Rampes de générateurs :

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 subits de fortes contraintes au niveau de leurs rotors causant ainsi des dégâts préjudiciables [17].

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

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

$DR_i$ ,  $UR_i$  sont respectivement les contraintes Rampes supérieure et inférieure du  $i$ -ème générateur.

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

$$\begin{aligned}
 \text{minimiser } C_{i,t}(P_{gi,t}) &= \sum_{i=1}^{ng} a_i + b_i P_{gi,t} + c_i P_{gi,t}^2 + (|d_i \sin(e_i (P_{gi,t}^{min} - P_{gi,t}))|) \\
 \sum_{i=1}^N P_{i,t} - P_{D,t} - P_{L,t} &= 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \\
 P_{gi}^{min} &\leq P_{gi,t} \leq P_{gi}^{max} \\
 P_{i,t} - P_{i,t-1} &\leq UR_i \\
 P_{i,t-1} - P_{i,t} &\leq DR_i
 \end{aligned} \tag{II.24}$$

### II.12 Dispatching économique environnementale

Le problème de la répartition économique et environnementale (EED) a deux fonctions objectives conflictuelles, telles que le coût total du combustible et les émissions totales produites par certaines centrales thermiques. Il existe tant de méthodes d'optimisation conventionnelles pour résoudre de tels problèmes. Mais ces méthodes ne suffisent pas pour parvenir à une solution optimale, à savoir un coût de carburant minimal et le moins d'émissions possible. Par conséquent, les méthodes d'optimisation conventionnelles ne sont normalement pas adaptées à ce problème d'optimisation non linéaire afin d'obtenir une solution globale optimale. Dans l'enquête bibliographique [48][49] explique différentes méthodes pour résoudre ce type de problèmes afin de réduire la pollution atmosphérique. De nos jours, tant de méthodes sont adoptées dans ces installations thermiques particulières afin de minimiser les émissions, telles que l'installation d'équipements de nettoyage des polluants, l'utilisation de combustibles à faibles émissions, le remplacement des brûleurs de combustibles usagés existants par de nouvelles techniques efficaces de répartition des émissions. Parmi les trois premières méthodes mentionnées ci-dessus, les trois premières nécessitent le remplacement de l'équipement ou la modification de l'équipement existant, ce qui entraîne des coûts d'investissement plus élevés ; ces méthodes peuvent donc être traitées pour des solutions à long terme. Et la dernière option mentionnée est l'envoi d'émissions, qui peut être considérée comme une méthode à court terme. Dans cette méthode, le coût d'exploitation du carburant et les émissions peuvent être réduits au minimum par une répartition efficace.[50]

## Chapitre 2 : Formulation du problème de dispatching économique

---

### II.13 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre des notions sur le dispatching économique, la fonction du coût, les contraintes pratiques et comment formuler le problème de dispatching économique puis le résoudre à l'aide de méthode mathématique simple comme la méthode de Lagrange. Nous remarquons que la solution du problème de dispatching économique considérant les contraintes pratiques à savoir l'effet de valve et l'effet des zones interdites devient complexe cela exige l'utilisation des méthodes d'optimisation robuste. Le prochain chapitre sera consacré à donner un aperçu globale sur l'adaptation et l'application des techniques d'optimisation globales pour résoudre le problème de dispatching économique pratique.

# Chapitre n° III

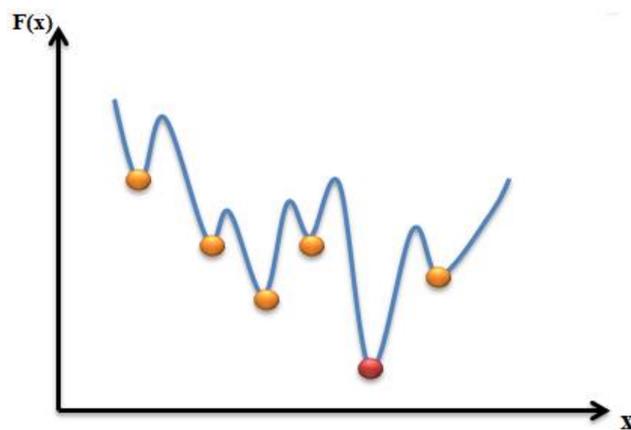
---

---

## Méthodes d'Optimisation Globales

---

---



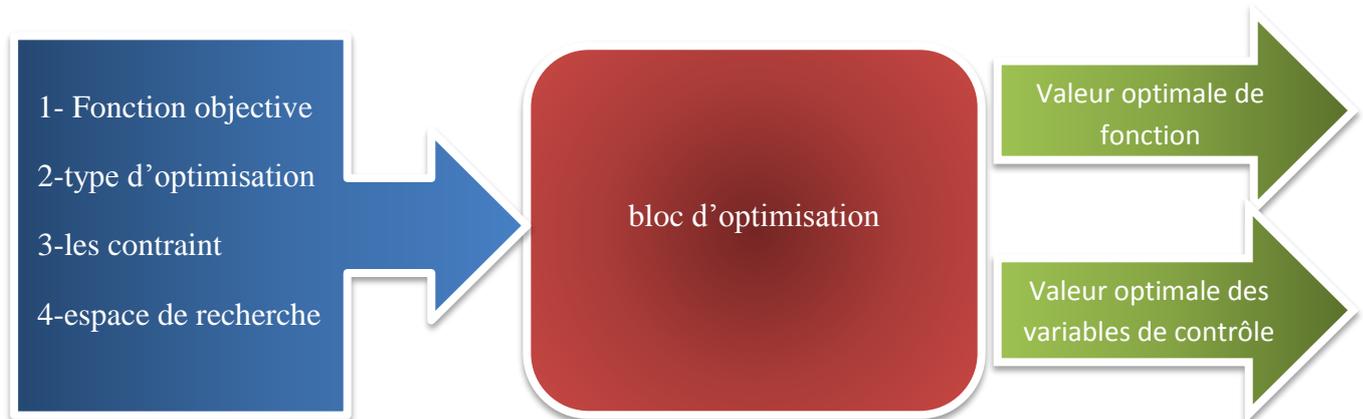
### III.1 Introduction :

La vie réelle foisonne de problèmes qui cherchent une solution. La majorité de ces problèmes ont des solutions qui ne sont pas forcément convenables selon un ou plusieurs critères bien définis. La plupart des problèmes d'optimisation réels sont décrits à l'aide de plusieurs objectifs ou critères souvent contradictoires et parfois complémentaires qui doivent être optimisés simultanément.

Dans ce chapitre on va présenter l'optimisation par ces deux types mono-objective et multi-objectif ainsi les méthodes de résolution de ces problèmes plus la formulation minimisation de cout et minimisation d'émission de gaz [51]. Ensuite on va présenter des méthodes méta-heuristiques à savoir, l'algorithme génétique (AG), algorithme à essais 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 [52] 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. La structure du problème d'optimisation peut être résumé dans la Figure III.1 (les entrées et sorties d'un bloc d'optimisation)



**Figure III.1 :** Structure globale du problème d'optimisation.

#### III.2.1 Fonction Objective

Représente le but à atteindre pour le décideur (minimisation de coût, de durée...). Elle définit un espace de solutions potentielles au problème [53].

Dans ce travail, la fonction objective représente le coût total de différentes unités de production d'électricité, et c'est la fonction que l'algorithme d'optimisation va devoir optimiser.

### III.2.2 Variables de décision

Ces variables sont ajustés pendant le processus d'optimisation, pour obtenir la solution optimale. On les appelle aussi variables d'optimisation, variables de conception ou de projet (design variables). [54]

### III.2.3 L'espace d'état (l'espace de recherche)

Est défini par l'ensemble des domaines de définition des variables de décision. Dans la plupart des problèmes, cet espace est fini car la méthode de résolution utilisée a besoin de travailler dans un espace restreint [53].

### III.2.4 Définition des contraintes

L'ensemble de contraintes définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche. [53]

## III.3 Classification des problèmes d'optimisation

On peut classer les différents problèmes d'optimisation que l'on rencontre dans la vie courante en fonction de leurs caractéristiques :

#### 1. Nombre de variables de décision :

- ✚ Une  $\Rightarrow$  mono variable.
- ✚ Plusieurs  $\Rightarrow$  multi variable.

#### 2. Type de la fonction objectif :

- ✚ Fonction quadratique
- ✚ Fonction non linéaire

#### 3. Formulation du problème :

- ✚ Avec des contraintes
- ✚ Sans contraintes [19]

## III.4 Formulation d'un problème d'optimisation Mono-objective

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

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

Sous les contraintes :

$$g_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, j$$

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

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

Les expressions  $g_j(x)$  respectivement des contraintes d'égalité et  $h_k(x)$  respectivement des contraintes d'inégalité

### III.4.1 Minimum global

On a la fonction  $f : \Omega \in R^n \longrightarrow R$ , telle que  $\Omega \neq \emptyset$ . Pour  $x^* \in \Omega$ , on dit que  $x^*$  est un optimum global si et seulement si:

$$\forall x \in \Omega : f(x^*) \leq f(x) \quad (\text{III.1})$$

Tel que:

$x^*$  : L'optimum global.

$F$  : La fonction objective

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

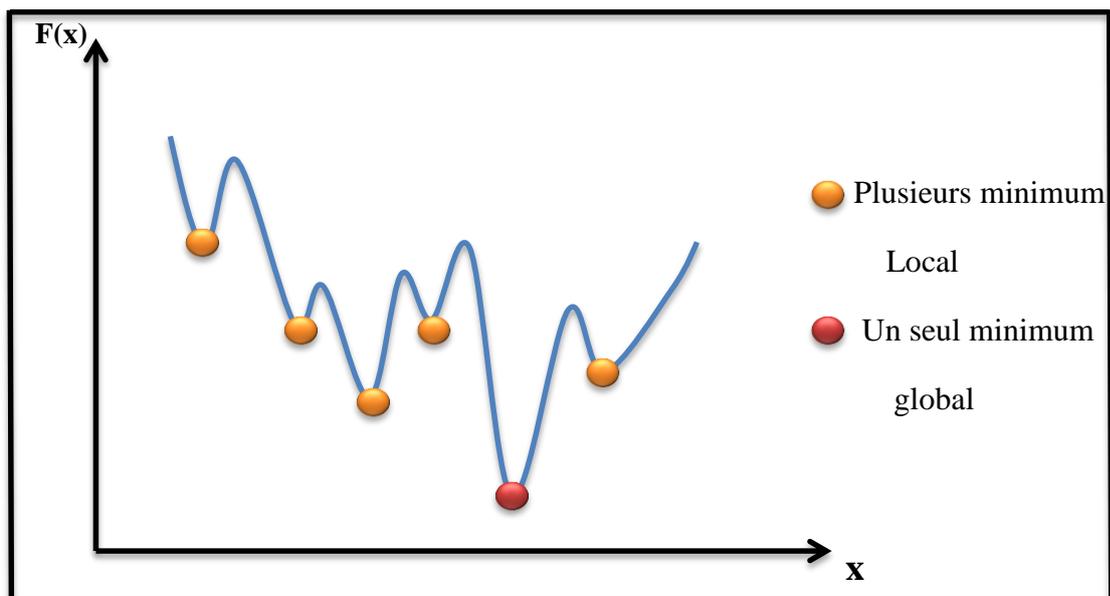
$s$  : L'espace de recherche global.

### III.4.2 Minimum local

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

$$f(x^*) < f(x), \forall x \in V(x^*) \text{ et } x^* \neq x \quad (\text{III.2})$$

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



**Figure III.2 :** Illustration des différents minima d'une fonction objective.

### III.5 L'optimisation Multi-objective

Un problème multiobjectif ou multicritère peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes et optimise un vecteur de fonction objectif. [55].

L'optimisation Multiobjective se réfère à l'optimisation simultanée de plusieurs objectifs conflictuels, ce qui produit un ensemble de solutions au lieu d'une solution particulière où certaines contraintes doivent être respectées. La raison de l'optimalité beaucoup de solutions est que personne ne peut être considéré comme meilleur qu'une autre dans toutes les fonctions objectives. En général, le problème d'optimisation Multi objective consiste au nombre de fonctions objectives à optimiser simultanément et qui est associé à un certains nombres de contraintes d'égalité et d'inégalité. Il peut être formulé comme suit [56] :

$$\text{Minimiser } y = f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \quad \text{(III.3)}$$

Avec  $f_i$  les objectifs ou critères de décision et k le nombre d'objectifs

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega \quad \text{(III.4)}$$

avec  $x_i$  les variables du problèmes et n le nombre de variables.

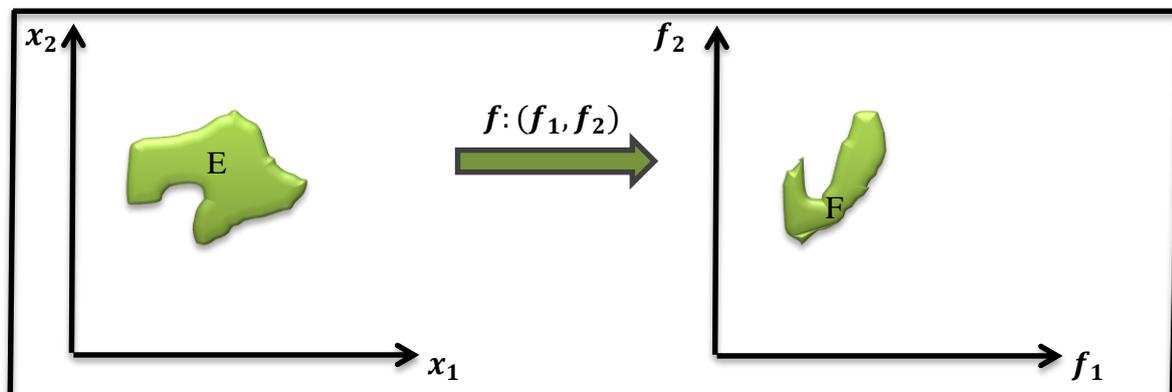
$$g_i(x) = 0 \quad \text{avec } i = 1, \dots, I \quad \text{et } h_j(x) \leq 0 \quad \text{avec } j = 1, \dots, J$$

Avec  $g_i$  et  $h_j$  respectant les contraintes

un problème d'optimisation recherche l'action  $x^*$  telle que les contraintes  $g_i(x^*)$  soient satisfaites pour  $i=1, \dots, m$  et qui optimise la fonction  $f : f(x^*) = (f_1(x^*), f_2(x^*), \dots, f_k(x^*))$

L'union des domaines de définition de chaque variable et les contraintes définies en équation forment un ensemble E que nous appelons l'ensemble des actions réalisables. [55]

Nous appellerons F l'ensemble des objectifs réalisables.



**Figure III.3 : définition de E , F et f**

Les problèmes d'optimisations multi-objectifs n'ont pas une seule solution mais un ensemble des solutions dites solutions de compromis. Généralement, il n'existe aucune solution pour laquelle tous les objectifs sont optimisés, dû au fait que les objectifs sont, souvent, conflictuels. Un produit, par exemple, ne peut pas être très performant au plus bas prix. Dans ce cas, plusieurs compromis sont possibles et souvent c'est le facteur humain qui décide de l'optimalité d'une solution. [61]

La solution utopique de  $y$  c'est la solution optimale pour tous les objectifs.

$$x_0^* \in \Omega : \forall x \in \Omega f_i(x_0^*) \leq f_i(x) \text{ pour } i \in \{1,2,3, \dots, n\} \quad (\text{III.5})$$

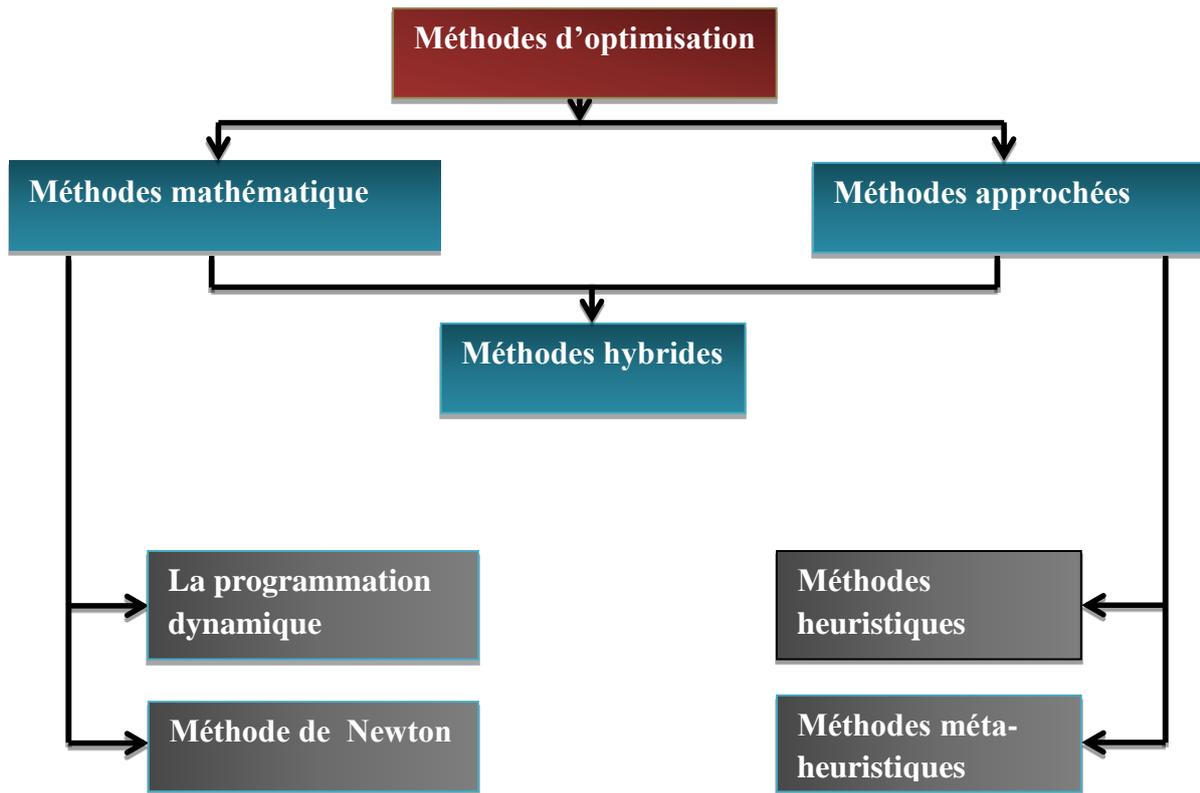
Dans le cas où  $n = 1$ , le problème d'optimisation multi-objectif est réduit à un problème d'optimisation mono-objectif. Dans ce cas, la solution utopique est simplement l'optimum global. Dans le cas général où  $n > 1$ , la solution utopique n'existe pas puisque les fonctions objectives sont généralement contradictoires. Dans ce cas, il existe un ensemble de solutions nommées les solutions non dominées (pour lesquels une fonction ne peut pas être améliorée sans dégrader au moins une autre équation) qui représentent le compromis entre les fonctions objectives. [19]

### III.6 Choix d'une méthode

La nature des variables, des domaines de définition et des critères à optimiser a une influence sur le choix de la méthode d'optimisation à utiliser.

### III.7 Méthodes d'optimisation

Le problème d'engagement des unités de production, consiste à choisir les unités de production qui seront opérationnelles sur une échelle de temps discrétisée, de manière à minimiser le coût de production total. Les unités doivent satisfaire la charge ainsi que la réserve tournante. De plus, chaque unité possède ses propres limites de production et un temps minimal de redémarrage et d'arrêt. Il s'agit donc d'un problème d'optimisation complexe mixte, combinatoire et non linéaire. On peut grouper les méthodes de résolution de ce problème en ce schéma de classification des méthodes d'optimisation.



**Figure III.4 :** Classification des méthodes d'optimisation

### III.7.1 Les méthodes d'optimisation mathématique (exacte)

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

Sans doute, la plus part des techniques de programmation mathématiques publiées dans la littérature ont été appliquées au problème de dispatching économique, toutefois, les techniques les plus intéressantes sont [57][67] :

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

Ces méthodes sont peut être connues par le fait qu'elles garantissent l'optimalité de la solution mais elles sont très gourmandes en termes de temps de calcul et de l'espace mémoire nécessaire, c'est la raison pour laquelle elles sont beaucoup plus utilisées pour la résolution de problèmes faciles. La nécessité de disposer d'une solution de bonne qualité (semi optimale) avec un coût de recherche (temps de calcul et espace mémoire) raisonnable a excité les chercheurs à proposer un autre type de méthodes de résolution de problèmes communément connues par les méthodes approchées. [58]

### **III.7.2 Les méthodes d'optimisation approchées**

L'utilisation de méthodes exactes n'est pas toujours possible pour un problème donné à cause d'un certain nombre de contraintes, telles que le temps de calcul souvent important ou bien la difficulté qui se distingue certaines fonctions objectives. Pour faire face à ces contraintes, nous utilisons des méthodes approchées, ces méthodes sont souvent classées en deux catégories: des méthodes heuristiques et des méthodes méta heuristiques

#### **III.7.2.1 Les méthodes Heuristiques**

Le terme heuristique dérive du grec ancien *heuriskêin* qui signifie « trouver ». Il qualifie tout ce qui sert à la découverte et à l'exploitation. Une heuristique est un algorithme qui fournit rapidement une solution approchée et réalisable, pas nécessairement optimale, pour un problème d'optimisation difficile. Cette méthode approximative est le contraire d'un algorithme exact qui donne une solution optimale pour un problème donné [59].

#### **III.7.2.2 Méthodes méta heuristiques**

Les méta heuristiques forment un ensemble de méthodes utilisées en recherche opérationnelle pour résoudre des problèmes d'optimisation réputés difficiles. Résoudre un problème d'optimisation combinatoire, c'est trouver l'optimum d'une fonction, parmi un nombre fini de choix, souvent très grand. Les applications concrètes sont nombreuses, que ce soit dans le domaine de la production industrielle, des transports ou de l'économie – partout où se fait sentir le besoin de minimiser des fonctions numériques, dans des systèmes où interviennent simultanément un grand nombre de paramètres.

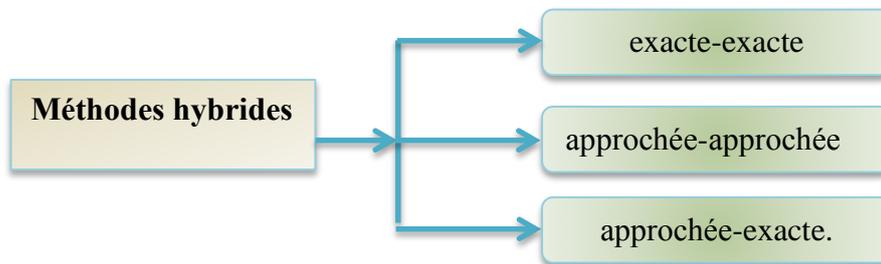
A ces problèmes de minimisation, les méta heuristiques permettent, dans des temps de calcul raisonnables, de trouver des solutions, peut-être pas toujours optimales, en tout cas très proches de l'optimum ; elles se distinguent en cela des méthodes dites exactes, qui garantissent

certes la résolution d'un problème, mais au prix de temps de calcul prohibitifs pour nombres d'applications industrielles.

Nous nous proposons de fournir un panorama de toutes ces techniques, parfois redoutablement efficaces, qui se développent depuis une vingtaine d'années.[60]

### III.8 Les méthodes hybrides

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



**Figure III.5 :** Différents types pour combiner des méthodes d'optimisation

### III.9 Optimum de Pareto

au *XIX<sup>ème</sup>* siècle , vilfredo peroto , un mathématicien italien formule le concept suivant [peroto 1986] : dans in problème multi-objectif , il existe un équilibre tel l'on ne peut pas améliorer un critère sans détériorer au moins des autres critères.

Cet équilibre a été appelé optimum de pareto .un point  $x$  est dit Pareto-optimal s'il n'est dominé par aucun autre point appartenant à  $E$  .ces point sont également appelés solutions non inférieures ou non dominées.

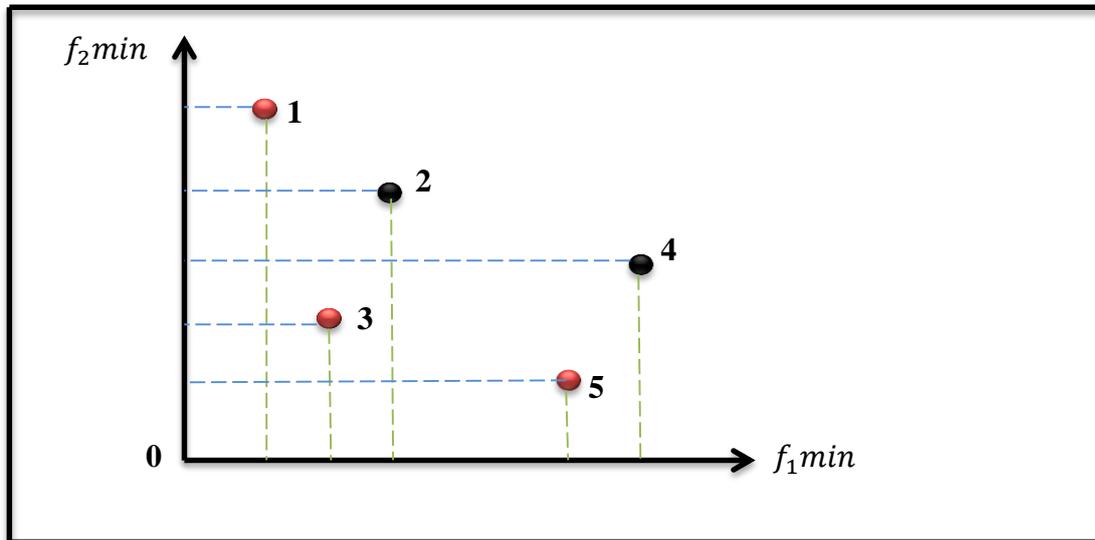
#### III.9.1 Concept d'optimalité au sens de Pareto

Afin de comparer les solutions dans un problème d'optimisation multi-objective, le concept de dominance du Pareto est utilisé. Une solution appartient à l'ensemble de Pareto, si et seulement si, il n'existe pas une autre solution qui améliore au moins une fonction et ne dégrade pas les autres fonctions objectives [61]

On dit que le vecteur de décision  $x = [x_1, x_2, \dots, x_k]^T$  domine le vecteur  $x' = [x'_1, x'_2, \dots, x'_k]^T$  (dénoté :  $x \leq x'$ )

### III.9.2 Notion de dominance

un point  $x \in E$  domine  $x' \in E$  si  $\forall i, f_i(x) \leq f_i(x') \exists$  au moins  $i$  tel que  $f_i(x) < f_i(x')$

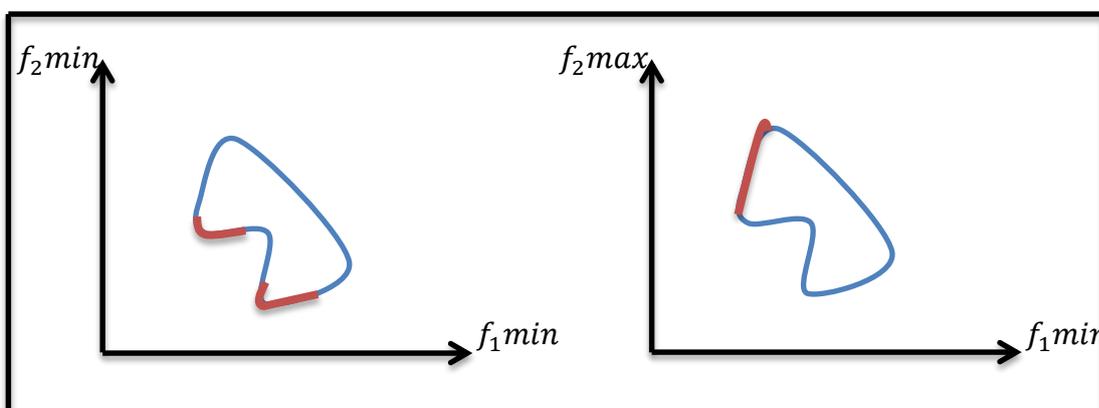


**Figure III.6** : exemple de dominance

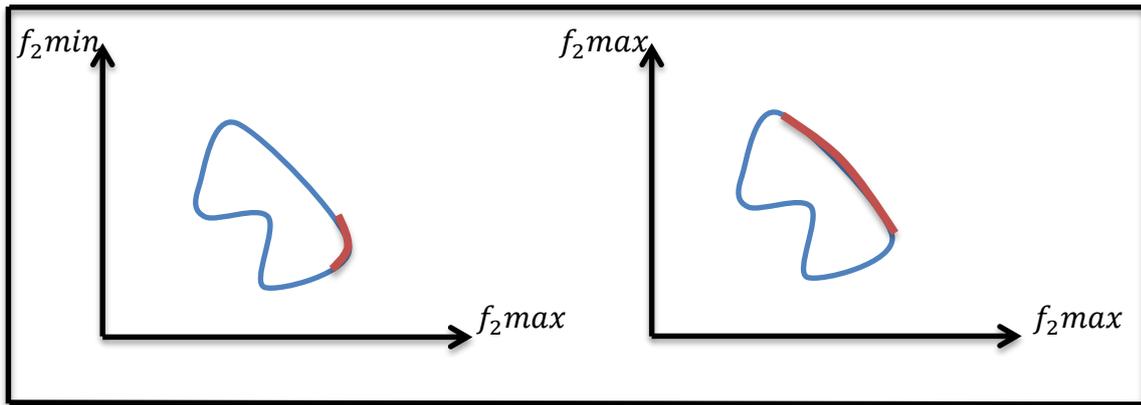
Dans l'exemple (figure III.6) les points 1, 3 et 5 ne sont dominés par aucun autre. Alors que le point 2 est dominé par le point 1, et que le point 4 est dominé par les points 3 et 5. Dans l'exemple de la figure III.6 la frontière de Pareto est composée des points 1, 3 et 5. [59]

### III.9.3 frontière de Pareto

La frontière de Pareto est l'ensemble de tous les points (Pareto-optimaux) .les figures 3.4 présentent pour un problème à deux objectifs, les quatre frontière de Pareto en fonction du désir de l'utilisateur de minimiser ou maximiser les objectifs.



**Figure III.7** : frontière de Pareto pour l'ensemble des points Pareto-optimaux



**Figure III.8 :** frontière de Pareto pour l'ensemble des points Pareto-optimaux

Dans ce chapitre, nous concentrons sur quatre exemples des algorithmes de méta-heuristiques :

- AG (Algorithme génétique)
- PSO (Algorithme de l'essaim de particules)
- BAT (Algorithme de chauve-souris)

### III.10 Algorithme génétique

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 ". [43] 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.

Les AG sont des algorithmes d'optimisation qui s'appuient sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes de sélection naturelle pour transposer les processus génétiques observés dans l'évolution des espèces au domaine de l'optimisation [62]

Généralement, quand l'AG est appliqué, il est fait dans une manière qui implique les étapes suivantes:

- ✚ Evaluer la fonction sélective de tous les individus dans la population.
- ✚ Créer une nouvelle population en exécutant des opérations telles que la sélection proportionnelle, le croisement, et la mutation sur les individus dont la fonction sélective a été juste mesurée.
- ✚ Abandonner l'ancienne population et répéter les mêmes étapes avec la nouvelle population.

Pour résumer, On distingue trois principaux points qui font la différence fondamentale entre ces algorithmes et les autres méthodes classiques:

- ✚ Les algorithmes génétiques utilisent un codage des paramètres, et non les paramètres eux-mêmes.
- ✚ Les algorithmes génétiques travaillent sur une population de points, au lieu d'un point unique, cela permet aux AG d'explorer différentes zones dans l'espace de recherche et donc de minimiser la probabilité de trouver un point optimal local.
- ✚ Les algorithmes génétiques n'utilisent que les valeurs de la fonction objectif, pas ses dérivées, ou une autre connaissance auxiliaire.
- ✚ Les algorithmes génétiques utilisent des règles de transition probabilistes, et non déterministes, cela signifie qu'ils ne nécessitent pas d'espace de recherche continu.[43]

### III.10.1 Domaine d'application

Les applications des AG sont multiples :

- Contrôlé le coût de production
- contrôle de systèmes industriels .
- Les AG peuvent être utilisés pour contrôler un système évoluant dans le temps (chaîne de production, centrale nucléaire...).
- Les AG sont également utilisés pour optimiser des réseaux (câbles, fibres optiques,...), des antennes
- Construction de réseaux de communication .
- optimisation de fonctions numériques difficiles (discontinues...).
- optimisation d'emplois du temps.
- optimisation de design.
- optimisation des coût
- optimisation d'émission des gaz toxiques ou pertes de puissance)
- Conception de pièces mieux adaptées (ex: Turbine, Aile d'avion, ...)

Et plusieurs autres problèmes d'optimisation...

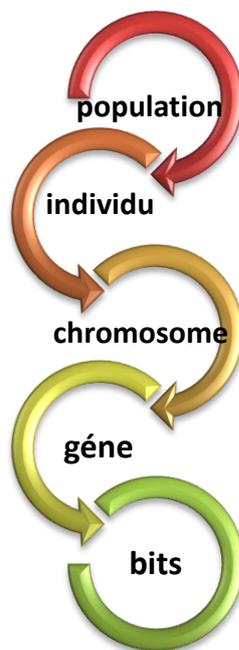
### III.10.2 Présentation des algorithmes génétiques (AG)

Un algorithme génétique est défini des éléments de base sont :

- ❖ **Un gène** : chaque variable d'optimisation (variable de contrôle).
- ❖ **Un chromosome**: ensemble de gènes qui une solution potentielle du problème qui correspond à une valeur codée de la variable.
- ❖ **Un individu**: constitué d'un ou plusieurs chromosomes.
- ❖ **Une population**: un ensemble d'individus que nous allons faire évoluer.
- ❖ **Fitness** : terme qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu. Cette Fonction est liée à la fonction à optimiser et permet de définir le degré de performance d'un individu (donc d'une solution).

Cette fitness est égale la fonction (F) objective dans le cas de minimisation et (1/F) dans le cas de maximisation.

On peut dire que Chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène, toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène, on doit trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique (établir une bijection entre l'allèle "réel" et sa représentation codée). Un chromosome est une suite des gènes, Chaque individu est représenté par un ensemble de chromosomes, et une population est un ensemble d'individus.



**Figure III.9** : Les quatre niveaux d'organisation des AG.

### III.10.3 Principe générale

Un algorithme génétique recherche les extrema d'une fonction définie sur un espace de données appelé population initiale. Par analogie avec la génétique, chaque individu de cette population est un chromosome et chaque caractéristique de l'individu est un gène. On part avec une population de solutions potentielles initiales, on évalue leur performance [63]. Sur la base de ces performances on crée une nouvelle population de solutions potentielles en utilisant des opérateurs évolutionnaires simples (la sélection, croisement et la mutation) [63]. On recommence ce cycle jusqu'à ce que l'on trouve une solution optimale [63].

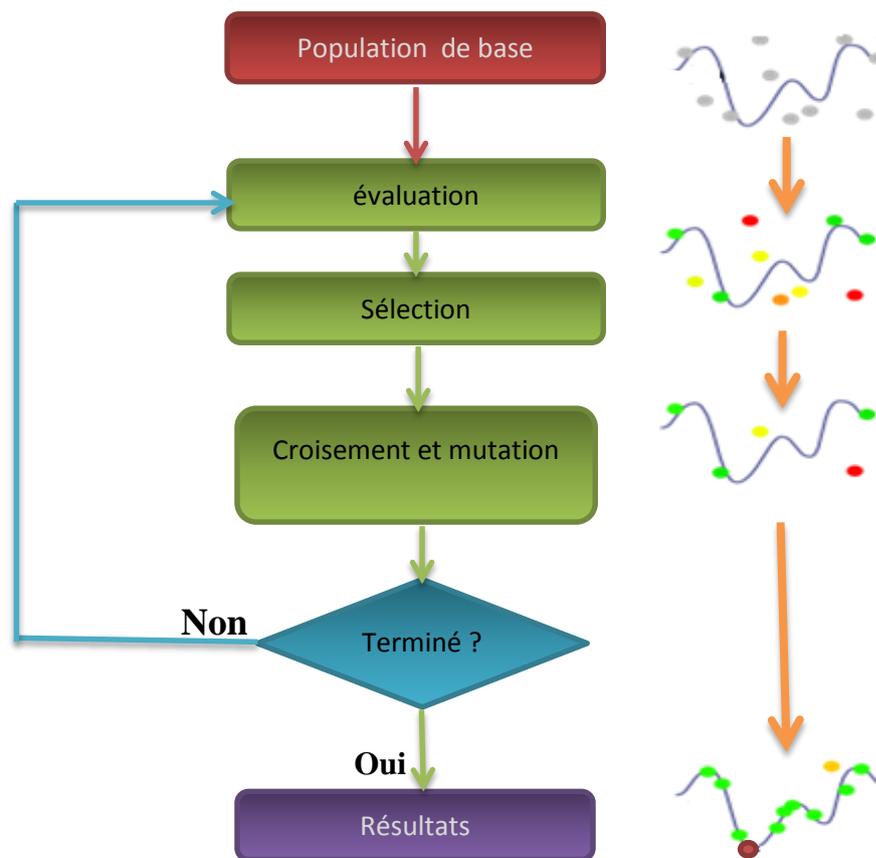


Figure III.10 : organigramme de l'algorithme évolutionnaire simple

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

- **Sélection** : Pour déterminer quels individus sont plus enclins à se reproduire, une sélection est opérée. Il existe plusieurs techniques de sélection, les principales utilisées sont la sélection par tirage à la roulette (roulette-wheel selection), la sélection par tournoi (tournament selection), la sélection par rang (ranking selection), etc

- **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, le croisement en n-points ( $n \geq 2$ ) et le croisement uniforme (Le croisement uniforme peut être vu comme un croisement multi-points dont le nombre de coupures est déterminé aléatoirement au cours de l'opération) .
- **Mutation** : Les descendants sont mutés, c'est-à-dire que l'on modifie aléatoirement une partie de leur génotype, selon l'opérateur de mutation.
- **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 [64]:

- ✓ 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.

### III.11 Algorithmes à essaims de particules PSO (Particle Swarm Optimization)

Les algorithmes d'optimisation par essaim de particules (Particle Swarm Optimization 'PSO') introduits pour la première fois par Kennedy et Eberhart en 1995, PSO est une méthode d'optimisation stochastique basée sur une population de particules sont inspirés des déplacements collectifs observés chez certains animaux sociaux tels que les poissons et les oiseaux migrateurs.

A la différence des algorithmes génétiques, qui miment les mécanismes génétiques de l'évolution [65], PSO est inspiré du comportement social des nuées d'oiseaux et des bancs de

## Chapitre 3 : Méthodes d'Optimisation Globales

poissons qui ont tendance à imiter les comportements réussis qu'ils observent dans leurs entourage, tout en y apportant leurs variations personnelles [65],[66]. Comme les algorithmes génétiques, PSO Démarre le processus d'optimisation par une population des solutions aléatoires qui se déplacent dans l'espace de recherche.

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. Kennedy et Eberhart [64] se sont inspirés de ces comportements socio-psychologiques pour créer Le (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 objectif en ce point. La Figure suivante illustre la stratégie de déplacement d'une particule.

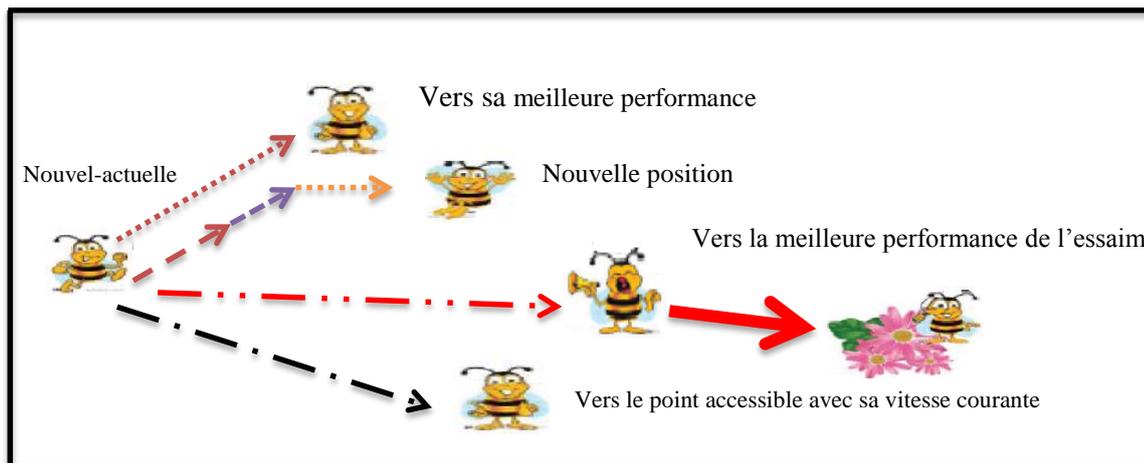


Figure III.11 : Déplacement d'une particule.

## Chapitre 3 : Méthodes d'Optimisation Globales

---

La position de chaque particule est représentée par ses coordonnées suivant les deux axes XY et également par sa vitesse qui est exprimée par  $V_x$  (la vitesse suivant l'axe x) et  $V_y$  (la vitesse suivant l'axe y).

Le déplacement de chaque particule dans l'espace de recherche, est basé sur sa position actuelle et la mise à jour de sa vitesse.

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1} \quad (\text{III.6})$$

tel que :

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

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

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

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1 \text{rand}_1 \times (pbest_i - s_i^k) + c_2 \text{rand}_2 \times (gbest - s_i^k) \quad (\text{III.7})$$

Tel que :

$v_i^k$  : vitesse de l'agent  $i$  à l'itération  $k$

$w$  : Fonction de pondération

$c_j$  : Facteurs de pondération

rand : nombre aléatoire entre 0 et 1

$s_i^k$  : Position actuelle d'agent  $i$  à l'itération  $k$

$pbest_i$  : Meilleure position trouvée par la particule  $i$  jusqu'ici

$gbest$  : Meilleure position trouvée par l'essai jusqu'ici

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

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (\text{III.8})$$

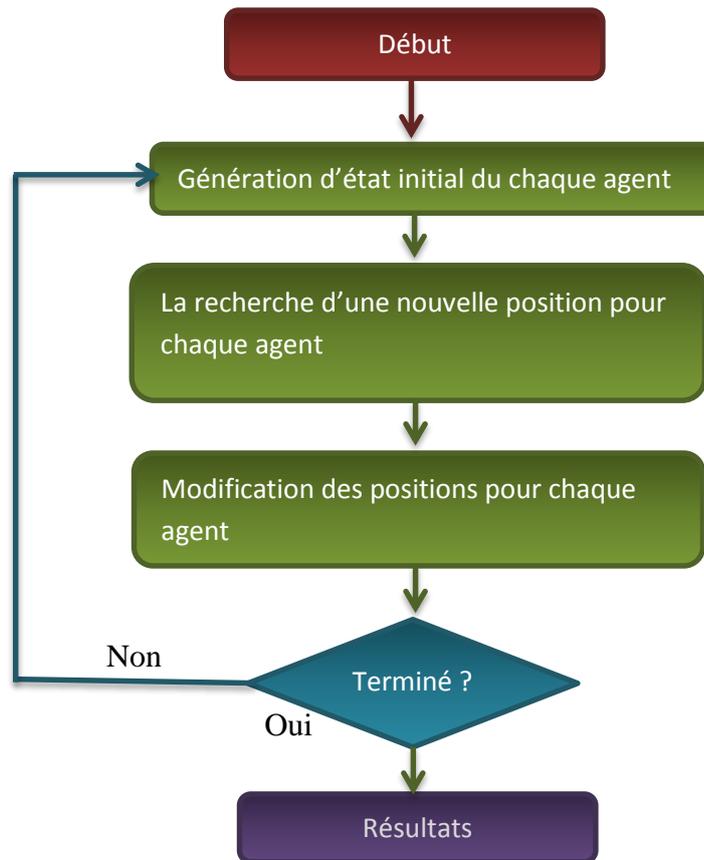
$w_{max}$  : Poids initial

$w_{min}$  : Poids final

$iter_{max}$  : Nombre d'itérations maximum.

$iter$  : Itération courante.

### III.11.1 Organigramme général de PSO :



#### Etape 1 : Génération d'un état initial de chaque particule.

Les points de recherche initiaux, position ( $s_i^0$ ) et vitesse ( $v_i^0$ ) de chaque particule sont habituellement générés aléatoirement dans l'espace de recherche. Le point de recherche courant est placé à  $pbest$  pour chaque agent. La meilleure valeur évaluée de  $pbest$  est placée à  $gbest$ .

#### Etape2 : Recherche d'une nouvelle position pour chaque agent

La valeur de la fonction objective est calculée pour chacun des agents. Si la valeur d'un agent est meilleure que son  $pbest$  courant,  $pbest$  prend cette nouvelle valeur. Si la meilleure valeur de  $pbest$  est meilleure que  $gbest$  courant,  $gbest$  est remplacé par celle-ci et l'agent qui correspond à cette valeur est ainsi stocké.

#### Etape3 : Modification de chaque point de recherche

Le point de recherche courant de chaque agent est changé en utilisant les équations (III.6), (III.7) et (III.8).

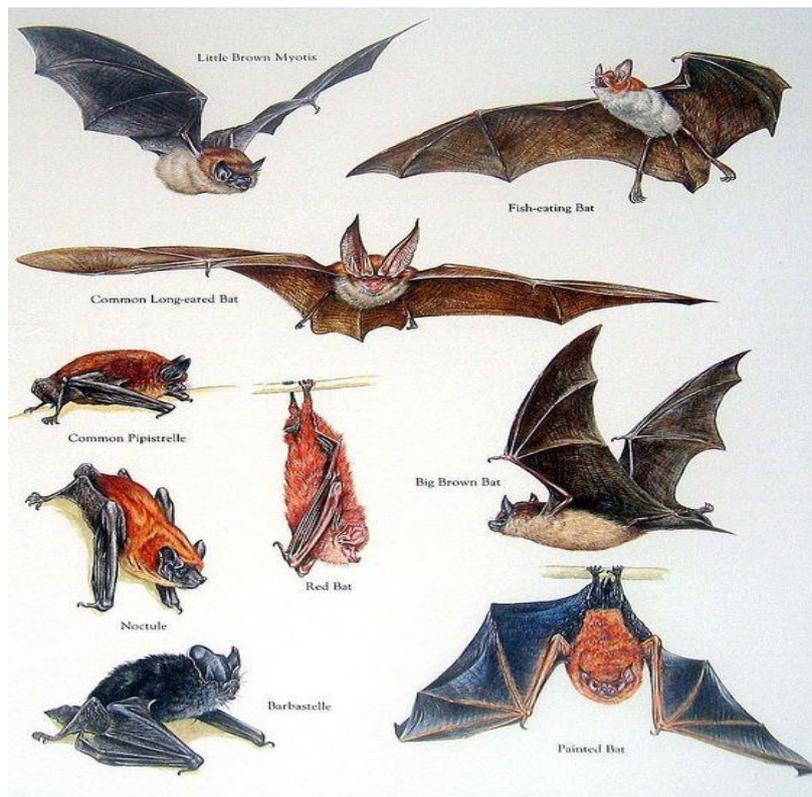
#### Etape4 : Vérification de l'état de sortie

Le nombre courant d'itération atteint le nombre maximum d'itération  $iter_{max}$ , alors fin du programme, autrement, retourner à l'étape 2. [68]

### III.12 Algorithme de chauve-souris (Bat algorithm)

L'algorithme des chauves-souris, dont l'appellation d'origine est Bat Algorithm, est une métaheuristique très récente. Le premier article la concernant a été proposé en 2010 par Xin-She Yang. [69]

Il existe environ 1000 espèces de chauves-souris [70] Leurs tailles peuvent varier considérablement, allant de la minuscule chauve-souris bourdon d'environ 1,5 à 2 g aux chauves-souris géantes d'envergure d'environ 2 m et peuvent peser jusqu'à environ 1 kg.



**Figure III.12 :** quelque type des chauves-souris

Cet algorithme est basé sur le comportement de l'écholocation de microchiroptères .L'écholocation est un sonar biologique (à cause de manque de vision) qui permet détecter la distance, et ils ont aussi la capacité de faire la différence entre la nourriture/proie et les obstacles.

Il s'appuie sur une technique de régulation de fréquence pour augmenter la diversité des solutions dans la population, et par là même, il tente d'équilibrer l'exploration et l'exploitation pendant le processus de recherche, en imitant les variations des taux d'émission d'impulsions et la vitesse des chauves-souris lors de la recherche de proies [71]

### III.12.1 Echolocation des chauves-souris

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

### III.12.2 Comportement des microbes

La plupart des chauves-souris utilisent l'écholocation dans une certaine mesure; parmi toutes les espèces, les microbes ont souvent recours à l'écholocation. Les microbes utilisent généralement un type de sonar, appelé écholocation, pour détecter les proies, éviter les obstacles et localiser leurs crevasses dans l'obscurité. Ils peuvent émettre une impulsion sonore très forte et écouter l'écho renvoyé par les objets environnants (Richardson, 2008).

La majorité des microchiroptères sont des insectivores. Elles émettent des pulsations sonores très fortes par la bouche ou le nez (ultrason). Dès que cet ultrason rencontre un obstacle (proie, végétation...), il rebondit vers la chauve-souris. Celle-ci capte l'écho grâce à ses oreilles. Son cerveau va alors calculer la distance, la vitesse, la position et la forme de l'objet détecté. Les types et les modes d'émission des ultra-sons sont très variables suivant les genres et même les espèces. Il arrive que les chauves-souris émettent des cris audibles par l'homme, il ne s'agit alors évidemment pas d'ultra-sons, mais de cris que l'on qualifie de « cris sociaux », c'est-à-dire des cris qui sont utilisés par les chauves-souris pour communiquer entre elles (territorialité, agressivité, parade nuptiale, cri d'appel d'un jeune à sa mère, ...)[72]. Intéressons-nous aux ultrasons.[73]

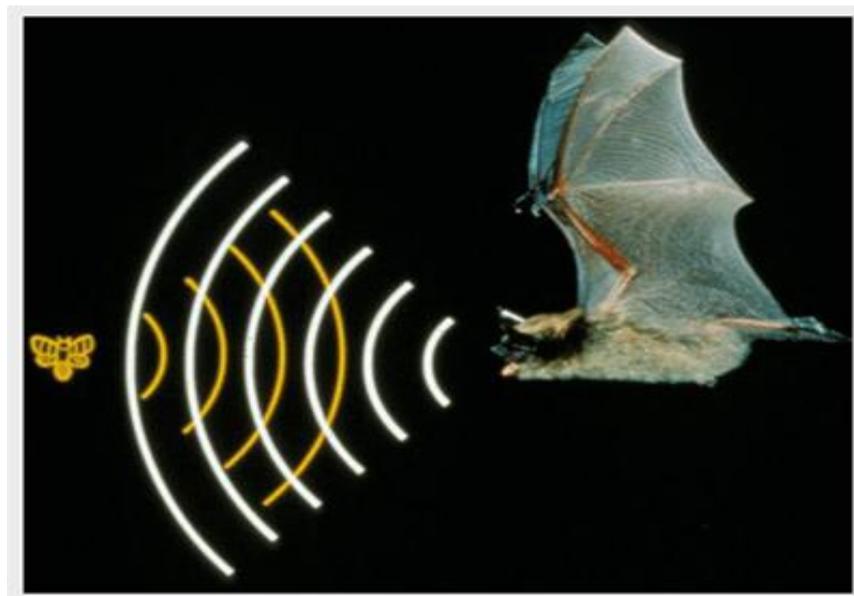


Figure III.13 : Echolocation

### III.12.3 L'acoustique d'écholocation

Leurs ont des propriétés différentes et peuvent être corrélées à leurs stratégies de chasse, en fonction de l'espèce. La plupart des chauves-souris utilisent des signaux courts modulés en fréquence pour parcourir environ une octave et chaque impulsion dure quelques millièmes de seconde (jusqu'à environ 8 à 10 ms) dans la gamme de fréquences de 25 kHz à 150 kHz. En général, les micro-bousses peuvent émettre environ 10 à 20 éclats sonores par seconde, et le taux d'émission d'impulsions peut atteindre environ 200 impulsions par seconde lorsqu'elles se dirigent vers leur proie. Comme la vitesse du son dans l'air est d'environ  $v = 340$  m/s,  $\lambda$  la longueur d'onde du son ultrason éclate avec une fréquence constante  $f$  est donnée par

$$\lambda = v/f \quad (\text{III.9})$$

Qui se situe dans la plage de 2 mm à 14 mm pour la plage de fréquences typique. De 25kHz à 150 kHz. Fait intéressant, ces longueurs d'onde sont dans le même ordre de la taille de leurs proies.[74]

Les études ont prouvé que les microchiroptères utilisent le délai entre l'émission et la détection de l'écho, la différence de temps entre leurs deux oreilles, et les variations d'intensité des échos afin de construire un scénario tridimensionnel de l'environnement.

chauves-souris ont une bonne vue, et la plupart d'entre elles ont une très grande sensibilité pour l'odorat. En réalité, elles emploient ses sens en combinaison afin de maximiser le coefficient de détection de proie et la navigation minutieuse, particulièrement en obscurité totale. Cependant nous nous intéressons uniquement au comportement d'écholocation.[73]

### III.12.4 Algorithme de chauve-souris

Sur la base de la description et des caractéristiques de l'écholocation des chauves-souris ci-dessus l'algorithme des chauves-souris tente de modéliser le comportement d'écholocation des microchiroptères il repose le scénario suivant: des chauves-souris volent aléatoirement en vue de trouver de la nourriture, celles-ci n'ont aucune connaissance sur l'endroit où se trouvent leurs proies, cependant elles peuvent calculer la distance qui sépare chacune d'elles de la cible au moyen de l'écholocation. Leur objectif commun est non seulement d'atteindre leurs proies mais aussi de trouver la meilleure stratégie de chasse. La stratégie la plus efficace consiste à suivre la chauve-souris la plus proche de la proies. Ce comportement est similaire à résoudre un problème d'optimisation.

## Chapitre 3 : Méthodes d'Optimisation Globales

---

L'algorithme des chauves-souris est une méthode d'optimisation où toutes les chauves-souris collaborent en population dans le but d'atteindre un but collectif. Ce dernier est formulé par une fonction dite fonction objectif. Chacune des chauves-souris volantes est considérée comme une solution dans l'espace de recherche appelée solution candidate ou locale. Celle-ci sera évaluée à chaque itération de l'algorithme en calculant sa fitness par la fonction objectif et mise à jour en ajustant sa position, sa vitesse et sa fréquence, en fonction de la meilleure position qu'elle a atteinte et celle trouvée par toute la population. Pour que finalement l'algorithme maintienne la meilleure solution atteinte parmi toute la volée dite solution globale après un nombre d'itérations prédéfini.

Xin-She Yang (2010) a développé l'algorithme chauve-souris avec les trois règles idéalisées suivantes:

- Toutes les chauves-souris utilisent l'écholocation pour percevoir la distance, et elles «connaissent» également la différence entre la nourriture / proie et les barrières d'arrière-plan de façon magique;
- Les chauves-souris volent de manière aléatoire avec la vitesse  $v_i$  à la position  $x_i$  avec une fréquence  $f_{min}$ , en variant la longueur d'onde  $\lambda$  et le volume  $A_0$  pour rechercher une proie. Ils peuvent automatiquement ajuster la longueur d'onde (ou fréquence) de leurs impulsions émises et le taux d'émission d'impulsions  $r \in [0, 1]$ , en fonction de la proximité de leur cible;
- Bien que la sonie puisse varier de nombreuses manières, nous supposons qu'elle varie d'un  $A_0$  grand (positif) à une valeur constante minimale  $A_{min}$ .

Pour des raisons de simplicité, nous n'utilisons pas le traçage de rayons dans cet algorithme, bien qu'il puisse constituer une caractéristique intéressante pour une extension ultérieure. En général, le lancer de rayons peut nécessiter beaucoup de calcul, mais il peut s'avérer très utile pour la géométrie de calcul et d'autres applications. De plus, une fréquence donnée est intrinsèquement liée à une longueur d'onde. Par exemple, une plage de fréquences de [20kHz, 500kHz] correspond à une plage de longueurs d'onde de 0,7 mm à 17 mm dans l'air. Par conséquent, nous pouvons décrire le changement en termes de fréquence  $f$  ou de longueur d'onde  $\lambda$  afin de l'adapter à différentes applications, en fonction de la facilité de mise en œuvre et d'autres facteurs.

### III.12.5 Mouvement de chauve-souris

Chaque chauve-souris est associée à une vitesse  $v_i^t$  et à un emplacement  $x_i^t$ , à l'itération  $t$ , dans un espace de recherche ou de solution  $d$ -dimensionnel. Parmi toutes les chauves-souris, il existe une meilleure solution actuelle  $x_*$ . Par conséquent, les trois règles ci-dessus peuvent être traduites dans les équations de mise à jour pour  $x_i^t$  et les vitesses  $v_i^t$  :

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (\text{III.10})$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*)f_i \quad (\text{III.11})$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (\text{III.12})$$

où  $\lambda \in [0, 1]$  est un vecteur aléatoire tiré d'une distribution uniforme.

Comme mentionné précédemment, nous pouvons utiliser des longueurs d'onde ou des fréquences pour la mise en œuvre, nous utiliserons  $f_{min} = 0$  et  $f_{max} = 0$ , en fonction de la taille du domaine du problème qui nous intéresse. Initialement, chaque batte se voit attribuer de manière aléatoire une fréquence tirée uniformément de  $[f_{min}, f_{max}]$ . Pour cette raison, l'algorithme bat peut être considéré comme un algorithme d'accord de fréquence afin de fournir une combinaison équilibrée d'exploration et d'exploitation. Les taux d'intensité sonore et d'émission d'impulsions fournissent essentiellement un mécanisme de contrôle automatique et de zoom automatique dans la région, avec des solutions prometteuses.

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

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A^t \quad (\text{III.13})$$

d'où  $\epsilon \in [-1, 1]$  est un nombre aléatoire, tandis que  $A^t = \langle A_i^t \rangle$  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.10) à (III.12)]  
    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
```

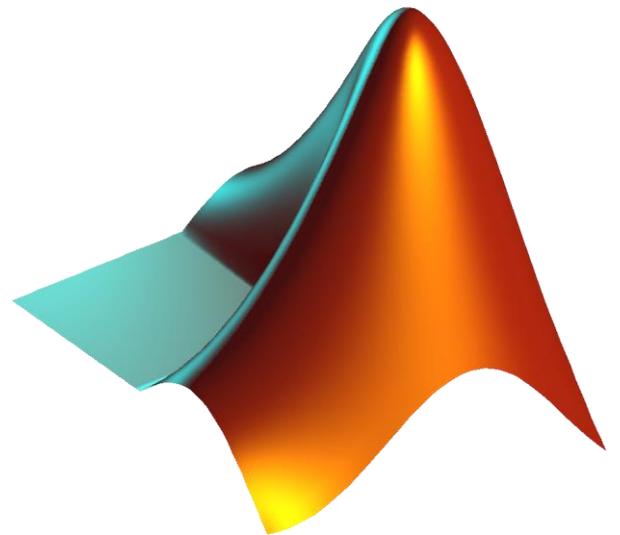
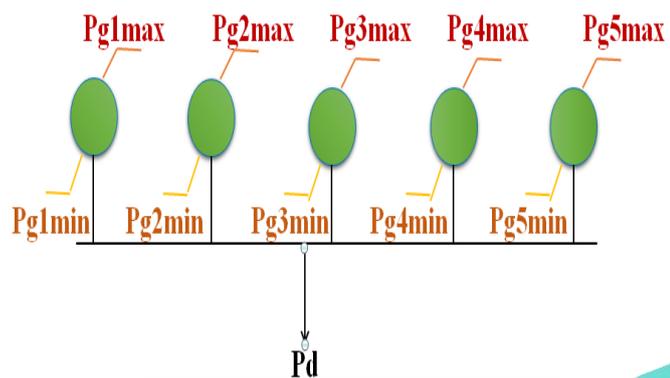
**Figure III.14 :** Pseudo code de l'algorithme des chauves-souris

### **III.13 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a exposé la notion d'optimisation mon-objectif et multi objectif, puis on a présenté les différentes catégories des méthodes d'optimisation à savoir les méthodes d'optimisation dite exacte ou mathématique et les méthodes d'optimisation métaheuristiques. Parmi ces méthodes nous vous donner une description du modèle et le principe de fonctionnement de trois méthodes à savoir, l'algorithme génétique, l'algorithme d'essaim de particule, et l'algorithme de chauve-souris. Le prochain chapitre est consacré à l'adaptation et l'application de ces méthodes pour résoudre le problème de dispatching économie statique et dynamique tout en considérant les contraintes pratiques associées aux unités de production.

# Chapitre n° V

## Résultats et Simulation



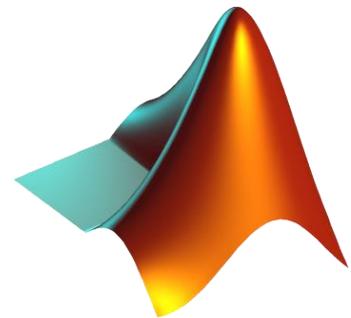
### IV.1 Introduction :

On a vu dans le chapitre précédent les différentes méthodes d'optimisation, leurs types et leur relation avec le coût de production d'énergie électrique, l'émission des gaz toxiques, les pertes de transmission.

Ce chapitre représente la partie simulation de ce mémoire, on a procédé à résoudre le problème de dispatching économique statique et dynamique et ce par utilisation des méthodes heuristiques que nous avons étudié en détail dans le troisième chapitre à savoir : les algorithmes génétiques (GA) et l'algorithme de chauve-souris (BAT ALGORITHM). Nous allons appliquer les deux méthodes pour optimiser la fonction du coût, l'émission des gaz toxiques, en tenant compte des pertes de transmission, l'effet de valve et les contraintes rampes.

### IV.2 Une vue générale sur le programme Matlab :

Partout dans le monde, des millions d'ingénieurs et de scientifiques utilisent MATLAB pour analyser et concevoir les systèmes et produits de demain. MATLAB est présent dans des systèmes automobiles de sécurité active, des véhicules spatiaux, des appareils de surveillance médicale, des réseaux électriques intelligents et des réseaux mobiles LTE. Il est utilisé dans les domaines de l'apprentissage automatique, le traitement du signal, la vision par ordinateur, les communications, la finance computationnelle, la conception de contrôleurs, la robotique et bien plus.



La plate-forme MATLAB est optimisée pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques. Le langage MATLAB, basé sur les matrices, est le moyen le plus naturel au monde pour exprimer les mathématiques computationnelles. Les graphiques intégrés permettent de visualiser facilement les données afin d'en dégager des informations. Grâce à la vaste bibliothèque de boîtes à outils prédéfinies, vous pouvez commencer directement par les algorithmes essentiels à votre domaine. L'environnement bureau encourage l'expérimentation, l'exploration et la découverte. Les outils et les fonctionnalités MATLAB sont tous testés rigoureusement. Ils sont conçus pour fonctionner conjointement.

Principales fonctionnalités :

- Langage de haut niveau pour le calcul scientifique et technique
- Environnement bureau pensé pour l'exploration itérative, la conception et la résolution de problèmes

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

- Graphiques destinés à la visualisation de données et outils conçus pour créer des tracés personnalisés
- Applications dédiées à l'ajustement de courbes, la classification de données, l'analyse de signaux et bien d'autres tâches spécialisées
- Boîtes à outils additionnelles conçues pour répondre à de nombreux besoins spécifiques aux ingénieurs et aux scientifiques
- Outils permettant la création d'applications avec interface utilisateur personnalisée

### IV.2.1 Utilisation de l'algorithme génétique (ga) à base de Matlab :

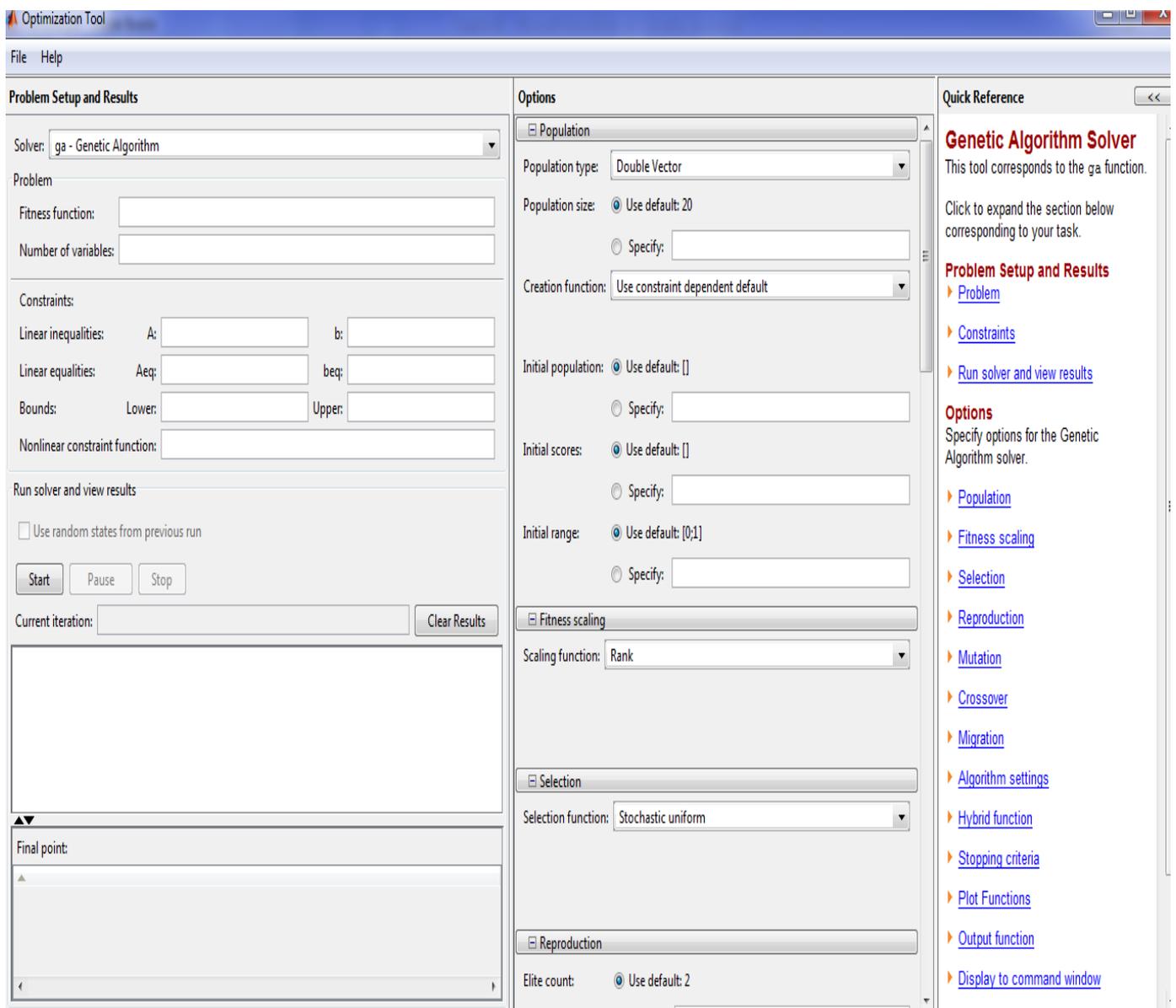


Figure IV.1 : L'interface de l'algorithme génétique dans le programme Matlab.

---

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

---

La fonction fitness est la fonction objective que vous souhaitez minimiser. Vous pouvez spécifier la fonction en tant que descripteur de fonction de la forme @objfun, où objfun.m est un fichier d'extension '.m' qui renvoie un scalaire.

### ✓ Contraintes :

Les inégalités linéaires de la forme  $A * x \leq b$  sont spécifiées par la matrice A et le vecteur b.

Les égalités linéaires de la forme  $Aeq * x = beq$  sont spécifiées par la matrice Aeq et le vecteur beq.

- Bounds sont les limites inférieure et supérieure pour les variables:
- Low = spécifie les limites inférieures des variables de contrôle.
- Upper = spécifie les limites supérieures des variables de contrôle.

La fonction de contrainte non linéaire définit les contraintes non linéaires. Vous pouvez spécifier la fonction en tant que descripteur de fonction de la forme @nonlcon, où nonlcon.m est un fichier M qui renvoie les vecteurs C et Ceq. Les égalités non linéaires sont de la forme  $Ceq = 0$  et les inégalités non linéaires sont de la forme  $C \leq 0$ .

### IV.2.2 Procédure de travail d'une instruction « gamultiobj » sur MATLAB

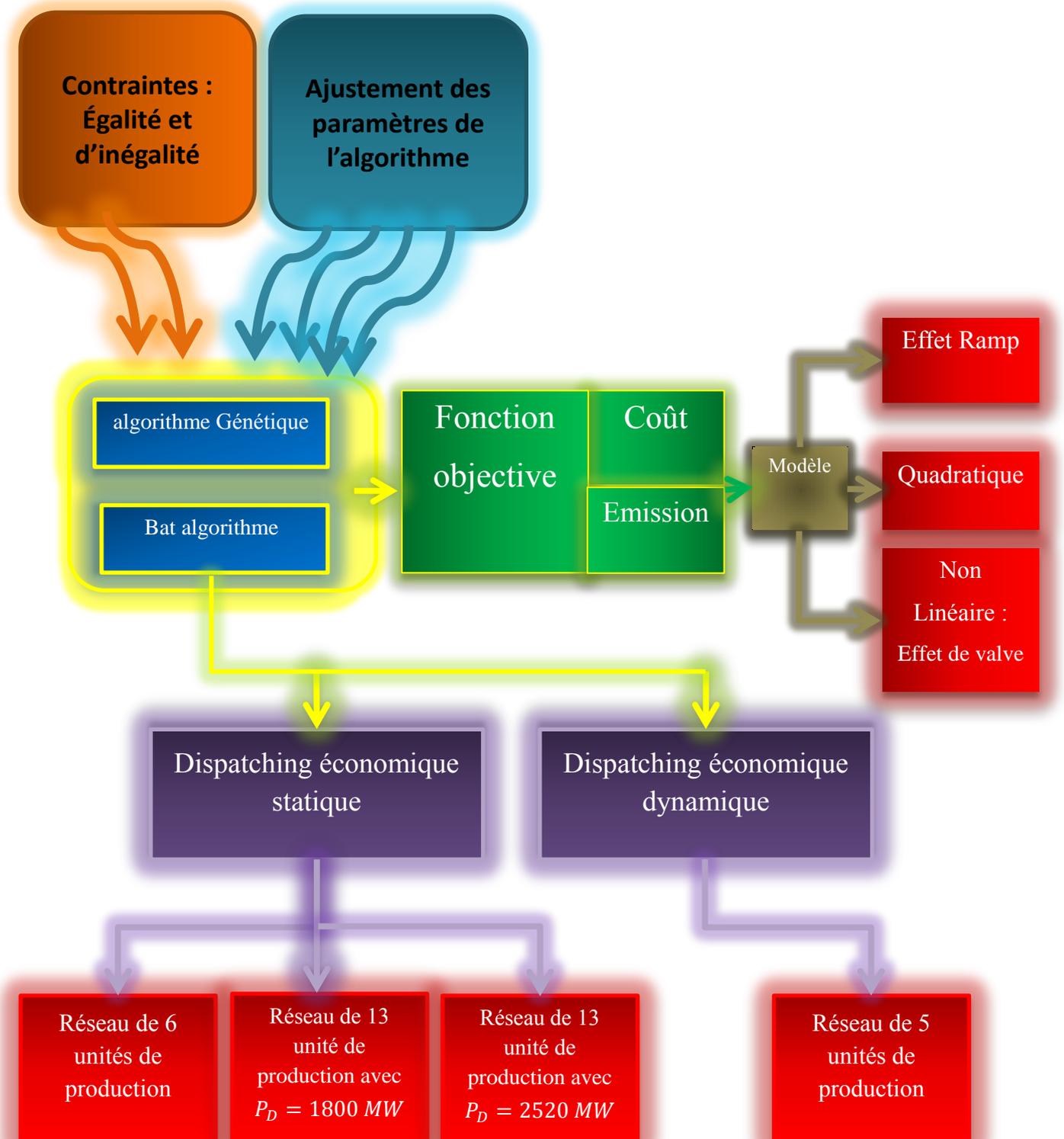
La fonction '*gamultiobj*' met en application l'algorithme génétique à la ligne de commande pour trouver le minimum d'un problème multi objectif.

$X = \text{gamultiobj}(\text{FITNESSFCN}, \text{NVAR}, A, b, Aeq, beq, LB, UB, options)$  trouve un Pareto, X réglé avec les paramètres d'optimisation par défaut et remplacés par des valeurs dans les options. Les options peuvent être créées avec la fonction de *gaoptimset*.

La fonction '*gamultiobj*' emploie un algorithme génétique élitiste commandé (une variante de NSGA-II). Un élitiste GA favorise toujours des individus avec une meilleure valeur de la fonction objective (rank). Un élitiste commandé GA favorise également les individus qui peuvent aider à augmenter la diversité de la population même si ils ont une valeur plus basse de fonction objective. Il est important de maintenir la diversité de la population pour assurer la meilleure convergence.

### IV.3 Stratégie de travail

La figure (IV.2) résume la stratégie et la méthodologie de travail réalisé pour résoudre le problème de dispatching économique environnemental.



**Figure IV.2 :** Méthodologie et stratégie d'optimisation.

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### IV.4 Les réseaux électrique sélectionnés pour l'étude

Pour l'application de notre travail, on a choisi quelques modèles des réseaux électriques à savoir :

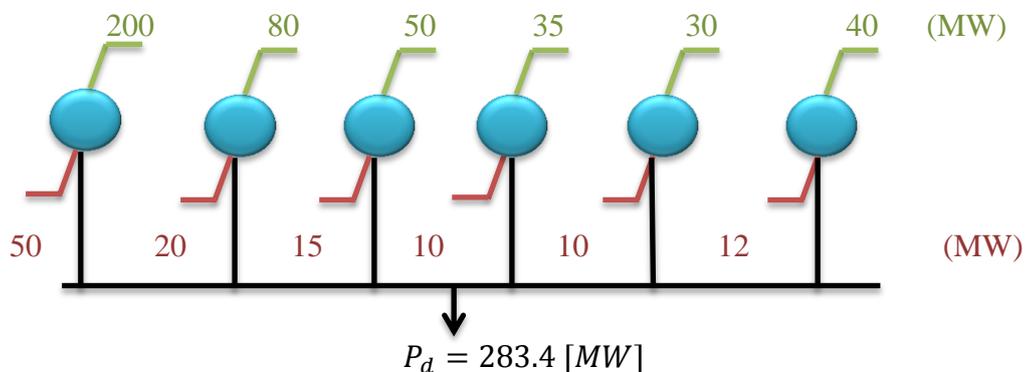
- ✓ Le premier réseau IEEE30 bus avec 6 centrales électriques de production
- ✓ Le deuxième réseau comporte 13 unités de production d'énergie électrique avec 02 cas (1<sup>er</sup> cas Puissance demandé = 1800MW et 2<sup>ème</sup> cas la Puissance demandé égale 2520 MW).
- ✓ Le troisième réseau comporte 5 unités dédié à résoudre le problème de DED.

### IV.5 Présentation de réseau d'étude :

#### 1<sup>er</sup> test : réseau de IEEE 30 bus avec 6 unités de production

Le réseau test 1 se compose de 6 unités de production, la puissance demandée est de **283.4 MW**, la configuration de ce réseau est présentée dans la Figure (IV.3), les caractéristiques techniques des unités de production sont présentées dans le Tableau (IV.1).

Dans ce test on va optimiser 2 fonctions objectives : la fonction du coût (fonction quadratique et fonction non linéaire) et la fonction quadratique des gaz toxiques.



**Figure IV.3 :** Schéma équivalent du réseau électrique du réseau test1.

Générateurs	Les coefficients de la fonction coût					Les coefficients de l'émission de gaz			Les limites de la puissance générée	
	a	b	c	d	e	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	Pgmin	Pgmax
G1	0	2	0.00375	50.00	0.0630	0.0126	-0.9000	22.983	50	200
G2	0	1.75	0.01750	40.00	0.0980	0.0200	-0.1000	25.313	20	80
G3	0	1	0.06250	0	0	0.0270	-0.0100	25.505	15	50
G4	0	3.25	0.00834	0	0	0.0291	-0.0050	24.900	10	35

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

G5	0	3	0.02500	0	0	0.0290	-0.0040	24.700	10	30
G6	0	3	0.02500	0	0	0.0271	-0.0055	25.300	12	40

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

- **Les coefficients d'estimation des pertes par la méthode 'Beta Coefficient' Pour réseau test 1 (réseau de 6 unités de production)**

$$\beta = 1e-2 * \begin{bmatrix} 0.00170 & 0.0012 & 0.0007 & -0.0001 & -0.0005 & -0.0002 \\ 0.0012 & 0.0014 & 0.0009 & 0.0001 & -0.0006 & -0.0001 \\ 0.0007 & 0.0009 & 0.0031 & 0.0000 & -0.0010 & -0.0006 \\ -0.0001 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0024 & -0.0006 & -0.0008 \\ -0.0005 & -0.0006 & -0.0010 & -0.0006 & 0.0129 & -0.0002 \\ -0.0002 & -0.0001 & -0.0006 & -0.0008 & -0.0002 & 0.0150 \end{bmatrix}$$

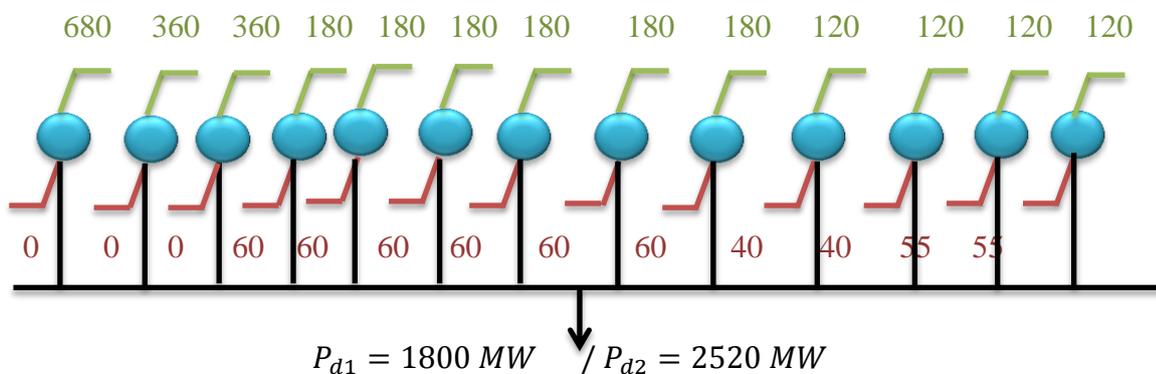
$$\beta_0 = 1.e-3 * [-0.3908 \quad -0.1297 \quad 0.7047 \quad 0.0591 \quad 0.2161 \quad -0.6635]$$

$$\beta_{00} = 0.056$$

### Réseau test 2 : 13 unités de production d'énergie électrique

Dans ce réseau, nous étudierons deux instances des mêmes données de réseau :

Dans le premier cas, nous étudierons pour une énergie demandée égale à 1800 MW, dans le deuxième cas, pour une puissance demandée égale à 2520 MW. Le schéma équivalent de réseau électrique du réseau test 2 est présenté dans la Figure(IV.4).



**Figure IV.4 :** Schéma équivalent du réseau électrique de test 2.

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Le tableau(IV.2) représente les caractéristiques techniques des unités de production du réseau test 2.

Générateurs	Les coefficients de la fonction du coût					Les limites de la puissance générée	
	a	b	c	e	f	Pgmin	Pgmax
G1	550.0000	8.1000	0.00028	300.0000	0.0350	0	680.0000
G2	309.0000	8.1000	0.00056	200.0000	0.0420	0	360.0000
G3	307.0000	8.1000	0.00056	150.0000	0.0420	0	360.0000
G4	240.0000	7.7400	0.00324	150.0000	0.0630	60.0000	180.0000
G5	240.0000	7.7400	0.00324	150.0000	0.0630	60.0000	180.0000
G6	240.0000	7.7400	0.00324	150.0000	0.0630	60.0000	180.0000
G7	240.0000	7.7400	0.00324	150.0000	0.0630	60.0000	180.0000
G8	240.0000	7.7400	0.00324	150.0000	0.0630	60.0000	180.0000
G9	240.0000	7.7400	0.00324	150.0000	0.0630	60.0000	180.0000
G10	126.0000	8.6000	0.00284	100.0000	0.0840	40.0000	120.0000
G11	126.0000	8.6000	0.00284	100.0000	0.0840	40.0000	120.0000
G12	126.0000	8.6000	0.00284	100.0000	0.0840	55.0000	120.0000
G13	126.0000	8.6000	0.00284	100.0000	0.0840	55.0000	120.0000

**Tableau IV.2 :** Les données du réseau test 2 (réseau de 13 unités).

- **Les coefficients d'estimation des pertes par la méthode 'Beta Coefficient' pour le réseau test 2 (réseau de 13 unités de production)**

$$\beta = 1e-2 * [ \dots ]$$

0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017

0.0012 0.0014 0.0009 0.0001 -0.0006 -0.0001 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017

0.0007 0.0009 0.0031 0.0000 -0.0010 -0.0006 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017

-0.0001 0.0001 0.0000 0.0024 -0.0006 -0.0008 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017

-0.0005 -0.0006 -0.0010 -0.0006 0.0129 -0.0002 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017

-0.0002 -0.0001 -0.0006 -0.0008 -0.0002 0.0150 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

```

0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017
0.0012 0.0014 0.0009 0.0001 -0.0006 -0.0001 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017
0.0007 0.0009 0.0031 0.0000 -0.0010 -0.0006 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017
-0.0001 0.0001 0.0000 0.0024 -0.0006 -0.0008 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017
-0.0005 -0.0006 -0.0010 -0.0006 0.0129 -0.0002 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017
-0.0002 -0.0001 -0.0006 -0.0008 -0.0002 0.0150 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017
0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017 0.0012 0.0007 -0.0001 -0.0005 -0.0002 0.0017]

```

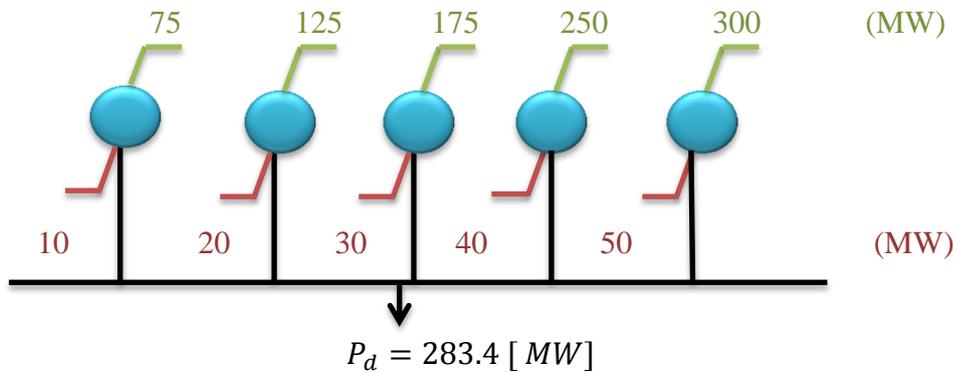
$\beta_0 = 1.e-3 * [$

$-0.3908 -0.1297 0.7047 0.0591 0.2161 -0.6635 -0.3908 -0.1297 0.7047 0.0591 0.2161 -0.6635 -0.3908]$

$\beta_{00} = 0.056$

### Réseau test 3: réseau de 5 unité de production

Ce réseau d'étude se compose de 5 unités de production, nous avons traité le problème de dispatching économique dynamique. Afin de montrer l'effet de la contrainte pratique rampe sur la valeur du coût total optimisé, on a optimisé le coût de production qui inclue l'effet de valve avec et sans considération de l'effet rampe. Les limites des unités de production sont récapitulées dans le tableau(IV.3), La demande de puissance pendant 24H est présentée dans le tableau (IV.4). Le schéma équivalent de réseau électrique du réseau test 3 est présenté dans la Figure(IV.5).



**Figure IV.5 :** Schéma équivalent de réseau électrique du réseau test 3

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Générateurs	Les coefficients de fonction du 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.3 :** Les données du réseau test 3 (réseau de 5 unités)

Heure	Puissance demandée [MW]	Heure	Puissance demandée [MW]
1	307.5000	13	528.0000
2	326.2500	14	517.5000
3	356.2500	15	490.5000
4	397.5000	16	435.0000
5	418.5000	17	418.5000
6	456.0000	18	456.0000
7	469.5000	19	490.5000
8	490.5000	20	528.0000
9	517.5000	21	510.0000
10	528.0000	22	453.7500
11	540.0000	23	395.2500
12	555.0000	24	347.2500

**Tableau IV.4 :** Les puissances demandées pour 24 heures du Réseau test 3.

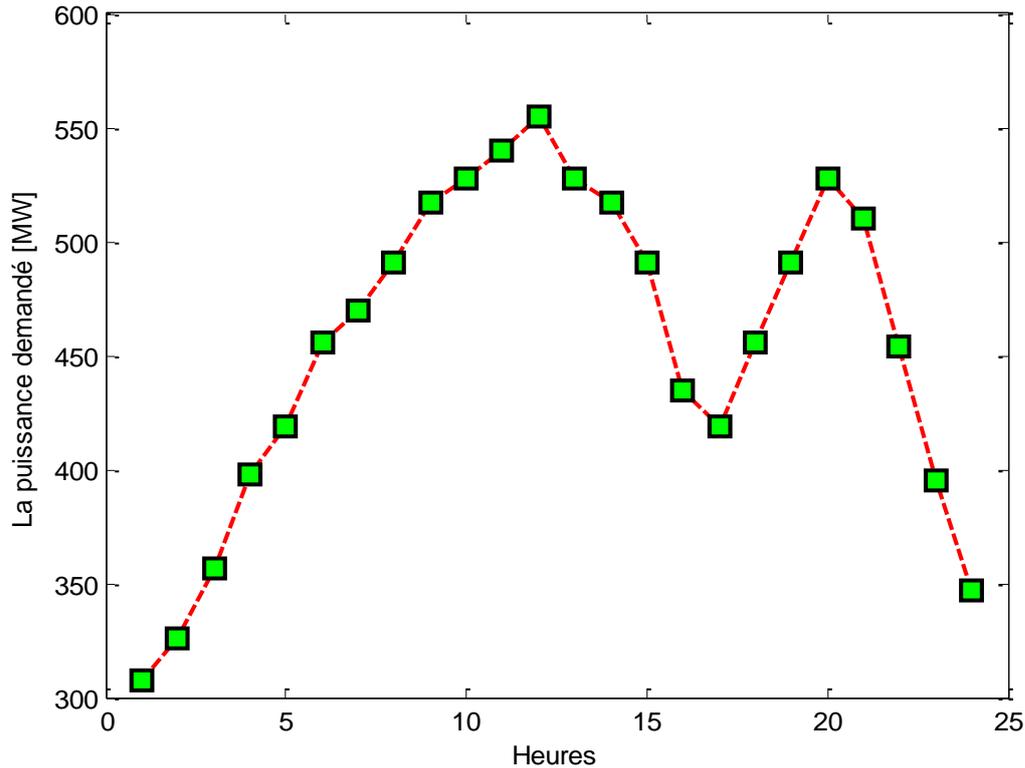


Figure IV.6 : La courbe de charge des puissances demandées du réseau test 3.

### IV.6 Paramètre de l'algorithme

#### IV.6.1 les paramètres de l'algorithme génétique :

- Taille de la population ('PopulationSize')= 100,
- 'PlotFcns',{ @gaplotbestf},
- 'CrossoverFraction'= 0.85,
- 'TolCon'=1e-8,
- Générations ('Generations')= 300,
- 'StallGenLimit'= 300
- 'StallGenLimit',1000,
- 'StallTimeLimit',1000

#### IV.6.2 les paramètres de l'algorithme de chauve-souris :

- $M = 200$ ;
- $pop = 50$ ;
- $gamma = 0.9$ ;

- $\alpha = 0.99$
- $r0Max = 1;$
- $r0Min = 0;$
- $AMax = 2;$
- $AMin = 1;$
- $freqDMax = 1.05;$
- $freqDMin = 0;$
- $G = 10;$
- $probMax = 0.9;$
- $probMin = 0.6;$
- $thetaMax = 1;$
- $thetaMin = 0.5;$
- $wMax = 0.9;$
- $wMin = 0.4;$
- $CMax = 0.9;$
- $CMin = 0.4$

### **IV.7 Cas d'étude de Dispatching économique statique :**

### **IV.8 Optimisation du coût de production :**

#### **IV.8.1 test 1 : réseau IEEE 30 bus avec 6 unités de production**

Dans cette partie du travail, nous appliquerons à la fois l'algorithme chauve-souris et l'algorithme génétique afin de trouver le coût le plus bas possible pour satisfaire une puissance demandée bien déterminée. Pour ce test deux fonction objectives sont à considérées, la fonction coût de type quadratique et la fonction coût de type non linéaire due à l'effet de valve.

##### **IV.8.1.1 Fonction quadratique sans pertes**

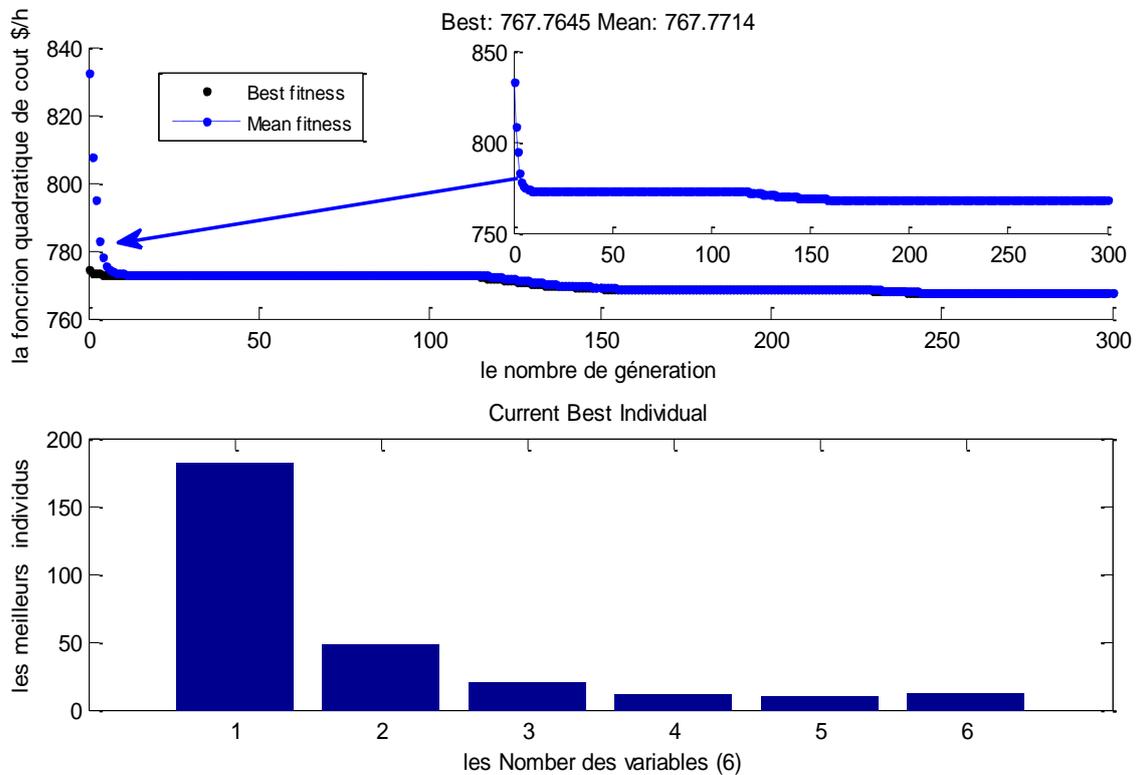
###### **IV.8.1.1.1 Application de l'algorithme génétique :**

Pour atteindre la solution optimale, nous exécutons le programme 10 fois, les résultats trouvés sont récapitulés dans le tableau(IV.5), puis on choisit la meilleure solution parmi ces solutions.

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Nombre d'exécution	Puissance générée par G1	Puissance générée par G2	Puissance générée par G3	Puissance générée par G4	Puissance générée par G5	Puissance générée par G6	Le coût de production [\$/h]
01	178.3137	46.8078	20.6252	14.2657	10.8094	12.5781	772.0902
02	165.8300	52.8060	23.5073	14.8233	10.1231	16.3102	768.5316
03	177.9066	48.5572	19.9555	14.8343	10.1326	12.0136	775.8016
04	163.9398	45.9650	25.6503	16.8792	11.8473	19.1183	777.3736
05	171.3352	46.4128	24.1168	15.9705	10.5728	14.9918	772.5111
06	167.4409	47.9100	23.5844	15.9287	10.9682	17.5678	776.0048
07	166.0115	51.3361	20.9793	16.1429	13.8177	15.1123	774.8860
08	171.0018	48.3187	21.1171	17.5222	12.0235	13.4165	775.5157
09	183.0731	47.0617	19.3019	11.7110	10.1209	12.1313	769.0008
10	181.0776	47.6586	19.2053	13.1944	10.2042	12.0599	767.7645

**Tableau IV.5 :** Les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par utilisation d'AG.



**Figure IV.7 :** a)Caractéristiques de convergence de l'AG : minimisation de coût : réseau test 1. b) meilleurs individus.

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

La figure IV.7-a) montre la caractéristique de convergence de l'AG pour minimiser de coût total. La figure IV.7-b) montre les meilleurs individus (puissances générées). Pour ce test, l'algorithme nécessite 300 itérations pour converger vers la meilleure solution.

### Interprétation :

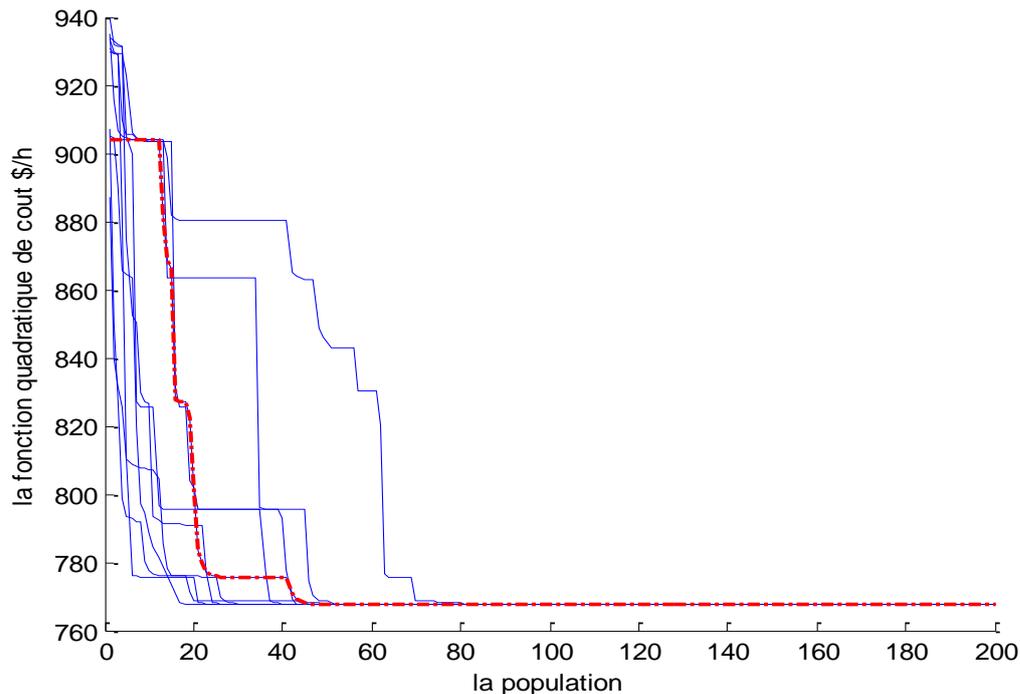
Après avoir exécuté le programme plusieurs fois on a pu localiser la meilleur valeur de coût total qui est de 767.7645 \$/h. Ce coût est optimisé pour satisfaire une puissance demandée de 283.4 MW.

#### IV.8.1.1.2 L'application de l'algorithme de chauve-souris :

Pour ce test, le deuxième algorithme nommé chauve-souris est adapté et appliqué pour minimiser la même fonction objective sans considérer les pertes.

Nombre d'exécution	Puissance générée par G1	Puissance générée par G2	Puissance générée par G3	Puissance générée par G4	Puissance générée par G5	Puissance générée par G6	Le coût de production \$/h
01	185.4236	46.8435	19.1320	10.0000	10.0003	12.0005	767.6022646
02	185.8435	46.8711	19.1245	10.0000	10.0000	12.0000	767.6021110
03	185.4019	46.8715	19.1266	10.0000	10.0000	12.0000	767.6021008
04	185.4034	46.8718	19.1248	10.0000	10.0000	12.0000	767.6020998
05	185.4100	46.8681	19.1219	10.0000	10.0000	12.0000	767.6021012
06	185.4042	46.8725	19.1210	10.0022	10.0000	12.0001	767.6021734
07	185.4048	46.8787	19.1161	10.0001	10.0000	12.0002	767.6021487
08	185.4031	46.8734	19.1235	10.0000	10.0000	12.0000	767.6021001
09	185.4001	46.8667	19.1327	10.0000	10.0004	12.0000	767.6021498
10	185.4069	46.8679	19.1252	10.0000	10.0000	12.0000	767.6021119

**Tableau IV.6 :** Les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par l'algorithme de chauve-souris : réseau test 1.



**Figure IV.8 :** Caractéristiques de convergence de l’algorithme chauve-souris: minimisation du coût : réseau test 1.

### Interprétation :

Après avoir exécuté le programme 10 fois, et d’après les résultats présentés dans le tableau (IV.6) on constate que les 10 résultats sont à peu près différents mais très proches. Parmi les solutions trouvées, on choisit la quatrième solution qui est considéré comme optimale. La Figure (IV.8) montre les caractéristiques de convergence de l’algorithme chauve-souris pour dix exécutions. Le tableau (IV.7) nous donne une comparaison des résultats optimisés trouvés par les deux algorithmes, on constate que, l’algorithme chauve-souris abouti à de résultats légèrement meilleur à celle trouvée par l’AG.

	Résultat de l’algorithme génétique par la fonction quadratique (linéaire) sans pertes	Résultat de l’algorithme de chauve-souris par la fonction quadratique (linéaire) sans pertes
Pg1	181.0776	185.4034
Pg2	47.6586	46.8718
Pg3	19.2053	19.1248
Pg4	13.1944	10.0000
Pg5	10.2042	10.0000
Pg6	12.0599	12.0000

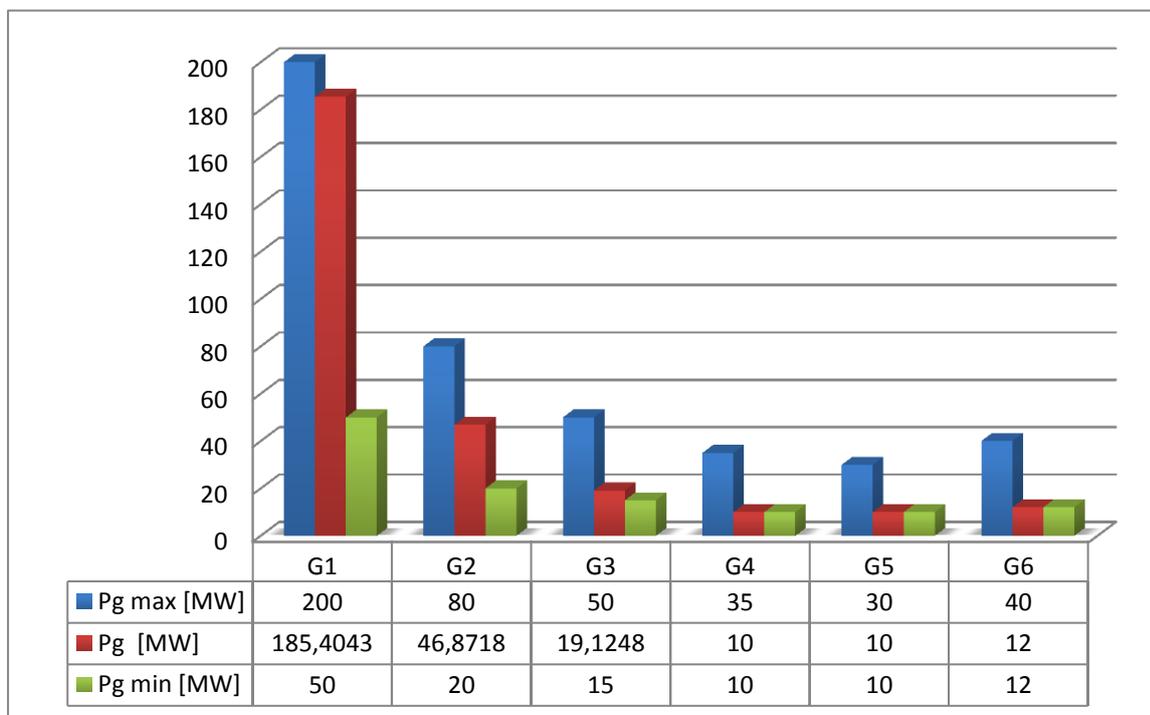
## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

La puissance générée totale [MW]	283.4000	283.4000
Le coût de production [\$ /h]	767.7645	<b>767.6020998</b>
L'erreur de coût	0.1624\$/h	
L'émission des gaz toxique non optimisée [Kg/h]	461.1555	473.4484
Temps [s] pour 10 exécutions	356.908796	18.678717

**Tableau IV.7 :** Comparaison entre les 02 méthodes : minimisation du coût pour une fonction quadratique : réseau test 1.

### Interprétation

On remarque que les deux méthodes assurent la satisfaction de la puissance demandée ( $P_d=283.4$  MW). En ce qui concerne le coût, il existe une petite différence entre les deux méthodes car le coût achevé par l'algorithme génétique est supérieur à la valeur trouvée par l'algorithme de chauve-souris de 0.1624 \$/h. D'un autre côté, nous constatons que l'algorithme chauve-souris est relativement plus rapide que l'algorithme génétique. La figure (IV.8) montre la répartition des puissances générées optimales.



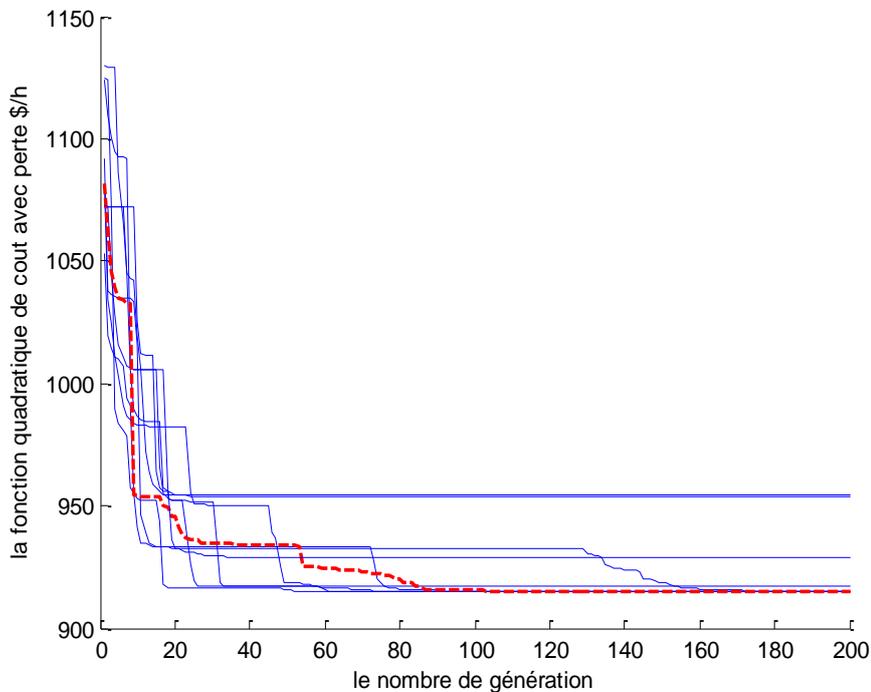
**Figure IV.9 :** Répartition optimales des puissances générées.

### IV.8.1.2 Fonction quadratique avec pertes

Dans cette partie on a procédé à résoudre le problème de DE statique en considérant cette fois ci les pertes actives. Ces pertes sont estimées par utilisation de la matrice ‘beta coefficients’. Le tableau (IV.8) récapitule la répartition optimale des puissances générées ainsi que le coût de production optimisées.

Nombre d'exécution	$P_{G1}$	$P_{G2}$	$P_{G3}$	$P_{G4}$	$P_{G5}$	$P_{G6}$	Le coût de \$/h
01	161.1584	80.0000	20.0864	10.0956	10.0000	12.0000	822.775514
02	182.1015	50.2386	21.6922	14.2606	13.4822	12.0000	804.378365
03	182.0976	50.2313	21.6957	14.2674	13.4827	12.0000	804.378366
04	182.1031	50.2398	21.6907	14.2596	13.4819	12.0002	804.378383
05	182.0564	50.2298	21.7223	14.3517	13.4132	12.0020	804.378874
06	182.1115	50.2313	21.6912	14.2546	13.4868	12.0000	804.378372
07	182.1030	50.2422	21.6918	14.2597	13.4788	12.0000	804.378362
08	182.1109	50.2408	21.6951	14.2577	13.4714	12.0000	804.378373
09	182.0969	50.2061	21.6873	14.3005	13.4845	12.0000	804.378402
10	182.1040	50.2498	21.6986	14.2409	13.4811	12.0004	804.378433
Puissance générée [MW]					<b>293.77538290</b>		
Les pertes [MW]					<b>10.3753829</b>		

**Tableau IV.8 :** Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique : de coût avec pertes par utilisation de l'algorithme de chauve-souris : réseau test1.



**Figure IV.10 :** Caractéristiques de convergence de l'algorithme chauve-souris: minimisation de coût sous l'effet de valve: réseau test 1.

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Le tableau (IV.9) présente la répartition optimale des puissances générées avec et sans considération des pertes.

	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction quadratique <b>sans</b> pertes	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction quadratique <b>avec</b> pertes
Pg1	185.4034	182.1030
Pg2	46.8718	50.2422
Pg3	19.1248	21.6918
Pg4	10.0000	14.2597
Pg5	10.0000	13.4788
Pg6	12.0000	12.0000
La puissance générée totale [MW]	<b>283.4000</b>	<b>293.77538290</b>
Les pertes [MW]	<b>10.3754</b>	
Le coût de production [\$ /h]	767.6020998	804.378362
L'erreur de coût [\$ /h]	<b>36.7763</b>	

**Tableau IV.9** : résultats de la fonction quadratique avec et sans considération des pertes par l'algorithme de chauve-souris

On remarque que les pertes ont engendré une augmentation du coût total de 10.3754 \$/h. Il faut noter aussi que tous les résultats obtenus par les deux algorithmes respectent toutes les contraintes sus-citées sans aucune violation.

### IV.8.1.3 Fonctions non linéaires sans pertes

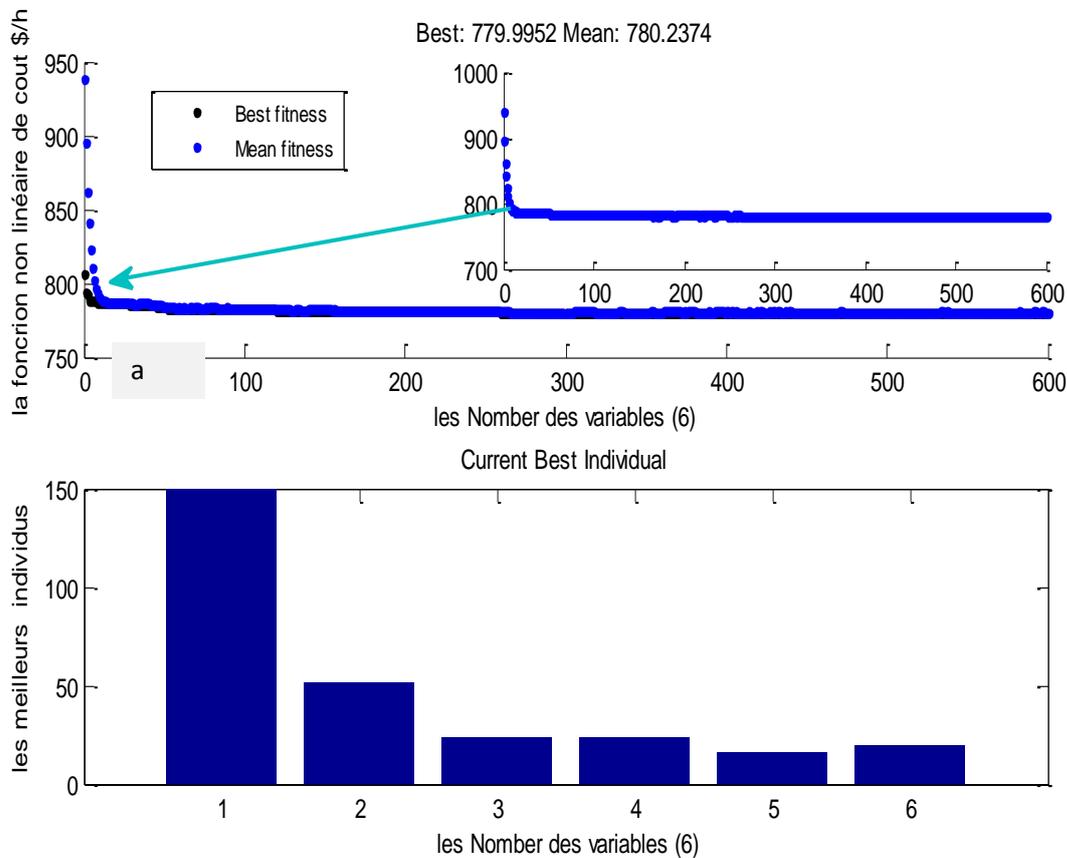
#### IV.8.1.3.1 Application de l'algorithme génétique :

Nombre d'exécution	Puissance générée par G1 [MW]	Puissance générée par G2 [MW]	Puissance générée par G3 [MW]	Puissance générée par G4 [MW]	Puissance générée par G5 [MW]	Puissance générée par G6 [MW]	Le coût de production \$/h
01	149.7331	52.0571	26.2828	21.0079	14.6655	19.6535	781.4690
02	149.7330	52.0571	24.9919	22.2910	13.7955	20.5315	780.9416
03	149.7331	52.0571	24.9302	22.2359	14.8547	19.5889	780.6708
04	149.7331	52.0571	26.3315	18.5492	16.2353	20.4939	782.1622
05	149.7350	52.0583	26.7788	18.0741	16.0278	20.7258	782.5718
06	149.7326	52.0577	27.8676	20.0969	13.9684	19.6767	782.6508

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

07	149.7334	52.0557	26.7121	18.3522	13.3522	22.6439	783.1196
08	149.7341	52.0560	25.1175	23.3268	16.3948	16.7708	780.2179
09	149.7334	52.0574	25.1011	22.7586	14.8276	18.9219	780.5306
10	149.7331	52.0571	22.9986	24.0891	15.7174	18.8047	779.9952
<b>La puissance totale générée par la meilleure solution [MW]:</b>				283.4000			

**Tableau IV.10 :** Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction non linéaire de coût par utilisation de l'AG



**Figure IV.11 :** Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction de coût non linéaire du réseau test 1.

La figure (IV.11)-a) montre la caractéristique de convergence de l'AG pour minimiser de coût total. La figure (IV.11)-b) montre les meilleurs individus (puissance générés). Pour ce test, l'algorithme nécessite 600 itérations pour converger vers la meilleure solution.

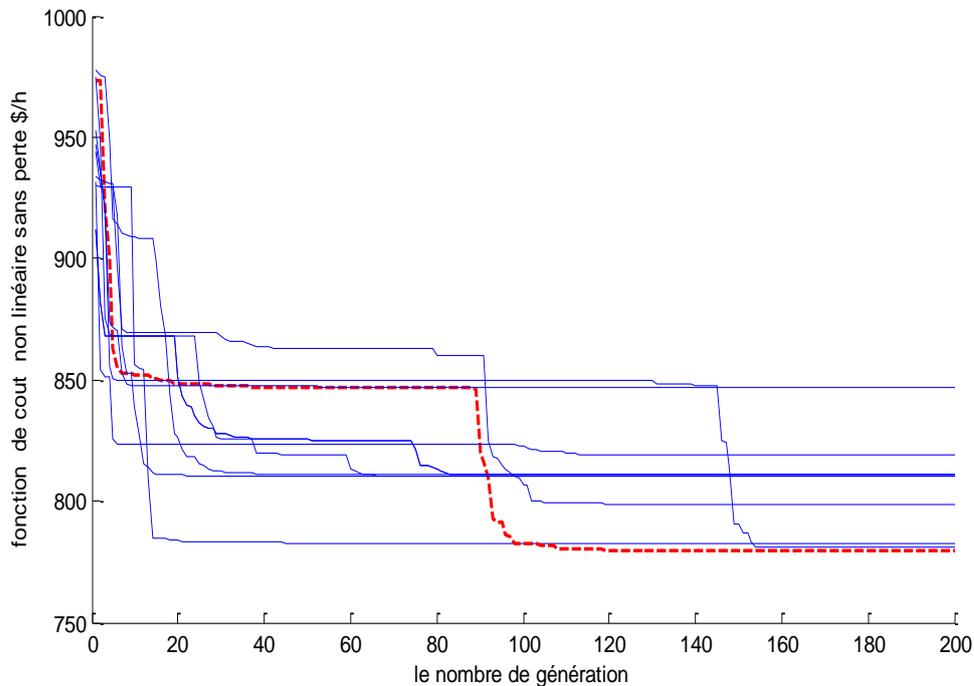
## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### IV.8.1.3.2 l'application de l'algorithme de chauve-souris :

On résumé les 10 exécutions de l'algorithme dans le tableau (IV.11) :

Nombre d'exécution	Puissance générée par G1	Puissance générée par G2	Puissance générée par G3	Puissance générée par G4	Puissance générée par G5	Puissance générée par G6	Le coût de production \$/h
01	149.7331	52.0571	15.0003	35.0000	16.8207	14.7888	782.4646
02	149.7331	20.0000	25.3014	35.0000	30.0000	23.3655	811.0643
03	149.7331	52.0567	20.8338	35.0000	12.7497	13.0267	779.6286
04	149.7331	20.0121	26.3467	35.0000	26.8703	25.4378	810.4674
05	149.7401	52.0610	18.8464	35.0000	10.0137	17.7388	780.7814
06	149.7331	52.0572	19.9239	10.5697	11.1161	40.0000	798.5207
07	149.7331	20.0001	26.5868	35.0000	26.4181	25.6619	810.4250
08	99.8666	80.0000	24.5794	35.0000	21.6394	22.3147	847.1496
09	149.7331	20.0165	22.5117	35.0000	16.1386	40.0000	818.7257
10	149.7331	20.0000	25.3430	35.0000	30.0000	23.3239	811.0642
<b>La puissance totale générée par la meilleur solution :</b>				<b>283.4 MW</b>			

**Tableau IV.11 :** les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût sans perte par l'algorithme de chauve-souris : réseau test 1.



**Figure IV.12 :** Résultats des convergences d'optimisation mono-objective de la fonction non linéaire de coût sans perte : réseau test1.

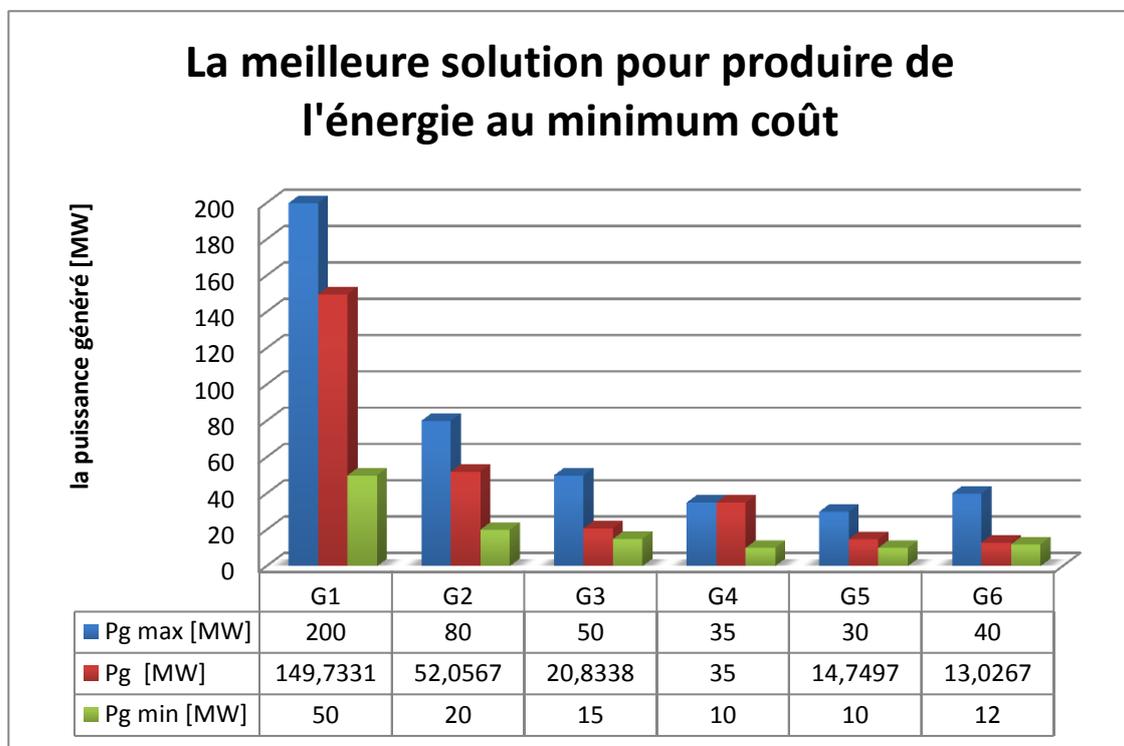
## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

	Résultat de l'algorithme génétique par la fonction non linéaire sans pertes	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire sans pertes
Pg1	149.7331	149.7331
Pg2	52.0571	52.0567
Pg3	22.9986	20.8338
Pg4	24.0891	35.0000
Pg5	15.7174	14.7497
Pg6	18.8047	13.0267
La puissance générée totale [MW]	283.4	283.4
Le coût de production [\$ /h]	779.9952	779.6286
L'erreur de coût [\$ /h]	0.3666	

**Tableau IV.12 :** Comparaison entre les deux méthodes pour la fonction quadratique réseau test 1.

### Interprétation :

D'après les résultats récapitulés dans le tableau (IV.12), nous constatons que le coût de production achevé par l'algorithme de chauve-souris est meilleur que celle trouvée par l'AG. La figure (IV.13) montre la répartition des puissances générées optimales.



**Figure IV.13 :** Répartition optimales des puissances générées.

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### IV.8.1.4 Fonction non linéaire avec pertes

Dans ce cas d'étude on a procédé à résoudre le problème (DE) en considérant cette fois ci les pertes actives et l'effet de valve. Les résultats optimaux achevés par l'algorithme de chauve-souris sont récapitulés dans le tableau (IV.13).

Nombre d'itération	Puissance générée par G1	Puissance générée par G2	Puissance générée par G3	Puissance générée par G4	Puissance générée par G5	Puissance générée par G6	Le coût de production \$/h
01	149.7331	52.0571	15.2785	35.0000	30.0000	12.3196	829.153298
02	199.5997	20.0000	20.8507	11.4035	30.0000	12.0383	829.005882
03	149.7331	20.0046	22.1098	35.0000	30.0000	40.0000	874.699651
04	199.5932	20.0000	19.3450	35.0000	10.6388	12.1017	832.010117
05	195.8931	52.0570	15.0023	10.0010	10.0116	12.0007	820.332403
06	99.8665	38.5109	50.0000	35.0000	30.0000	40.0000	972.020037
07	99.8666	52.0571	50.0000	35.0000	30.0000	24.5080	906.913581
08	199.5997	20.0000	24.0934	19.4488	18.1234	13.1153	823.564426
09	149.7331	20.0000	22.1140	35.0000	30.0000	40.0000	874.686171
10	149.7347	20.0294	33.1482	35.0000	30.0000	26.0756	859.253965
Puissance générée [MW]				<b>294.96572344</b>			
Les perte [MW]				<b>11.5657</b>			

**Tableau IV.13** : les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût avec pertes par l'algorithme de chauve-souris pour test

	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire <b>sans</b> perte	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire <b>avec</b> perte
Pg1	149.7331	195.8931
Pg2	52.0567	52.0570
Pg3	20.8338	15.0023
Pg4	35.0000	10.0010
Pg5	14.7497	10.0116
Pg6	13.0267	12.0007
La puissance générée totale [MW]	283.4	294.96572344
Les perte [MW]	<b>11.5657</b>	
Le coût de production [\$/h]	779.6286	820.332403
L'erreur de coût [\$/h]	<b>40.7038029</b>	

**Tableau IV.14** : les résultats de fonction non linéaire avec perte pour 1<sup>er</sup> test

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Ces résultats montrent que l'effet des pertes et la contrainte imposée par l'effet de valve a un impact significatif sur le coût de production d'énergie, ce qui oblige l'usine à produire plus d'énergie pour couvrir ses besoins, Ceci est dû au coût de production à une augmentation de 40.7038029 \$/h.

### IV.8.2 Test 2 avec une puissance demandé égale 1800 MW :

#### IV.8.2.1 Fonction quadratique sans perte

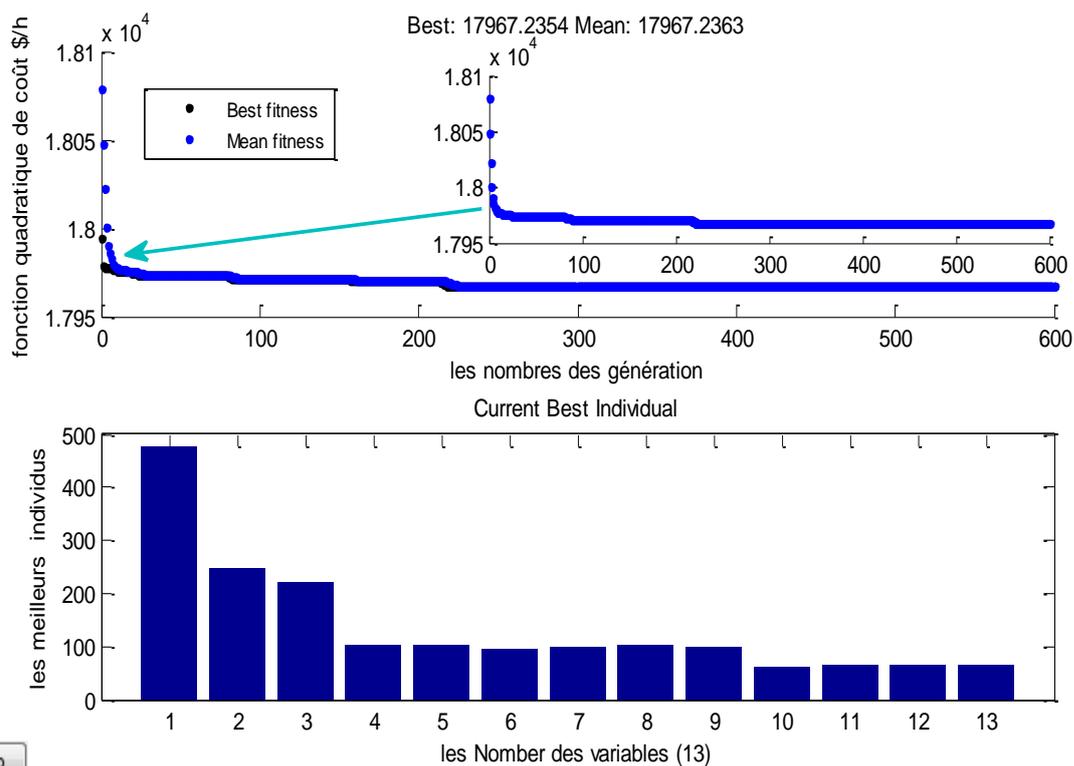
##### IV.8.2.1.1 Application de l'algorithme génétique :

On applique l'algorithme génétique sur le 2<sup>ème</sup> réseau (fonction quadratique), ce réseau contient 13 centrales de production avec une puissance demandé égale 1800 MW.

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Pg1	619.3921	596.8351	612.9836	635.9836	622.2178	622.5381	627.3381	653.1574	624.5152	647.1292
Pg2	150.5189	152.6246	116.3235	116.3235	128.0680	146.0356	140.6239	129.6427	154.6748	121.2622
Pg3	162.6311	232.6275	141.6603	141.6603	136.0680	150.6488	129.2544	135.3770	142.9960	115.6216
Pg4	100.4570	96.5967	108.2731	108.2731	119.0965	109.1379	105.6142	103.5114	102.5156	102.4577
Pg5	103.0585	100.8815	105.7237	105.7237	106.5046	97.0658	104.7857	103.2030	102.1132	104.6072
Pg6	111.9338	99.5299	118.2850	118.2850	103.7016	105.6534	114.3593	102.7022	101.6732	112.4633
Pg7	105.0823	96.5882	109.8965	109.8965	110.6142	109.4415	111.7404	103.9084	109.7776	107.9882
Pg8	103.8984	97.6422	113.2915	113.2915	103.3462	97.1601	103.5157	103.5146	100.5089	108.2190
Pg9	105.9954	92.5849	108.7708	108.7708	105.4859	115.9977	102.7293	99.9297	98.6639	104.7720
Pg10	55.8567	63.6088	61.7123	61.7123	68.0963	57.5519	64.0415	65.4769	63.8507	70.5732
Pg11	62.0627	52.2293	68.7809	68.7809	68.7289	63.7130	67.1329	68.4052	67.1999	64.5543
Pg12	59.0096	62.3846	67.7148	67.7148	65.6922	62.9638	64.3055	65.4778	69.2512	72.4406
Pg13	60.1034	55.8665	66.5839	66.5839	61.8849	62.0924	64.5591	65.6837	62.2597	67.9114
Le cout totale \$/h	1.797128 e+004	1.796723 54 e+004	1.799573 e+004	1.797953 e+004	1.799424 e+004	1.797934 e+004	1.799073 e+004	1.799496 e+004	1.798751 e+004	1.800585 e+004
<b>La puissance totale générée [MW]:</b>							1800			

**Tableau IV.15 :** les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par AG

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation



**Figure IV.14 :** Résultats d'optimisation mono-objective de la fonction de coût quadratique de 2<sup>ème</sup> réseau test.

La figure (IV.14) représente la courbe de convergence de l'algorithme pour la minimisation du coût total. Pour ce réseau test, l'AG nécessite un nombre de génération de 600 pour localiser la meilleure solution.

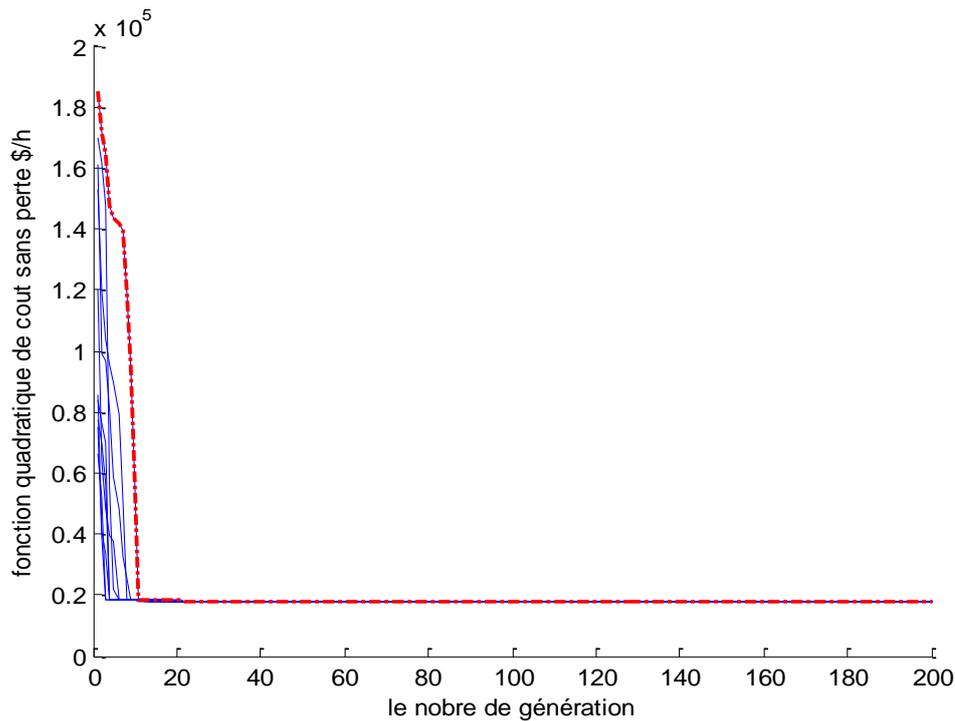
### IV.8.2.1.2 Application de l'algorithme de chauve-souris :

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Pg1	522.6113	575.8532	488.8261	523.5198	600.6719	523.2317	455.1575	510.1319	523.8206	523.3094
Pg2	261.8780	1.8452	244.6457	261.2189	18.1115	245.1547	360.0000	257.1647	250.0472	261.3627
Pg3	261.1803	299.4057	245.1387	261.0441	325.8285	267.7789	226.8632	252.2737	278.6920	261.2364
Pg4	100.9590	120.0417	97.9311	100.8795	102.1795	97.1142	93.7949	95.0706	89.7647	100.8056
Pg5	60.1002	121.4398	60.0479	101.5620	111.7650	92.9785	94.1536	98.4280	89.1968	100.6786
Pg6	100.8160	110.4196	97.8604	100.2872	112.9316	98.2669	93.9588	102.8206	103.6597	100.4276
Pg7	100.8928	101.7291	180.0000	60.0927	112.1774	76.3099	94.7464	95.5650	77.2079	101.0106
Pg8	100.4064	180.0000	97.8833	100.0028	112.7125	97.8346	95.8213	96.2391	100.3942	100.8792
Pg9	100.9810	98.2805	97.6126	101.2704	113.4250	110.9447	95.4400	101.6429	96.2321	60.0650
Pg10	40.0434	40.8930	40.0000	40.0246	40.0008	40.0035	40.0619	40.1249	40.9115	40.0037
Pg11	40.1310	40.0023	40.0239	40.0920	40.0586	40.1663	40.0017	40.4033	40.0001	40.0234
Pg12	55.0000	55.0099	55.0141	55.0023	55.1022	55.0574	55.0003	55.0052	55.0654	55.1468
Pg13	55.0006	55.0800	55.0163	55.0037	55.0354	55.1588	55.0005	55.1300	55.0077	55.0009

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Le cout totale \$/h	1.793772 e+004	1.799533 e+004	1.795878 e+004	1.793770 e+004	1.797185 e+004	1.793520 e+004	1.794044 e+004	1.793298 e+004	1.793568 e+004	1.793774 e+004
<b>La puissance totale généré par la meilleur solution :</b>						1800MW				

**Tableau IV.16 :** les résultats d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût par l'algorithme de chauve-souris: réseau test 2.



**Figure IV.15 :** Résultats des convergences d'optimisation mono-objective de la fonction quadratique de coût sans pertes du 2<sup>ème</sup> réseau test avec puissance demandé de 1800 MW.

### Interprétation :

Après 10 fois d'implémentation, nous avons constaté que les 10 résultats sont à peut près différents mais très proches. Parmi les solutions proposées, nous concluons que solution 8 est la solution optimale, car elle nous fournit une énergie qui répond aux demandes du consommateur au moindre coût.

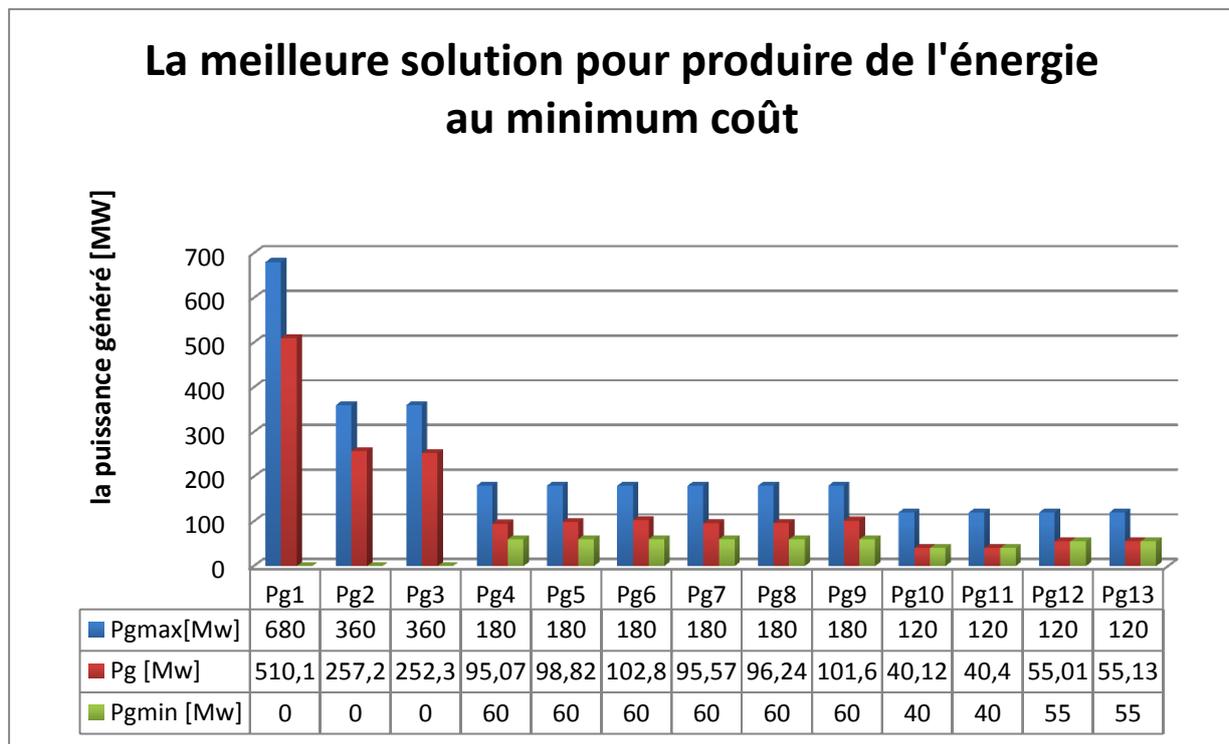
	Résultat de l'algorithme génétique par la fonction quadratique (linéaire) sans pertes	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction quadratique (linéaire) sans pertes
Pg1	596.8351	510.1319

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Pg2	152.6246	257.1647
Pg3	232.6275	252.2737
Pg4	96.5967	95.0706
Pg5	100.8815	98.4280
Pg6	99.5299	102.8206
Pg7	96.5882	95.5650
Pg8	97.6422	96.2391
Pg9	92.5849	101.6429
Pg10	63.6088	40.1249
Pg11	52.2293	40.4033
Pg12	62.3846	55.0052
Pg13	55.8665	55.1300
La puissance générée totale [MW]	1800	1800
Le coût de production \$/h	17963.30	17932.98
L'erreur de coût entre les deux Méthode \$/h	30.3199	

**Tableau IV.17 :** la comparaison entre les 02 méthodes de fonction quadratique de 2<sup>ème</sup> test

Nous représentons la meilleure solution dans la figure (IV.16)



**Figure IV.16 :** Répartition optimales des puissances générées.

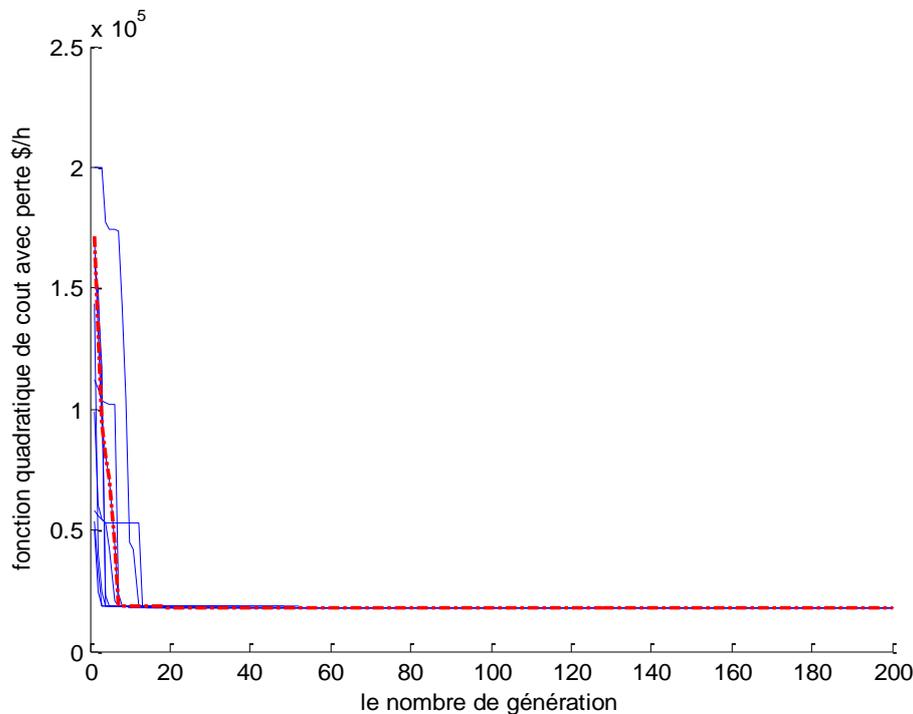
### IV.8.2.2 fonction quadratique avec perte

On applique l'algorithme de chauve-souris pour optimiser la fonction quadratique avec perte de ce test

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Pg1	544.4418	542.3682	491.6910	576.2235	542.4444	547.2296	642.3382	553.8162	546.4187	548.2135
Pg2	258.5067	258.4128	360.0000	4.5416	261.1713	254.6644	315.8487	259.5565	258.7472	260.5860
Pg3	197.8945	197.1987	179.3983	360.0000	197.6620	198.0599	0.8618	195.5862	193.5487	199.6529
Pg4	106.8662	106.8201	104.3934	99.6366	108.5640	108.3262	111.5050	107.2269	104.6954	107.3614
Pg5	119.8837	119.9800	118.0373	124.8000	122.7058	120.2239	123.8566	120.2506	119.5398	119.9824
Pg6	132.1857	130.8166	128.5390	135.2134	131.3119	131.9431	135.5422	134.7903	133.9557	133.8455
Pg7	119.0365	118.1076	115.2671	120.6845	118.7998	119.8007	129.9671	121.3315	117.5719	120.4711
Pg8	68.0802	68.8502	69.8356	60.0011	60.0221	63.5090	81.1570	74.2133	70.6334	71.8039
Pg9	80.0811	83.6423	60.4697	70.5502	84.5013	83.5271	87.5456	60.2738	81.7601	62.0178
Pg10	40.0011	40.0004	40.0069	120.0000	40.0003	40.0000	40.0943	40.0039	40.0108	40.0006
Pg11	40.4976	41.0887	40.0001	40.1827	40.0063	40.1770	40.0016	40.0605	40.0051	43.3534
Pg12	55.0189	55.0077	55.1538	55.0694	55.0155	55.0952	55.0290	55.1323	55.4374	55.0864
Pg13	55.2347	55.5220	55.0001	55.0229	55.3885	55.0999	55.0944	55.2838	55.4403	55.0997
Le cout totale \$/h	1.809427 e+004	1.809445 e+004	1.810373 e+004	1.822791 e+004	1.809461 e+004	1.809429 e+004	1.814481 e+004	1.809641 e+004	1.809438 e+004	1.809658 e+004
<b>La puissance totale</b>							1817.7288 MW			
<b>Les pertes :</b>							17.7288 MW			

**Tableau IV.18 :** les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût avec les pertes par l'algorithme de chauve-souris pour test 2 (Pd=1800MW)



**Figure IV.17 :** Résultats des convergences d'optimisation la fonction quadratique de coût avec les pertes de 2<sup>ème</sup> test

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction quadratique <b>sans</b> perte	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction quadratique <b>avec</b> perte
Pg1	510.1319	544.4418
Pg2	257.1647	258.5067
Pg3	252.2737	197.8945
Pg4	95.0706	106.8662
Pg5	98.4280	119.8837
Pg6	102.8206	132.1857
Pg7	95.5650	119.0365
Pg8	96.2391	68.0802
Pg9	101.6429	80.0811
Pg10	40.1249	40.0011
Pg11	40.4033	40.4976
Pg12	55.0052	55.0189
Pg13	55.1300	55.2347
La puissance générée totale [MW]	1800	1817.7288
Les perte [MW]	<b>17.7288</b>	
Le coût de production \$/h	<b>17932.98</b>	18094.27
L'erreur de coût \$/h	<b>161.29</b>	

**Tableau IV.19** : les résultats de l'algorithme de chauve-souris pour la fonction quadratique de 2<sup>ème</sup> test avec perte

Nous constatons à partir de ces résultats qu'avec l'augmentation de puissance demandé augmente la proportion des pertes et la hausse des coûts, Selon les estimations, l'énergie devait augmenter la production de 17.7288 MW, ce qui a entraîné une augmentation des coûts de 161.29 de dollars/h

### IV.8.2.3 Fonction non linéaire sans perte

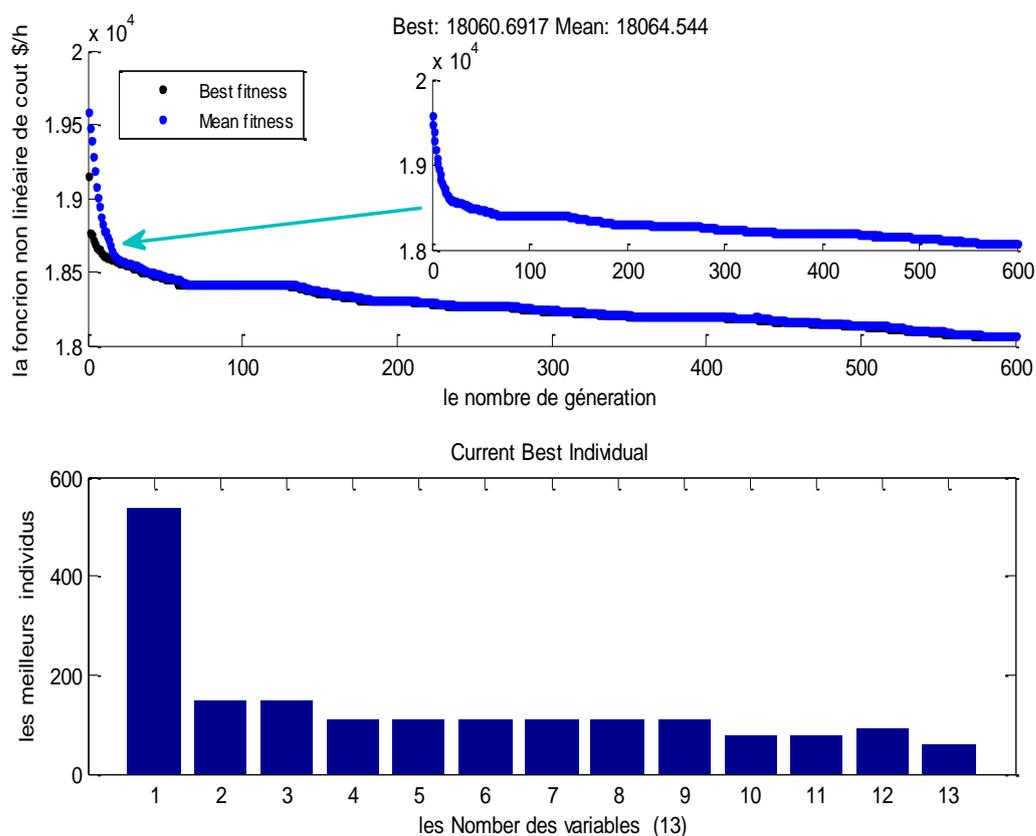
#### IV.8.2.3.1 Application de l'algorithme génétique :

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Pg1	<b>538.5249</b>	538.5590	538.5260	538.5521	538.5555	179.5072	538.5587	538.5585	538.5570	179.5848

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Pg2	149.5312	116.7403	149.4069	149.5959	124.9406	149.2123	149.5996	115.8725	149.5805	149.1227
Pg3	149.5971	149.5882	149.3178	114.6377	140.2285	148.9453	128.1759	148.1175	149.5984	149.0738
Pg4	109.8301	109.8419	109.8115	109.8686	109.8402	151.2578	109.8666	109.8567	109.8651	152.2214
Pg5	109.9063	109.8653	109.7896	109.8394	109.8630	159.7404	109.8665	109.8713	109.8581	159.7017
Pg6	109.8762	109.8644	109.8499	109.8646	109.8665	153.6859	109.8665	109.8626	109.8642	151.5261
Pg7	109.8499	109.8666	109.8782	109.8725	109.8635	153.6454	109.8665	109.7864	109.8617	159.6778
Pg8	109.8671	109.8655	109.7349	109.8668	109.8624	157.7611	109.8665	109.8547	109.8650	150.9531
Pg9	109.8499	109.8660	109.8297	109.8670	109.8653	149.8642	109.8665	109.8550	109.8571	159.9338
Pg10	77.4089	77.3471	77.1336	77.3141	77.3481	114.4961	77.3999	77.3066	77.3817	113.8003
Pg11	77.3804	77.3860	74.3388	77.3917	77.3718	114.6649	77.3998	77.0517	77.3751	112.4468
Pg12	56.0384	88.8431	80.9799	91.8572	90.1714	55.0130	92.3999	92.0991	64.7546	106.8485
Pg13	92.3396	92.3665	71.4041	91.4724	92.2231	112.2065	77.2669	91.9072	83.5815	55.1092
Le cout totale	1.80606917 e+004	1.826432 e+004	1.822559 e+004	1.820197 e+004	1.828881 e+004	1.857603 e+004	1.824077 e+004	1.825789 e+004	1.815228 e+004	1.852160 e+004
<b>La puissance totale généré [MW]:</b>							1799.9999			

**Tableau IV.20** : les résultats d'optimisation mono-objective la fonction de coût non linéaire par AG



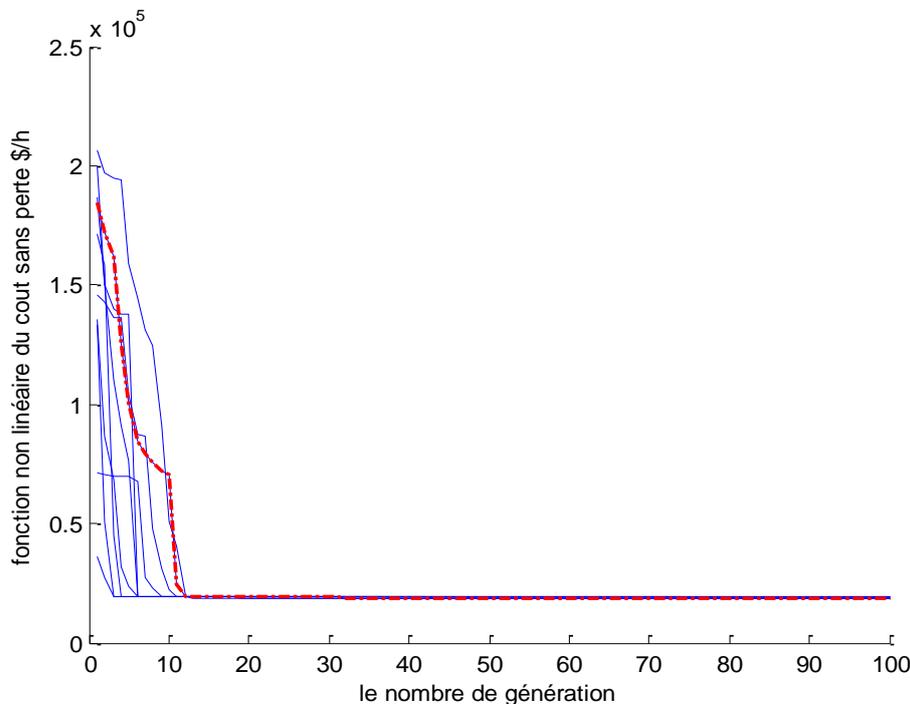
**Figure IV.18** : Résultats d'optimisation mono-objective la fonction de coût non linéaire de 2<sup>ème</sup> test

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### IV.8.2.3.2 l'application de l'algorithme de chauve-souris :

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
P <sub>g1</sub>	0.0003	269.3183	179.7981	179.5184	89.5444	539.1386	360.1295	269.3120	89.7405	359.0371
P <sub>g2</sub>	360.0000	7.3569	0.0001	360.0000	360.0000	0.2113	225.1761	360.0000	73.8420	360.0000
P <sub>g3</sub>	360.0000	360.0000	360.0000	9.6476	72.2235	8.7534	223.2312	15.9874	360.0000	89.1499
P <sub>g4</sub>	159.7145	61.4104	60.0080	60.8070	180.0000	61.1396	61.1802	60.4215	60.0014	180.0000
P <sub>g5</sub>	180.0000	110.3207	112.7230	60.0086	60.3705	180.0000	180.0000	110.7597	109.6813	180.0000
P <sub>g6</sub>	63.8251	180.0000	161.4869	110.0183	180.0000	180.0000	180.0000	60.3399	180.0000	60.3472
P <sub>g7</sub>	180.0000	159.7532	180.0000	180.0000	109.9465	110.4004	60.2030	180.0000	109.5422	60.0279
P <sub>g8</sub>	60.0402	60.6894	112.7988	180.0000	180.0000	60.3567	60.4842	180.0000	159.1927	62.2414
P <sub>g9</sub>	63.4063	111.1512	180.0000	180.0000	180.0000	180.0000	63.7039	110.7636	180.0000	60.7991
P <sub>g10</sub>	40.5109	120.0000	120.0000	120.0000	41.0989	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000
P <sub>g11</sub>	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	106.8162	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000
P <sub>g12</sub>	120.0000	120.0000	93.1851	120.0000	120.0000	120.0000	88.2081	92.4159	120.0000	56.0795
P <sub>g13</sub>	92.48.27	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	57.6837	120.0000	120.0000	92.3179
Le cout totale	1.887841 e+004	1.878747 e+004	1.885235 e+004	1.911671 e+004	1.915699 e+004	1.901838 e+004	1.863594 e+004	1.889033 e+004	1.890287 e+004	1.876264 e+004
<b>La puissance totale généré [MW]</b>						<b>1800 MW</b>				

**Tableau IV.21 :** les résultats d'optimisation mono-objective la fonction non linéaire de coût par l'algorithme de chauve-souris pour test 2



**Figure IV.19 :** Résultats des convergences d'optimisation mono-objective la fonction non linéaire de coût de 2<sup>ème</sup> test

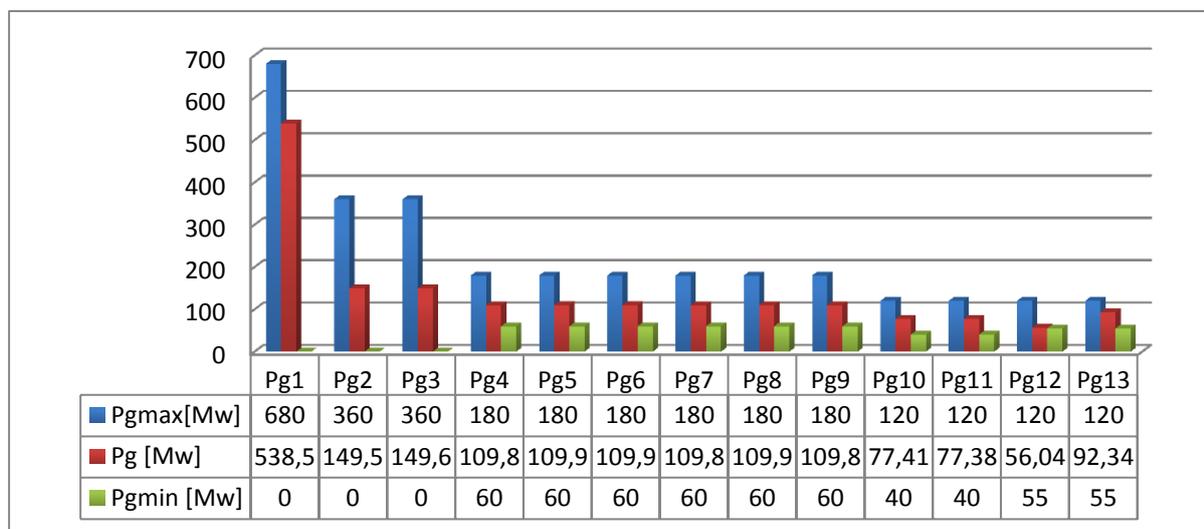
## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

	Résultat de l'algorithme génétique par la fonction non linéaire sans perte	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire sans perte
Pg1	538.5249	360.1295
Pg2	149.5312	225.1761
Pg3	149.5971	223.2312
Pg4	109.8301	61.1802
Pg5	109.9063	180.0000
Pg6	109.8762	180.0000
Pg7	109.8499	60.2030
Pg8	109.8671	60.4842
Pg9	109.8499	63.7039
Pg10	77.4089	120.0000
Pg11	77.3804	120.0000
Pg12	56.0384	88.2081
Pg13	92.3396	57.6837
La puissance générée totale [MW]	1799.9999	1800
Le coût de production \$/h	18023.86	18635.94
L'erreur de coût \$/h	612.079	

**tableau IV.22** : la comparaison entre les 02 méthodes de fonction non linéaire sans perte de 2<sup>ème</sup> test avec Pd=1800 MW

### Interprétation :

Notez que les deux algorithmes fournissent la condition de production d'énergie demandée pour couvrir les besoins des consommateurs, nous considérons que la meilleure solution est la solution fournie par l'algorithme génétique de 18023.86 \$/h nous montrons la solution idéale de l'algorithme chauve-souris dans la figure (IV.20)



**Figure IV.20** : Répartition optimales des puissances générées.

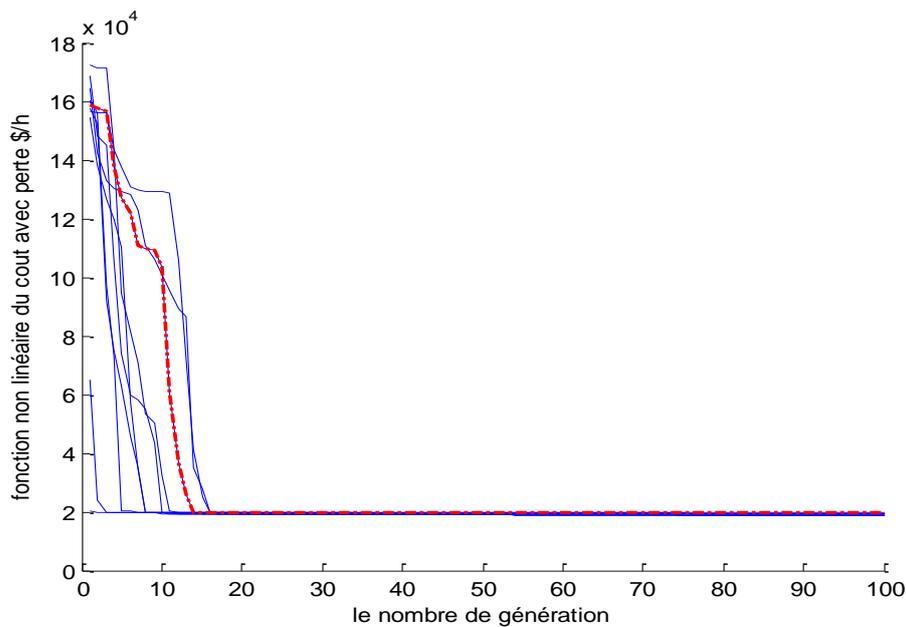
## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### IV.8.2.4 fonction non linéaire avec perte

On applique juste l'algorithme de chauve-souris et on compare les résultats pour voir l'effet des pertes sur le coût de production

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Pg1	269.3318	359.0533	179.5406	269.4223	180.8432	269.0672	449.0577	359.1011	89.6586	89.7701
Pg2	360.0000	2.9892	360.0000	1.7453	0.0209	360.0000	74.3225	77.0659	360.0000	360.0000
Pg3	0.5062	154.0393	79.7405	360.0000	360.0000	360.0000	7.5389	228.9682	360.0000	85.5814
Pg4	180.0000	109.8653	180.0000	180.0000	110.0730	61.6189	180.0000	60.2020	61.1263	109.8909
Pg5	180.0000	180.0000	61.6394	180.0000	180.0000	105.3947	180.0000	180.0000	180.0000	180.0000
Pg6	66.4852	180.0000	62.8231	62.3111	180.0000	180.0000	180.0000	180.0000	156.7653	63.7122
Pg7	68.0987	180.0000	180.0000	180.0000	60.1505	68.2530	60.3889	156.6579	158.9058	180.0000
Pg8	110.0894	180.0000	180.0000	110.9361	180.0000	60.0519	180.0000	63.2084	100.1752	180.0000
Pg9	109.8683	60.8547	180.0000	65.4910	180.0000	60.2734	61.0546	109.2856	60.0181	180.0000
Pg10	120.0000	120.0000	78.5701	120.0000	40.6729	120.0000	120.0000	40.0269	77.9463	120.0000
Pg11	120.0000	120.0000	77.5039	54.1657	114.8674	40.0367	120.0000	120.0000	41.1916	45.3235
Pg12	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000	82.2959	120.0000	120.0000	120.0000	120.0000
Pg13	120.0000	55.0791	92.7249	120.0000	120.0000	55.1033	92.3978	120.0000	55.0437	120.0000
Le cout totale \$/h	1.921243 e+004	1.919977 e+004	1.930912 e+004	1.931148 e+004	1.928733 e+004	1.884844 e+004	1.926344 e+004	1.887768 e+004	1.884892 e+004	1.954638 e+004
<b>La puissance totale</b>						1822.0949 MW				
<b>Les perte</b>						22.0949 MW				

**Tableau IV.23 :** les résultats d'optimisation de la fonction non linéaire de coût avec les pertes par l'algorithme de chauve-souris pour test 2 (Pd=1800MW)



**Figure IV.21 :** Résultats des convergences d'optimisation la fonction non linéaire de coût avec les pertes de 2<sup>ème</sup> test

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

le tableau (IV.23) et la figure (IV.21) représente les solution proposé par l’algorithme de chauve-souris pour une bonne coût de production avec garantie la continuité de service ( la puissance demandé égale 1800 MW plus les pertes )

Notez que la solution optimale à la case 6 du tableau (IV.23), Ceci fournit une solution énergétique de 1822.0949 MW, ce qui est un très bon résultat car nous étudions ce réseau en prenant en compte les pertes. Ces pertes ont donc été à 22.0949 MW et à un coût de 18848.44 \$.

	Résultat de l’algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire <b>sans</b> perte	Résultat de l’algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire <b>avec</b> perte
Pg1	360.1295	269.0672
Pg2	225.1761	360.0000
Pg3	223.2312	360.0000
Pg4	61.1802	61.6189
Pg5	180.0000	105.3947
Pg6	180.0000	180.0000
Pg7	60.2030	68.2530
Pg8	60.4842	60.0519
Pg9	63.7039	60.2734
Pg10	120.0000	120.0000
Pg11	120.0000	40.0367
Pg12	88.2081	82.2959
Pg13	57.6837	55.1033
La puissance générée totale [MW]	1800	1822.0949
Les perte [MW]	<b>22.0949</b>	
Le coût de production \$/h	18635.94	18848.44
L’erreur de coût \$/h	<b>212.50</b>	

**Tableau IV.24** : les résultats de la fonction non linéaire avec perte de 2<sup>ème</sup> test avec Pd=1800 MW

### Interprétation :

Ces résultats montrent que l’effet des pertes et de le contrainte de l’effet de vanne a un impact significatif sur la quantité de production d’énergie, ce qui oblige l’usine à produire plus d’énergie pour couvrir ses besoins, Ceci est dû au coût de production à une augmentation de 212.50 \$/h

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### IV.8.3 Test 2 avec une puissance demandée égale 2520 MW :

#### IV.8.3.1 Optimisation de coût de production sans perte

On va exécuter les algorithmes 10 fois et choisissons parmi les 10 meilleures solutions optimale pour comparer au mieux les meilleurs résultats des deux algorithmes

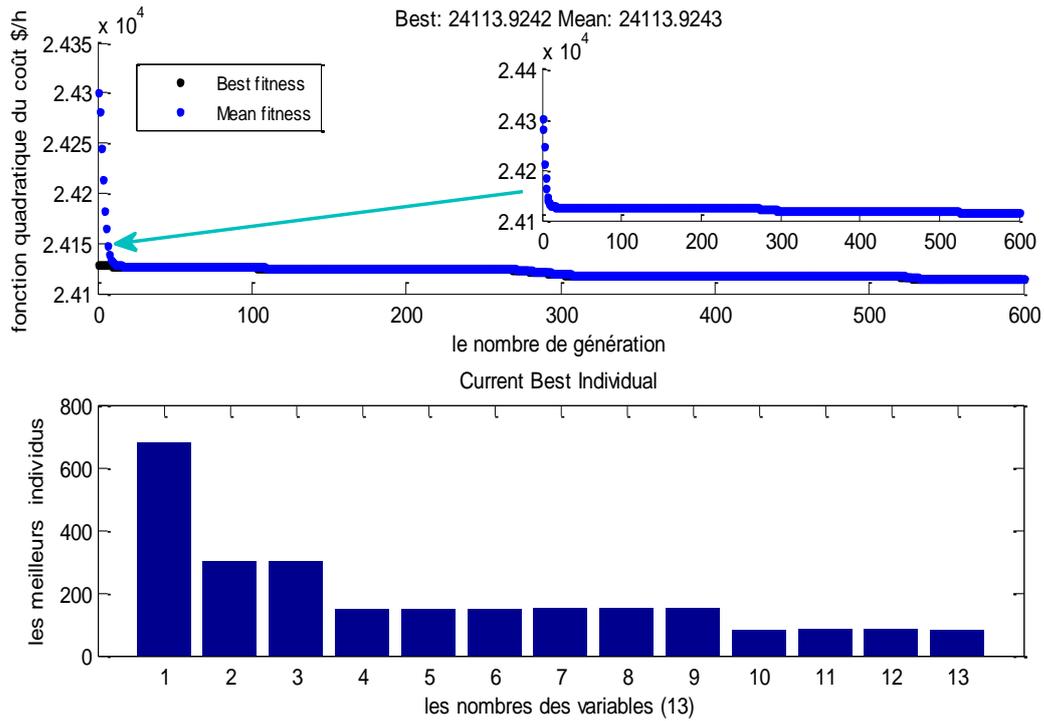
		<b>Fonction quadratique sans perte</b>	
		Algorithme génétique	Algorithme de chauve-souris
<b>Puissance généré par chaque générateur (MW)</b>	Pg1	<b>679.1190</b>	<b>679.9808</b>
	Pg2	<b>313.9195</b>	<b>360.0000</b>
	Pg3	<b>301.7217</b>	<b>360.0000</b>
	Pg4	<b>150.4574</b>	<b>148.1362</b>
	Pg5	<b>153.5586</b>	<b>154.4883</b>
	Pg6	<b>150.8056</b>	<b>151.0551</b>
	Pg7	<b>152.1640</b>	<b>180.0000</b>
	Pg8	<b>151.1697</b>	<b>149.1403</b>
	Pg9	<b>148.9661</b>	<b>145.7313</b>
	Pg10	<b>81.3176</b>	<b>40.2603</b>
	Pg11	<b>80.1026</b>	<b>41.0451</b>
	Pg12	<b>75.0734</b>	<b>55.1134</b>
	Pg13	<b>81.1747</b>	<b>55.0491</b>
<b>Puissance Générée (MW)</b>		<b>2520</b>	<b>2520</b>
<b>Le coût de production (\$/h)</b>		<b>2.41139242e+004</b>	<b>2.405290 e+004</b>
<b>L'erreur de coût (\$/h)</b>		<b>61.0242</b>	

**Tableau IV.25 :** résultats optimaux des deux algorithmes pour optimiser la fonction quadratique de coût de production : réseau test 2 : Pd=2520 MW

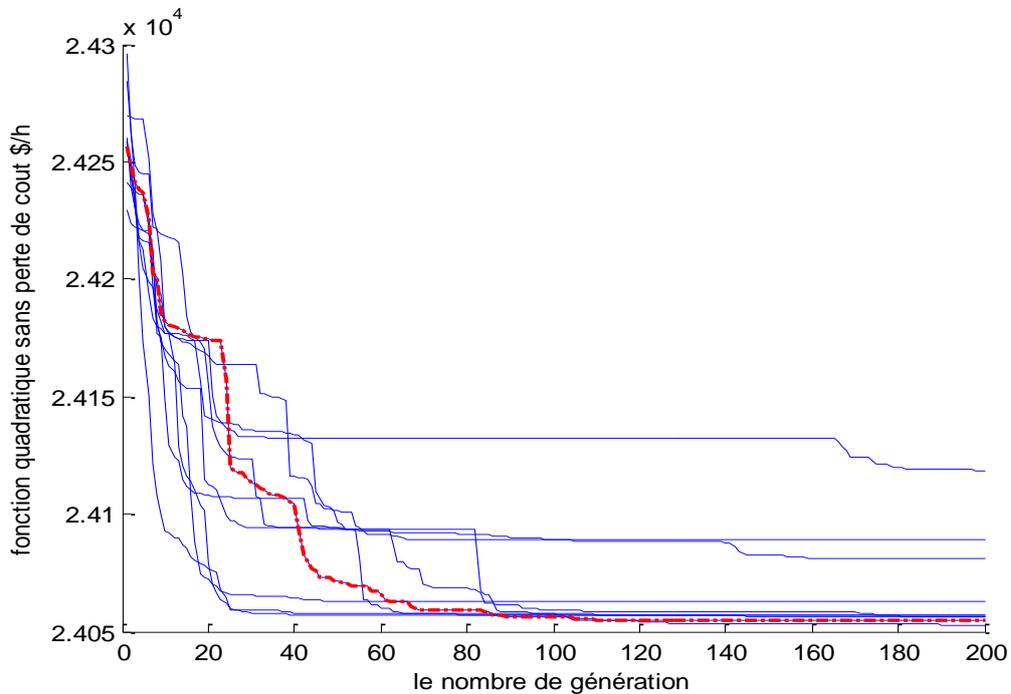
Pour le cas que nous étudions (réseau composé de 13 unités de production avec une puissance demandée 2520 MW), après avoir appliqué plusieurs fois l'algorithme génétique et l'algorithme chauve-souris, les résultats du tableau précédent représentent des solutions optimales pour les deux algorithmes.

Nous notons que l'algorithme chauve-souris donne une meilleure solution que celle fournie par l'algorithme génétique, alors le coût optimal de ce réseau a été estimé à 24052.90 \$. Représenter la Figure (IV.22) la convergence de l'algorithme génétique et la Figure (IV.23) La convergence de l'algorithme de chauve-souris

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation



**Figure IV. 22 :** convergence de l'algorithme génétique: minimisation de coût de production pour la fonction de coût non linéaire : réseau test 2 (Pd=2520 MW).



**Figure IV. 23 :** convergence de l'algorithme chauve-souris : minimisation de cout de production pour la fonction de coût non linéaire : réseau test 2 (Pd=2520 MW).

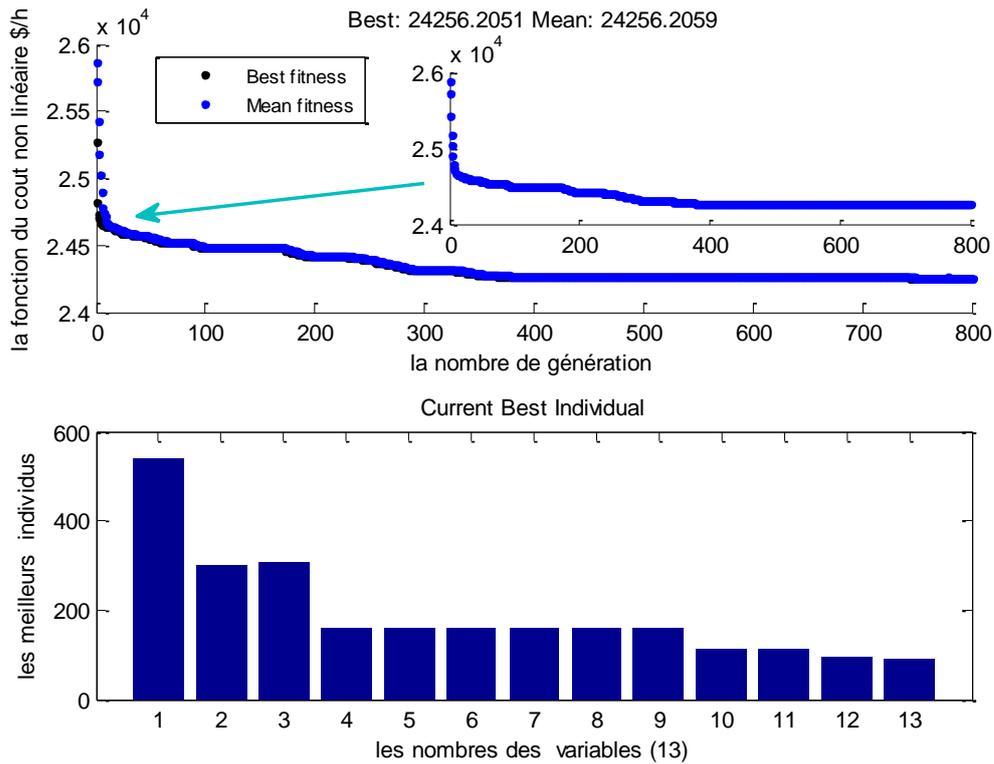
		<b>Fonction non linéaire sans pertes</b>	
		Algorithme génétique	Algorithme de chauve-souris
<b>Puissance générée par chaque générateur (MW)</b>	Pg1	538.5742	542.0817
	Pg2	299.2024	360.0000
	Pg3	308.9536	360.0000
	Pg4	159.8908	180.0000
	Pg5	159.6094	110.1147
	Pg6	159.6732	180.0000
	Pg7	159.6410	110.0060
	Pg8	159.5959	180.0000
	Pg9	159.7686	160.2129
	Pg10	114.7734	120.0000
	Pg11	114.8178	42.1870
	Pg12	93.1153	55.3979
	Pg13	92.3843	120.0000
<b>Puissance Générée (MW)</b>		2520	2520
<b>Le coût de production (\$/h)</b>		2.42562051 e+004	2.496632 e+004
<b>L'erreur de coût (\$/h)</b>		710.1149	

**Tableau IV.26** : résultats optimaux des deux algorithmes pour optimiser la fonction non linéaire du coût de production : réseau test 2 : Pd=2520 MW.

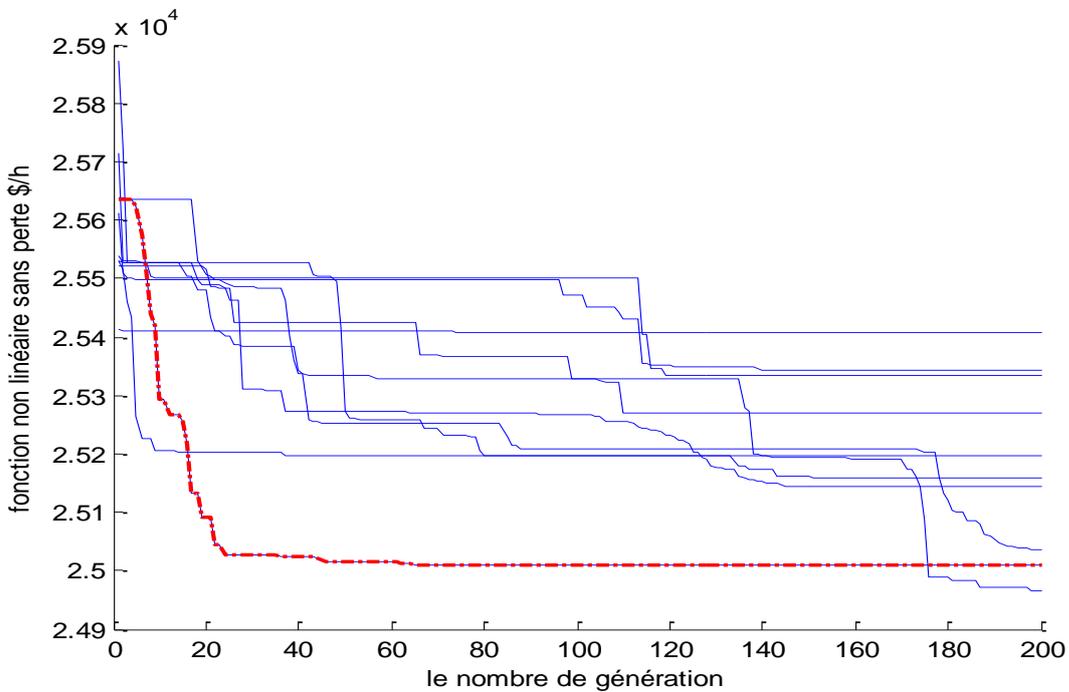
Pour ce cas que nous avons appliqué les deux algorithmes pour minimiser le coût de production du réseau test 2 avec considération de l'effet de valve. La puissance demandée à satisfaire est de 2520 MW. Après avoir exécuté plusieurs fois l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris, les résultats optimaux sont récapitulés dans le tableau (IV.26).

Nous notons que l'algorithme génétique donne une meilleure solution que celle fournie par l'algorithme de chauve-souris, alors le coût optimal achevé par l'AG est de 24256.2051 \$/h. Les caractéristiques de convergence de deux algorithmes sont présentées dans les Figures (IV.24)-(IV.25).

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation



**Figure IV.24 :** convergence de l'algorithme génétique : minimisation de coût de production pour la fonction de coût non linéaire : réseau tes 2.



**Figure IV.25 :** Résultats des convergences d'optimisation mono-objective du coût de production : réseau test 2.

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### IV.8.3.2 Optimisation de coût de production avec pertes

Dans cette section on a appliqué l'algorithme de chauve-souris pour optimiser le coût de production tout en considérant les pertes actives estimées par utilisation de la matrice 'B coefficients'. Le tableau (IV.27) résume des résultats obtenus par utilisation de l'algorithme de chauve-souris.

	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire <b>sans</b> pertes	Résultat de l'algorithme de chauve-souris par la fonction non linéaire <b>avec</b> pertes
Pg1	542.0817	628.3185
Pg2	360.0000	360.0000
Pg3	360.0000	360.0000
Pg4	180.0000	180.0000
Pg5	110.1147	180.0000
Pg6	180.0000	109.8665
Pg7	110.0060	155.2265
Pg8	180.0000	108.8599
Pg9	160.2129	60.1836
Pg10	120.0000	120.0000
Pg11	42.1870	120.0000
Pg12	55.3979	55.5274
Pg13	120.0000	120.0000
La puissance générée totale [MW]	2519.9999	2557.982
Les perte [MW]	<b>37.9824</b>	
Le coût de production \$/h	24966.32	25212.82
L'erreur de coût \$/h	<b>246.50</b>	

**Tableau IV.27** : comparaison des résultats obtenus: fonction coût quadratique et fonction coût non linéaire : réseau test 2 : Puissance demandée égale 2520 MW

Ces résultats montrent que les pertes et la contrainte de l'effet de vanne ont un impact significatif sur le coût de production total, ce qui oblige l'usine à produire plus d'énergie pour couvrir ses besoins. Cela engendre un coût de production supplémentaire de 246.50 \$/h.

### IV.9 Dispatching économique dynamique

Dans la section passée, nous avons étudié le dispatching économique statique avec une puissance demandée fixe. 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.

Les deux algorithmes proposés ont été adaptés et validés pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique appliqués sur un réseau test composé de 5 unités de production.

#### IV.9.1 Minimisation du coût de production :

##### IV.9.1.1 Application de l'algorithme de chauve-souris :

###### IV.9.1.1.1 Fonction quadratique (sans effet de valve) et sans pertes

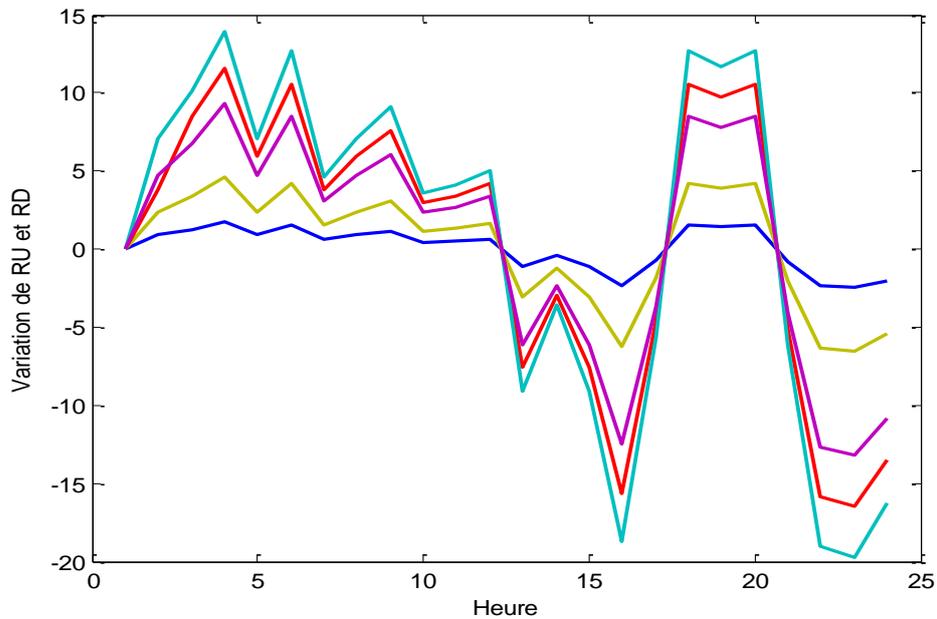
Nous allons utiliser l'algorithme chauve-souris dans cette partie du travail où le programme calculera l'énergie requise pour chaque heure tout en maintenant les contraintes d'égalités et d'inégalités, en particulier la contrainte Ramp Up et Ramp Dawn dans leurs limites admissibles. Les variables de contrôles optimisés en fonction de la variation de la puissance demandée pour une durée de 24 H sont récapitulés dans le tableau (IV.28).

Heure	$P_D$ [MW]	$P_{G1}$ [MW]	$P_{G2}$ [MW]	$P_{G3}$ [MW]	$P_{G4}$ [MW]	$P_{G5}$ [MW]
1	307.5000	10.4412	61.1765	30.0000	83.5294	122.3529
2	326.2500	11.3204	63.5211	33.8028	90.5634	127.0422
3	356.2500	12.5880	66.9014	42.2535	100.7042	133.8028
4	397.5000	14.3310	71.5493	53.8732	114.6479	143.0986
5	418.5000	15.2183	73.9155	59.7887	121.7465	147.8310
6	456.0000	16.8028	78.1408	70.3521	134.4225	156.2817
7	469.5000	17.3732	79.6620	74.1549	138.9859	159.3239
8	490.5000	18.2606	82.0282	80.0704	146.0845	164.0563
9	517.5000	19.4014	85.0704	87.6760	155.2113	170.1408
10	528.0000	19.8451	86.2535	90.6338	158.7606	172.5070

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

11	540.0000	20.3521	87.6056	94.0141	162.8169	175.2113
12	555.0000	20.9859	89.2958	98.2394	167.8873	178.5915
13	528.0000	19.8451	86.2535	90.6338	158.7606	172.5070
14	517.5000	19.4014	85.0704	87.6761	155.2113	170.1409
15	490.5000	18.2606	82.0282	80.0704	146.0845	164.0563
16	435.0000	15.9155	75.7746	64.4366	127.3239	151.5493
17	418.5000	15.2183	73.9155	59.7887	121.7465	147.8310
18	456.0000	16.8028	78.1408	70.3521	134.4225	156.2817
19	490.5000	18.2606	82.0282	80.0704	146.0845	164.0563
20	528.0000	19.8451	86.2535	90.6338	158.7606	172.5070
21	510.0000	19.0845	84.2253	85.5634	152.6761	168.4507
22	453.7500	16.7077	77.8873	69.7183	133.6620	155.7747
23	395.2500	14.2359	71.2958	53.2394	113.8873	142.5916
24	347.2500	12.2077	65.8873	39.7183	97.6620	131.7746
<b>Coût Total [\$]</b>				<b>3.1175186e+4</b>		

**Tableau IV.28 :** Résultats des puissances générées optimales du réseau test 3 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve).



**Figure IV.26 :** Variation de contrainte Ramp du réseau test 3 avec fonction quadratique (sans l'effet de valve)

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

---

### Interprétation :

L'algorithme de chauve-souris est appliqué pour résoudre le DED des unités de production du réseau test 3 avec considération de l'effet Ramp. Après plusieurs exécutions du programme, la meilleure solution trouvée est de **31175.186 \$**.

Il faut noter que le coût optimisé est achevé sans violation de contraintes pratiques.

Le programme fonctionne de manière dynamique et parfaitement compatible: il fournit, heure par heure, des solutions pour la production d'énergie électrique tout en maintenant les contraintes d'égalité et d'inégalité dans leurs limites admissibles.

#### IV.9.1.1.2 Fonction non linéaire (avec effet de valve) et sans pertes

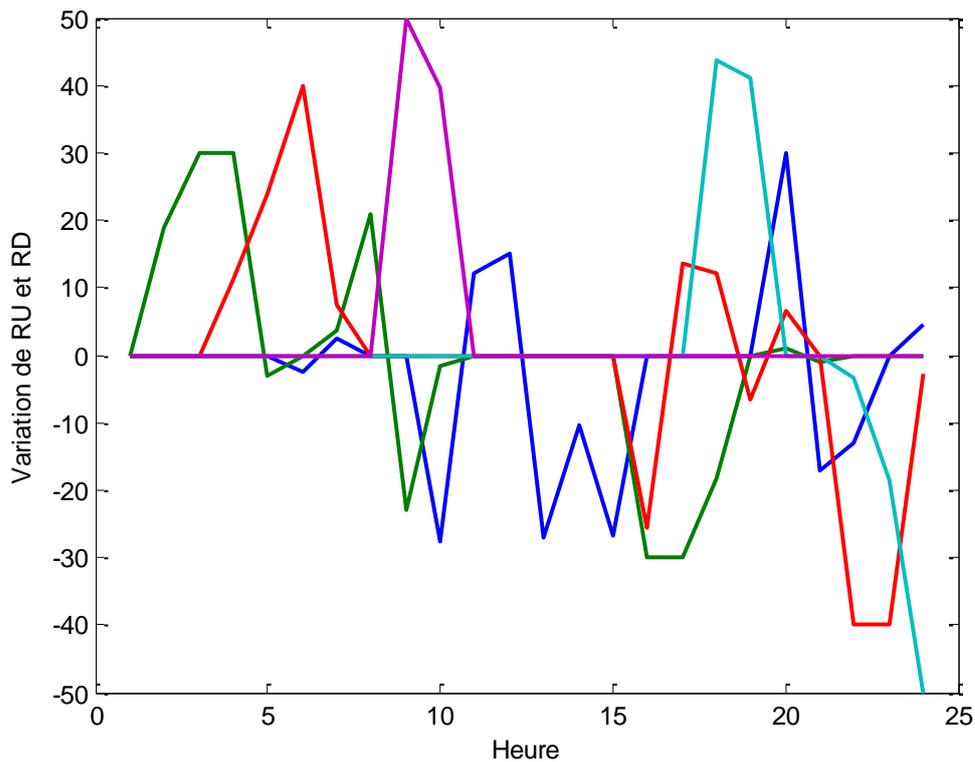
Dans cette partie, et afin de mettre en évidence l'effet de l'ouverture des vannes sur la répartition des puissances générées, le problème de dispatching économique dynamique a été résolu tout en considérant l'effet de valve. Les puissances générées optimales obtenues sont récapitulées dans le tableau (IV.29).

Heure	$P_D$ [MW]	$P_{G1}$ [MW]	$P_{G2}$ [MW]	$P_{G3}$ [MW]	$P_{G4}$ [MW]	$P_{G5}$ [MW]
1	307.5000	75.0000	22.7402	30.0000	40.0000	139.7598
2	326.2500	75.0000	41.4902	30.0000	40.0000	139.7598
3	356.2500	75.0000	71.4902	30.0000	40.0000	139.7598
4	397.5000	75.0000	101.4902	41.2500	40.0000	139.7598
5	418.5000	75.0000	98.5398	65.2004	40.0000	139.7598
6	456.0000	72.5000	98.5398	105.2004	40.0000	139.7598
7	469.5000	75.0000	102.0667	112.6735	40.0000	139.7598
8	490.5000	75.0000	123.0667	112.6735	40.0000	139.7598
9	517.5000	75.0000	100.0667	112.6735	40.0000	189.7596
10	528.0000	47.2671	98.5398	112.6735	40.0000	229.5196
11	540.0000	59.2671	98.5398	112.6735	40.0000	229.5196
12	555.0000	74.2671	98.5398	112.6735	40.0000	229.5196
13	528.0000	47.2671	98.5398	112.6735	40.0000	229.5196
14	517.5000	36.7671	98.5398	112.6735	40.0000	229.5196
15	490.5000	10.0000	98.3069	112.6735	40.0000	229.5196
16	435.0000	10.0000	68.3069	87.1735	40.0000	229.5196

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

17	418.5000	10.0000	38.3069	100.6735	40.0000	229.5196
18	456.0000	10.0000	20.0000	112.6735	83.8069	229.5196
19	490.5000	10.0000	20.0000	106.0725	124.9079	229.5196
20	528.0000	40.0000	20.8990	112.6735	124.9079	229.5196
21	510.0000	22.8990	20.0000	112.6735	124.9079	229.5196
22	453.7500	10.0000	20.0000	72.6735	121.5569	229.5196
23	395.2500	10.0000	20.0000	32.6735	103.0569	229.5196
24	347.2500	14.6735	20.0000	30.0000	53.0569	229.5196
Coût Totale [\$]					3.59372862e4	

**Tableau IV.29 :** Résultats des puissances générées optimales du réseau test 3 avec fonction non linéaire (avec l'effet de valve).



**Figure IV.27 :** La variation de la contrainte Ramp du réseau test 3 avec fonction non linéaire (avec l'effet de valve)

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

### Interprétation :

D'après les résultats récapitulés dans le tableau (IV.29), nous pouvons conclure que ces résultats sont acceptables, car les contraintes sont respectées. La condition d'économie d'énergie (énergie produite = énergie consommée) est garantie tout au long de la journée. Notez qu'entre les résultats de l'équation quadratique et ceux de l'équation non linéaire, il existe une différence en termes de coût. Pour ce cas le coût total achevé est de 35937. 2862 \$ qui sont supérieurs au cas premier. En l'effet de des vannes à engendré une augmentation du coût de 476.21 \$.

### IV.10 Dispatching de l'émission des gaz toxique

#### IV.10.1 Minimisation de l'émission des gaz toxique sans pertes

L'objectif de ce test est de minimiser l'émission des gaz toxique des unités de production associées au réseau test n°1 (réseau avec 6 unités de production) qui est un facteur importante dans la sécurité environnementale. Les deux algorithmes à savoir, l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris ont été appliqué pour minimiser l'émission de gaz sans et avec considération des pertes actives. Dans cette analyse, la fonction de l'émission de gaz utilisée est de type quadratique.

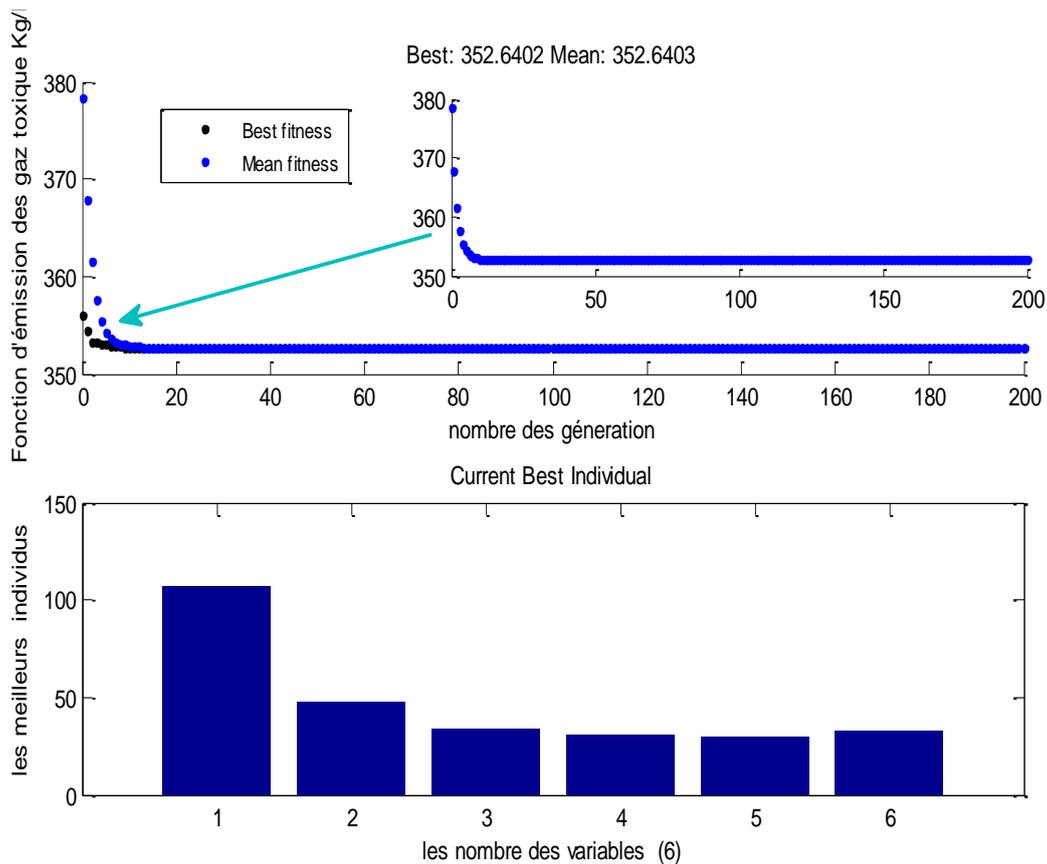
	Algorithme génétique	Algorithme de chauve-souris
Pg1	107.4909	117.4465
Pg2	47.6598	47.6950
Pg3	33.6410	40.6594
Pg4	31.1380	31.1448
Pg5	29.9992	13.0000
Pg6	33.4711	33.4543
Emission non optimisée [Kg/h]	461.1555	473.4484
Coût total non optimisée type quadratique [\$ /h]	836.0498	836.0834
Coût total non optimisée type non linéaire [\$ /h]	875.8537	896.0697

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

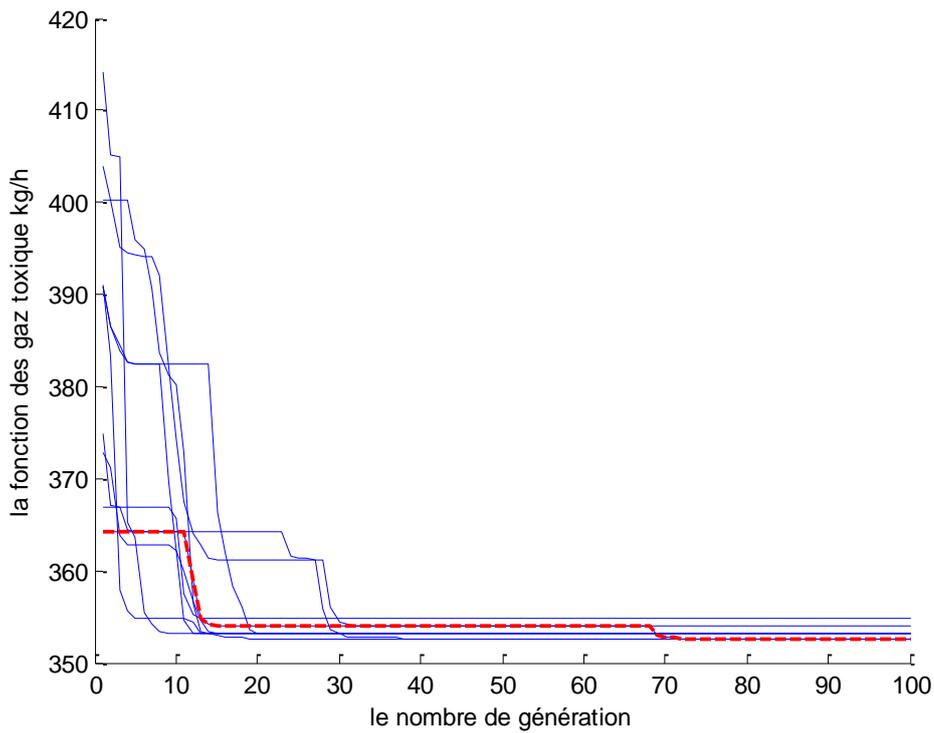
Emission optimisée [Kg/h]	352.6402	352.64020020
Coût total optimisée type quadratique [\$ /h]	767.8974	767.6020998
Coût total optimisée type non linéaire [\$ /h]	779.9952	779.6286
Temps [s]	28.990811	2.338603

**Tableau IV.30** : résultats d'optimisation d'émission des gaz toxique sans perte.

La courbe de convergence de l'algorithme génétique et la convergence de l'algorithme de chauve-souris est présentée dans les figures (IV.28)-(IV.29).



**Figure IV.28** : Courbe de convergence de l'algorithme génétique : minimisation de l'émission de gaz toxique sans considération des pertes



**Figure IV.29 :** Courbe de convergence de l'algorithme de chauve-souris : minimisation de l'émission de gaz toxique sans considération des pertes

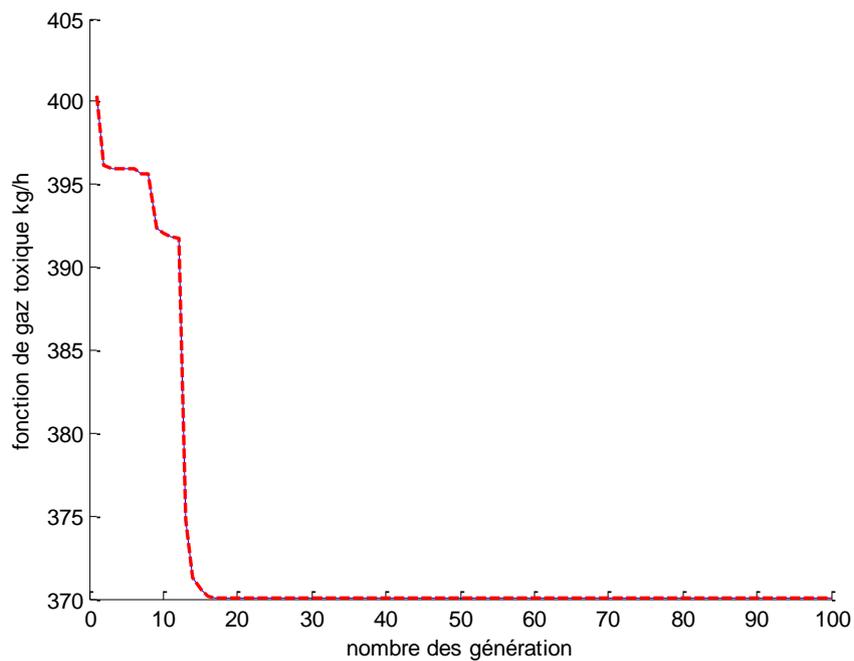
### IV.10.2 Minimisation de l'émission des gaz toxique avec pertes

	Algorithme génétique Algorithme de chauve-souris
Pg1	111.4753
Pg2	51.2768
Pg3	38.6551
Pg4	29.0320
Pg5	30.0000
Pg6	31.7697
Emission non optimisée [Kg/h]	403.1861
Coût total non optimisée type quadratique [\$ /h]	859.46255

## Chapitre 4 : Résultats de Simulation

Coût total non optimisée type non linéaire [\$/h]	871.767234
Emission optimisée [Kg/h]	369.90591103
Coût total optimisée type quadratique [\$/h]	804.378362
Coût total optimisée type non linéaire [\$/h]	820.332403
Temps [s]	2.483960

**Tableau IV.31 :** Résultats d'optimisation d'émission des gaz toxique sans pertes.



**Figure IV.30 :** Courbe de convergence de l'algorithme de chauve-souris : Minimisation de l'émission de gaz toxique avec considération des pertes

### IV.11 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, on a adapté et appliqué deux méthodes d'optimisation à savoir l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris pour résoudre le problème de dispatching économique statique et dynamique. L'efficacité de ces deux algorithmes ont été validés sur des réseaux tests standards à savoir le réseau test IEEE 30 jeux de barres, le réseau 13 unités et le réseau 5 unités tout en considérant les contraintes pratiques due à l'effet d'ouverture de vannes et l'effet rampe associé à la nature dynamique des réseaux électriques. Les résultats obtenus montrent clairement l'importance de considérer ces contraintes pratiques pour assurer une planification réelle de la puissance active.



**Conclusion  
générale**



## Conclusion générale

---

Nous nous sommes intéressés dans ce mémoire à résoudre le problème de l'économie d'énergie électrique qui couvre les besoins du marché et les besoins des consommateurs au coût le plus bas possible car ce sujet est l'un des axes de recherche le plus important et des plus compliqués depuis longtemps.

Ce projet de fin d'étude présente une étude détaillée du problème de répartition de puissance optimale par utilisation des méthodes méta heuristiques en tenant en compte :

1. Les contraintes pratiques liées essentiellement à la stabilité et le bon fonctionnement des machines tournantes de production à savoir les :
  - ✓ Les contraintes rampes : le respect de ces contraintes influe positivement à la longévité de la machine.
  - ✓ Les contraintes des zones de fonctionnement prohibées : le respect de ces contraintes évite des vibrations importantes au niveau des paliers de la machine.
  - ✓ Les contraintes engendrées par l'effet de valve.
  - ✓ Les contraintes imposés par les pertes actives par utilisation de la méthode de ' *$\beta$  coefficient*'.

Afin de solutionner ce problème de planification de la puissance active, nous avons adoptés et appliqués deux méthodes d'optimisation globales, à savoir, la méthode basés sur les algorithmes génétiques, et une méthode récente nommée algorithme de chauve-souris (BAT).

Afin de prouver l'efficacité des méthodes utilisés, nous avons mené une étude de dispatching économique statique de deux réseaux (réseau de 6 unités de production et réseau de 13 unités de production pour satisfaire deux puissances demandées 2520 [MW] et 1800 [MW]). Nous avons appliqué les deux algorithmes pour une fonction coût quadratique et fonction coût non linéaire sans pertes et avec pertes. Une comparaison a été faite chaque fois qu'on traite une nouvelle contrainte.

Nous avons également mené une étude pour l'analyse du problème de dispatching économique dynamique sur un réseau composé de 5 unités de production possédant une fonction coût quadratique et une fonction coût non linéaire (l'effet de valve) avec considérations des contraintes Ramp. L'aspect contradictoire entre la fonction objective coût de production et émission de gaz a été clairement démontré par l'optimisation de l'émission de gaz. Les résultats obtenus montrent clairement que la minimisation du coût de combustible entraine une

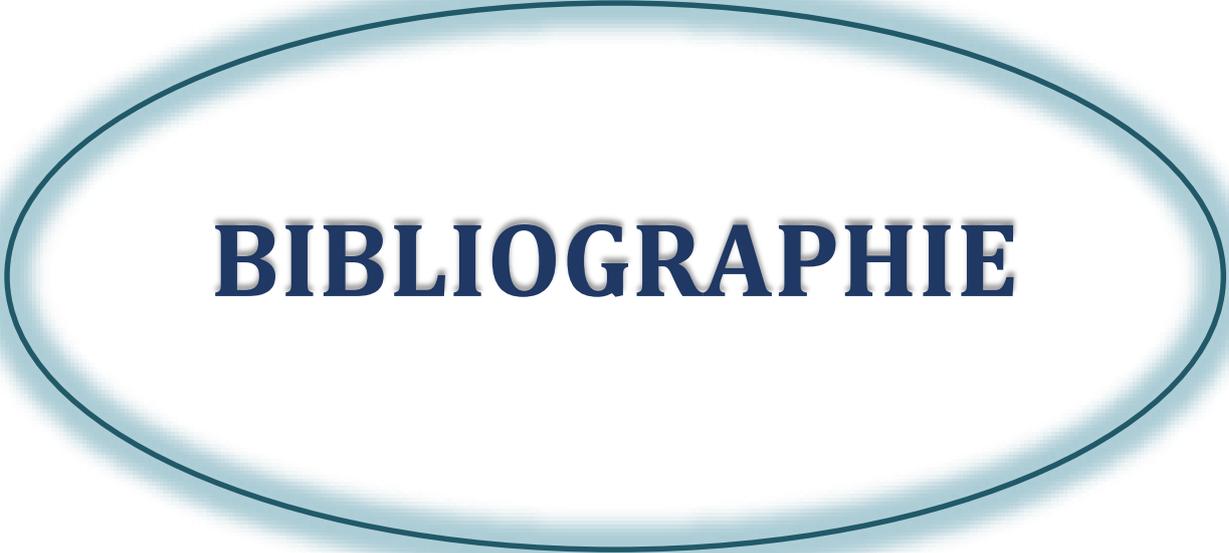
## Conclusion générale

---

augmentation de gaz toxique. Cela nous ramène confirmer que l'optimisation multi objectif est une solution efficace pour trouver un compromis entre les deux modes d'optimisation.

Comme perspectives nous proposons :

1. d'inclure l'étude des unités thermiques fonctionnant en multi-fuel et ce en additionnant les contraintes déjà étudiées dans le cadre de ce travail.
2. Développer d'autre algorithmes hybrides pouvons calculer des solutions meilleures du problème de dispatching économique.



# **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] : L. Boufenneche “ RESEAUX ELECTRIQUES” Université des Frères Mentouri Constantine 1, 2017/2018
- [2] : Enseignant : SAADAoui Abdelkader, Institut Supérieur des Etudes Techniques De Radès 2013/2014
- [3] : Wikipédia (Structure des réseaux électriques ) La dernière modification de cette page a été faite le 26 mai 2019 à 14:36.
- [4] : site internet ( <https://slideplayer.fr/slide/13588883/>) publié par Ahmed Haddar.
- [5] : Jean-Claude Sabonnadière Nourdine Hadj saïd, lignes et réseaux électriques 3, Ed.Lavoisier 2008
- [6] : TEGANI Ilyes et DAHMANE Abdeslam, «Optimisation multi objectif à base des algorithmes génétiques appliquée sur un réseau électrique», mémoire de Master, Université de Biskra, Algérie, Juin 2011
- [7] : Ahmed Ould Nagi Optimisation de l'écoulement de puissance Par algorithmes : AG et PSO-TVAC.2013 / 2014 biskra
- [8] : site Ministère de l'énergie de l'Algérie “ <http://www.energy.gov.dz>”
- [9] : AFFOUNE SOUAD et BOUBAYA HOURIA “Analyse des facteurs de la consommation D'électricité Par les petites et moyennes entreprises Cas de Kherrata et sa région”, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa 2016/2017
- [10] : Site internet de la société de Sonelgaz : <http://www.sonelgaz.dz/?page=article&id=13>
- [11] : Document technique “les moyens de production d'énergie électriques et thermiques” Brochure réalisée par : [www.enea-consulting.com](http://www.enea-consulting.com) en mai 2014
- [12] : Boris Berseneff. “ Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur. Sciences de l'ingénieur ” Université de Grenoble, 2010. Français. <tel-00575940v2>
- [13] : Khadija BEN KILANI ‘Réseaux Électriques de Puissance’, École nationale d'ingénieurs de Tunis 2013-2014
- [14] : Jean –François Desjardins, “élaboration d'une stratégie de gestion de centrales hydro-électriques appliquée au marché québécois” 2008
- [15] : Source : AIE : Agence Internationale de l'Énergie en 2016
- [16] : Documents technique de la centrale de production d'énergie électrique Biskra chegga de Sonalgaz ‘SPE’ en 2018
- [17] : Mostefa HAMED , Dispatching Economique Dynamique par Utilisation de Méthodes d'Optimisation globales université de Biskra 14/01/2013

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [18] : Mr. ADEL ANDRÉ TAGHER. Thèse doctorat. L'Ecole polytechnique fédérale, Zurich 1969.
- [19] : KHAMED Okba Dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les méthodes méta-heuristique Université Mohamed Khider Biskra 2013
- [20] : Basu M. "A simulated annealing based goal attainment method for economic emission load dispatch of fixed headhy- drothermal power systems".International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2005;27(2):pp. 147–53.
- [21] : C.X.Guo, J.P.Zhan ;Q.H.Wu" Dynamic economic emission dispatch based on group search optimizer with multipli producers" Electric Power Systems Research 2011.
- [22] : A.Y. Abdelaziz ,M.Z. Kamh, S.F. Mekhamer, MAL. Badr "A hybrid HNN-QP approach for dynamic economic dispatch problem "Electric Power Systems Research 78 (2008) 1784-1788
- [23] : Travers D, Kaye RJ." Dynamic dispatch by constructive dynamic programming". IEEE Trans Power Syst 1998;13:72–8.
- [24] : Li F, Morgan R, Williams D. "Hybrid genetic approaches to ramping rate constrained dynamic neconomic dispatch". Electr Pow Syst Res 1997;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. DRAIDI ABDELLAH Répartition économique de l'énergie utilisant les techniques électrique d'intelligence artificielle Université Mentouri de Constantine 2010
- [27] : M. A. Abido,"Multiobjective Evolutionary Algorithms for Electric Power Dispatch Problem," IEEE Trans on Evolutionary computation, vol. 10, NO.3, june .2006 .
- [28] : Hristiyan Kanchev. Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain. Energie électrique. Ecole Centrale de Lille, 2014.
- [29] : SAYAH Samir « Application de l'Intelligence Artificielle pour le fonctionnement Optimal des Systèmes Electriques » THÈSE de Doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas — Sétif.2010
- [30] : Yang Jun-jie, Zhou Jian-zhong, YU Jing, et al., "A Hybrid Intelligent GeneticAlgorithm For Large- Scale Unit Commitment", Power System Technology, Vol.28, No.19,2004, pp. 47-50.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [31] : Miranda, V. and Hang, P. S. (2005). Economic dispatch model with fuzzy constraints and attitudes of dispatchers, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 4, Nov., pp. 2143-2145, 2005. ,
- [32] : Talaq J., El-Hawary F. and El-Hawary M., 1994, A summary of Environmental/Economic Dispatch Algorithms. Trans. On Power Systems, Vol. 6, No. 3, Aug 1994, pp. 1508-1516, 1994.
- [33] : Saoussen BRINI, HsanHadj ABDALLAH, and AbderrazakOUALI ,Economic Dispatch for Power System included Wind and Solar Thermal energy
- [34] : DeMeo, E. A., Grant, W., Milligan, M. R., and Schuerger, M. J. (2005). Wind plant integration: costs, status, and issues, IEEE Power & Energy Magazine, November/December, pp. 38-46, 2004.
- [35] : Zahavi J., Eisenberg L., Economic–environmental power dispatch. IEEE Trans. Syst., Vol. 5, No. 5, 1985, PP. 485–489, 1985.
- [36] : Pr Mahdad belkacem ‘Dispatsching Economique par Matlab’, 1ère partie: Méthodes mathématiques , Eitions Al-Djazair
- [37] : Leandro dos Santos Coelho and Viviana Cocco Mariani, "Combining of Chaotic Differential Evolution and Quadratic Programming for Economic Dispatch Optimization With Valve-Point Effect," IEEE transactions on power systems, vol. 21, no. 2, May 2006.
- [38] : Souhil MOUASSA ‘ Optimisation de l’écoulement de puissance par une méthode métaheuristique (technique des abeilles) en présence d’une source renouvelable (éolienne) et des dispositifs FACTS’’ 19/06/2012
- [39] : Ankit Yadav, "Multiobjective optimal power flow," Thèse Master, University, Patiala , July 2010. ;
- [40] : GACEM Abdelmalek Application des algorithmes génétiques à l’optimisation de la production énergie active dans réseau électrique Université d’EL-Oued 2014
- [41] : Mer. BELHADI Yassine. Mémoire master. Université de Biskra 2012.
- [42] : D. S. Kirschen, G. Strbac: “Fundamentals of power system economics” Wiley 2004.
- [43] : Mme SLIMANI Linda, « contribution à l’application de l’optimisation par des méthodes métaheuristicques à l’écoulement de puissance optimal dans un environnement de l’électricité dérégulé », thèse de magister de l’université de Batna, 22/12/2009.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [44] : D. S. Kirschen, G. Strbac: "Fundamentals of power system economics" Wiley 2004.// M. Sasson, "Non linear Programming Solutions for load flow, minimum loss, and economic dispatching problems", IEEE trans. vol. Pas-88, No. 4, pp. 399-409, April 1969.
- [45] : S.Hemamalini and Sishaj P Simon, "economic load dispatch with valve-point effect using artificial bee colony algorithm," in xxxii national systems conference, 2008, pp. 525-530.
- [46] : Li F, Morgan R, Williams D. "Hybrid genetic approaches to ramping rate constrained dynamic economic dispatch". *Electr Pow Syst Res* 1997;43 (Nov):97–103.
- [47] : 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
- [48] : S. F. Brodesky and R. W. Hahn, "Assessing the influence of power pools on emission constrained economic dispatch," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 57–62, Feb. 1986.
- [49] : A. Farag, S. Al-Baiyat, and T. C. Cheng, "Economic load dispatch multi objective optimization procedures using linear programming techniques," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 2, pp. 731–738, May 1995.
- [50] : Manoj kumar.T et N.Albert Singh 'Solution of Environmental/Economic(EED) Power Dispatch problem using Particle Swarm Optimization Technique' 2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT) IEEE
- [51] : Optimisation Mono Et Multi Objectif De L'écoulement De Puissance Avec Intégration De STATCOM Dans Le Réseau Electrique SAIHI Mourad 2013
- [52] : Y. Colletto et P. Siarry, "Optimisation Multi-objectif," *EYROLLES*, Nov. 2002.
- [53] : Alain Berro, « optimisation multiobjectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique », thèse de doctorat de l'université des Sciences Sociales Toulouse 1, 18 décembre 2001.
- [54] : Sergio Luciano AVILA, « optimisation multiobjectif et analyse de sensibilité appliquées à la conception de dispositifs », thèse de doctorat de l'école Centrale de Lyon, 23 février 2006

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [55] : Merdjaoui brahim ‘optimisation multi-objectif par algorithmes génétiques et approche pareto des paramètres d’usinage sous contraintes des limitations de production’ université de Biskra 2006
- [56] : Taher Niknam , Mohammad rasoul Narimani , Masoud Jabbari , Ahmad Reza Malekpour, "A modified shuf flefrog leaping algorithm for multi-objective optimal power flow," Science Direct Energy , vol. 36, no. 11, pp. 6420-6432, Oct. 2011.
- [57] : A.A. Ladjic , thèse de Magister. Ecole Nationale polytechnique, Calcul évolutionnaire application sur l’optimisation de la planification de la puissance réactive.2005.
- [58] : Laimeche Abdallah APPLICATION DE L’ALGORITHME DES ESSAIMS DE SALPES A DISPATCHING ECONOMIQUE université Biskra 2017/2018
- [59] : R. Cherkaoui «Méthodes Heuristiques pour la Recherche de Configurations D’un réseau Electrique de Distribution»Thèse de doctorat, l’EPF de Lausanne.1992
- [60] : Christophe Picouleau ,Les métaheuristiques en optimisation combinatoire,2006.
- [61] : R. Benabid , "Optimisation Multi-objectif de la Synthèse des FACTS par les Particules en Essaim pour le Contrôle de la Stabilité de Tension des Réseaux Electriques," Université de Laghouat mémoire de Magister, 2007.
- [62] : Omessaad HAJJI, « contribution au développement de méthodes d’optimisation stochastiques », thèse de doctorat de l’université des sciences et technologies de LILE, 03 décembre 2003.
- [63] : BENACHOUR Ibrahim Introduction aux algorithmes génétiques 2010
- [64] : SETIT 2005 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications March 27-31, 2005 – TUNISIA.
- [65] : J. Kennedy and R. C. Eberhart, Swarm Intelligence. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2001.
- [66] : L. Kartobi, ” Optimisation de la Synthèse des FACTS par les Algorithmes Génétiques et les Essaims Particulaires pour le contrôle des Réseaux Electriques ”, thèse Magister, ENP, Décembre 2006.
- [67] : J. Kennedy and R. Eberhart “Particle Swarm Optimisation”, In Proc 1995 IEEE. International conférence on Neural Networks ‘ ’ , Perth ,Australie .
- [68] : Rabah BENABID Optimisation Multiobjectif de la Synthèse des FACTS par les Particules en Essaim pour le Contrôle de la Stabilité de Tension des Réseaux Electriques Université de Jijel 2007

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [69] : Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G. Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University PressInc . Oxford : s.n. 1999.
- [70] : Colin, T., (2000). The Varienty of Life. Oxford UniversityPress, Oxford.
- [71] : X.-S. Yang and X. He, “Bat algorithm: literature review and applications,” Int. J. Bio-Inspired Comput., vol. 5, no. 3, pp. 141–149, 2013.
- [72] : Belkacem Mahdad ,’’ Solution of Non-Smooth Economic Dispatch Using Interactive Gouped Adaptive Bat Algorithm : Solving Practical Economic Dispatch ‘’ , International Journal of Energy Optimization and Enginneering (IJE OE) , vol.8, Issue 1 ,pp.88-114, 2019.
- [73] : BENMOSTEFA Soumia Conception de la Technique des Chauves-souris pour la Classification Automatique des Images Université des Sciences et de la Technologie d’Oran 2011/2012
- [74] : Xin-She Yang, Bat algorithm: literature review and applications, Int. J. Bio-Inspired Computation, Vol. 5, No. 3, pp. 141–149 (2013).

## Résumé

Ce mémoire de fin d'étude traite le problème de dispatching économique (DE) avec considération de contraintes pratiques imposées par les unités de production à savoir l'effet de valve, les zones interdites, les contraintes rampes et les pertes dans les lignes de transmission. Ce mémoire focalise la lumière sur l'adaptation et l'application de deux algorithmes de l'intelligence artificielle à savoir, l'algorithme génétique et l'algorithme de chauve-souris pour résoudre le problème de DE statique et dynamique tout en considérant les contraintes d'égalité et d'inégalités. L'efficacité des deux algorithmes proposés en termes de qualité de solutions et convergences est prouvée et validée pour plusieurs réseaux test à savoir 6, 13, et 5 unités. Afin de donner d'avantage un aspect pratique au sujet traité, l'émission de gaz est aussi considérée dans le problème d'optimisation, les résultats obtenus par l'optimisation mono objective confirment clairement la contradiction qui existe entre la minimisation du coût de production et la minimisation de l'émission, ce qui oblige les experts à utiliser l'optimisation multi objectif comme un moyen efficace pour résoudre ce type de problème combiné .

**Mots clés :** dispatching économique, l'effet de valve, zones interdite, contraintes rampes, Algorithme génétique, Algorithme de chauve-souris, Coût de combustible, Emission de gaz.

## ملخص

نتعرض في هذه المذكرة إلى معالجة إشكالية التوزيع الأمثل للطاقة الحقيقية مع مراعاة القيود التطبيقية المتعلقة بوحدات الإنتاج الحرارية، كالقيود المتعلقة بفتح الصمامات، مناطق التشغيل المحرمة، قيود الإنتاج التدرجي للطاقة من ساعة إلى أخرى وكذا الفقد في خطوط النقل الكهربائية. هذه المذكرة تسلط الضوء على تطبيق خوارزمية الهندسة الوراثية وطريقة الوطويط لإيجاد الحلول المثلى لتكلفة الوقود مع مراعاة قيود التساوي وعدم التساوي وكذا مراعاة الطلب الطاقوي المبرمج خلال 24 ساعة .

فعالية الطرق المقترحة تم تطبيقها على شبكات كهربائية قياسية 6 ، 13 و 5 وحدات إنتاج. ولكي نعطي بعدا لأهمية الموضوع فقد أدرجنا تحليل إشكالية التقليل من انبعاث الغازات الضارة بالمناخ . نتائج البرمجة المتحصل عليها تؤكد أن التقليل من تكلفة الوقود وانبعاث الغازات هدفين متناقضين تماما يتطلب تطبيق تقنيات خاصة تسمح بإيجاد حلول توافقية لحوال هدف متعددة.

**كلمات المفاتيح:** التوزيع الأمثل للطاقة، فتح الصمامات، مناطق التشغيل المحرمة، قيود الإنتاج التدرجي للطاقة، خوارزمية الهندسة الوراثية، طريقة الوطويط، تكلفة الوقود ، انبعاث الغازات.