

*République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique*



*Université El-chahid Hamma Lakhdar EL-Oued
Faculté des Sciences et de Technologie*

*Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et de Technologie
Filière : Génie Électrique
Spécialité: Réseaux Électriques*

Thème

**RÉPARTITION OPTIMALE DES
PUISSANCES DANS UN
RÉSEAU ÉLECTRIQUE PAR
L'INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE**

Réalisé par:

- ASMA ZAOUI
- Wafa REGOUTA

Encadré par :

Dr. GACEM ABDELMALEK

Soutenu en Juin 2021

Année Universitaire 2020/2021

RÉSUMÉ

Habituellement, Le problème de la répartition économique d'énergie a pris une importance considérable avec l'apparition de la crise d'énergie nécessitant des combustibles de plus en plus chers. Il faut donc planifier les puissances actives et réactives de chaque centrale électrique, de telle sorte que le coût total de fonctionnement du réseau et les émissions des gaz toxiques dans l'atmosphère entier soit minimal. D'une autre façon, il faut varier les puissances actives et réactives des générateurs dans certaines limites afin de satisfaire la demande particulière de la charge avec un coût minimal du combustible et minimiser les émissions dans l'atmosphère. Ce processus est appelé l'écoulement de puissance optimal, et parfois, il est connu comme le problème du Combined economic emission dispatch CEED.

Le calcul de la répartition optimale de la puissance au niveau d'un réseau électrique, emploie des techniques de programmation mathématique standard. Parfois ces techniques ne sont pas convenables pour traiter certaines considérations pratiques rencontrées dans les systèmes de puissance, dans ces conditions on propose dans ce travail l'application des méthodes d'optimisation d'Essaim de Particules (PSO)La méthode développée a été testée sur des réseaux électriques standard à moyenne échelle (3unités et 10 unités). Les résultats de programmation confirment l'efficacité de cet algorithme à résoudre les problèmes d'optimisation des mon objectifs et multi objectifs.

Les mots clés: L'écoulement de puissance optimal (OPF), L'émission de gaz, CEED, Méthode d'optimisation d'Essaim de Particules (PSO).

الملخص

عندما تكتسب مشكلة التوزيع لطاقة اهمية كبيرة مع ظهور ازمة الطاقة التي تتطلب انواع الوقود باهضة الثمن بشكل متزايد. لذلك من الضروري تخطيط القوى النشطة والمتفاعلة لكل محطة طاقة بحيث تكون التكلفة الاجمالية لتشغيل الشبكة وانبعثت الغازات السامة في الغلاف الجوي باكملة ضئيلة بطريقة اخرى ، يجب ان تختلف القوى الحيوية والمتفاعلة للمواد داخل حدود معينة من اجل تلبية الطلب المحدد للحمولة وذلك يكون باقل تكلفة الوقود لتقليل الانبعاثات السامة في الجو تسمى هذه العملية بتدفق الطاقة الامثل، واحيانا تعرف بمشكلة .CEED.

يستخدم حساب التوزيع الامثل للطاقة على مستوى الشبكة الكهربائية تقنية البرمجة الرياضية القياسية. في بعض الاحيان لا تكون هذه التقنيات مناسبة للمعالجة بعض الاعتبارات العملية التي تصادفها أنظمة الطاقة، وفي هذه الظروف يقترح في هذا العمل تطبيق أساليب تحسين سرب الطيور (PSO) وقد تم اختبار الطريقة المطورة في شبكات متوسطة الحجم القياسية على ثلاثة شبكات كهربائية النتائج المتحصلة عليها تؤكد فعالية هذا النوع من الخوارزميات في حل مشاكل أحادية الأهداف ومتعددة الأهداف.

الكلمات المفتاحية:

التدفق الأمثل للطاقة (PSO)، انبعاثات الغاز ،CEED، طريقة تحسين سرب الطيور (PSO).



DÉDICACES

A ma chère mère

À mon père qui m'ont toujours soutenu,

Et aidé à affronter les difficultés,

Pour tous ce qui ont fait pour que je puisse les

honorer, et leur patience durant ma vie.

A mes très chers frères (Mohammed Taha, Olyasse)

et à mes chères sœurs (Abla, Henda, Rima, Ferdaws) à toute ma famille

A mes chers amis. (Bouchra, Naïma)

A tous mes collègues de promotion 2021

WAFÀ REGOUTA





DÉDICACES

*Je remercie Allah pour m'avoir donné la force
d'accomplir ce travail pour aller plus loin*

*Je dédie ce travail à mes parents , ma mère
pour ses encouragements et ses prières*

*Je dédie ce travail à mon mari (Mounir)
et mes enfants (Mohammed, Nouran , Talin)*

Je l dédie à mes soeur et frères

À toute ma cher famille

*A tous mes amies avec lesquelles j'ai partagé mes
moments de Joie et de bonheur*

ASMA ZAOUI



Sommaire

Résumé	
Dédicaces	
Sommaire	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Liste des Symboles et Acronymes	
Introduction Général	

Chapitre I

Généralités Sur Les Réseaux Électriques Et Écoulement De Puissance

I.Généralités Sur Les Réseaux Électriques.....	05
I.1 Introduction.....	05
I-2 Production De L'énergie Electique.....	06
I-2-1 Types De Centrales Electriques :.....	07
I-2-1-1Centrales Electriques Utilisant Des Sources D'énergie Conventiionnelles.....	07
I-3 Transport De L'énergie Electrique.....	09
I.3.1.Les Postes De Livraison Htb	10
13.1.1 Simple Antenne	11
I.3.1.2. Double Antenne	11
I -4 Distribution De L'énergie Electrique	12
I.4.1. Les Postes De Livraison Hta (Poste Source)	13
I.4.1.1 Distribution En Antenne Ou Simple Erivation.....	13
I.4.1.2 Distribution En Coupure D'artere Ou En Boucle :.....	14
I.4.1.3 Distribution En Double Derivation.....	14
I -5 Ecoulement De Puissance :.....	15
I -6 But de l'étude l'écoulement de puissance :.....	15
I -7 Formulation des équations de l'écoulement de puissance :.....	15
I -8 Classification des variables des équations de répartition charge :.....	17
I -8-1 Variables de perturbation (Variables non contrôlées) :.....	17
I -8-2 Variables d'états.....	17
I -8-3 Variables de contrôle :.....	17

I -9-Classification des jeux de barre.....	17
I -10 Les équations de l'écoulement de puissance.....	19
I -10-1 Les équations aux J.d.B de char.....	20
I -10-2 Equations de l'écoulement de puissances dans les lignes.....	21
I -10-3 Quelques observations sur les équations de l'écoulement de puissance.....	21
I -11 Les méthodes numériques itératives	22
1-12 Conclusion	22

Chapitre II

Dispatching économique

II.Dispatching économique.....	24
II.1 Introduction.....	24
II.2 Définition du dispatching économique.....	24
II.3 l'objectif du dispatching économique.....	25
II.4. Généralités sur le dispatching économique	26
II.4. 1 La fonction de coût	26
II.4.2 Le coût incrémental	27
II.4.3. Les contraintes	27
II.4.3.1 Les contraintes d'égalité	27
II.4.3.2 Les contraintes d'inégalités.....	28
II.5 Formulation du Dispatching économique.....	28
II.5.1. Dispatching Economique Sans Pertes.....	28
II.5.1.1 Formulation de Lagrange.....	29
II.5.1.2 Méthodes graphique du problème dispatching économique.....	30
II.5.2 Dispatching économique avec pertes.....	31
II.5.2.1 Calcule les pertes.....	31
II.5.2.2 Incrémentation des Pertes de Transmission	31
II.5.2.3 La résolution du problème.....	32
II.6 Dispatching économique dynamique	35
II.7 la méthode itérative de lambda.....	35
II.8Conclusion.....	38

Chapitre III

Méthodes d'optimisation méta-heuristique

III. Méthodes d'optimisation méta-heuristique.....	39
III.1 Introduction.....	39
III.2 Définition de l'optimisation.....	39
III.3 Les Méthodes Métaheuristiques.....	39
III.4 Classification des Méthodes Métaheuristiques.....	40
III.4.1 Méthodes Métaheuristiques à Population.....	41
III.4.2 Méthodes Métaheuristiques à solution unique (Parcours).....	41
III.5 Les Algorithmes Evolutionnaires.....	41
III.6 Algorithme génétique	42
III.6.1 Introduction	42
III.6.2 Définition.....	42
III.6.3 Principe.....	42
III.6.4 Paramètres d'un AG.....	43
III.7 Optimisation par les essaims de particules (PSO).....	43
III.7.1 L'algorithme PSO.....	44
III.7.2 Algorithme général.....	44
III.7.3 Algorithme unidimensionnel déterministe :.....	45
III.7.4 Principales caractéristiques :	45
III.7.5 Le voisinage.....	46
III.7.6 Étapes de la méthode d'optimisation par essaim de particules :.....	47
III.7.7 Étapes de la méthode PSO appliquée à l'OPF	48
III.7.8 Avantages de l'OEP.....	48
III.8 Conclusion.....	49

Chapitre IV

Résultats et Interprétation

IV. Résultats et Interprétation.....	51
IV.1 Introduction.....	51
IV.2 L'objectif de chapitre.....	51
IV.2.1 Optimisation mono-objectif.....	52
IV.2.1.1 Minimisation du coût de production.....	52

IV.2.1.2 Minimisation D'émission.....	52
IV.2.2 Valeurs des paramètres d'un PSO.....	53
IV.3 Résultats Obtenues :.....	53
IV. 3.1 Réseau 3 unités :	53
IV. 3.1.1 Optimisation du coût de production.....	53
IV. 3.1.2 Convergence du coût de production :.....	54
IV.3.2 Réseau 10unités.....	55
IV. 3.2.1 Optimisation du coût de production :.....	55
IV.3.2.2 Convergence du coût de production :.....	57
IV.3. 2.3 Optimisation du coût d'émission.....	58
IV. 3. 2. 3.1 Convergence du coût d'émission :.....	59
IV.4 Optimisation multi-objectifs.....	60
IV.4.1 Minimisation de la fonction (coût de combustible et l'émission de gaz) :.....	61
IV.5. Dispatching économique dynamique.....	63
IV.5.1 Ramp up et Ramp down.....	63
IV.6 Conclusion.....	65
Conclusion Général	
Bibliographie	
Annexe A	
Annexe B	

Liste de Figures

Chapitre I

GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES ET ÉCOULEMENT DE PUISSANCE

Figure I-1 : Réseau de production et de transport Algérien	05
Figure I-2 : Principe de fonctionnement d'une centrale à cycle combiné. [6].....	08
Figure I-3 : Principe d'une centrale nucléaire.....	09
Figure I-4 : Architecture générale d'un réseau électrique.....	09
Figure I-5 : Niveaux de tension sur le réseau électrique.....	10
Figure I-6 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB.....	10
Figure I-7 : Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB.....	10
Figure I-8 : Structure générale d'un réseau privé de distribution.....	12
Figure I-9 : Départ en simple dérivation des postes source.....	13
Figure I-10 : Départ en coupure d'artère des postes source.....	14
Figure I-11 : Départ en double dérivation des postes source.....	14
Figure I-12 : jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission.....	19

Chapitre II

Dispatching économique

Figure II.1 : Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique.....	25
Figure II.2 : Le coût de carburant en fonction de la puissance généré.....	26
Figure II.3 : La méthode graphique de résolution de l'D.E sans pertes.....	30
Figure II-4 : L'organigramme de méthode de lagrangien avec pertes.....	34
Figure II-5 : l'explication graphique de la méthode Itératif du lambda.....	36

Chapitre III

Méthodes d'optimisation méta-heuristique

Figure III-1 : Classification des Méthodes Méta-heuristiques.....	40
Figure III-2 : Principales catégories des Algorithmes Evolutionnaires.....	41

Figure III-3 : Groupe de : (a) poissons, (b) oiseaux.....	42
Figure III-4 : Schéma de principe du déplacement d'une particule.....	46
Figure III-5 : Trois topologies du voisinage différentes.....	46

Chapitre IV

Résultats et Interprétation

Figure IV-1 : Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 3 unités par PSO.....	54
Figure IV-2 : Puissances actives générées du réseau électrique à 3 unités par PSO.....	55
Figure IV-3 : Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 10 unités par PSO.....	57
Figure VI-4 : Puissances actives générées du réseau électrique à 10 unités par PSO.....	57
Figure IV-5 : Evolution du coût d'émission pour le réseau électrique à 10 unités par PSO.....	59
Figure IV-6 : Puissances actives générées du réseau électrique à 10 unités par PSO.....	60
Figure IV-7 : Puissances actives générées du réseau électrique à 10 unités par PSO (multi objectif).....	62

Liste des Tableaux

Chapitre IV

Résultats et Interprétation

Tableau IV-1 : Paramètres de simulation d'algorithme PSO.....	53
Tableau IV-2 : Les données coûts de production des du réseau électrique à 3unités.....	53
Tableau IV-3 : Puissances et coûts de production du réseau électrique à 3uintés.....	53
Tableau IV-4 : Les données coûts de production du réseau électrique à 10 unités.....	56
Tableau IV-5 : Puissances et coûts de production du réseau électrique à 10uintés.....	55
Tableau IV-6 : Les données coûts d'émission du réseau électrique à 10 unités.....	58
Tableau IV-7 : Puissance et coûts d'émission du réseau électrique 10unités.....	58
Tableau IV-8 : Les données (coût combustible et l'émission) du réseau électrique 10 unités.....	59
Tableau IV.9 : Puissance et coût combustible et l'émission du réseau électrique à 10unités.....	61
Tableau IV-10 : Comparaison entre les résultats finals coût combustible et l'émission du réseau électrique à 10unités.....	62
Tableau IV.11 : Puissance et coût combustible et l'émission avec Ramp up et Ramp down du réseau électrique à 10unités.....	63
Tableau IV-12 : Comparaison entre les résultats finals Ramp up et Ramp down du réseau électrique à 10unités.....	65

Liste des Symboles et Acronymes

Liste des Acronymes

HTB	Haute tension de classe B
HTA	Haute tension de classe A
BTB	Basse tension de classe B
BTA	Basse tension de classe A
TBT	Très basse tension
HT	Haute tension
MT	Moyenne tension
BT	Basse tension
N-R	Newton-Raphson
G-S	Gauss-Seidel

D.E Dispatching Economique.
 OPF Optimal Power Flow (Ecoulement de Puissance Optimal)
 AG Algorithme Génétique
 PSO ou OEP Algorithmes Essaims Particulaires
 SVC Static Var Compensators
 CIHSA Chaotic Improved Harmony Search Algorithm
 NSGA-II Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II
 IBFA I mproved Bacterial Foraging Algorithm
 BFA Bacterial Foraging Algorithm
 CEED Combined Economic Emission Dispatch
 MW Méga Watt
 \$/h Dollar par heure
 ton/h t onne par heure
 AIS Artificial Immune system

Liste des Symboles

V_{min}, V_{max}	Respectivement limites (minimale et maximale) de la tension
Q_{min}, Q_{max}	Respectivement limites (minimale et maximale) de La puissance réactive
J.D.B	Jeu de barre
P	La puissance active
Q	La puissance réactive
PG	La puissance produit par la centrale
PL	Les pertes de transport énergie électrique
PD	La puissance totale demandée
QL	Perte réactive de consommation
P	variables de perturbation
X	variables d'état
U	variables d'commande
A_{ij}	le déphasage du déphaseur de la puissance active
Π	modèle la ligne électrique
V_{bus}	Vecteur tension aux J.d.B
V_i	Module de la tension au nœud i
I_{bus}	Vecteur courant aux J.d.B

Y bus	Matrice admittance
Z bus	Matrice impédance
I	Numéro du J.d.B
I	Courant injecte a J.d.B «i»
S i	Puissance apparente
Ng	Nombre de noeuds de génération
J, J1,J2,J3,J	Matrice jacobéenne
δ_{ij}	l'argument de l'élément Y (i, j) de la matrice admittance
Réf	Référence
Pi	Puissance Active nette injectée au jeu de barre i
Qi	Puissance Réactive nette injectée au jeu de barre i
Fip	Perte active
Fiq	Perte réactive
Yij	Eléments complexes de la matrice admittance
α, β et γ ou a_i, b_i et c_i	Les coefficients constants propres de la centrale
Pgi	La puissance produit par le centrale i
Pgi min	Limite minimale de production de la puissance générée d'une centrale i
Pgi max	Limite maximale de production de la puissance générée d'une centrale i
Ci	Le coût de la production de centrale « i »
$\frac{dC_i}{dP_{gi}}$	Le coût incrémental du i -ème générateur (CI)
H (Pgi)	La contrainte d'égalité
λ	Le multiplicateur de Lagrange
Ng	Nombre des générateurs
L	la fonction de Lagrange
Bij, Bio et Boo	coefficients de pertes (constantes réelles)
$\frac{\partial PL}{\partial p_{gi}}$	L'incrémentation des pertes de transmission (ITL)
fi	facteur de pénalité
$\Delta\lambda$	La variation de λ
E	L'erreur de calcul
e _i et d _i	Les coefficients du coût avec effet de l'ouverture des vannes de générateur
$\alpha, \beta, \mu, \gamma$, et ζ	Coefficients d'émission des gaz toxiques
$V \rightarrow$	Vitesse d'une particule à l'itération k

W^{\rightarrow}	Coefficient d'inertie d'une particule
$(P^{\rightarrow} \text{ gbest })$	Meilleure position de tout l'essaim
$(P^{\rightarrow} \text{best})$	Meilleure position d'une particule
r_1	Nombres aléatoire avec une répartition uniforme entre 0 et 1
Pu	Per unit (unité relative)

Introduction

Générale

Introduction Générale

Les réseaux électriques ont connu un énorme essor suite au développement de l'informatique et des logiciels de commande, on parle aujourd'hui des 'smart grids' ou réseaux intelligents. C'est-à-dire l'automatisation et le contrôle informatique de la production de l'énergie électrique, de toutes les opérations du réseau de transport, de distribution et la gestion de comptage pour les différents types de charges électriques sur tous les niveaux de tensions et pour d'éventuelle productions décentralisées.

L'étude de l'écoulement de puissance est précédée, pour que le réseau électrique soit stable, économique et fiable. Le calcul de l'écoulement de puissance est nécessaire pour définir l'état du réseau électrique en termes de charges connectées, des amplitudes de courants dans chaque partie du réseau (lignes, câbles, transformateurs ...), l'évaluation des pertes et, éventuellement, la modification du plan de tension pour réduire ces pertes. Il est nécessaire de définir des stratégies de contrôle et de gestion pour déterminer la tension au niveau de chaque nœud, la puissance active et réactive permet de déterminer les instructions de réglage pour les machines du réseau. L'optimisation de la capacité de transit ou le dispatching économique et l'engagement propre de toutes les unités de générateurs d'un réseau afin de servir les exigences de toutes les charges d'une manière optimale et économique.

L'estimation de la consommation électrique ou load forecasting est une procédure nécessaire pour effectuer de nombreuses fonctions d'électricité, y compris l'engagement des unités de générateurs, la coordination hydro-thermique, l'entretien, la puissance d'échange, l'évaluation de la transaction, ainsi que des fonctions d'analyse de réseau, de la protection et l'écoulement de puissance, la planification de contingence, le délestage des charges, et les stratégies de sécurité de charge.

L'introduction des techniques de l'intelligence artificielle dans les logiciels de commande et de décision, est un élément essentiel dans la recherche et dans le développement des réseaux modernes. Pour l'optimisation de la répartition des puissances dans les réseaux électriques et pour l'estimation de la consommation des différentes charges.

La structure générale de notre thèse est divisée en quatre chapitres :

Le premier chapitre : est présente une vue générale sur le réseau électrique et ces trois majeures parties à savoir, la production, le transport, la distribution de l'énergie électrique, on a procédé à une étude détaillée sur l'écoulement de la puissance active dans le réseau électrique et ces

méthodes de résolution présentes dans la littérature, que des notions sur le contrôle de la puissance réactive.

Le deuxième chapitre : une idée générale sur le dispatching économique, son objectif , mode d'exploitation des unités des génération , le dispatching économique dans les réseau sans pertes ou avec pertes, et quelques définitions et donne une démonstration intuitive et mathématique du critère à incrémentation égale utilisé dans les réseaux sans pertes, ainsi que la technique du facteur de pénalité.

Le troisième chapitre : est consacré à donné un aperçu sur méthodes à une présentation des nouvelles techniques appliquées pour résoudre le problème de dispatching économique et dites d'intelligence artificielle et des méthodes méta heuristiques en se servant de la technique l'essaim de particule (PSO).

Le quatrième chapitre : On va tester le programme qu'est le dispatching économique optimal et l'écoulement de puissance en utilise les algorithmes l'essaim de particules (PSO) sur des réseaux électriques de 3 unités, 10unités. Les résultats obtenus sont également analysés.

Enfin, nous clôturons ce présent mémoire par une conclusion générale concernant l'apport.

Chapitre I

**Généralités Sur Les Réseaux
Électriques Et Écoulement De
Puissance**

I. Généralités Sur Les Réseaux Électriques

I.1 Introduction :

L'énergie électrique constitue un élément essentiel et vital pour la vie humaine moderne, on ne peut pas imaginer le monde actuel sans électricité.

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

Thomas Edison fut le premier fondateur du réseau électrique, il développa un réseau électrique à courant continu alimenté par des générateurs à courant continu entraînés par des moteurs à vapeur. Les systèmes de production d'électricité en courant alternatif sont devenus répandus un peu plus tard. La principale raison de la conversion en courant alternatif est l'emploi des transformateurs utilisés pour augmenter ou diminuer les niveaux de tension alternative pour le transport et la distribution de l'énergie électrique. Actuellement, presque tout l'appareillage du réseau électrique produit et distribue le courant alternatif triphasé. Les transformateurs augmentent la tension produite par les alternateurs tout en diminuant le courant électrique, cela permet de réduire les pertes de puissance active par effet Joule.

L'expansion de la consommation d'énergie électrique a engendré une forte demande sur le système de distribution, où les préoccupations sont non seulement asservir plus de clients, mais fournir l'équipement qui exige plus d'attention aux variations de la tension et moins d'interruptions de service. [1]

Le réseau électrique est toujours composé de trois grandes parties telles que : la production de l'énergie électrique, le transport, la distribution. Parfois, dans la littérature, Une quatrième partie telle que la consommation est ajoutée comme une partie distincte derrière la Distribution au réseau électrique.

La figure 1-1 montre un schéma global du réseau électrique de production et de transport algérien avec ces différentes centrales de production, poste de livraison HTB et lignes de transport.

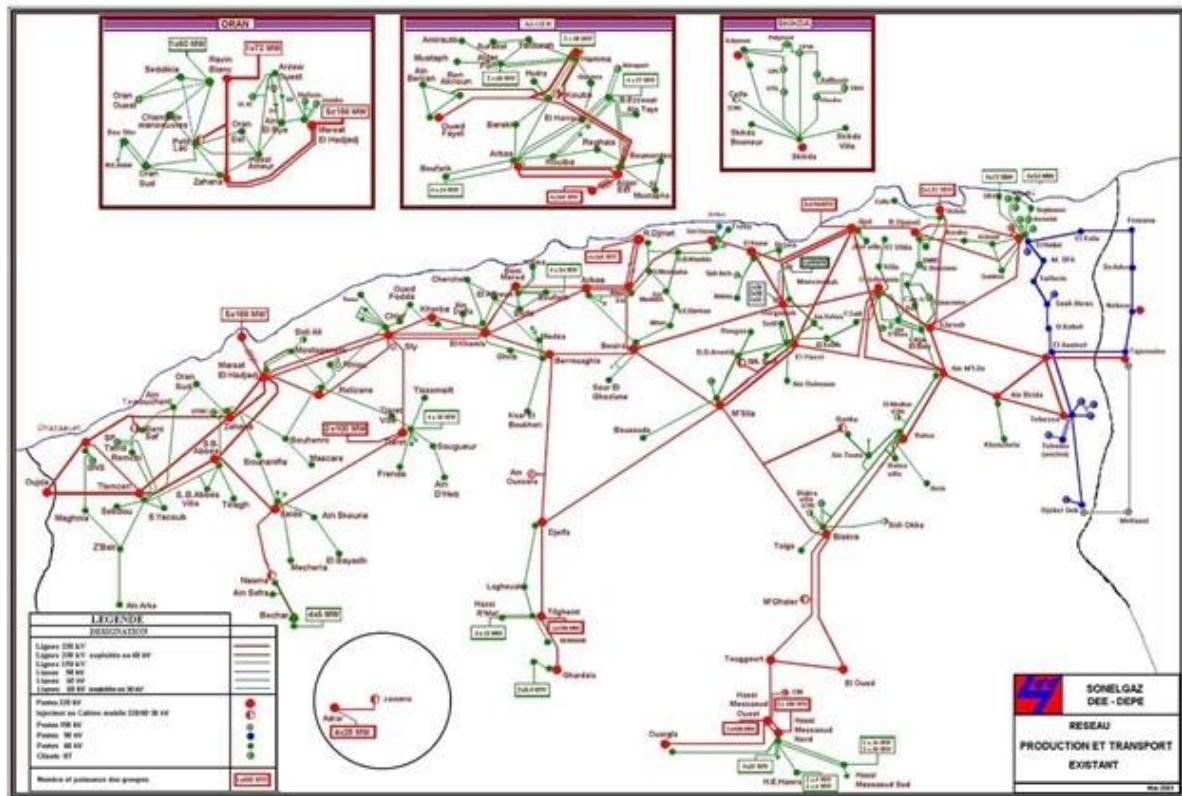


Figure I.1 : Réseau de production et de transport Algérien

I.2 Production De L'énergie Electrique :

Aujourd'hui, le réseau électrique est compliqué, interconnecté et change en dimension et en configuration. Une large gamme d'électricité est générée dans des centrales thermiques, hydrauliques et nucléaires ; ces centrales sont connues comme sources d'énergie électrique conventionnelles. Une autre partie d'électricité est générée par des sources d'énergie non-conventionnelles ; cette énergie est nommée énergie verte parce qu'elle émet moins de polluants. [2]

L'emplacement des centrales de génération, des lignes de transport et des postes de transformation demande toujours une analyse détaillée pour arriver à une solution acceptable et économique. Parfois, on peut placer une centrale à côté de la source d'énergie primaire et utiliser des lignes pour transporter l'énergie électrique. Quand cela n'est pas pratique ou économique, on doit transporter la matière première à la centrale. [3]

I.2.1 types De Centrales Electriques :

I.2.1.1. Centrales Electriques Utilisant Des Sources D'énergie Conventionnelles :

A.LES CENTRALES THERMIQUES :

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. La plupart ont une capacité comprise entre 200 MW et 2000 MW. Ci-dessous quelques types de centrales thermiques :

- Les centrales à cycle combiné :

Les centrales à cycle combiné se sont développées suite au développement des turbines à gaz. La centrale à cycle combiné utilise le gaz naturel comme combustible dans un système de production en deux étapes (voir Figure I.2) : Une première turbine à gaz met l'alternateur en mouvement grâce à la combustion de gaz naturel pour générer de l'électricité dans un premier cycle. Dans un deuxième cycle, la chaleur issue du premier cycle est récupérée au maximum pour générer de la vapeur qui fait tourner une seconde turbine, à vapeur, pour générer de l'électricité supplémentaire. La puissance totale est générée à deux tiers par la turbine à gaz et à un tiers par la turbine à vapeur. La combinaison de ces deux cycles augmente le rendement électrique de la centrale qui se situe aux alentours de 58.5 %. [4]

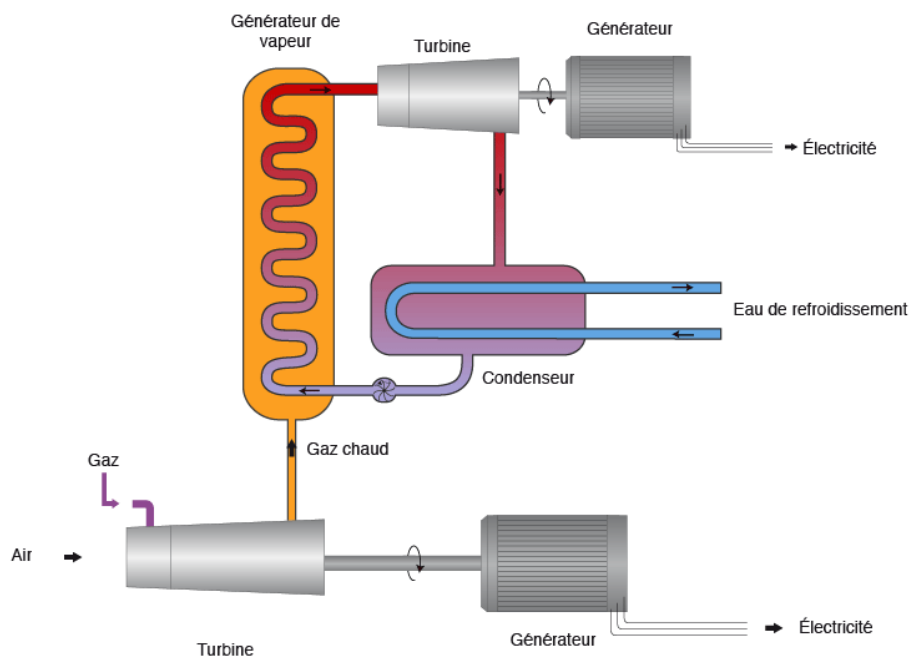


Figure I-2 Principe de fonctionnement d'une centrale à cycle combiné. [5]

B. Centrales Hydrauliques :

La production d'énergie hydroélectrique implique le stockage d'un fluide hydraulique (l'eau) la conversion de l'énergie (potentielle) hydraulique du fluide en énergie (cinétique) mécanique dans une turbine hydraulique et la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique dans un générateur électrique.

Les premières centrales hydroélectriques sont entrées en service dans les années 1880 et représentent maintenant environ 20 % (875 GW) de capacité de production installée dans le monde (World Energy Council 2010) L'hydroélectricité est une source importante d'énergie renouvelable, bien que le coût d'investissement initial est élevé, la simplicité des centrales hydroélectriques, associés avec leurs coûts d'exploitation et de maintenance réduits, leur longue durée de service et sa grande fiabilité, leur fait une source très économique effective et flexible de production d'électricité.

C. LES CENTRALES NUCLEAIRES :

Les centrales nucléaires produisent de l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé qu'on appelle fission nucléaire.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission (voir Figure I-3). Le rendement global est entre 30 % à 40 % et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite un emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement.

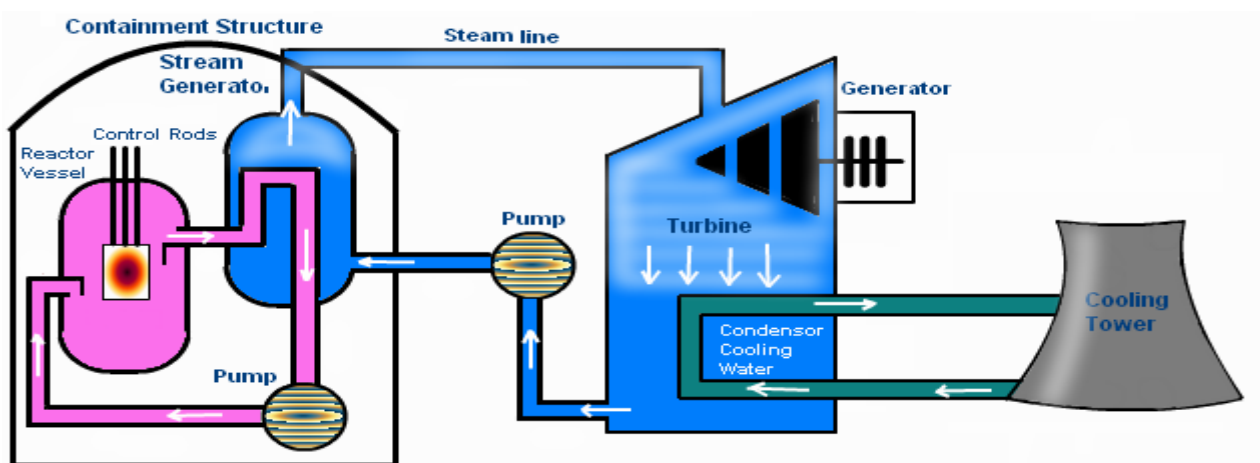


Figure I-3 : Principe d'une centrale nucléair

1-3 Transport De L'énergie Electrique

Le réseau de transport achemine l'énergie électrique sur de longues distances via des lignes haute tension de type HTB. Ces lignes sont interconnectées pour assurer l'approvisionnement indépendamment de la disponibilité des moyens de production. La Figure I-4 précise que le réseau de transport se situe en amont des postes sources. [6]

Les lignes HTB sont souvent aériennes et sont portées par des pylônes. La distance entre conducteurs et entre conducteurs et le sol varie proportionnellement avec la tension.

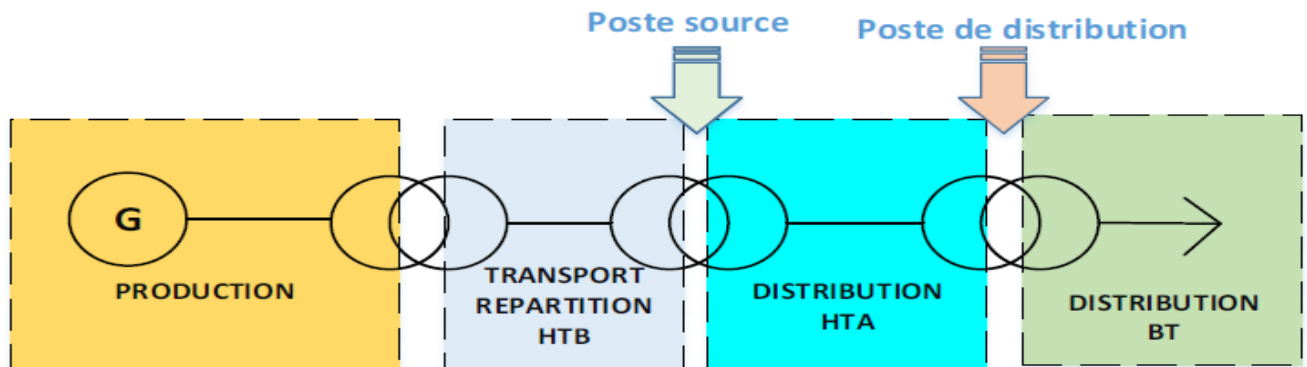


Figure I-4 Architecture générale d'un réseau électrique

Impressionnantes par leurs dimensions, les lignes très haute tension (HTB), sont conçues pour transporter de grandes puissances, en toute sécurité pour les personnes, et résister à des conditions climatiques sévères. La nouvelle norme française en vigueur UTE C 18-5103 [7] définit les niveaux de tension alternative comme suit :

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

La Figure I -5 montre un comparatif entre l'ancienne norme (CEI 38 4) et la nouvelle norme (NFC 18-510 5) qui régissent les niveaux de tension.

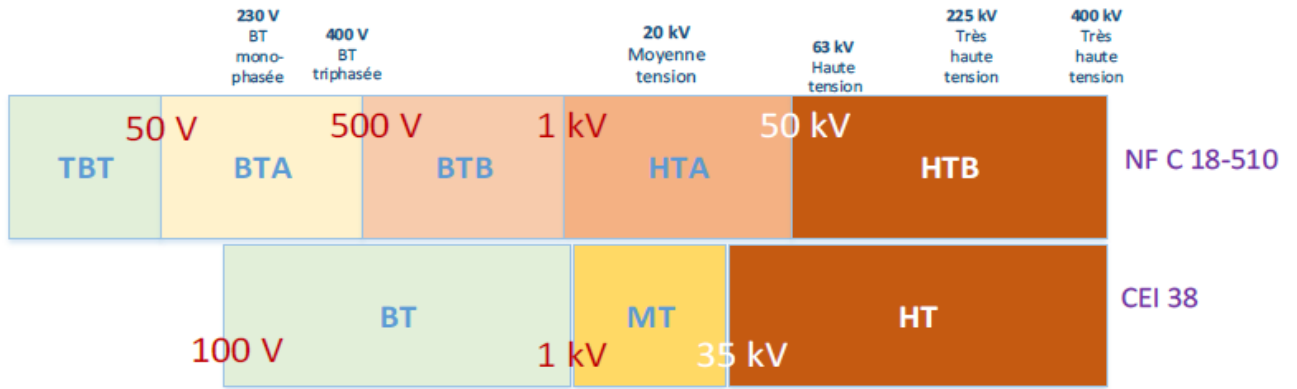


Figure I -5 Niveaux de tension sur le réseau électrique

La tension de la source d'alimentation est liée à la puissance de livraison tel que :

- HTB (225 kV) : puissance de livraison supérieur à 40000 kVA
- HTB (63 kV ou 90 kV) : puissance de livraison comprise entre 10000 kVA et 40000 kVA
- HTA : puissance de livraison comprise entre 250 kVA et 10000 kVA
- BTA : puissance de livraison Inférieure à 250 kVA.

I.3.1. Les Postes De Livraison HTB :

Ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA. L'installation du poste de livraison est comprise entre :

- d'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB
- d'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB / HTA

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants:

1.3.1.1 Simple Antenne :

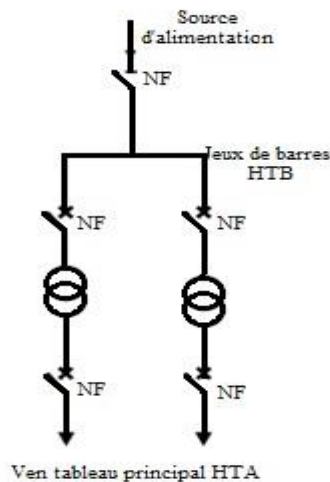


Figure I-6 Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB

Le schéma simple antenne ou simple dérivation est un schéma simple (Figure I-6), il fournit de la haute tension HTB à partir d'une seule l'alimentation aux différents jeux de barres. Son inconvénient majeur est la discontinuité de service en cas de défaut.

I.3.1.2. Double Antenne :

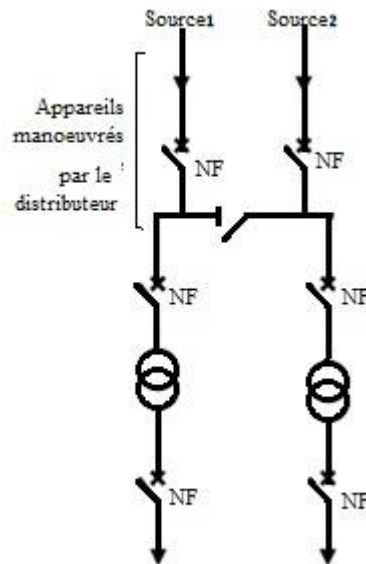


Figure 1-7. Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB

Le schéma de l'alimentation double antenne est donné à la figure 1.7 En mode d'exploitation normal, les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage. Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément. En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation. Leurs avantages est la bonne disponibilité, dans la mesure où chaqu.

Source peut alimenter la totalité du réseau et la possibilité de la maintenance du jeu de barres avec un fonctionnement partiel de celui-ci. En revanche, c'est une solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne et qui ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance de celui-ci.

I -4 Distribution De L'énergie Electrique :

Le réseau de distribution amène l'électricité chez les différents consommateurs. La distribution est assurée par des lignes moyenne tension HTA et basse tension. Le réseau de distribution se situe en aval du poste source. Les lignes HTA (souvent 20 kV) sont réalisées en aérien (milieu rural) et en souterrain (milieu urbain) la figure 1-8 montre la structure générale d'un réseau de distribution privé.

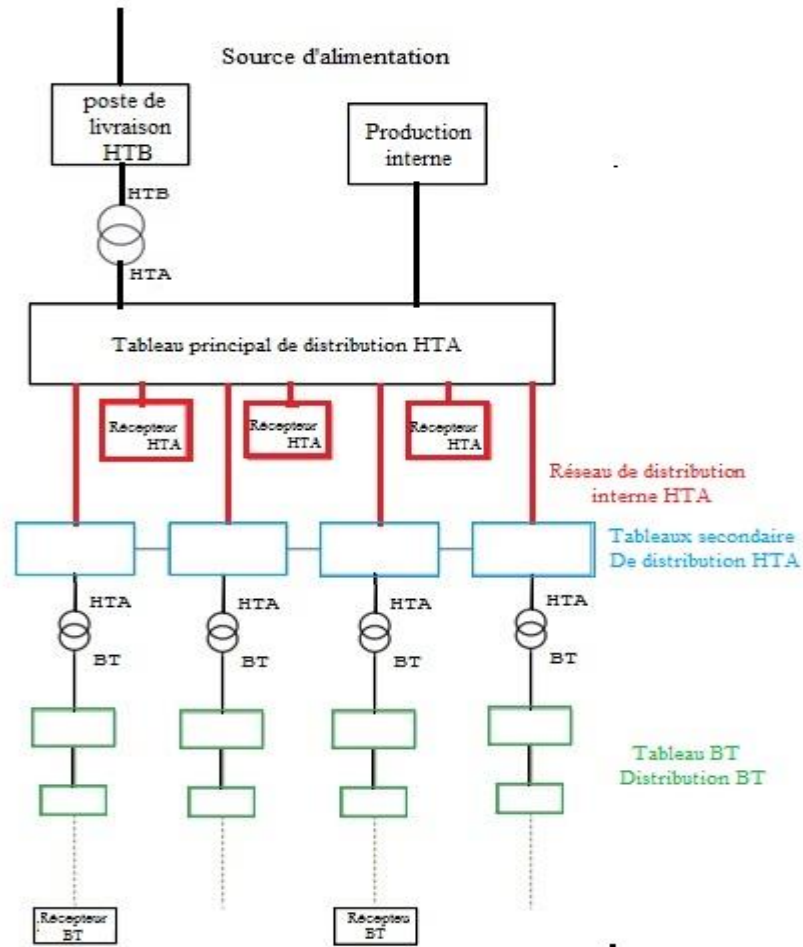


Figure 1-8 Structure générale d'un réseau privé de distribution

I.4.1. Les Postes De Livraison HTA (Poste Source) :

Ils comportent des transformateurs HTB/HTA à partir desquels la HTB est distribuée en triphasé sans neutre et entre 5 et 33 kV (souvent 20 kV). Les transformateurs HTB/HTA peuvent être couplés. En aval des transformateurs, la partie HTA est constituée de cellules d'arrivée, de couplage et de départ. A partir de ces départs, on réalise des schémas : en Antenne ou Simple dérivation, en Boucle ou Coupure d'Artère et en Double dérivation, selon les besoins de continuité de service et de contraintes de coût.

I.4.1.1 Distribution En Antenne Ou Simple Erivation :

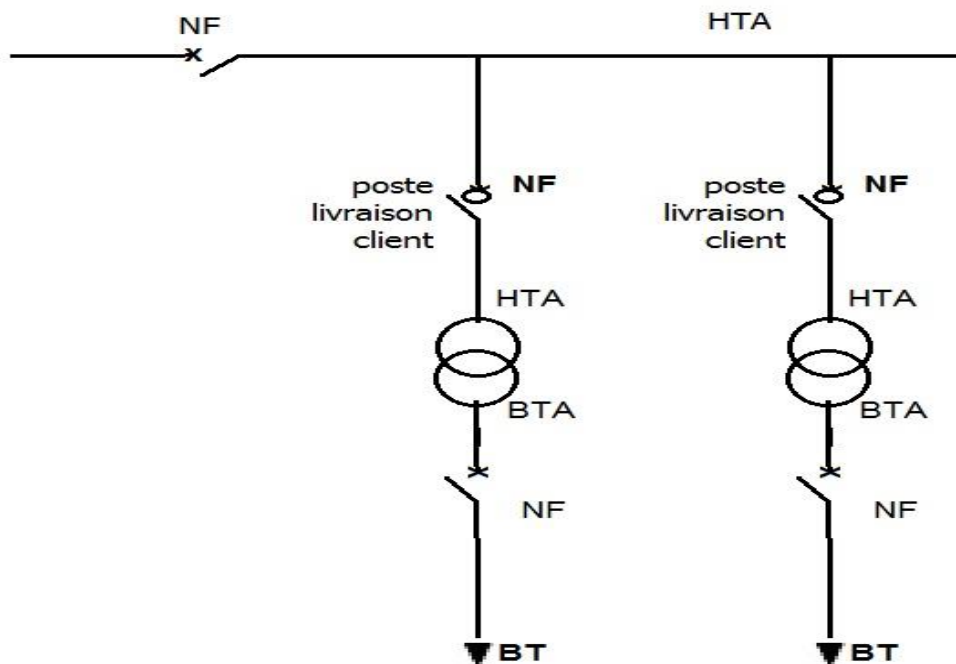


Figure 1-9 Départ en simple dérivation des postes source

Le schéma de la distribution en antenne ou simple dérivation est illustré à la figure 1-9 ce schéma est principalement utilisé dans les zones rurales, en réseau aérien. En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, les utilisateurs sont privés d'alimentation le temps de la réparation. [8] [9]

I.4.1.2. Distribution En Coupure D'artère Ou En Boucle :

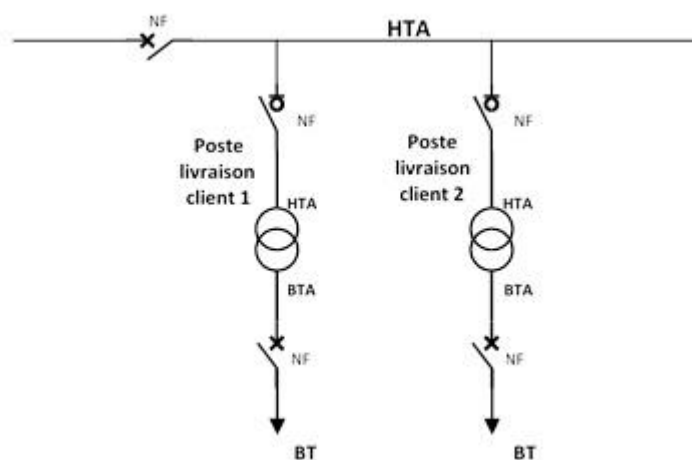


Figure I -10 Départ en coupure d'artère des postes source

Il est utilisé dans les zones urbaines (fig. 1-10), En cas de défaut sur un tronçon de câble ou dans un poste, on isole le tronçon en défaut par l'ouverture des 2 appareils de protection ou de sectionnement qui l'encadrent et on réalimente la boucle en refermant le disjoncteur.

I.4.3.1. Distribution En Double Derivation :

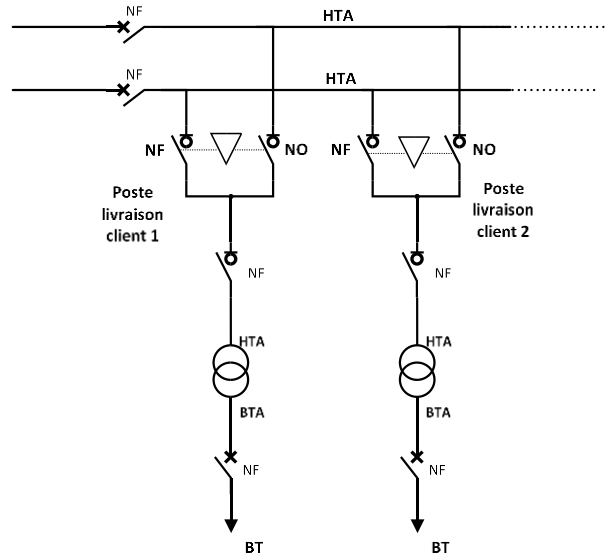


Figure 1-11 Départ en double dérivation des postes source

Il est utilisé pour assurer une continuité de service optimale (fig. 1-11). En cas de défaut sur l'une des lignes, l'alimentation de l'abonné est permutée sur la seconde. Les deux arrivées sont différentes mais peuvent être issues du même poste source. On ne peut se connecter sur les deux arrivées en même temps grâce au verrouillage mécanique présents entre les deux appareils de sectionnement. Il est possible que la seconde arrivée (ou la troisième) soit un groupe électrogène (diesel, gaz, autre). [8]

I -5 Ecoulement De Puissance :

Le calcul d'écoulement de puissance est une étude en régime permanent du réseau électrique qui consiste à déterminer, en premier lieu, à chaque jeu de barres, l'amplitude et la phase de la tension ainsi que les puissances active et réactive injectées. Connaissant les tensions (amplitude et phase) aux jeux de barres ainsi que les puissances injectées (active et réactive), nous pouvons calculer, en deuxième lieu, les courants et les puissances dans les lignes et ceux fournis par les sources. [10]

I -6 But de l'étude l'écoulement de puissance :

L'objectif est de résoudre le problème économique de production de l'énergie électrique, c'est-à-dire de minimiser le coût total du combustible nécessaire pour cette production qui se présente

sous forme d'une fonction non linéaire, en tenant compte de certaines contraintes de type égalité et de type inégalité

I -7 Formulation des équations de l'écoulement de puissance :

Dans cette partie, toutes les grandeurs sont exprimées en valeurs relatives (système per unit ou *pu.*), à partir d'une puissance apparente triphasées de base et de la tension nominale composée de chaque jeu de barre, avec une tension de base par niveau de tension.

Pour un réseau électrique avec N jeux de barres, les équations des tensions nodales du système sont exprimées par la relation matricielle :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{2N} \\ Y_{N1} & Y_{N2} & Y_{3N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (\text{I.1})$$

Ou encore :

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (\text{I.2})$$

Où : où est le vecteur $N-1$ des courants complexes injectés à chaque jeu de barres,

$V_{bus} = [V_1 \dots V_N]$ est le vecteur $N-1$ des tensions complexes de chaque jeu de barre et Y_{bus} est la matrice admittance nodale $N*N$ du système.

La matrice admittance nodale est formée sur la base des composants du réseau électrique (lignes de transmission, transformateurs, batteries de condensateurs et réactances), Chaque composant du réseau peut être connecté entre deux jeux de barres i et m , ou entre un jeu de barre i et le jeu de barres de référence (jeu de barre 0). Les éléments de la matrice admittance peuvent être obtenus en fonction des admittances des composants du réseau, en appliquant les règles suivantes :

Y_{ii} : L'élément diagonal ii , est égale à la somme des admittances de tous les composants connectés au jeu de barre i , soit :

$$Y_{ii} = \sum_{m=0, m=i}^N Y_{im} \quad (\text{I.3})$$

Y_{im} , l'élément hors diagonale, est égale à la somme négative des admittances de tous les composants connectés entre les jeux de barres i et m , c'est à dire :

$$Y_{im} = - \sum_{m=i} Y_{im} \quad (\text{I.4})$$

D'après l'équation (II-3) le courant net injecté à un jeu de barre i , peut s'écrire :

$$I_{i=\sum_{m=1}^N Y_{im} V_m} \quad \text{tel que : } \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.5})$$

Les grandeurs complexes Y_{im} et V_m sont représentées sous la forme polaire ou rectangulaire suivantes :

$$V_m = V_m \cos \delta_m + jV_m \sin \delta_m = e_m + jf_m \quad (\text{I.6})$$

$$Y_{im} = Y_{im} \cos \theta_{im} + jY_{im} \sin \theta_{tm} = G_{im} + jB_{im} \quad (\text{I.7})$$

Où δ_m est la phase de la tension au jeu de barres m (mesurée par rapport à une certaine référence des phases), θ_{im} est la phase (ou l'argument) de l'élément im de la matrice admittance e_m et f_m sont, respectivement, la partie réelle et la partie imaginaire de V_m ; G_{im} et B_{im} sont, respectivement, la partie réelle (ou conductance) et la partie imaginaire (ou susceptance) de Y_{im} .

L'expression de la puissance apparente S_i injectée à un jeu de barre i s'obtient par :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i = V_t \sum_{M=1}^N Y_{im} V_{im} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.8})$$

Où P_i et Q_i sont, respectivement, l'injection des puissances active et réactive au jeu de barre i . En remplaçant l'équation (I-6) et (I-7) dans (I-8) on obtient :

$$P_i = \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \cos (\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.9})$$

$$Q_i = \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \sin (\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.10})$$

Cet ensemble de $2N$ équations non linéaires constitue la forme polaire des équations de l'écoulement de puissance]. Pour un profil de tension et une topologie du réseau donné, ces équations donnent les injections de la puissance active et la puissance réactive au niveau d'un jeu de barre i . Ces dernières sont décrites par les relations :

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.11})$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.12})$$

où P_{Gi} , Q_{Gi} , P_{Di} , Q_{Di} sont, respectivement, la puissance active générée, la puissance active demandée, la puissance réactive générée et la puissance réactive demandée au jeu de barres i . Finalement, les équations d'équilibre de puissance sont de la forme :

$$P_i = P_{Di} + \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \cos (\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.13})$$

$$Q_i = Q_{Di} + \sum_{m=1}^N V_t V_m Y_{im} \sin (\delta_i - \delta_m - \theta_{im}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (\text{I.14})$$

I-8 Classification des variables des équations de répartition charge :

I-8-1 Variables de perturbation (Variables non contrôlées) :

Ce sont les puissances P_{D1} , P_{D2} , Q_{D1} , Q_{D2} demandées par les charges.

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \end{bmatrix} \quad (\text{I.15})$$

I -8-2 Variables d'états :

Ce sont les variables : $(V_1, V_2, \delta_1, \delta_2)$ Soit X un vecteur appelé vecteur d'état :

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (\text{I.16})$$

I -8-3 Variables de contrôle :

Ce sont les puissances de source $P_{g1}, P_{g2}, Q_{g1}, Q_{g2}$

$$P = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ Q_{g1} \\ Q_{g2} \end{bmatrix} \quad (\text{I.17})$$

I -9-Classification des jeux de barre.

Pour chaque jeu de barre, deux variables doivent être spécifiées au préalable et les deux autres sont à calculer. Donc, on peut classer les jeux de barres comme suit

-1 Jeu de barres de référence :

Ce jeu de barre connu aussi par le jeu de barre balancier (slak bus), a le rôle de fournir la puissance supplémentaire nécessaire pour compenser les pertes de transmission, car celles-ci

Ne sont pas connues d'avance.

En plus, ce jeu de barre sert de référence pour les phases des tensions. Par convention, ce jeu de barre est identifié par le jeu de barre $N^0=1$, dont le module et la phase de tension sont toujours spécifiés $V_1 = 1$ pu. et $\delta_1 = 1$.

Donc, les puissances P_i et Q_i sont inconnues, du fait que P_{G1} et P_{G2} ne sont pas spécifiées d'avance. Par conséquent, les équations d'équilibre de puissance pour le jeu de barre de référence ne sont pas explicitement incluses dans la formulation du problème de l'écoulement de puissance. Cependant, P_1 et Q_1 peuvent être calculées d'après (II-16) et (II-17) après avoir obtenu la solution du problème.

2 Jeu de barre à tension contrôlée :

Chaque jeu de barre du système dont la module de tension est maintenue constant, est considérée comme un jeu de barre à tension contrôlée ou jeu de barre générateur. Ce type de jeux de barres peut inclure des jeux de barres auxquels des générateurs, des batteries de condensateurs, des compensateurs statiques

(SVC) ou des transformateurs avec prise réglable sont raccordés. Au niveau de ce jeu de barre, et sont des grandeurs spécifiées. Donc, n'est pas connue à l'avance étant donné qu'est inconnue. Par conséquent, seule l'équation d'équilibre de puissance active est incluse dans la formulation du problème.

La valeur correspondante de δ_i est calculée par l'algorithme de l'écoulement de puissance. Une fois la solution du problème est obtenue, Q_i est calculée d'après

3- Jeu de barre de charge :

Chaque jeu de barre du système dont l'injection des puissances actives et réactives sont données, est considéré comme un jeu de barres de charge. Donc, il est évident que les deux équations d'équilibre de puissance pour chaque jeu de barre de charge sont explicitement considérées dans la formulation du problème. La procédure de l'écoulement de puissance

Donne les valeurs de V_i et δ_i .

On note que pour un réseau de N jeux de barres avec NG jeux de barres à tension contrôlée (ou générateur), le problème de l'écoulement de puissance implique la solution d'un système de $2N - NG - 2$ équations. Le nombre des variables d'état V_i et δ_i est aussi $2N - NG - 2$. Dans ces conditions, le système d'équation est bien posé. Toutefois, cela ne garantit pas qu'une solution existe en raison de non linéarité des équations. Il peut alors y avoir une solution unique, des solutions multiples ou aucune solution.

I -10 Les équations de l'écoulement de puissance

Dans le cas général, pour déterminer les équations de l'écoulement de puissance, on considère que les puissances au jeu de barres i sont équilibrées, donc le bilan des puissances électriques à un jeu de barres i d'un réseau électrique de n jeux de barres est la différence entre la puissance générée S_{GI} et la puissance demandée S_{Di} au niveau du même jeu de barres.

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = P_{Gi} - P_{Di} + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \quad (I.18)$$

Les points de connexion des branches des réseaux sont codés par des numéros désignant chaque jeu de barres. Ces nombres spécifient les arrivées des lignes de transmission et des transformateurs.

Les numéros sont utilisés pour identifier les types de jeux de barres et l'emplacement des éléments du réseau (condensateurs, inductances shunts et impédances).

Les lignes de transmission connectent le jeu de barres i aux autres jeux de barres k dans le réseau électrique. Un jeu de barres peut être connecté au maximum à $(n-1)$ jeux de barres.

On peut représenter chacune de ces lignes par un schéma équivalent avec une admittance série S_{ik} Y et une admittance parallèle p_{ik} Y . Si une ligne n'existe pas l'admittance sera égal à zéro

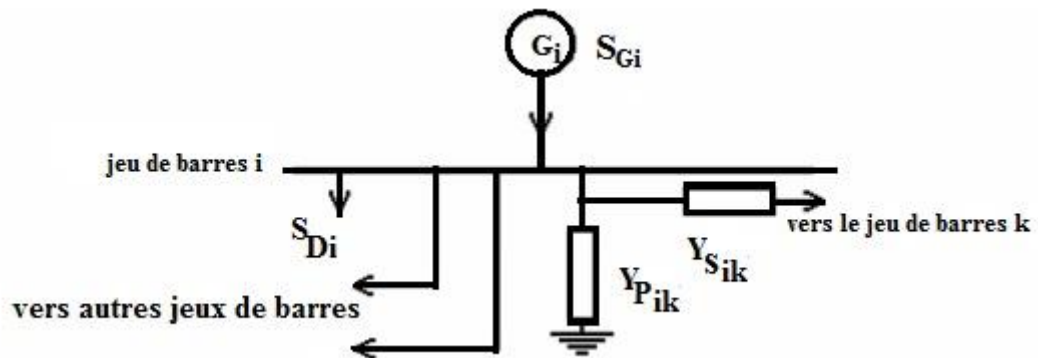


Figure I.12: jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission

La construction du modèle mathématique, par lequel on peut prédire la forme de l'écoulement de puissance, est essentielle pour la compréhension du mécanisme de l'écoulement de puissance.

Dans la formulation des équations de l'écoulement de puissance l'une des deux matrices (admittance ou impédance) est nécessaire.

La puissance apparente S_i injectée au jeu de barres i est donnée par l'équation $S_i = V_i I_i$ où i est le courant qui entre dans le jeu de barres i . Ce courant est composé de deux composantes, une composante $Y_p V_i$ qui s'écoule à travers l'admittance shunt, et une composante $(V_i - V_k) Y_s$ qui s'écoule à travers l'admittance série de la ligne équivalente du réseau. D'après la loi de Kirchhoff appliquée à un jeu de barres, pour une seule phase, nous avons l'équation du courant

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = V_i \sum_{k=1}^n Y_{pik} + \sum_{k=1}^n Y_{sik} (V_i - V_k) = V_i \sum_{k=1}^n (Y_{pik} + Y_{sik}) + \sum_{k=1}^n (-Y_{sik}) V_k \quad i = 1 \dots n \quad (I.19)$$

On peut écrire l'équation (1.15) sous la forme suivante :

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{ii}V_i + \dots + Y_{in}V_n \quad (\text{I.20})$$

Où

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (Y_{pik} + Y_{sik}) \text{ et } Y_{ik} = Y_{ki} = -Y_{sik} \quad (\text{I.21})$$

Du fait que les puissances sont connues et les courants sont inconnus, donc les équations prendront des formes non linéaires :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{I.22})$$

Séparons la partie réelle et imaginaire de l'équation (1.5) on aura les équations et qui expriment l'équilibre des puissances actives et réactives au jeu de barres i:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (g_{ij} \cos \theta_{ij} + b_{ij} \sin \theta_{ij}) = f_{ip}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (\text{I.23})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (g_{ij} \sin \theta_{ij} - b_{ij} \cos \theta_{ij}) = f_{iq}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (\text{I.24})$$

I-10-1 Les équations aux J.d.B de char

Les puissances active et réactive à chaque J.d.B « i » sont

$$P_i - jQ_i = V_i^* \cdot I_i \quad (\text{I.25})$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (\text{I.26})$$

Dans la formulation de l'équation du réseau, si les éléments shunts de mise à la terre sont inclus dans la matrice des paramètres l'équation (I-2) donne le courant total au J.d.B. D'un autre côté, si les éléments shunts du réseau ne sont pas inclus. Le courant total au J.d.B « i » est :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - Y_i \cdot V_i \quad (\text{I.27})$$

Y_i : Admittance totale shunt au J.d.B « i »

$Y_i \cdot V_i$: Courant de shunt circulant du J.d.B « i » vers la terre

I-10-2 Equations de l'écoulement de puissances dans les lignes

La détermination des valeurs des puissances réparties dans les lignes de transport est indispensable afin de localiser les lignes électriques surchargées, de calculer la valeur de pertes de puissance et de déterminer les contraintes qui sont forcées.

Le courant de la branche entre les deux jeux de barres i et k, qui a le sens positif de i vers k est donné par :

$$I_{ik} = (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i Y_p \quad (I.28)$$

Avec Y_{ik} : l'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et k Y_p : l'admittance shunt au jeu de barres i

$V_i Y_p$: la contribution shunt du courant au jeu de barres i.

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^- I_{ik} \quad (I.29)$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* (V_i - V_k) Y_{ik} + V_i^* V_i Y_p \quad (I.30)$$

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^* (V_k - V_i) Y_{ik} + V_k^* V_k Y_p \quad (I.31)$$

La valeur des pertes de puissance dans la ligne entre les deux jeux de barres i et k est la somme algébrique de la répartition des puissances déterminées à partir des relations

I -10-3 Quelques observations sur les équations de l'écoulement de puissance :

Les observations concernant les équations du système (I.30) et (I.31) sont :

1. Les équations sont algébriques car elles représentent un système qui travaille en régime permanent.
2. Les équations sont non linéaires, donc il est très difficile d'avoir des solutions analytiques, mais on peut obtenir facilement une solution numérique.
3. L'équilibre des puissances actives donne :

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} = \sum_{i=1}^n P_{Di} + \sum_{i=1}^n P_{Li} \quad (I.32)$$

I -11 Les méthodes numériques itératives :

La modélisation mathématique des systèmes non linéaire qu'il fallait résoudre pour l'étude du phénomène de la répartition de charge, consiste à faire appel aux outils mathématiques tel que, les méthodes itératives approximatives par ce que pour les systèmes

- la méthode itérative de Gauss.

- la méthode itérative de Gauss-Seidel
- la méthode de Newton-Raphson.
- la méthode de relaxation ou technique des résidus.

1-12 Conclusion :

Nous pouvons conclure à partir de ce chapitre que derrière la prise de courant il y a tout un processus de conduite de réseau électrique à savoir la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique. La tendance actuelle est penchée vers les réseaux intelligents ou *smart grids* ou les parties production, transport et distribution sont commandées par des technologies d'informatique afin d'optimiser l'ensemble des mailles de réseau d'électricité et en conséquent optimiser l'efficacité énergétique du réseau global. Le réseau va donc émerger de la centralisation vers la décentralisation c'est-à-dire l'ouverture du marché d'électricité ou le client peut devenir fournisseur d'énergie grâce aux compteurs intelligents *smart meters*.

A la fin de ce chapitre, on peut résumer que la solution de l'écoulement de puissance est basée essentiellement sur les méthodes mathématiques numériques itératives et utilise deux types de matrice *Ybus* et *Zbus*. spécialement pour les systèmes larges.

Donc pour avoir des bons résultats avec convergence on doit prévoir des compromis vitesse de calcul (temps d'exécution) et convergence. Les techniques de l'intelligence artificielle offrent une alternative pour le calcul des variables de réseau électrique, spécialement pour les techniques itératives qui consomment temps et espace mémoire.

Chapitre II

Dispatching économique

II.1 Introduction :

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

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

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

II.2 Définition du dispatching économique :

Les centrales électriques connectées au réseau sont appelées à produire suffisamment de puissance pour répondre à la demande des charges. Cette demande varie considérablement durant les journées et les saisons, et les coûts de production d'énergie diffèrent aussi d'une centrale à une autre, selon le type et l'efficacité. Par conséquent, il est indispensable de répartir la capacité de génération d'une manière à satisfaire la demande avec un minimum de coût.

Le problème de répartition des charges sur les différentes unités de production est appelé dispatching économique. Ce problème consiste à optimiser les coûts de production d'énergie. Un dispatching économique obéit à un planning pour le lendemain et un planning du jour.

- Un planning du lendemain sert à définir les unités de génération pour chaque heure sur les bases des critères suivants :

- ❖ Estimation de la demande;
- ❖ Les limites maximale et minimale de puissance de chaque unité de production ;
- ❖ Le temps de démarrage de chaque unité ;
- ❖ Le coût de production de chaque unité (coût de la matière première, efficacité) ;
- ❖ Le coût de démarrage. [11]

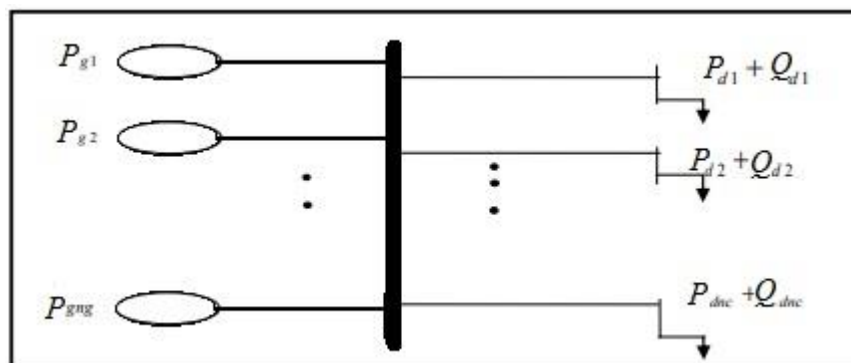
- Le dispatching journalier sert à contrôler les écoulements de puissance d'heure en heure pour maintenir la fréquence et la tension dans des limites acceptables, et ce par :

- ❖ Ajustement de la production par un contrôle automatique de génération (AGR, Automatico generation control);
- ❖ Modification de la topologie du réseau ;
- ❖ Compensation des puissances réactives;
- ❖ Délestage de charge si nécessaire. [11]

Le dispatching économique (The Economic Dispatch) est la génération, la répartition et l'exploitation à coût minimal de l'énergie électrique dans un réseau de puissance électrique, nous pouvons encore dire que c'est un problème d'optimisation qui est basé essentiellement sur la répartition la plus économique de la puissance active produite par les groupes de génération existant dans un réseau électrique ; en satisfaisant toute la demande et en tenant compte des contraintes types égalité et inégalité des groupes. L'outil **d'optimal dispatch** (OD) est utilisé très près du temps réel entre 5 et 15 min où les prévisions deviennent de plus en plus précises et lancé à des intervalles réguliers. Ça sert à déterminer le niveau de production définitif des unités qui sont disponibles à ce moment où déjà démarrées. [12],[13]

II.3 l'objectif du dispatching économique :

L'objectif est de résoudre le problème économique de production de l'énergie électrique, c'est-à-dire de minimiser le cout total du combustible nécessaire pour cette production qui se présente sous forme d'une fonction non linéaire, en tenant compte de certaines contraintes de type égalité et de type inégalité. [14]



FigureII.1 : Modèle du système électrique utilisé dans le dispatching économique.

II.4. Généralités sur le dispatching économique :

II.4. 1 La fonction de coût :

La puissance réelle générée est responsable de l'influence principale sur le coût C_i , l'augmentation des quantités de productions réelles se fait par l'augmentation des couples de rotation du moteur de base, et cela demande une augmentation de consommation du combustible, donc du coût de production [15].

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

$$C(P_g) = \alpha + \beta P_g + \gamma P_g^2 \quad (\text{II.1})$$

Où P_g est la puissance générée (en MW) par la centrale considérée et α , β et γ des coefficients constants propres de la centrale qui sont obtenus par l'expérience.

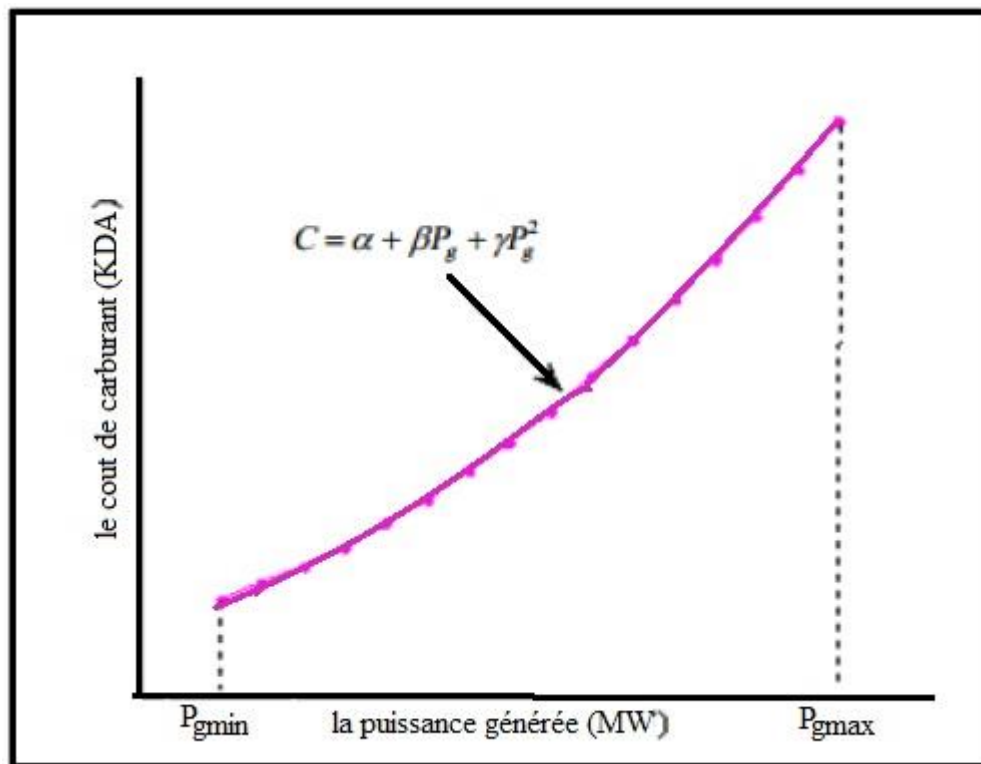


Figure II.2: Le coût de carburant en fonction de la puissance générée

Le coût de l'énergie à l'entrée du générateur, est évalué en (Mbtu/hr) ou (KDA/hr), (\$/MW), qui représente la quantité de fuel ou de combustible nécessaire pour le fonctionnement de la chaudière [15].

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

$$C_{tot} = \sum_{i=1}^n C_i \dots \dots \dots [KDA/hr] \quad (\text{II.2})$$

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

II.4.2 Le coût incrémental :

La dérivée $\frac{dC_i}{dP_{gi}}$ (avec $i=1, \dots, n$) est appelée le coût incrémental du 1^{ème} générateur (CI) de

point de vue physique, elle représente le coût additionnel du combustible (en KDA/MWh) correspondant à la production d'une unité de puissance suppléme

$$CI = \beta + 2\gamma P_g \quad (\text{II.3})$$

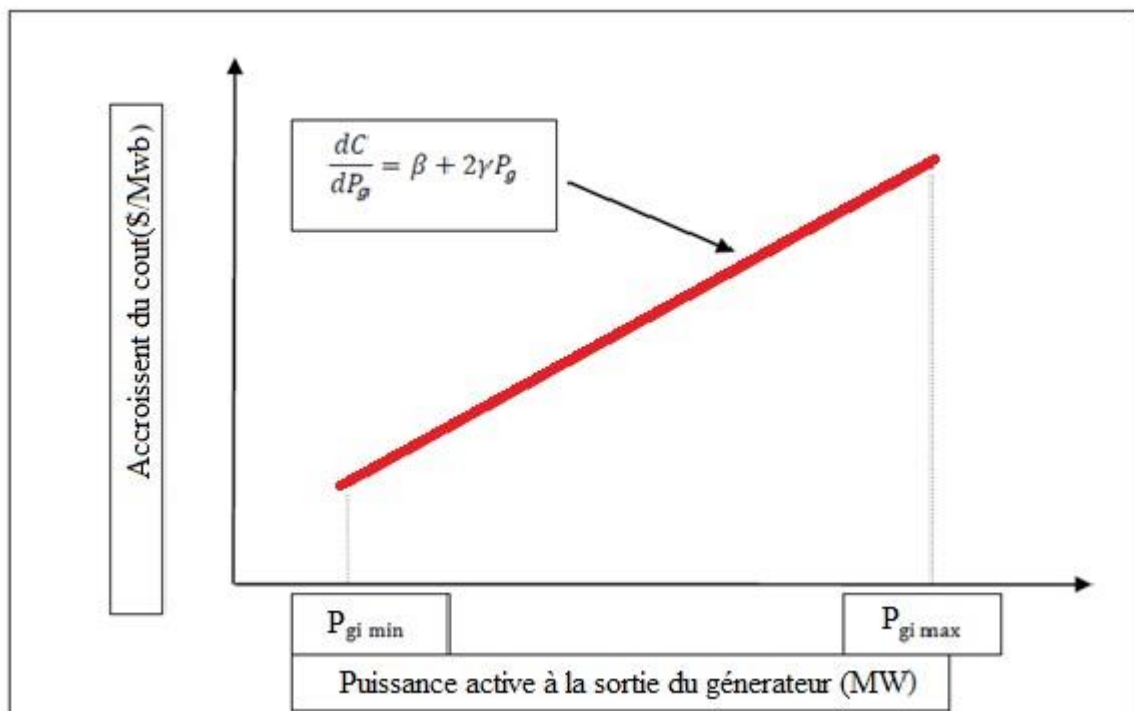


Figure II.2 : Le coût de carburant en fonction de la puissance générée

II.4.3. Les contraintes :

II.4.3.1 Les contraintes d'égalité :

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

On peut dire que les contraintes d'égalités vérifient la loi de Kirchhoff, bilans d'énergie.

A- cas de pertes négligeables :

Dans ce cas, la seule contrainte est que la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la charge totale du système.

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

B- cas de pertes considérables :

Dans ce cas, la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la somme de la puissance demandé par la charge du système et les pertes de transmission de cette puissance.

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

II.4.3.2 Les contraintes d'inégalités :

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

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

Il faut bien évidemment respecter les valeurs limites de productions des centrales pour le maintien de la sécurité du système. Donc, les contraintes d'inégalité s'intéressent par le domaine de fonctionnement admissible, possible (limitation des ressources, sécurité...) [16].

II.5 Formulation du Dispatching économique :

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

Le problème est de réduire au minimum le coût de la puissance totale générée par l'ensemble des centrales interconnectées. Ce problème devient plus simple lorsque les limites des puissances de chaque générateur et les pertes dans le réseau sont négligées. Il est décrit comme suit :

$$F = \sum_{i=1}^{n_g} f_i = \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_{GI} + \gamma_i P_{GI}^2 \quad (\text{II.7})$$

$$\text{ET} \quad P_D = \sum_{i=1}^{n_g} P_{GI} \quad (\text{II.8})$$

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

$$P_{gi \min} < P_{gi} < P_{gi \max} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{II.9})$$

II.5.1. Dispatching Economique Sans Pertes :

Le dispatching économique statique sans perte est plus simple, seul la puissance active générée par la centrale influence le coût, la résolution est faite pour un instant précis.

La solution du dispatching économique est obtenue à l'aide de deux types de méthodes d'optimisation ;

- La méthode de Kuhn-Tucker et la méthode de gradient utilisant le gradient (fonction de Lagrange).

- La méthode d'itération de Lambda qui utilise les itérations (minimisation sans gradient).

Dans certains cas on peut considérer le problème de dispatching comme linéaire par parties, on utilise alors la programmation linéaire.

II.5.1.1 Formulation de Lagrange :

Le système des équations $C(P_g) = \alpha + \beta P_g + \gamma P_g^2$ et $C_{tot} = \sum_{i=1}^n C_i \dots \dots [KDA/hr]$ est un problème d'optimisation non linéaire avec contraintes, qui doit être résolu par le développement d'une fonction qui s'appelle la fonction de Lagrange.

Pour obtenir l'extremum d'une fonction objective, on doit ajouter la fonction de contrainte à la fonction objective, par la multiplication par un coefficient qui s'appelle le multiplicateur de Lagrange, qui est préalablement indéterminé.

La fonction augmentée de Lagrange du problème est donnée :

$$L = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2) + \lambda (P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi}) \quad (II.10)$$

La condition nécessaire pour avoir l'optimum est quand les dérivées premières de la fonction de Lagrange par rapport aux P_{gi} , et λ sont égales à zéro.

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial P_{gi}} = \beta_i + P_{gi} 2\gamma_i - \lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} \end{cases} \quad P_{gi(min)} \leq P_{gi} \leq P_{gi(max)}, i = 1, 2, \dots, ng \quad (II.11)$$

Donc, pour un fonctionnement optimal des générateurs, il faut que le l'accroissement du coût de tous les générateurs soit le même, c a d égal à (λ)

Le système d'équations (II-11) comporte (ng+1) équations avec (ng+1) inconnus, qui peuvent être résolus par la substitution des valeurs de (P_{gi}) des premières équations dans l'avant dernière.

$$P_{gi} = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (II.12)$$

$$P_d = \sum_{i=1}^{ng} \left(\frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \right) \quad i = 1, 2, \dots, ng \quad (II.13)$$

La valeur optimale de (λ) est alors calculée comme suit :

$$\lambda = \lambda^* = \frac{P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (II.14)$$

La valeur optimale (λ^*) est remplacée dans les premières équations de (II-14) pour obtenir la puissance optimale à générer par chaque générateur :

$$P_{gi} = \frac{1}{2\gamma_i} \left(\frac{P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{2\gamma_i}} - \beta_i \right) \quad (\text{II.15})$$

II.5.1.2 Méthodes graphique du problème dispatching économique :

Le problème du dispatching économique peut être résolu par une méthode graphique, en traçant la courbe d'accroissement du coût $\lambda = f(P_{gi})$, pour chaque générateur et sur le même plan. En ajoutant graphiquement les valeurs des puissances, on aboutit à une seule courbe résultante représentant le coût d'accroissement total de tous les générateurs. La valeur de la charge totale (P_d) peut être prise comme point de départ d'une ligne verticale, tirée jusqu'à ce que la ligne du coût d'accroissement totale soit traversée. Cette valeur de la traversée (Optimum) est prise comme point de début d'une ligne horizontale allant vers la gauche. Cette ligne indique la valeur optimale de lambda (λ^*) pour toutes les puissances actives des générateurs.

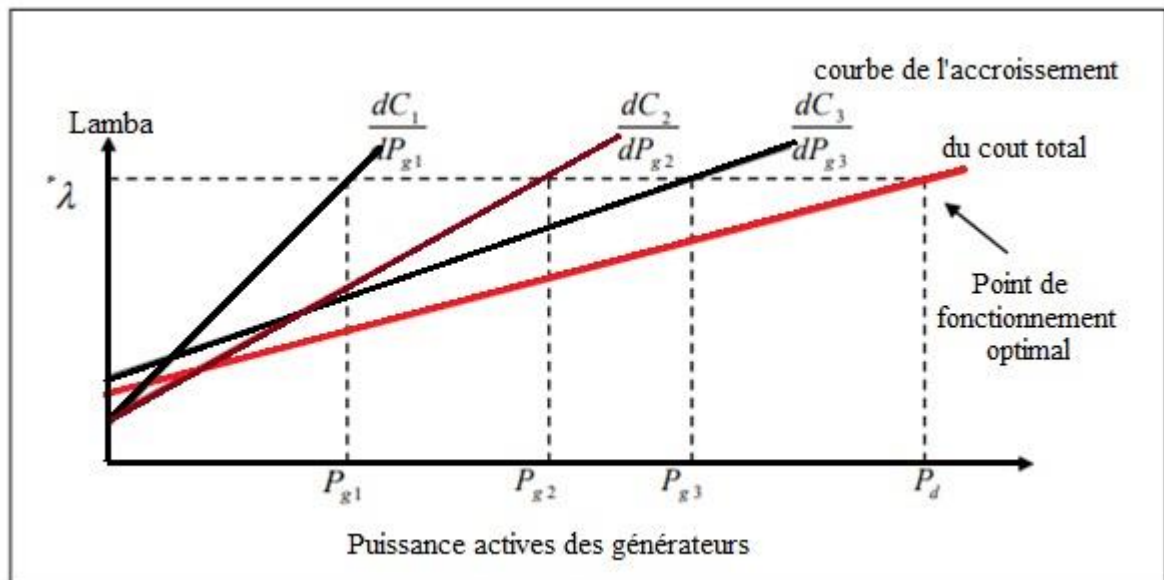


Figure II.3: La méthode graphique de résolution de l'D.E sans pertes.

Les points d'intersection de cette ligne avec les courbes du coût d'accroissement originales sont les valeurs optimales de la solution. Pour obtenir les puissances optimales des générateurs, il suffit de tracer des lignes verticales descendantes à partir des courbes du coût d'accroissement des générateurs [18].

II.5.2 Dispatching économique avec pertes :

Deux approches sont essentiellement utilisées pour la solution de dispatching économique avec pertes, la première est le développement d'une expression mathématique des pertes en fonction des puissances de sortie de chaque unité de production (comme celle de beta coefficient). La deuxième approche consiste à utiliser les équations de l'écoulement de puissances optimal (optimal power flow) [19].

A-Considération des pertes constant :

Dans ce cas, la valeur de pertes se rassembler avec la puissance demandée totale et le problème sera étudié comme le cas sans pertes [20].

B-Pertes variables :

Nous devenons à développer une expression mathématique des pertes de puissances actives, en fonction des puissance actives des générateurs [20].

II.5.2.1 Calcule les pertes :

Il existe deux approches générales pour calculer les pertes [21] :

On calcule les pertes de transmission par les méthodes de calcul de l'écoulement de puissance N-R ou G-S.

La méthode de « formule des pertes » est basée sur l'approximation des pertes totales de puissance active par une fonction directe des puissances actives des générateurs (P_{gi}), donnée par l'équation suivante.

$$P_i = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} B_{ij} P_{gi} P_{gj} + \sum_{i=1}^{ng} B_{io} P_{gi} + B_{00} \lambda \quad (\text{II. 16})$$

Où

P_{gi} : puissance active du générateur i

B_{00} , B_y et B_{io} Coefficients de pertes (constantes réelles).

Les coefficients de pertes sont des constantes réelles spécifiques au réseau étudié, et sont Calculés en fonction de la matrice impédance du réseau, des puissances actives et réac demandées et des tensions. Dans la littérature, Il existe beaucoup de formules pour le calcul des coefficients de perte.

II.5.2.2 Incrémentation des Pertes de Transmission :

Soit P_L les pertes totales dans les lignes de transmission .La dérivée partielle $\delta P_L / \delta P_{Gi}$ sont appelées l'incrémentation des pertes de transmission (ITL), elle représente la variation des pertes totales liée à la variation de la puissance générée par le générateur i [22].

II.5.2.3 La résolution du problème :

Pour résoudre le problème du dispatching économique avec perte, on peut formulée Lagrangien avec pertes comme suit [21] :

$$L = F(P_{gi}) + \lambda H(P_{gi}) \quad (\text{II. 17})$$

Où $H(P_{gi})$: est la contrainte d'égalité.

$$H(P_{gi}) = P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = 0 \quad (\text{II. 18})$$

$$L = \sum_{j=1}^{ng} C_i(P_{gi}) + \lambda \cdot (P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi}) \quad (\text{II. 19})$$

Pour Minimisé la fonction de lagrangien il faut que :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\delta L}{\delta P_{gi}} = \beta_i + 2\gamma_i - \lambda \left(\frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} - 1 \right) = 0 \\ \frac{\delta L}{\delta \lambda} = P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, \dots \dots P_{gn}) - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} \end{array} \right\} \quad (\text{II. 20})$$

$$P_{g(\min)} \leq P_{gi} \leq P_{g(\max)} \quad i = 1, 2, 3 \dots \dots ng \quad (\text{II.21})$$

$$\frac{dC_i}{dP_{gi}} = \lambda \cdot \left(1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right) \Rightarrow \lambda = \left(1 - \frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right)^{-1} \cdot \frac{dC_i}{dP_{gi}} \quad (\text{II. 22})$$

$$\lambda = f_i \cdot \left(\frac{dC_i}{dP_{gi}} \right) \quad (\text{II. 23})$$

$$\text{ou: } f_i \cdot \left(\frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}} \right)^{-1} \quad (\text{II. 24})$$

f_i : représente le facteur de pénalité de central i .

Donc, pour pénaliser les centrales qui produisent de la puissance dont le transit provoque des pertes importantes, nous multiplierons les coefficients de leur fonction de coût par un facteur de pénalité f_i

Par les mêmes étapes du dispatching sans pertes on trouve que :

$$P_{gi} = \frac{\lambda f_i^{-1} - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (\text{II. 25})$$

$$P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) - \lambda \sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i} + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i} = 0 \quad (\text{II. 26})$$

$$\lambda = \frac{P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i}} \quad (\text{II. 27})$$

$$P_{gi} = \left[\frac{1}{2\gamma_i} \left(\left(\frac{P_d + P_L(P_{g1}, P_{g2}, P_{g3} \dots \dots P_{gn}) + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{f_i^{-1}}{2\gamma_i}} \right) f_i^{-1} - \beta_i \right) \right] \quad (\text{II. 28})$$

Le problème devient plus difficile à résoudre car, suite à l'introduction du terme de pertes les équations de stationnarité du Lagrangien deviennent des équations couplées.

$$P_L = F(P_{g1}, P_{g1}, P_{g3} \dots \dots P_{ng}) \quad (\text{II. 29})$$

Donc, il faut utiliser une méthode itérative pour calculer chaque puissance sous les étapes suivantes :

L'étape 1 : Calculer des valeurs initiales des puissances générées par la méthode de lagrangien sans pertes.

L'étape 2 : Remplacement des puissances générées dans la formule des pertes.

L'étape 3 : calcule des coefficients $\frac{\delta P_L}{\delta P_{gi}}$ ensuite, l'évaluation des facteurs de pénalités de tous les générateurs.

L'étape 4 : Calculer $(\gamma^{(k)})$ correspondant.

L'étape 5 : Mise à jour des g_i .

L'étape 6 : Vérifier que : $(\sum_{i=1}^{ng} P_{gi} - P_d - P_L < \varepsilon)$

Si oui : On passe à l'étape (7)

Si non : On retourne à l'étape (2).

L'étape 7 : On calcule le coût d'optimale chaque central puis le coût total qui représente la solution du problème.

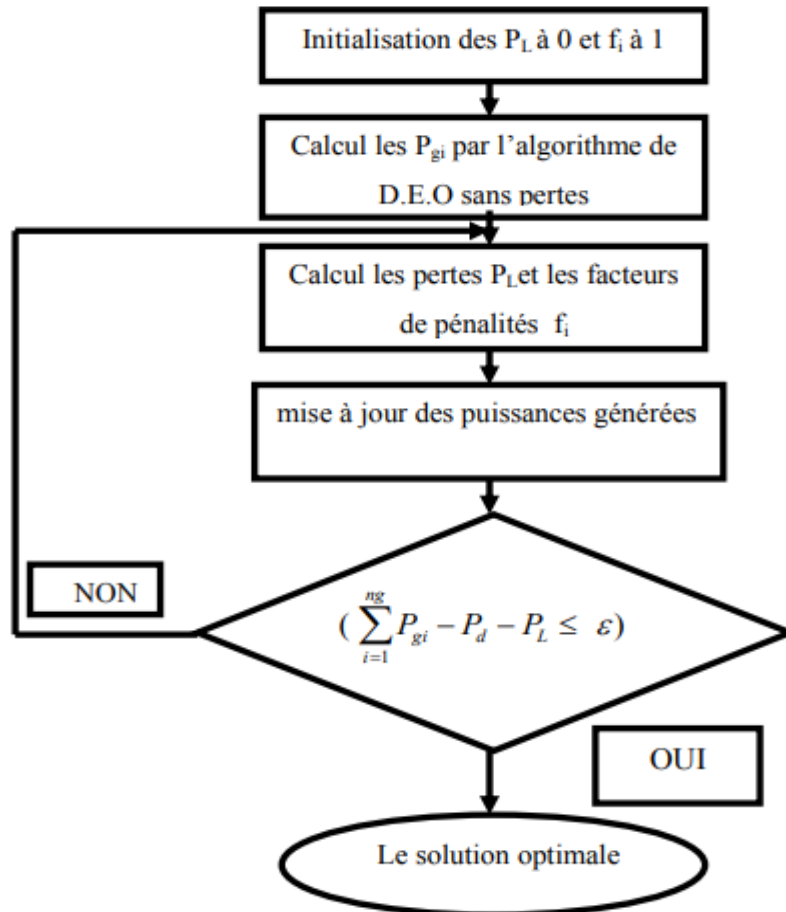


Figure II-4 : L'organigramme de méthode de lagrangien avec pertes.

Exemple :

Soit un réseau électrique avec trois sources d'énergie G1, G2 et G3 avec une consommation totale égale à 800 MW. Connaissant les coûts de production et les contraintes de chaque générateur donné ci -dessous.

$$C1(P_{g1}) = 500 + 5.3P_{g1} + 0.004P_{g1}^2 \text{ [$/MWh]} \quad 100 \leq P_{g1} \leq 500 \text{ MW}$$

$$C2(P_{g2}) = 400 + 5.5P_{g2} + 0.006P_{g2}^2 \text{ [$/MWh]} \quad 200 \leq P_{g2} \leq 400 \text{ MW}$$

$$C3(P_{g3}) = 200 + 5.8P_{g3} + 0.009P_{g3}^2 \text{ [$/MWh]} \quad 180 \leq P_{g3} \leq 300 \text{ MW}$$

- Calculer le coût total optimal de production d'énergie électrique ainsi que la production de chaque générateur sans tenir compte des contraintes d'inégalités et des pertes de transport dans les lignes électriques.

Solution :

L'équation (II.14) permet de calculer λ

$$\lambda = \lambda^* = \frac{P_d + \sum_{i=1}^{ng} \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^{ng} \frac{1}{\gamma_i}} = \frac{800 + \frac{5.3}{0.008} + \frac{5.5}{0.012} + \frac{8.5}{0.018}}{\frac{1}{0.008} + \frac{1}{0.012} + \frac{1}{0.018}} = \lambda = 8.5 [\$/MWh]$$

$$P_{gi} = \frac{\lambda - \beta}{2\gamma_i}$$

$$P_{g1} = \frac{8.5 - 5.3}{0.008} = 400 \text{ MW}$$

$$P_{g2} = \frac{8.5 - 5.5}{0.012} = 250 \text{ MW}$$

$$P_{g3} = \frac{8.5 - 5.8}{0.018} = 150 \text{ MW}$$

$$P_{gt} = P_{g1} + P_{g2} + P_{g3} = 400 + 250 + 150 = 800 \text{ MW}$$

$$P_d - P_{gt} = 800 - 800 = 0$$

Le coût total de la production est :

$$C_t = \sum_{i=1}^3 C_i(P_{gi})$$

$$= (500 + 5.3P_{gi} + 0.04P_{g1}^2) + (400 + 5.5P_{g2} + 0.006P_{g2}^2) + (200 + 5.8P_{g3} + 0.009P_{g3}^2)$$

$$C_t = 3260 + 2150 + 1272.5 = 6682.5 \$$$

II.6 Dispatching économique dynamique :

Le dispatching économique dynamique consiste à trouver la meilleure configuration des puissances produites à chaque variation de charge dans un intervalle du temps (heure) pour la minimisation du coût de production avec satisfaction des contraintes d'égalités et d'inégalités [23].

II.7 la méthode itérative de lambda :

La méthode de lambda est utilisée lorsque la fonction de coût n'est pas quadratique, elle est polynôme de degré supérieur à 2, cette méthode s'appuie sur la fonction d'erreur qui suppose une fonction continue, pour appliquer le théorème de la valeur moyenne [22].

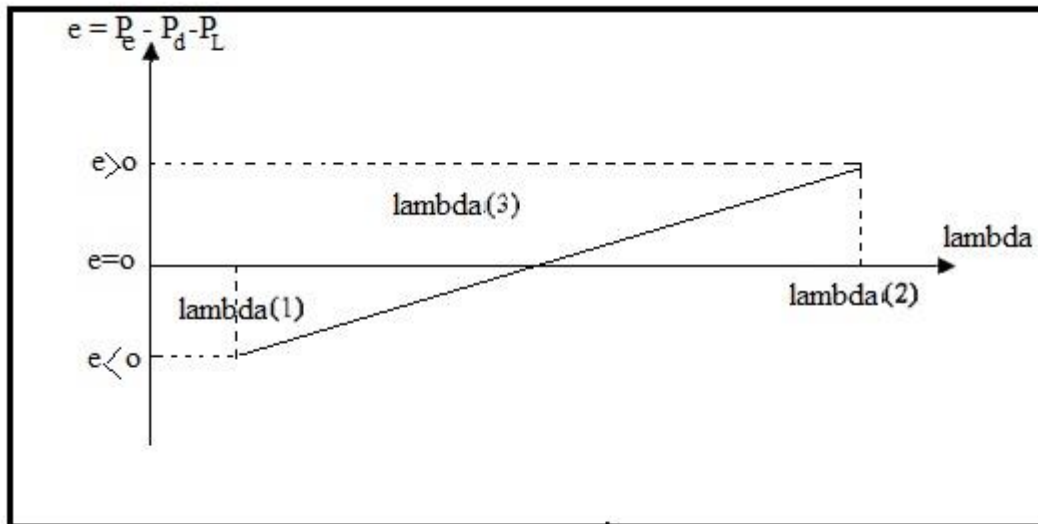


Figure II.5 : l'explication graphique de la méthode Itératif du lambda.

Où les étapes de cette méthode sont :

☆ L'étape 1: Estimation de λ (1)

☆ L'étape 2: on calcule les puissances générées par la méthode lagrangien est les pertes par leurs relation

$$\frac{\partial C_i}{\partial P_{gi}} \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{gi}} \right)$$

☆ L'étape 3: calculé l'erreur:

$$e_i \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} - P_d - P_L$$

- Si $e_1 = 0$: afficher les résultats (solution finale).

- Sinon, on passe à l'étape 4

☆ L'étape 4: Nouvelle valeur de λ

$$\text{Où : } \lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$$

- $(10\% \lambda_1) \leq \Delta\lambda \leq (10\% \lambda_1)$

- Si $e_2 = 0$, les résultats représente la solution optimale

- Sinon :

{ si $e_1 > 0$ on passe à l'étape 5.

{ Sinon, on retourne à l'étape 4.

☆L'étape 5: on fait le calcul suivante:

$$\frac{|e_2|}{\lambda_2 - \lambda_3} = \frac{|e_1|}{\lambda_3 - \lambda_1} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{|e_1| + |e_2|} |e_2| + \lambda_2$$

$e_2 = 0 \Rightarrow$ la solution optimale

$e_2 \neq 0 \Rightarrow$ donc la solution optimale entre λ_1 et λ_3 ou entre λ_2 et λ_3

L'algorithme de la méthode lambda [24] :

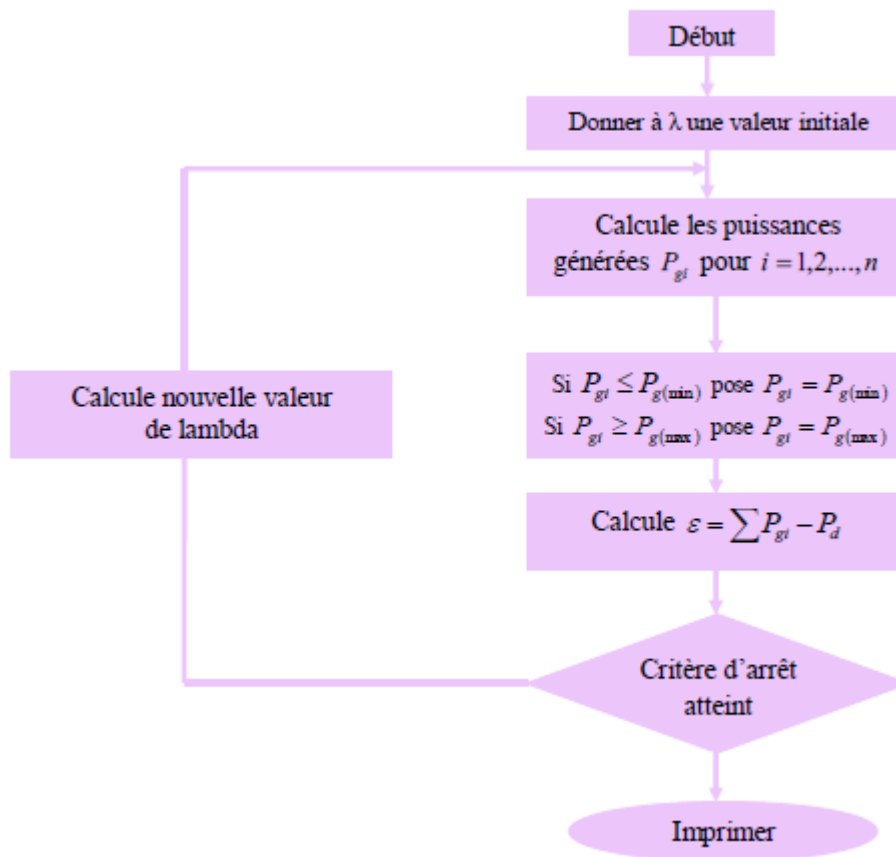


Figure II-5 : Organigramme de la méthode lambda.

II.8 Conclusion :

Un système de puissance électrique contenant plusieurs générateurs ou plusieurs centrales, peut alimenter une charge demandée pendant un nombre infini de cycle de génération. L'arrivée à un minimum de coût de production est une caractéristique très importante. Aujourd'hui le fonctionnement des systèmes de puissance électriques est basé sur la minimisation du coût total.

Chapitre III

**Méthodes d'optimisation méta-
heuristique**

III.1 Introduction :

En engineering plusieurs problèmes nécessitent l'utilisation des méthodes d'optimisation pour s'approcher ou avoir la solution optimale. Les méthodes déterministes semblent avoir rempli ce besoin, mais le problème des optimums locaux constitue un véritable piège pour accéder à l'optimum global. D'où, l'utilisation des méthodes stochastiques dites méta heuristiques qui, en général, évitent ce problème et ayant une grande capacité de trouver l'optimum global [23]. Parmi ces techniques, celles basées sur l'intelligence collective, inspirées de la nature, les plus répandus sont à savoir : les algorithmes génétiques (AG) et plus particulièrement L'optimisation d'essaim de particules soit en anglais (Particle Swarm Optimization) (PSO).

III.2 Définition de l'optimisation :

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum (de l'optimum) d'une fonction donnée. On peut aussi trouver des problèmes d'optimisation pour 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.

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

Dans l'analyse de réseaux électrique plusieurs fonctions peuvent être optimisées (coût de production, l'émission des gazes toxique, les pertes de transmission...etc.) avec considération les contraintes d'égalité et d'inégalité pour obtient des solutions optimales acceptable [24].

III.3 Les Méthodes Métaheuristiques :

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

Ces techniques métaheuristiques peuvent être classés en deux groupes : les méthodes à population de solutions connues sous le nom d'algorithmes évolutionnaires comme les

algorithmes génétiques...etc., ainsi que les méthodes à solution unique comme le recuit simulé. Les méthodes métaheuristiques ont prouvé leurs efficacités dans le domaine de l'optimisation mono-objectif. Actuellement les recherches qui utilisent ces algorithmes sont développées pour la résolution des problèmes d'optimisation multi objectif, en tenant compte de plusieurs contraintes et de nouvelles configurations des réseaux électriques surtout à l'associations de sources des énergies renouvelables où la résolution de ce system complexe est un défi [25].

III.4 Classification des Méthodes Métaheuristiques :

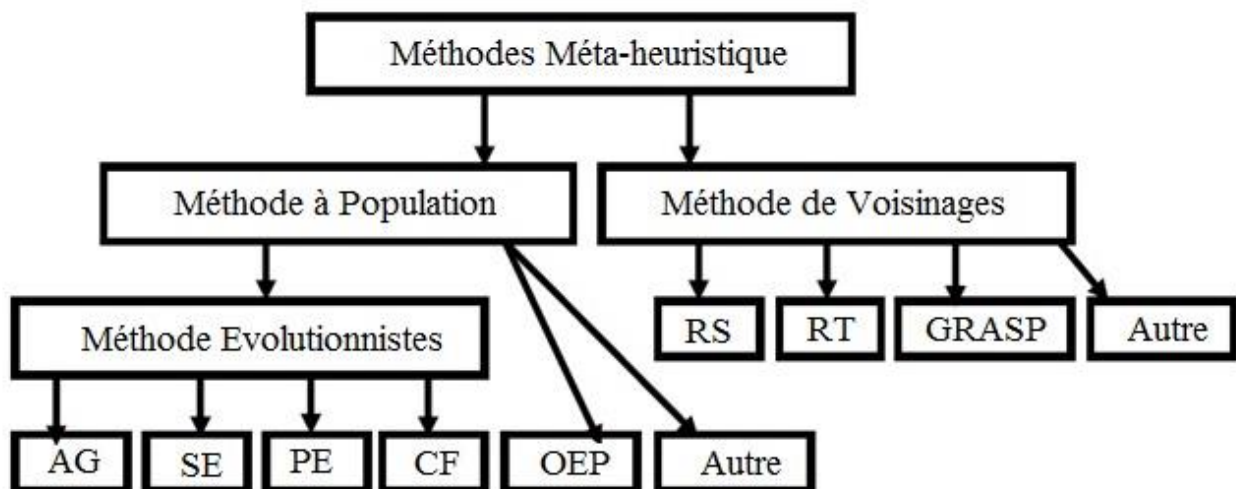


Figure (III-1) : Classification des Méthodes Méta-heuristiques

Où :

CF : Colonie de Fourmies

AG : Algorithmes Génétique

SE : Stratégies d'Evolution

PE : Programmation Evolutionnaire

OEP : Optimisation par Essaim de Particules

RS : Recuit Simulé

RT : Recherche Taboue

GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

III.4.1 Méthodes Métaheuristiques à Population :

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

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

III.4.2 Méthodes Métaheuristiques à solution unique (Parcours) :

Pour ce type de métaheuristiques, on utilise un parcours pour avoir un optimum. A partir d'une solution unique x_0 , considérée comme point de départ (calculée par exemple par une heuristique constructive), la recherche consiste à passer d'une solution à une solution voisine par déplacements successifs. L'ensemble des solutions que l'on peut atteindre à partir d'une solution x est appelé voisinage $N(x)$ de cette solution. Déterminer une solution voisine de x dépend bien entendu du problème traité. Ce type regroupe par exemple le Recuit Simulé (RS), la Recherche Taboue (RT), et la méthode GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) [26].

III.5 Les Algorithmes Evolutionnaires :

Les algorithmes évolutionnistes sont basés sur des principes simples. En effet, peu de connaissances sur la manière de résoudre ces problèmes sont nécessaires, même si certaines peuvent être exploitées afin de rendre plus efficace l'évolution. C'est pourquoi, dans de nombreux domaines, les chercheurs ont été amenés à s'y intéresser. Les algorithmes évolutionnistes sont une classe d'algorithmes d'optimisation par recherche probabiliste basés sur le modèle de l'évolution naturelle. Ils modélisent une population d'individus par des points dans un espace. Ils ont montré leur capacité à éviter la convergence des solutions vers des optimaux locaux [27]. Il existe plusieurs autres algorithmes évolutifs dans la littérature tels que l'évolution différentielle (DE), la stratégie évolutive (ES) et la programmation évolutive (EP), et l'optimisation basée sur la biogéographie (BBO) [21].

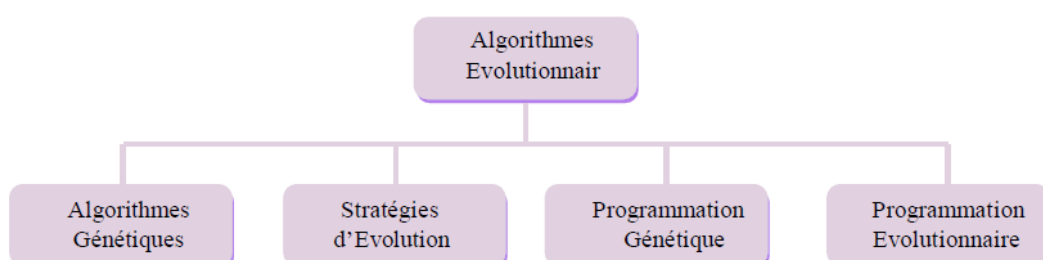


Figure (III-2) : Principales catégories des Algorithmes Evolutionnaires.

III.6 Algorithme génétique :

III.6.1 Introduction :

Le concept de la sélection naturelle développé par Charles Darwin dans son livre « the origin of species » en 1859 allait un siècle plus tard inspirer de nombreux scientifiques comme John Holland pour l'élaboration des algorithmes évolutionnaires (AE). Actuellement désignés sous le terme générique anglo-saxon « Evolutionary computation », les AE sont à l'origine de trois types : les algorithmes génétiques (AG), les stratégies d'évolution et la programmation évolutionnaire. Actuellement, ils trouvent leurs applications dans tous les domaines de technologie ou même encore de l'économie.

III.6.2 Définition :

Les algorithmes génétiques, initiés dans les années 1970 par John Holland, sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : croisement, mutation, sélection. Ils appartiennent à la classe des algorithmes évolutionnaires. On peut dire que l'algorithme génétique est une méthode de programmation qui repose sur le principe de l'évolution pour effectuer la recherche d'une solution adéquate à un problème [28].

III.6.3 Principe :

Cette classe d'algorithme travaille sur une population d'entités abstraites munies d'un génotype formel (par exemple une suite de bits formant un octet : 10010001). Ce dernier possède une signification relative au problème posé, et il en constitue une solution potentielle. Partant d'une population construite aléatoirement, c'est-à-dire où chaque individu a un génotype différent, choisi au hasard, l'algorithme évalue la qualité de la solution proposée par chaque individu. Cette évaluation correspond à la notion biologique d'adaptation dans un écosystème. Les meilleurs individus sont alors sélectionnés pour appartenir à la génération suivante. Ils sont croisés entre eux, à l'image de la reproduction sexuée :

Les génotypes se recombinent par paire. Enfin, quelques individus choisis au hasard voient leur génotype modifié de façon aléatoire, ils subissent une mutation. La nouvelle génération est ainsi constituée, et le processus recommence jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit respecté.

Il existe de nombreuses variantes à cet algorithme, les algorithmes génétiques étant regroupés selon un paradigme de programmation, c'est-à-dire une méthode générale qu'il faut adapter pour des applications précises. Par exemple, il peut ne pas y avoir de mutation, ou bien la population peut

être de taille fixe et évoluer pendant une durée déterminée à l'avance, comme elle peut être de taille variable [29][14].

III.6.4 Paramètres d'un AG :

Pour appliquer un AG à un problème réel, on doit posséder les éléments suivants [30] :

- Un codage des éléments appartenant à la population, le codage des solutions du problème à résoudre doit être choisi avec soin.
- Une fonction d'évaluation ou d'adéquation ou d'adaptation de l'individu qui mesure la qualité de l'individu.
- Un processus d'évolution des générations.
- Des opérateurs pour modifier les individus d'une population de la génération (t) à la génération (t +1) comme le croisement et la mutation.
- Des paramètres de l'AG : les opérateurs précédents dépendent de plusieurs paramètres qui

Sont fixés à l'avance et dont dépend fortement la convergence de l'algorithme :

- ✓ taille de la population: c'est-à-dire le nombre d'individus dans la population. Si la taille est trop petite, l'AG peut ne pas converger, par contre si elle est trop grande, l'évaluation des individus peut être très longue.
- ✓ Probabilité de croisement et de mutation. Les valeurs de ces probabilités peuvent varier d'une application à l'autre.

III.7 Optimisation par les essaims de particules (PSO) :

L'optimisation par essaim de particules PSO (Particle Swarm Optimization) est une technique d'optimisation parallèle développée par Kennedy et Eberhart. Qui se sont inspirés du comportement collectif des vols d'oiseaux ou des bancs de poissons. Elle est inspirée du comportement social des individus qui ont tendance à limiter les comportements réussis qu'ils observent dans leur entourage, tout en y apportant leurs variations personnelles. A la différence des algorithmes génétiques, qui miment les mécanismes génétiques de l'évolution, PSO s'inspire plutôt de la formation d'une culture. Dans l'ouvrage, se trouve les racines sociales de PSO ainsi que les techniques mathématiques mises en œuvre pour la modélisation [31].



Figure (III.3) : Groupe de : (a) poissons, (b) oiseaux.

III.7.1 L'algorithme PSO :

L'algorithme d'OEP est initialisé par une population de solutions potentielles aléatoires, interprétées comme des particules se déplaçant dans l'espace de recherche. Chaque particule est attirée vers sa meilleure position découverte par le passé ainsi que vers la meilleure position découverte par les particules de son voisinage (ou de tout l'essaim, dans la version globale de l'algorithme). L'algorithme d'OEP comprend plusieurs paramètres de réglage qui permettent d'agir sur le compromis (exploration – exploitation). L'exploration est la capacité de tester différentes régions de l'espace à la recherche de bonnes solutions candidates. L'exploitation est la capacité de concentrer la recherche autour des solutions prometteuses afin de s'approcher le plus possible de l'optimum. Le choix des paramètres reste en grande partie empirique. Une analyse complète de l'algorithme a été faite par Clerc et Kennedy [26].

III.7.2 Algorithme général

L'algorithme PSO classique peut être décrit sous forme vectorielle de la façon suivante [37] :

$$V_{k+1}^{\rightarrow} = W^{\rightarrow} \times V_k^{\rightarrow} + C_1^{\rightarrow} \times r_1^{\rightarrow} (P_{best}^{\rightarrow} - X_k^{\rightarrow}) + C_2^{\rightarrow} \times r_2^{\rightarrow} (P_{gbest}^{\rightarrow} - X_k^{\rightarrow}) \quad (\text{III.1})$$

$$X_{k+1}^{\rightarrow} = a^{\rightarrow} \times X_k^{\rightarrow} + b^{\rightarrow} \times V_{k+1}^{\rightarrow} \quad (\text{III.2})$$

Le symbole \times signifie ici la multiplication des vecteurs éléments par élément. A l'itération k la vitesse V_k^{\rightarrow} d'une particule est modifiée à partir de sa valeur courante, affectée d'un coefficient d'inertie (W^{\rightarrow}), et de deux forces qui attirent la particule vers sa propre meilleure position passée (P_{best}^{\rightarrow}) et la meilleure position de tout l'essaim (P_{gbest}^{\rightarrow}) et l'intensité de l'attraction est donnée par les coefficients C_1^{\rightarrow} et C_2^{\rightarrow} .

La position de la particule X_k^{\rightarrow} est modifiée à partir de la position courante et de la nouvelle vitesse calculée V_{k+1}^{\rightarrow} , des coefficients et respectivement. L'expérience montre qu'une bonne

exploration du domaine de recherche est obtenue en introduisant les nombres aléatoires r_1^{\rightarrow} et r_2^{\rightarrow} en général avec une répartition uniforme entre 0 et 1.

III.7.3 Algorithme unidimensionnel déterministe :

Chaque coordonnée d'une particule est modifiée indépendamment des autres coordonnées (équations (III.1) et (III.2)). Le seul lien entre les coordonnées est à travers la fonction objectif,

C'est-à-dire à travers les meilleures positions trouvées jusqu'à présent (P_{best}^{\rightarrow}) et (P_{gbest}^{\rightarrow})

Une autre simplification consiste à considérer la version déterministe de l'algorithme, ce qui revient à remplacer les nombres aléatoires par leurs valeurs moyennes (1/2) Avec ces simplifications, l'algorithme unidimensionnel déterministe s'écrit :

$$V_{k+1} = W \cdot V_k + C \cdot (P - X_k) \quad (\text{III.3})$$

$$X_{k+1} = a \cdot X_k + b \cdot V_{k+1} \quad (\text{III.4})$$

Le nouveau coefficient d'attraction (c) est la moyenne des coefficients propre C_1^{\rightarrow} et social C_2^{\rightarrow} le nouveau point d'attraction (p) est la moyenne de (P_{best}^{\rightarrow}) et de (P_{gbest}^{\rightarrow}), pondérés par C_1^{\rightarrow} et C_2^{\rightarrow} respectivement [30].

III.7.4 Principales caractéristiques :

Ce modèle présente quelques propriétés intéressantes, qui en font un bon outil pour de nombreux problèmes d'optimisation, particulièrement les problèmes fortement non linéaires, continus ou mixtes (certaines variables étant réelles et d'autres entières) [32]:

- il est facile à programmer, quelques lignes de code suffisent dans n'importe quel langage évolué.
- il est robuste (de mauvais choix de paramètres dégradent les performances, mais n'empêchent pas d'obtenir une solution).

Pour réaliser son prochain mouvement, chaque particule combine trois tendances : suivre sa vitesse propre, revenir vers sa meilleure performance, aller vers la meilleure performance de ses informatrices.

Signalons, de plus, qu'il existe des versions adaptatives qui évitent même à l'utilisateur la peine de définir les paramètres (taille de l'essaim, taille des groupes d'informatrices, coefficients de confiance).

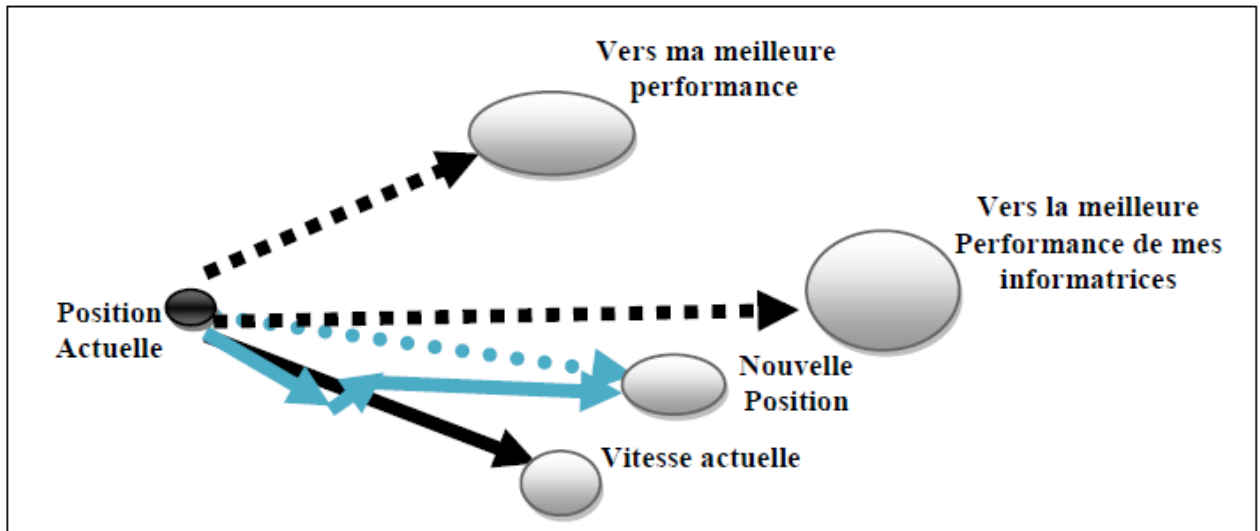


Figure (III.4) : Schéma de principe du déplacement d'une particule.

III.7.5 Le voisinage

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Les particules à l'intérieur d'un voisinage communiquent entre-elles. Différents voisinages ont été étudiés et sont considérés en fonction des identificateurs des particules et non des informations topologiques comme les distances euclidiennes dans l'espace de recherche [33] :

- Topologie en étoile (figure III.15(a)) : le réseau social est complet, chaque particule est attirée vers la meilleure particule notée g_{best} et communique avec les autres.
- Topologie en anneau (figure III.15(b)) : chaque particule communique avec n ($n = 3$) voisines immédiates. Chaque particule tend à se déplacer vers la meilleure dans son Voisinage local notée I_{best} .
- Topologie en rayon (figure III.15(c)) : une particule "centrale" est connectée à tous les autres. Seule cette particule centrale ajuste sa position vers la meilleure, si cela provoque une amélioration l'information est propagée aux autres.

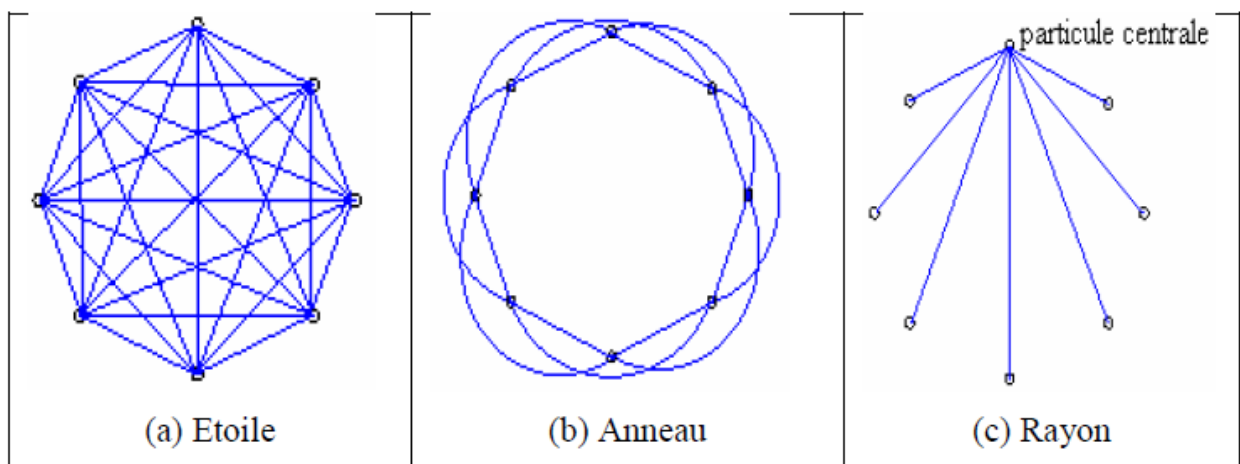


Figure (III.5) : Trois topologies du voisinage différentes.

III.7.6 Étapes de la méthode d'optimisation par essaim de particules :

L'algorithme de cette méthode peut être décrit comme suit [34] :

- **1^{ère} étape** : Initialisation des coefficients C_1^{\rightarrow} et C_2^{\rightarrow} , le coefficient d'inertie (W^{\rightarrow}).
- **2^{ème} étape** : La création de la population initiale aléatoirement et le calcul de la fitness de Chaque particule (P_{best}) : la meilleure position de la particule i dans la population actuelle; (P_{gbest}), : la meilleure position dans toute les populations (la meilleure des meilleures).
- **3^{ème} étape** : Le calcul de la nouvelle vitesse et nouvelle position de chaque particule par l'utilisation des formules (III-3) et (III-4).
- **4^{ème} étape** : Le calcul de la meilleure fitness de la population initiale et comparer par la précédente pour trouver la meilleure de toute les populations (P_{gbest}).
- **5^{ème} étape** : incrémentation du nombre d'itération $t = t+1$.
- 6^{ème} étape** : Si un critère d'arrêt est satisfait alors passer à la 7^{ème} étape. Autrement, aller à la 3^{ème} étape.
- **7^{ème} étape** : La position enregistrée dans (P_{gbest}) est la solution optimale.

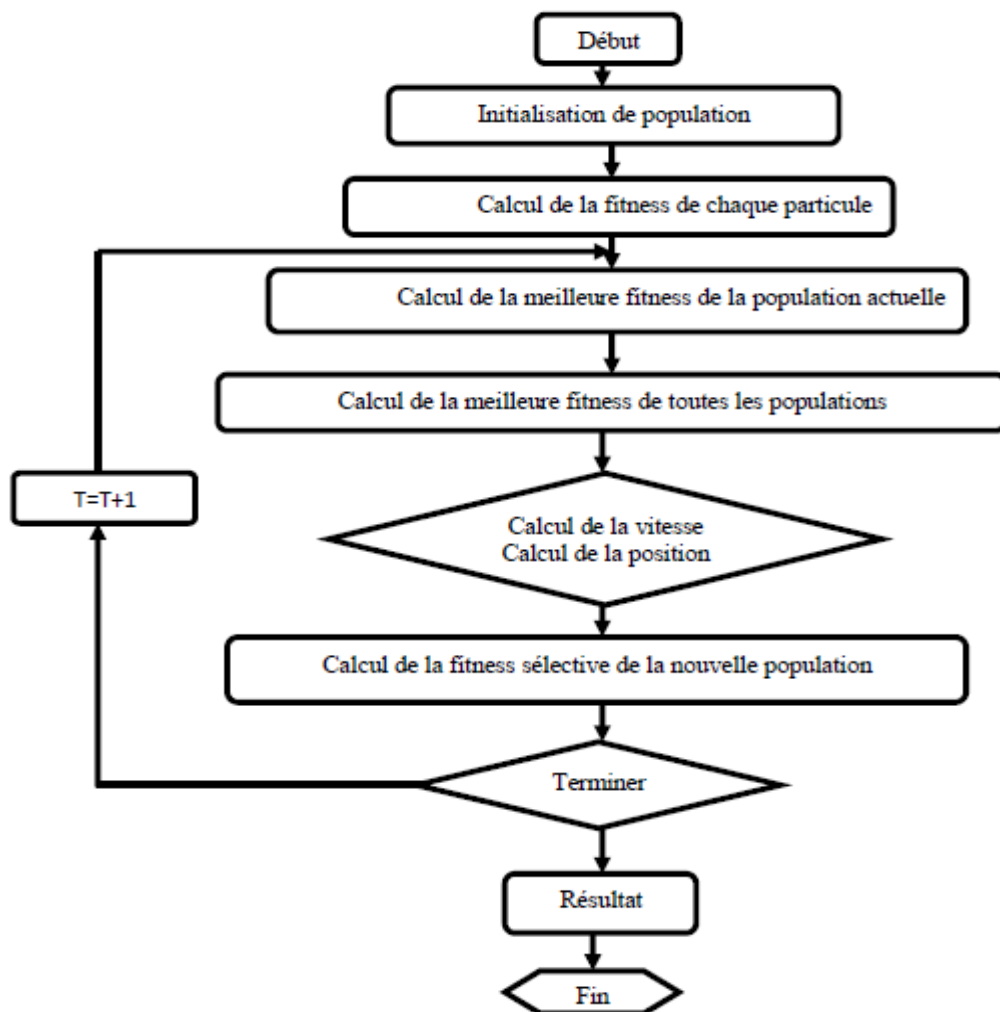


Figure. (III.6) : Présente l'organigramme de la méthode PSO.

III.7.7 Étapes de la méthode PSO appliquée à l'OPF [34] [30] :

Etape 1 : Introduction de toutes les données.

Introduire toutes les données concernant le réseau électrique tel que les résistances, les réactances, les limites des puissances des générateurs et les données de la méthode utilisée comme : le nombre d'itération (génération), le nombre de particule et les paramètres de la méthode (coefficient d'inertie (w), l'intensité d'attraction (C_1) et (C_2)).

Etape 2 : Initiation

La création aléatoire de l'essaim initial, cet essaim est un ensemble des particules et chaque particule contient les valeurs des puissances délivrées par chaque générateur (P_{Gi}) en utilisant les valeurs réelles dans l'espace des valeurs permises. Puisque chaque puissance (P_{Gi}) a une limite supérieure $P_{Gi\ max}$ et une limite inférieure $P_{Gi\ min}$.

Etape 3 : évaluation de la fonction objective.

Chaque particule est placée sur la position initiale suivant la valeur de la fonction fitness, En se basant sur le concept de ce processus pour chaque particule de l'essaim. Dans cette étape. L'influence directe de la valeur de la fonction objectif de l'OPF dépend de la position de chaque particule.

Etape 4 : Le calcul de la meilleure position de chaque particule jusqu'ici (P_{ibest}) et la meilleure position dans toutes les générations (P_{gbest})

Dans cette étape, on calcule les deux meilleures positions, la première c'est la meilleure position de chaque particule jusqu'ici (P_{ibest}) et la deuxième c'est la meilleure position de toutes les générations (P_{gbest}) Ce calcul se fait suivant les valeurs de la fonction fitness.

Etape 5 : La modification de la vitesse et de la position.

Selon l'équation (III.1), chaque particule choisit la prochaine direction en prenant en considération la vitesse initiale (la vélocité) de chaque particule (V_0), l'inertie (w) et les valeurs de l'intensité d'attraction C_1 et C_2 . Et enfin chaque particule se déplace vers sa nouvelle position suivant équation (III.5).

$$X_{k+1}^{\rightarrow} = X_k^{\rightarrow} + V_{k+1}^{\rightarrow} \quad (III.5)$$

Chaque position (X_{k+1}^{\rightarrow}) est l'image de la puissance délivrée par le générateur correspondant.

Etape 6 : Correction de ces puissances générées dans le programme de l'écoulement de puissance.

III.7.8 Avantages de l'OEP :

L'optimisation par essaim de particules est une méthode d'optimisation itérative stochastique qui s'applique aussi bien aux problèmes à variables continues qu'aux problèmes à variables discrètes,

contrairement à d'autres méthodes d'optimisation. De plus, cette méthode permet en général de converger rapidement vers une solution approchée de bonne qualité. C'est une méthode d'optimisation très largement répandue dont le fonctionnement est relativement simple et qui peut être implémentée très facilement. La version adaptative évite à l'utilisateur d'avoir à fixer les paramètres de l'algorithme comme la taille de l'essaim, les coefficients de confiance C_1 et C_2 ou le nombre de particules informatrices. A l'initialisation de l'algorithme, il est seulement nécessaire de correctement décrire le problème à optimiser, les contraintes du problème, la fonction coût que l'on veut minimiser [22].

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté en l'étude les mécanismes des méthodes méta heuristiques. Il nous a permis de mieux saisir les concepts utilisés par les algorithmes méta-heuristiques et leurs utilisations possibles. Et l'étude l'optimisation par l'algorithme génétique et essaim particule. Ainsi que leur application pour la résolution de problème de répartition optimale de la puissance électrique. Le chapitre suivant se propose d'appliquer ces méthodes. Elles seront testées et discutées sur des fonctions tests ainsi que pour petits exemples de la répartition optimale de la puissance dans le système électrique.

Chapitre IV

Résultats et Interprétation

IV.1 Introduction :

Nous avons assisté ces dernières années à une croissance très rapide des travaux utilisant les techniques méta heuristiques et d'intelligence artificielle dans les systèmes électriques. Cela est dû à la simplicité de leurs mécanismes, la facilité de leur mise en application et leur efficacité même pour les problèmes complexes. Ce chapitre est consacré au test des algorithmes cités ci-après sur des réseaux électriques de petites et moyennes échelles.

1- Nous avons traité le problème d'optimisation de la fonction d'émission des gazes toxiques et la fonction de coût vers l'environnement sur un premier réseau test de 3 unités, ou 30 jeux de barre et 10 unités.

2- Nous avons de calcul mais dans notre cas on va utiliser des Coefficients B pour résoudre ce problème.

3- Nous avons appliquée l'algorithme d'optimisation par Essaim de Particules pour la résolution du problème de répartition optimale de puissance avec plusieurs fonctions objectives.

Les tests seront effectués sur des réseaux électriques de petites et moyennes échelles. Ces algorithmes ont été développés dans l'environnement MATLAB version 7.12, et exécutés par un microprocesseur Pentium 3 avec 4 GP de RAM et CPU 1.8 GHZ.

IV.2 L'objectif de chapitre :

On a vu que la solution du problème de l'OPF revient à déterminer un état de fonctionnement « optimal » du système de puissance. Les différentes d'intelligence artificielle du problème de l'OPF,

sont définies par le choix des fonctions à minimiser, des différentes contraintes. L'inconvénient des techniques métras heuristiques pour la résolution du problème de l'OPF, est le traitement rigide des contraintes qui doivent être constamment satisfaites. En pratique, les contraintes d'un système électrique réel peuvent être divisées en deux groupes : les limites physiques de commande et les limites de fonctionnement. Les limites physiques sur les variables de commande ne peuvent pas être dépassées [26].

Nous essayons d'expérimenter avec les deux méthodes pour trouver des solutions et chercher le plus bas niveau de coût et le plus rapide.

$$\sum_{f=1}^k P_{gi} = P_D + P_L$$

(IV.1)

Chaque puissance active générée (P_{gi}) est limitée par une limite inférieure $P_{gi \min}$ est une limite supérieure $P_{gi \max}$.

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

(IV.2)

IV.2.1 Optimisation mono-objectif :

A l'aide d'un Logiciel MATLAB et grâce à un programme réaliser à l'environnement de ce dernier ; qui fait appel à des fonctions et des instructions ; afin d'exécuter une optimisation monoobjectif de l'une des fonctions soit un cout de génération, émission des gaz toxiques dans un réseau électrique qui sont présenté par le système de l'écoulement de puissance [37].

IV.2.1.1 Minimisation du coût de production :

Les générateurs à combustibles distincts possèdent différents coûts pour fournir le même 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 centre de la charge donne des pertes de transmission énormes, et donc le rend peu économique de fonctionner. La première fonction d'objectif c'est la minimisation du coût total de puissance active générée par des unités de productions [40].

$$F(x) = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta P_{gi} + \gamma P_{gi}^2) [$/h] \quad (IV.3)$$

Pour les réseaux électriques à grande puissance la fonction s'écrit sous la forme :

$$F(x) = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + b P_{gi} + c P_{gi}^2) + |e_i \sin[f_i(P_{gi} - P_{gi}^{max})]| \quad (IV.4)$$

$F(Pg)$: C'est la somme des fonctions du coût de combustible pour toutes les centrales électriques, P_{gi} : puissances active générée par les génératrices thermiques.

IV.2.1.2 Minimisation d'émission :

Le total des émissions, tels que le SO₂ ou de NO_x, libéré par la combustion de combustibles fossiles dans les centrales thermiques, peut être défini comme la somme d'une fonction quadratique et une fonction exponentielle. Dans ce travail seulement l'émission dû à NO_x est prise en compte. La formulation mathématique de cette fonction est illustrée comme suit [37] :

$$E_i(P_i) = \alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2 + \mu_i \exp(\zeta P_{gi}) \text{Ton/hr} \quad (IV.5)$$

Avec α , β , μ , γ , et ζ sont les coefficients des émissions de pollution pour l'unité i . $E(Pg)$ valeur d'émission en (tonne /h). P_{gi} est la puissance active générée par les génératrices thermiques.

IV.2.2 Valeurs des paramètres d'un PSO :

Tableau (IV.1) : Paramètres de simulation d'algorithme PSO

Paramétrés	
Taille de population	40
Nombre maximum de générateur	[50-100]
Wmax et Wmin	[0.9-0.4]
C1 = C2	1

IV.3 Résultats Obtenues :

IV. 3.1 Réseau 3 unités :

IV. 3.1.1 Optimisation du coût de production :

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissance actives et réactives des trois générateurs sont donnés dans le tableau (IV.2).

Tableau (IV.2) : Les données coûts de production des du réseau électrique à 3unités

J.D. B	Pgi		Coefficient de coût		
	Pmin (MW)	Pmax (MW)	α	β	γ
1	50	250	328.13	8.663	0.00525
2	5	150	136.91	10.04	0.00609
3	15	100	59.16	9.76	0.00592

Tableau (IV.3) : Puissances et coûts de production du réseau électrique à 3unités.

J.D.B	Pg [MW]		
	PSO	AG [41]	AIS [41]
1	207.6645	194.26	198.7575
2	87.2781	50.00	77.99225
3	15.0000	79.52	35.19886
Puissance totale générée (MW)	309.9301	323.7800	311.9486
Puissance totale demandée (MW)	300	300	300
Perte de active de puissance	9.9301	23.7800	11.9486
Cout de production (\$/h)	3619.8606	3737.2	3624.44

La valeur des pertes de puissance totale générée qui réside dans le réseau vaut **309.9301MW** en utilisant Coefficients B de pour le problème de l'écoulement de puissance et perte **9.9301MW**. obtenus par utilisation de l'algorithme Essaim de Particules (PSO) proposé comparé avec l'auteur de méthodes AG , AIS dans la référence[38].qui est très proche à la valeur optimal obtenu Le tableau(IV.3) représente la valeur de la fonction coût optimisé et les valeurs de fonctions non optimisées; les pertes de puissance totale où le coût optimisé est **3619.8606\$/h**. par contre le tableau(IV.3) représente les puissances générées par chaque centrale dans chaque JB de génération où la grande puissance est celle de JB n°1.

IV. 3.1.2 Convergence du coût de production :

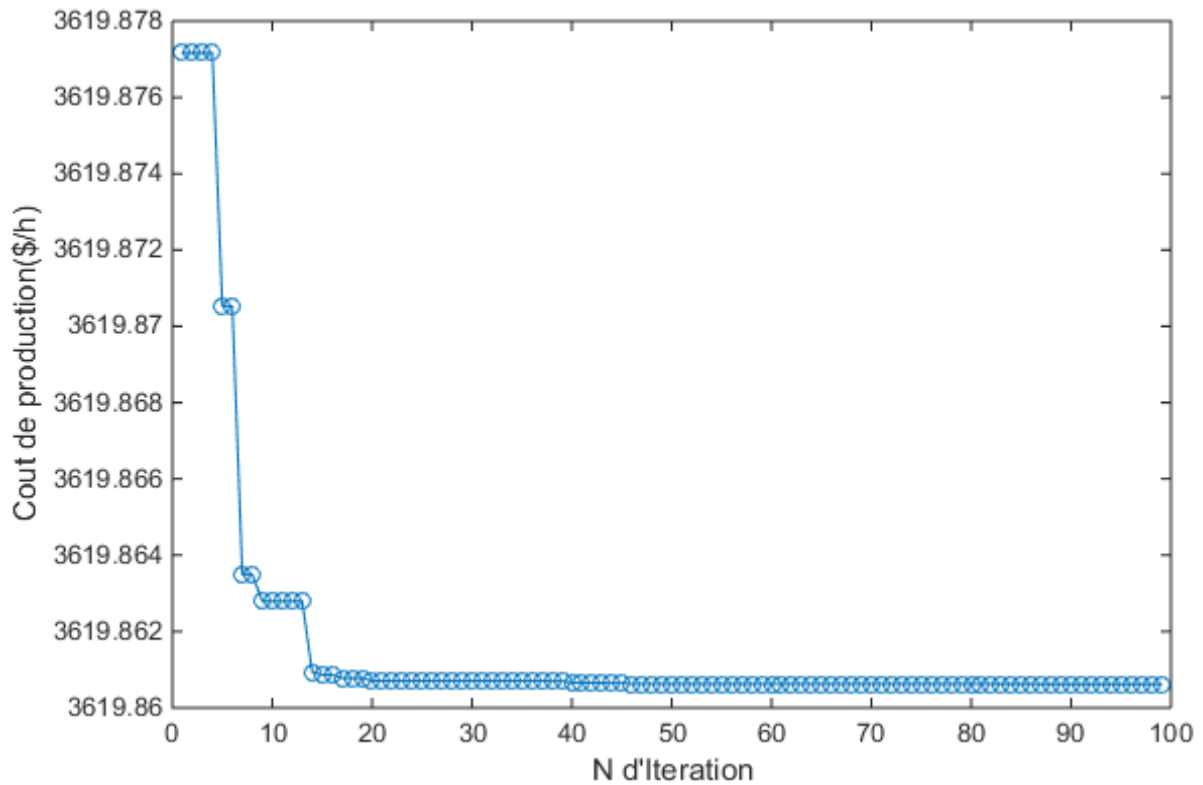


Figure (IV.1) : Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 3 unités par PSO.

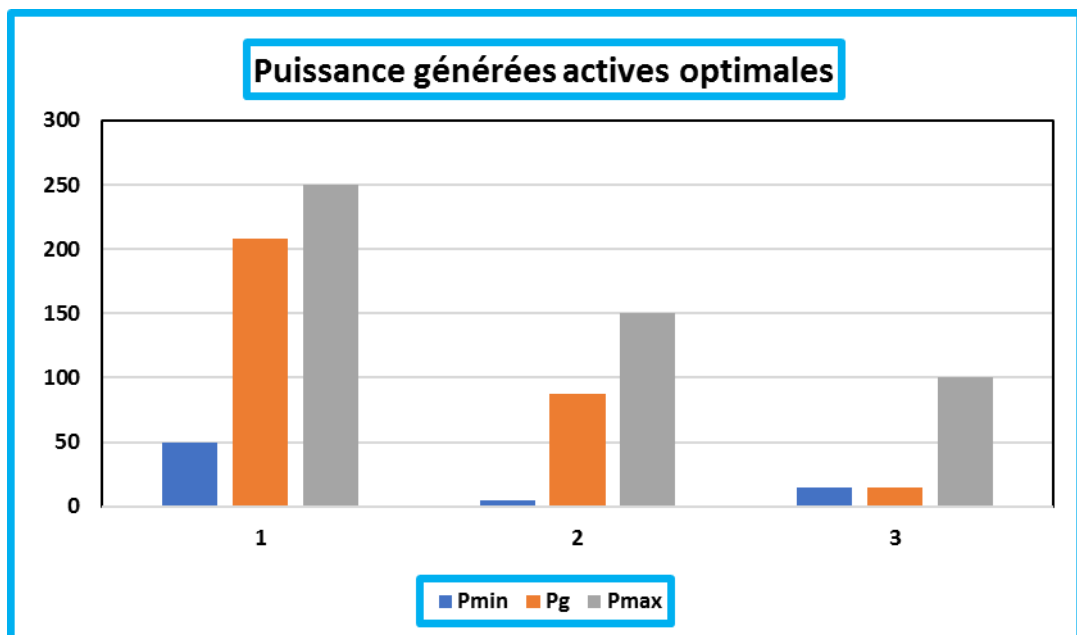


Figure (IV.2): Puissances actives générées du réseau électrique à 3 unités par PSO.

Figure (IV.2) ci-dessus présente les puissances générées (en rouge) par chaque centrale électrique dans chaque J.B de génération et les limites de chaque centrale ; la puissance minimale (en vert) et la puissance maximale (en bleu) on remarque que la puissance délivrée par chaque générateur est dans leur limite admissible cela signifie que la contrainte de la puissance générée est respectée.

Interprétation :

Alors on peut dire que les résultats obtenus concernant la minimisation de la fonction coût sont des valeurs optimales respectant les contraintes de l'écoulement de puissance tel que les tensions ainsi que les puissances générées par chaque centrale et les puissances transitées.

IV.3.2 Réseau 10unités :

La robustesse des deuxièmes techniques d'optimisation proposées a été validée sur des réseaux larges. Ce premier réseau test considéré est un réseau typique composé de dix unités de production (10 unités). Pour le premier cas minimisation du coût, Pour le deuxième cas qui est la minimisation de l'émission de gaz, on constate que la meilleure valeur du coût obtenu est celle obtenu par PSO [37].

IV. 3.2.1 Optimisation du coût de production :

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissances actives des 10 générateurs sont donnés dans le tableau (IV.4).

Tableau (IV.4) : Les données coûts de production du réseau électrique à 10 unités.

J.D. B	P _{gi}		Coefficient de coût		
	P _{min}	P _{max}	α	β	γ
1	10	55	1000.403	40.5407	0.12951
2	20	80	950.606	39.5804	0.10908
3	47	120	900.705	36.5104	0.12511
4	20	130	800.705	39.5104	0.12111
5	50	160	756.799	38.539	0.15247
6	70	240	451.325	46.1592	0.10587
7	60	300	1243.531	38.3055	0.03546
8	70	340	1049.998	40.3965	0.02803
9	135	470	1658.569	36.3278	0.02111
10	15	470	1356.659	38.2704	0.01799

Tableau (IV.5) : Puissances et coûts de production du réseau électrique à 10unités

J.D. B	P _g [MW]	
	PSO	CIHSA [39]
1	55.0000	55.0000
2	80.0000	80.0000
3	107.0251	106.9347
4	99.89873	100.6003
5	81.89797	81.47679
6	83.21844	83.02687
7	300.0000	300.0000
8	340.0000	340.0000

9	470.0000	470.0000
10	470.0000	470.0000
Puissance totale générée (MW)	2087	2087.039
Puissance totale demande (MW)	2000	2000
Perte d'active de puissance (MW)	87.04	87.0387
Cout de production (\$/h)	111261.5015	111497.6310

La valeur des pertes de puissance totale générée qui réside dans le réseau vaut **2087 MW** en utilisant la Coefficients B de pour le problème de l'écoulement de puissance et perte **87.04 MW**. Le tableau (IV.5) représente la valeur de la fonction coût optimisé et les valeurs de fonctions non optimisées ; les pertes de puissance totale où le coût optimisé est **111261.5015 \$/h.** par contre le tableau (IV.5) représente les puissances générées par chaque centrale dans chaque JB de génération où la grande puissance est celle de JB n°9 et 10.

IV.3.2.2 Convergence du coût de production :

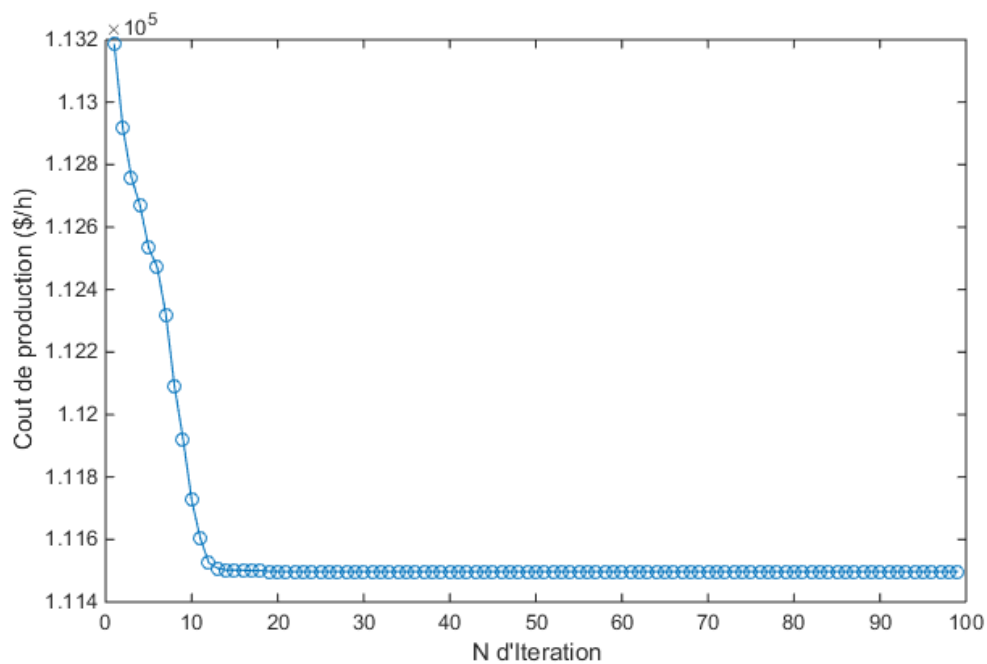
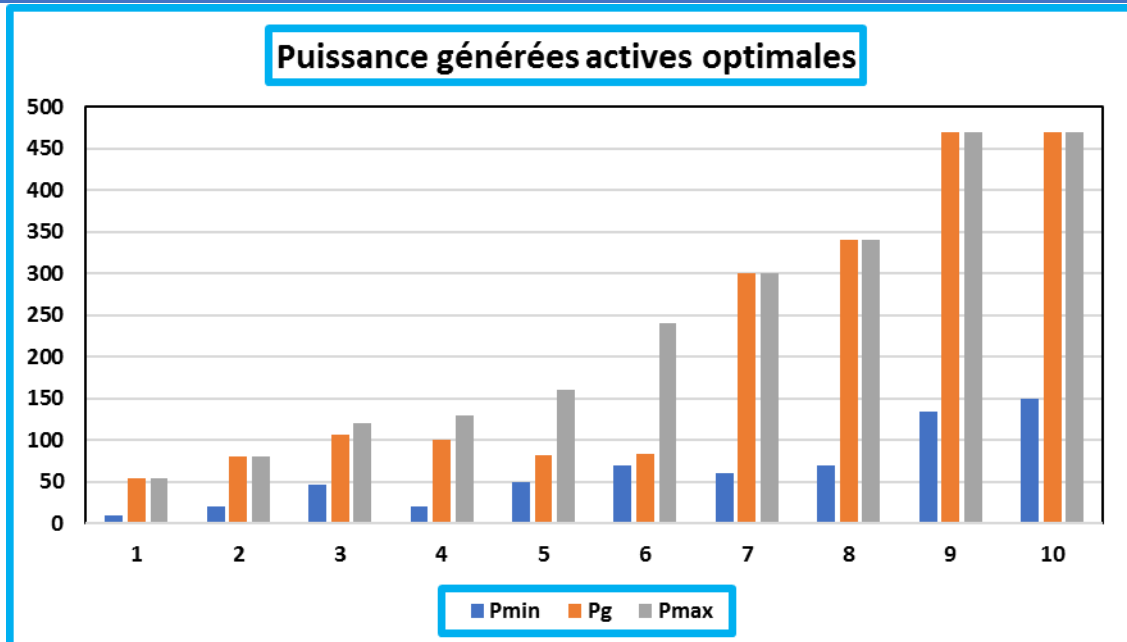


Figure (IV.3) : Evolution du coût de production pour le réseau électrique à 10 unités par PSO.



Figure(VI.4) : Puissances actives générées du réseau électrique à 10 unités par PSO.

La Figure (IV.4) ci-dessus présente les puissances générées (en rouge) par chaque centrale électrique dans chaque JB de génération et les limites de chaque centrale ; la puissance minimale (en bleu) et la puissance maximale (en vert) on remarque que la puissance délivrée par chaque générateur est dans leur limite admissible cela signifie que la contrainte de la puissance générée est respectée.

Interprétation

D'après les résultats obtenus à partir de l'optimisation mon-objective de coût d'émission, de puissance sont des valeurs optimales respectent les contraintes de l'écoulement de puissance telle que de tension ainsi que les puissances générées par chaque centrale et les puissances transitées, et minimisé la fonction des pertes de puissance.

IV. 3. 2.3 Optimisation du coût d'émission :

Les coefficients de la fonction quadratique de coût et les limites min et max des puissances actives des 10 générateurs sont donnés dans le tableau (IV.6).

Tableau (IV.6) : Les données coûts d'émission du réseau électrique à 10 unités.

I.D.B	Pgi		Coefficients de coût				
	Pmin(MW)	Pmax(MW)	α	β	γ	ξ	λ
1	10	55	36000.12	-398.64	4.702	0.25475	0.01234
2	20	80	35000.56	-395.24	4.652	0.25475	0.01234
3	47	120	33000.56	-390.23	4.652	0.25163	0.01215
4	20	130	33000.56	-390	0.420	0.25163	0.01215

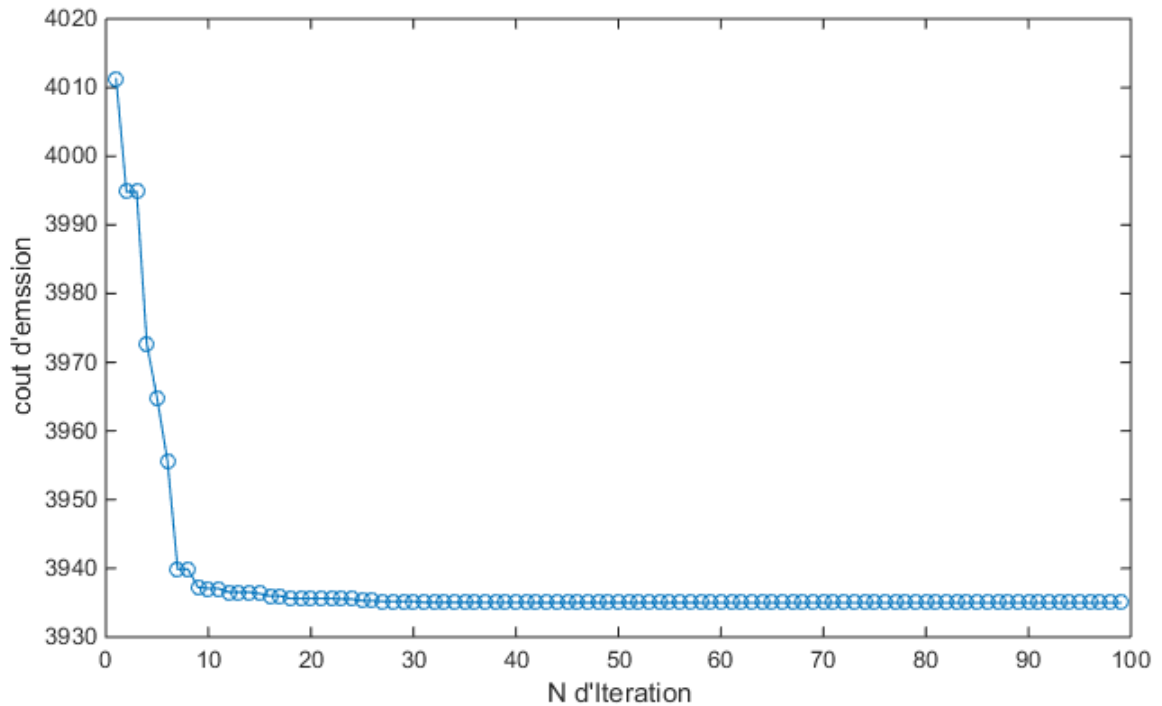
5	50	160	1385.93	+023.77	0.420	0.2497	0.012
6	70	240	1385.93	+032.77	0.680	0.2497	0.012
8	70	340	4026.69	-054.55	0.680	0.2499	0.1203
9	135	470	4289.55	-051.12	0.460	0.2547	0.01234
70	150	470	4289.55	-051.12	0.460	0.2547	0.01234

Tableau(IV.7) : Puissance et coûts d'émission du réseau électrique 10unités.

J.D. B	Pg[MW]	
	PSO	CIHSA[39]
1	55.0000	55.00000
2	80.0000	80.0000
3	80.9924	81.14990
4	81.2162	81.35977
5	160.0000	160.0000
6	240.0000	240.0000
7	300.0000	294.5079
8	293.8337	297.26892
9	395.8718	396.7203
10	394.6637	395.5878
Puissance totale générée (MW)	2082	2081.595
Puissance totale demandée	2000	2000
Perte de active de puissance (MW)	82.0030	81.59466
Cout de émission	3934.9957	3932.243301

La valeur des pertes de puissance totale générée qui réside dans le réseau vaut **2082MW** en utilisant Coefficients B de pour le problème de l'écoulement de puissance et perte **82.0030 MW**. Le tableau (IV.7) représente la valeur de la fonction de émission optimisé et les valeurs de fonctions non optimisées les pertes de puissance totale où le coût optimisé est **3934.9957** par contre le tableau (IV.7) représente les puissances générées par chaque centrale dans chaque JB de génération où la grande puissance est celle de JB n°9.

IV. 3. 2. 3.1 Convergence du coût d'émission :



Figure(IV.5) : Evolution du coût d'émission pour le réseau électrique à 10 unités par PSO.

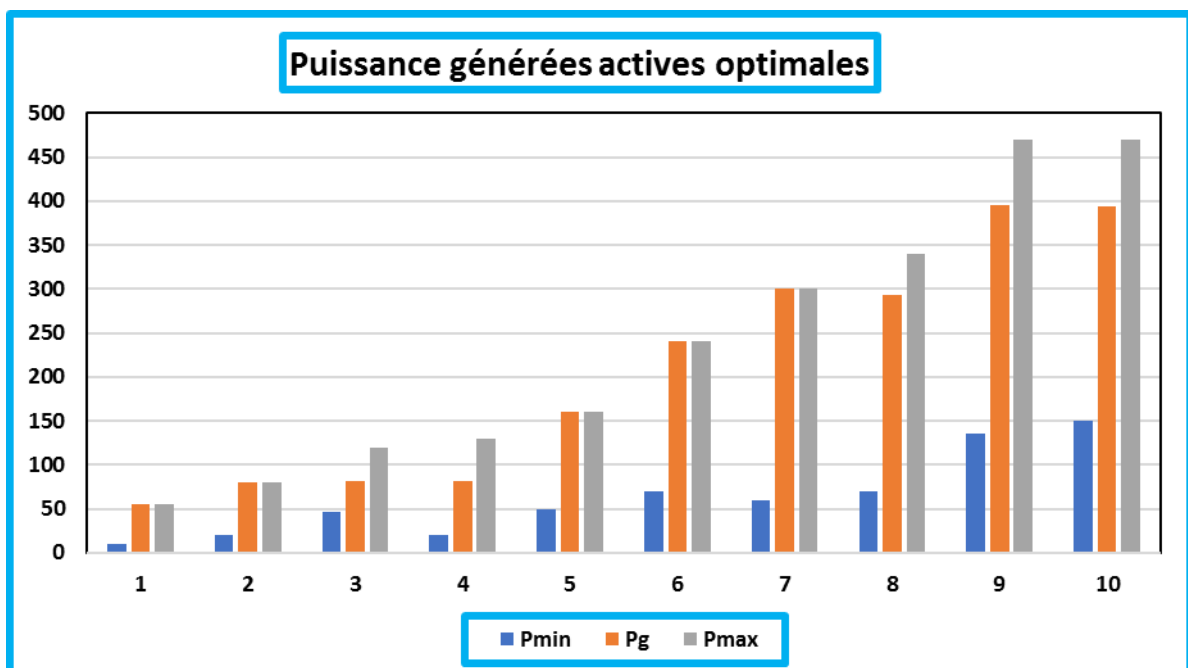


Figure (IV.6) : Puissances actives générées du réseau électrique à 10 unités par PSO.

La Figure (IV.6) ci-dessus présente les puissances générées (en rouge) par chaque centrale électrique dans chaque JB de génération et les limites de chaque centrale ; la puissance minimale (en bleu) et la puissance maximale (en vert) on remarque que la puissance délivrée par chaque générateur est dans leur limite admissible cela signifie que la contrainte de la puissance générée est respectée.

Interprétation

D'après ces tableaux et ces figures on peut dire que les résultats obtenus concernant la minimisation de la fonction de émission de puissance sont des valeurs optimales respectent les contraintes de l'écoulement de puissance telle que de tension ainsi que les puissances générées par chaque centrale et les puissances transitées, et minimisé la fonction des perte de puissance.

IV.4 Optimisation multi-objectifs :

Dans la partie précédente, on a vu que l'optimisation mono-objectif ont permis d'obtenir des très bons résultats pour des problèmes traités séparément, par contre, les fonctions non optimisées sont inacceptables, alors l'exigence de prendre en considérations les fonctions proposées par une combinaison entres eux dans une optimisation multi-objectif. Le problème multi-objectif d'OPF (optimisation power flow) a été formulé avec différentes combinaisons notamment le coût de production, pertes de puissance, émission. On va étudier les cas suivants : Minimisation de cout de combustible et d'émission des gaz toxiques[40].

IV. 4.1 Minimisation de la fonction (coût de combustible et l'émission de gaz) :

L'objectif principal d'optimiser plusieurs fonctions objectives simultanément est de déterminer la relation et l'évolution de différentes fonctions objectives afin de trouver le compromis du point de vue technique et économique [41].

Tableau (IV.8): Les données (coût combustible et l'émission) du réseau électrique 10 unités.

Heur	Pd	Pf	Heur	Pd	Pf	Heur	Pd	Pf
1	1036	3.6913	9	1924	10.3942	17	1480	4.1162
2	1110	3.6913	10	2022	11.3477	18	1628	8.0606
3	1258	3.6913	11	2106	13.671	19	1776	8.0606
4	1406	4.1162	12	2150	13.671	20	1972	11.3477
5	1480	4.1162	13	2072	11.3477	21	1924	10.3942
6	1628	8.0606	14	1924	10.3942	22	1628	8.0606
7	1702	8.0606	15	1776	8.0606	23	1332	4.1162
8	1776	8.0606	16	1554	4.1162	24	1184	3.6913

Tableau (IV.9) : Puissance et coût combustible et l'émission du réseau électrique à 10unités.

H	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1	45.0658	50.3112	47.1809	48.7547	50	70	139.104	139.55	237.757	230.308
2	47.4082	52.9559	55.4021	51.3554	50	70	150.983	152.761	255.377	249.201
3	52.4473	58.4799	60.6657	56.804	54.9831	70	175.823	180.76	292.454	288.716
4	55	64.0972	66.1658	62.6418	66.4403	70.0001	201.638	209.45	326.536	325.783
5	55	67.1522	68.9891	65.3998	71.4212	70.0002	214.284	224.022	345.151	345.079
6	55	72.1298	73.1309	71.0471	99.3297	105.953	237.662	246.034	361.516	361.657
7	55	79.9579	75.3392	73.3549	105.204	113.919	249.197	258.316	376.063	376.349
8	55	80	77.8566	75.9332	111.988	122.898	261.974	272.382	391.573	392.62
9	55	80	82.1193	80.6263	137.375	155.362	285.95	296.194	413.879	414.875
10	55	80	83.8038	82.4209	158.446	166.756	300	340	419.323	421.463
11	55	80	85.9339	86.0352	160	24	300	34	425.705	424.74
12	55	80	88.5092	87.5029	160	205.068	300	331.237	470	470
13	55	80	87.4595	86.2165	160	184.08	300	325.034	441.445	442.532
14	55	79.9954	80.4777	79.0042	159.854	149.027	299.938	287.415	404.604	405.668
15	55	80	77.8916	75.9094	112.049	122.938	261.909	272.41	391.559	392.555
16	55	69.7887	71.5508	68.1767	76.4437	75.2557	226.796	238.006	361.768	362.608
17	55	67.0869	68.9595	65.523	71.4918	70.0006	214.389	224.333	344.676	345.031
18	55	79.3315	72.6904	70.9685	98.5303	104.904	236.5	244.691	360.681	360.139
19	55	79.9694	77.8793	75.9424	112.079	122.899	262.041	272.399	391.483	392.528
20	55	80	82.9539	81.5876	160	165.155	291.112	300.9	417.67	418.569
21	55	80	82.1405	80.6343	137.305	155.345	286.028	296.09	413.953	414.887
22	55	72.1217	73.1453	71.0386	99.3245	105.949	237.603	246.254	361.53	361.491
23	55	61.4353	63.4626	59.8824	61.1966	70.0001	188.568	194.918	308.593	306.224
24	50.0045	55.7572	58.1229	54.1298	50.0017	70	163.788	167.23	274.589	269.564

Tableau(IV.10): Comparaison entre les résultats finals coût combustible et l'émission du réseau électrique à 10unités.

	PSO	NSGA-II[42]
Le cout total (\$)	2279447.151	2656300
Emission total (Ib)	5968540.104	304120
Le perte total (MW)	1290	/

Dans l'étude de ce cas, on a appliqué notre programme développé à un multi-objectif minimisation des deux fonctions objectives : coût de combustible et émission des gaz toxiques. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (IV.10) la valeur optimale du totale coût et obtenu égale à **2279447.151 \$** et le valeur de émission et obtenu égale à **5968540.104Ib**. Ces résultats ont été obtenus dans les (24 heures) cette valeur est meilleure aux résultats obtenus dans la référence [42], minimisation de coût de production par apport au cas d'optimisation multi-objectif pour les deux autres fonctions émission des gazes toxiques et les pertes.

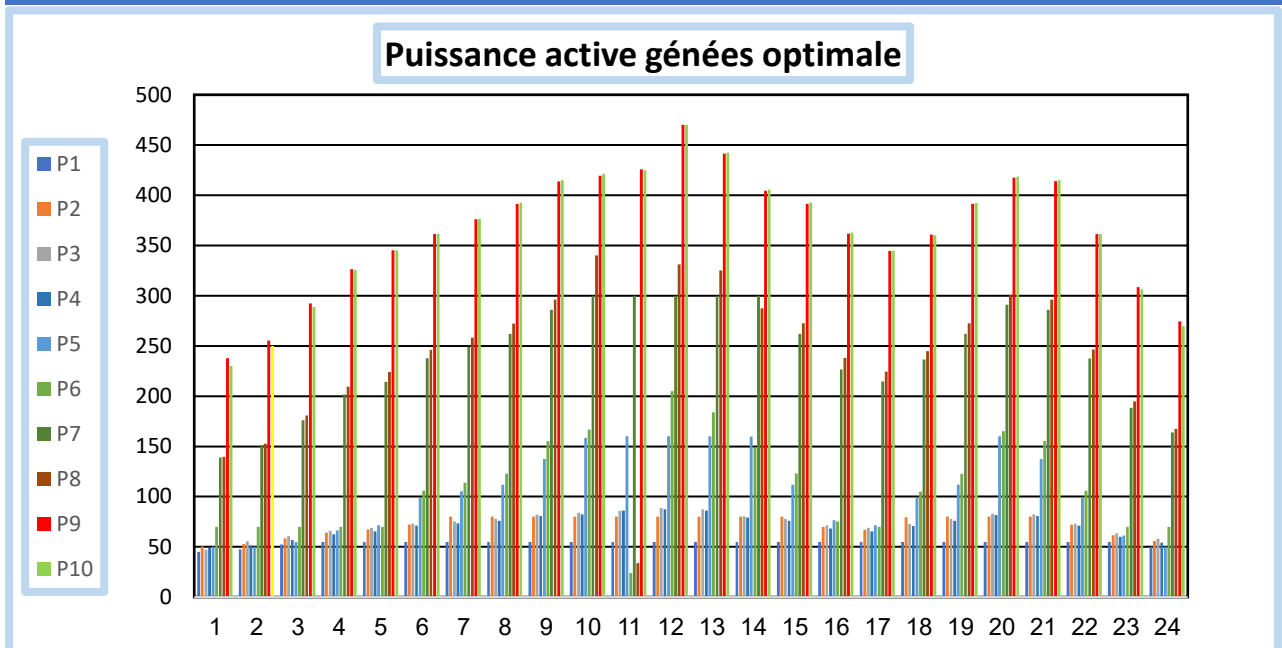


Figure (IV.7) : Puissances actives générées du réseau électrique à 10 unités par PSO (multi objectif).

Interprétation

D'après les résultats obtenus à partir de l'optimisation multi-objective de coût de combustible, émission, on peut constater que les résultats respectent les contraintes de l'écoulement de puissance que ce soit les limites de puissance ou des puissance transitées.

IV.5. Dispatching économique dynamique :

Nous avons consacré cette section à l'étude de dispatching économique dynamique, cette fois ci le problème de répartition optimale des puissances actives générées n'est plus statique mais prend une dimension dynamique dans le temps, la demande n'est plus constante mais elle est variable d'une heure à l'autre (24 heures) [26].

IV.5.1 Ramp up et Ramp down:

Après voir l'influence de l'effet de l'ouverture de vanne sur le coût total de production, une nouvelle contrainte s'ajoute à la totalité de contraintes de l'optimisation pour pouvoir examiner le cas le plus réel, il s'agit d'introduire cette fois les contraintes Rampe des générateurs de production, or les générateurs de production ont en réalité des limites inférieures et supérieures de production d'une heure à l'autre qu'il ne peut pas les dépassées [43].

Tableau (IV.11) : Puissance et coût combustible et l'émission avec Ramp up et Ramp down du réseau électrique à 10unités.

H	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1	55	53.896 2	53.681	130	95.8547	70.0012	120.166 2	120.204 6	177.767 7	179.824
2	55	52.684 4	55.0847	130	107.009 3	78.0847	136.297 7	125.264 5	197.336 6	196.792 6
3	55	60.572 1	59.6262	130	157.009 3	82.6262	158.953 5	155.264 5	226.261 7	202.928 8
4	55	57.838 1	69.9448	130	160	108.653 3	188.953 5	184.458 5	256.261 7	232.928 8
5	55	71.887	67.5645	130	160	119.884 1	194.413 1	186.753 3	274.170 3	262.928 8
6	55	75.404 3	72.7087	130	160	169.884 1	215.093 7	216.753 3	291.858 5	292.928 8
7	55	80	68.1694	130	160	167.423 8	242.462 5	222.516 1	310.707 7	322.928 8
8	55	75.991 3	76.3556	130	160	187.452 8	249.367 8	228.488 2	339.095 2	336.822 5
9	55	80	76.9055	130	160	222.379 7	279.367 8	258.488 2	369.095 2	366.822 5
10	55	80	79.9076	130	160	222.994 7	279.367 8	296.058 9	399.095 2	396.822 5
11	55	80	82.1892	130	160	235.409 2	300	298.225 4	429.095 2	426.822 5
12	55	80	79.8325	130	160	240	300	311.096 8	443.539	445.715 6
13	55	80	79.2078	130	160	228.839	291.353 1	292.554 6	422.483 9	420.272 1
14	55	74.615 7	74.5658	130	160	198.162	261.369 9	262.571 4	392.500 7	390.288 9
15	55	70.448 1	70.3106	130	160	167.021	231.373 2	232.574 6	362.504	360.292 2
16	55	56.589 5	56.1839	130	121.433 8	117.021 1	201.373 2	202.574 6	332.504	330.292 2
17	55	61.841	61.3011	130	160	106.996	173.063	172.592	302.505	300.293

7						6	7	8	9	5
1	55	75.266	67.1097	130	160	156.996	203.063	202.592	300.118	330.293
8		7				6	7	8	7	5
1	55	80	76.9751	130	160	187.984	233.063	255.389	330.118	360.293
9						9	7	2	7	5
2	55	80	117.652	130	160	237.984	263.063	255.389	360.118	390.293
0			1			9	7	2	7	5
2	55	75.526	75.1341	130	160	201.631	264.857	265.174	390.118	381.392
1		3				1	4	7	7	4
2	31.055	30.981	47	129.998	110	151.631	234.857	235.174	360.118	351.392
2	6	9		6		1	4	7	7	4
2	55	59.875	58.9576	130	160	97.5908	162.557	166.741	235.781	239.722
3		5					2	4	8	3
2	55	57.432	57.2478	130	129.856	77.267	143.233	143.265	207.753	209.822
4		7			7		1	8	4	1

Tableau (IV.12) : Comparaison entre les résultats finals Ramp up et Ramp down du réseau électrique à 10unités.

	PSO	IBFA [38]
Le coût total (\$)	2279447.151	2 614 341.5470
Emission total (Ib)	5968540.104	295 833.0308
Le perte total (MW)	1290.01	1319.9481

Dans ce cas d'étude, l'algorithme PSO est appliqué pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique avec la contrainte RAMP, On remarque que les puissances actives pour les dix générateurs sont dans leurs limites de fonctionnement. Du coût total optimal de production à **2279447.151** \$ et la valeur d'émission et obtenu égale à **5968540.10Ib**. Ces résultats ont été obtenus dans les (24 heures) cette valeur est meilleure aux résultats obtenus dans la référence [38].

Interprétation

D'après ces tableaux on peut dire que les résultats obtenus concernant la minimisation de la fonction des coût et émission des gazes toxiques et les pertes on peut constater que les résultats respectent les contraintes de l'écoulement de puissance les limites de puissance.

IV.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a proposé les algorithmes d'Essaim de Particules comme une technique d'optimisation pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance. L'objectif est de minimiser fonctions objectives à savoir : le coût du combustible, L'émission de gaz. Avec considération des contraintes pratiques tels que l'effet d'ouverture des vannes, ainsi que la contrainte de Ramp, avec considération des contraintes d'inégalités et d'égalités.

Et d'utiliser les coefficients pour le calcul des pertes. La robustesse de l'algorithme proposé est validée sur le troisième réseaux test standard (3,10 unités de production). Nous avons appliqué cet algorithme pour résoudre un problème mono-objectif tel que (coût, émission de gaz) et multi-objectif (le coût du combustible, l'émission de gaz).

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution dans le domaine de la répartition économique d'énergie électrique produite par les centrales électriques où une application d'un nouvel algorithme méta-heuristique appelé essaims de particules (PSO). A été présentée dans le but de résoudre le Problème de Combined Economic Emission Dispatch (CEED). Egalement, on a donné un aperçu général sur les différentes méthodes d'optimisation approchées et méta heuristiques en sur la méthode des Algorithme. Essaims de particules (PSO). Mais Avant d'appliquer l'algorithme essaims de particules.

Par l'optimisation de coût et émission des gaz toxique de générateur, qui est la tâche principale de ce mémoire, il était primordial de procéder à un Choix judicieux des différents paramètres de l'algorithme essaims de particules. On a abordé l'optimisation de la répartition des puissances en se basant sur la recherche du point de fonctionnement optimal en minimisant le coût et émission des gaz toxique sous les différentes contraintes d'égalité et d'inégalité reflétant respectivement l'équilibre (Demande- Génération), Dispatching Economique (DE) avec les contraintes pratiques nommé Ramp (Ramp Down, Ramp Up) ces derniers peuvent être calculés par utilisation de la méthode des coefficients B. Plusieurs modèles de tailles différentes ont été choisis pour valider notre algorithme qui sont des réseaux test (3unités, 10unités) Le programme est développé sous l'environnement de MATLAB version. Les résultats des réseaux test standard présentent des performances acceptables de point de vue perte de puissance, ainsi qu'un strict respect des conditions techniques à la puissance active générée et perte (respect de toutes les contraintes). Les perspectives de ce travail sont multiples, on peut citer :

- En premier lieu, les méthodes d'optimisations présentées dans cette thèse peuvent être améliorées, indépendamment de la stratégie d'hybridation, en allant vers des couplages forts.
- D'autres perspectives s'ouvrent au niveau du problème posé, c'est de traiter la répartition optimale des puissances actives et réactives simultanément.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Dale R. PATRICK et Stephen W. FARDO. Electrical distribution systems, 2nd edition. The Fairmont Press, 2009, 471 pages.
- [2] S. N. SINGH. Electric power generation, transmission and distribution, 2nd edition, 2008, 452 pages.
- [3] Theodore WILDI et Gilbert SYBILLE. Électrotechnique. 4 ième édition, De Boeck université, 2005, 1214 pages
- [4] Centrale thermique de Vouvry (Chavalon). Centrale à cycle combiné. [en ligne]. <http://www.chavalon.ch/centrale-%C3%A0-cycle-combin%C3%A9> [page consultée le : 16/05/2016].
- [5] Connaissance des énergies newspaper. Qu'est-ce qui différencie une centrale à gaz à cycle combiné d'une centrale classique. [Image en ligne]. (consultée le 15 avril 2014).
- [6] Syndicat départemental d'énergie de Tarn. Documentation : Réseau électrique. [en ligne]. <http://www.sdet.fr/node/39> [page consultée le : 12/06/2016].
- [7] Publication UTE C 18-15. La norme NF C 18-510 et les guides UTE associés.2010.
- [8] Guide de conception des réseaux électriques industriels, groupe Schneider. Les architectures de réseaux.
- [9] Patrick Jacob, Schéma de principe de la distribution haute tension HTA. [en ligne]. http://jacob.patrick.free.fr/rssBT/co/01_reseaux_de_distribution_web/co/02_DistributionHT.html. [page consultée le : 20/06/2016].
- [10] Tran Khanh Viet Dung, Interconnexion des sources d'énergie renouvelable au réseau de distribution électrique. Thèse doctorat en génie électrique. Université du Québec à Trois-Rivières. Août 2009.
- [11] F. Hamoudi « Laboratoire de maitrise des énergies renouvelables » Université A/Mira- Bejaia, mémoire de magister, 2019.
- [12] M. Sagan « l'analyse économique des architectures de marché électrique application au market design du temps réel ».Thèse de doctorat, université Paris Sud 11 /2007.
- [13] A. Draïdi « Répartition économique de l'énergie électrique utilisant les techniques d'intelligence artificielle». Thèse de magister, département d'électrotechnique université de Constantine ,2010.
- [14] SEGHEIR Tayeb. MOGDAD Med Tayeb, "Résolution de dispatching économique par la méthode pattern search" Mémoire de Master, Université d'EL-Oued, 2011.

- [15]: LAICHE Youcef , FADHEL Medchaouki Mémoire de fin d'Etude en vue de l'Obtention du Diplôme de Ingénieur d'Etat en Génie Électrique « Optimisation De La Répartition Des Puissances dans Les Réseaux Electriques Par L'utilisation Des Les ALGORITHMES GENETIQUES » Centre Universitaire d'El-oued promotion 2010.
- [16]: Zeghib Abdelmalek Mémoire de fin d'Etude en vue de l'Obtention du Diplôme de Master Académique en Génie Électrique «Répartition optimal des puissances actives d'un réseau électrique utilisent les algorithmes génétiques » Centre Universitaire d'El-oued promotion 2010/2011
- [17] M. Huneault and F. D. Galiana, «A Survey of the Optimal Power Flow Literature», IEEE Trans on Power Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 762-770, May 1991
- [18] GUEDIRI Abdelkarim, "Application de la logique floue pour l'optimisation de l'écoulement de puissance" Mémoire de Magister, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi, 2009.
- [19] FRIDJAT Zineddine. TAMMA Mohammed Elhadi, "Application des algorithmes génétiques à l'optimisation de la production énergie active dans réseau électrique" Mémoire de Master, Université d'EL-Oued, 2014.
- [20] AROUA Mohammd Hamza. BOUGHAZALA Mohammd Salah. TAMER Smail, "dispatching Economique optimale par la méthode swarm) PSO(" Mémoire Master, Universitaire d'El-Oued, 2009.
- [21] SEGHEIR Tayeb. MOGDAD Med Tayeb, "Résolution de dispatching économique par la méthode pattern search" Mémoire de Master, Université d'EL-Oued, 2011.
- [22]: ABOUB HANIA, MAAMIR MADIHA, "étude de la répartition économique des puissance dans les réseaux électriques par les algorithmes génétiques", mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, 2009-2010
- [23] LAIMECHE Abdallah, "application de l'algorithme des essaims de salpes au dispatching Economique" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2018.
- [24]: GACEM ABDELMALEK, "utilisation des méthodes d'optimisations métaheuristiques pour la résolution du problème de répartition optimale de la puissance dans les réseaux électriques",mémoire présenté pour obtenir le diplôme de magister en électrotechnique 2010.
- [25]: Aloui Mourad " Application de la méthode des Essaims de particules au Dispatching économique ", Mémoire de Fin d'Etude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER académique, 2013 Université Mohamed Khider Biskra.
- [26]: KHAMED Okba, "Dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les méthodes méta-heuristique", Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme de Master en réseaux électriques, Université Mohamed Khider Biskra 2012 / 2013.

- [27]:** S.Moussa « Optimisation de l'écoulement de puissance par une méthode métaheuristiques (technique des abeilles) en présence d'une source renouvelable (éolienne) et des dispositifs FACTS » Mémoire de Magister, Université de Sétif 2012.
- [28]** ABID Yakoub. CHENNOUF Lakhdar. CHELI Salah,"Application d'une méthode méta heuristique à la répartition optimale des puissances dans les réseaux électriques avec une fonction multi objective" Mémoire de Master, Université Hamma Lakhder-El-Oued, 2016.
- [29]** MOKHTARIA Zeroual, "Optimisation et contrôle de l'écoulement des puissances actives par système FACT" Mémoire de Magister, Université Mohamed Boudiaf-Oran, 2015
- [30]** ELHACHEMI Salhi, "Résolution du problème dispatching économique avec la méthode de colonie artificielle des abeilles (abc algorithm)" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2015.
- [31]** TORCHE Abla. LAYAIDA Ahlem, "Unit commitment appliqué au réseau algérien" Mémoire Master, Université Larbi Ben M'hidi-Oum El- Bouaghi, 2009
- [32]** GUEZIZ Belkhir. BOUAKA Mohamed , "Analyse des méthodes de répartition optimale des puissances dans un réseau de transport d'énergie" Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2016
- [33]:** Lamia KARTOBI ,ENP <<Mémoire de Magister Optimisation de la Synthèse des FACTS par les Algorithmes Génétiques et les Essaims Particulaires pour le contrôle des
- [34] :** DOUIDA Nedjmeddine, "Algorithme de recherche du corbeau dédié à l'optimisation appliqué au dispatching économique" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2017.Réseaux Electriques
- [35]** SLIMANI Linda, "Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes méta heuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité dérégulé" Mémoire de Magister, Université de Batna, 2009.
- [36]** LARFI Omar. AISSET Azzedind," Développement d'un algorithme intelligent pour la commande des robots mobiles" Mémoire de Master, Université Larbi Tebessi-Tebessa, 2016.
- [37]** MONSIEUR Hadji Boubakeur,"Contribution à l'Amélioration de l'Efficacité des Réseaux Electriques par l'Intégration et le Contrôle Flexible de l'Energie Eolienne et des Systèmes FACTS" Mémoire de Doctorat ,Université Mohamed Khider -Biskra,2017.
- [38]** Nicole Pandita. Anshul Tripathia. Shashikala Tapaswia. Manjaree Panditb, "An improved bacterial foraging algorithm for combined static/dynamic environmental economic dispatch", ABV- Indian Institute of Information Technology and Management -Gwalior- India. Department of Electrical Engineering, MITS -Gwalior- India, page3507-3509 , 20 July 2012.

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

[40] SAIHI Mourad, "Optimisation mono et multi objectif de l'écoulement de puissance avec intégration de statcom dans le réseau électrique" Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2013.

[41] BEN BORDI Samir, " Optimisation Multi Objectif de L'écoulement de Puissance" Mémoire de Master ,Université Mohamed Khider -Biskra,2015.

[42] M. Basu , "Dynamic economic emission dispatch using non dominated sorting genetic algorithm-II "Department of Power Engineering, Jadavpur University, Kolkata 700098, India page144,17 June 2007.

[43] HAMED Mostefa, "Dispatching économique dynamique par utilisation de méthodes d'optimisation globales" Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider-Biskra, 2013.

Annexes

Annexe A

A-Réseau de 3 unités:

Tableau de Matrice Coefficients B

Bij		
0.000136	0.0000175	0.000184
0.0000175	0.000154	0.000283
0.000184	0.000283	0.00165

Annexe B

B-Réseau de 10 unités :

Tableau de matrice Coefficients B

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