



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

Réf:.....

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

MASTER

Thème

**Optimisation de l'écoulement de puissance
Par algorithmes : AG et PSO-TVAC.**

Présenté par :
Ahmed Ould Nagi
Soutenu le : 02 Juin 2014

Devant le jury composé de :

Mr .Srairi Kemal

Mr .Mahdad Belkacem

Mr .Aboubou Abdenacer

professeur

Maitre de Conférences 'A'

professeur

Président

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2013 / 2014

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



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

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

MASTER

Thème

**Optimisation de l'écoulement de puissance
par algorithmes : AG et PSO-TVAC.**

Présenté par :

Ahmed Ould Nagi

Avis favorable de l'encadreur :

signature

Avis favorable du Président du Jury

Srairi Kemal

Signature

Cachet et signature

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



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

Thème :

Optimisation de l'écoulement de puissance par algorithmes : AG et PSO-TVAC.

Proposé par : Mr.Mahdad belkacem

Dirigé par : Mr.Mahdad belkacem

هذه المذكرة تعرض المنهجية المستعملة لتطوير برنا مج التدفق الأمثل للقدرة الكهربائية في الشبكة الكهربائية باستعمال الخوارزميات الجينية والأسراب الطائرة لدالة هدف ومجموعة من الدوال الهدف المتعلقة بالشبكة الكهربائية , إن أمثلة القدرة الكهربائية لعدة دوال هدف هي واحدة من المشاكل الصعبة التي تواجهها مؤسسات توليد وتوزيع الكهرباء في العالم , هذا التحسين لا يقتصر فقط على تكلفة الإنتاج في المحطات الكهربائية الحرارية خاصة فهناك عديد الجوانب منها جانب الضياعات في خطوط النقل الكهربائي وكذلك الجانب البيئي الذي أصبح من أهم الانشغالات للتحسين توليد الكهرباء الحرارية بسبب الغازات المنبعثة منها والتي تمثل خطرا بيئيا كبيرا , وبالتالي التحسين و الأمثلة يجب أن يكون على أسس قوية باستخدام كل الطرق السليمة . إن للبرمجة الخوارزمية سرعة تماثل الطرق الكلاسيكية وتتفوق عليها في كونها تقوم ببرمجة التدفق الأمثل للقدرة الكهربائية باستعمال فقط معلومات الدالة الهدف دون اللجوء إلى استعمال مشتقاتها , ولقد تحصلنا على نتائج جيدة فيما يخص تكلفة الإنتاج و ضياع القدرة وكذلك انبعاث الغازات وهذا باستعمال الخوارزميات الجينية والأسراب الطائرة لدالة هدف واحدة بعد ذلك لعدة دوال هدف عند دراستنا لعدة دوال هدف لجننا إلى تقنية باريتو التي تركز في الأصل على الخوارزميات الجينية ولقد قمنا بتطبيقها على شبكة ذات 30 قضيب تجميع.

وكذلك قمنا بالزيادة في الحمولة لمعرفة تأثيرها على استقرار الشبكة وذلك باستعمال الخوارزميات الجينية .

الكلمات الرئيسية : التدفق الأمثل للقدرة الكهربائية , الخوارزميات الجينية, دالة هدف , الأمثلة الأسراب الطائرة

Résumé

L'optimisation de l'écoulement de puissance est un axe de recherche important pour les experts et les gestionnaires des réseaux électriques. L'optimisation est parfois limitée principalement à la minimisation des coûts d'exploitation, toutefois, l'exploitation de centrales électriques, unités thermiques principalement, causent des divers types d'émissions. La préoccupation environnementale impose la minimisation des émissions des centrales thermique, individuellement, si un seul objectif est optimisé ou simultanément si plusieurs fonction objectif sont considérés. Les objectifs comme la minimisation des coûts, pertes et émissions peuvent être contradictoires et donc la décision doit être basée sur l'optimisation multi objectif robuste. L'écoulement de puissance optimale (OPF) est largement utilisé pour la prise de décision par les différents opérateurs du système électrique. Notre travail consiste à l'application de deux méthodes d'optimisation globales et ce par utilisation de l'algorithme génétique et l'algorithme des essais des particules. Dans ce mémoire des différentes combinaisons entre fonctions objectifs sont étudiées utilisant la technique de Pareto basée sur l'algorithme génétique, où nous avons eu des résultats acceptable concernant la minimisation du coût de production, la minimisation des pertes de transmission et de réduction des émissions. Les deux algorithmes ont été validés sur un réseau test IEEE 30-Bus

Mots Clés : OPF, Algorithme génétique, Optimisation mono-objectif, Optimisation Multi objectif, Essaims des particules, PSO-TVAC.

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu tout puissant qui nous a donné la santé, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

*J'exprime toutes nos profondes reconnaissances à mon encadreur **Dr. MAHDAD Belkacem** pour le temps consacré à nous écouter, nous orienter et nous corriger tout au long de notre projet.*

*J'adresse mes remerciement à tous les membres du jury d'accepter de juger ce modeste travail et je souhaite exprimé nos profondes gratitudes à tous les enseignants qui nous ont formé dès la 1^{ere} année jusque à la 5^{eme} année à **Université Mohamed Khider Biskra.***

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers
aux mondes, , mon père, ma mère et un spécial dédicace :*

Dr : Itawelle oumrou ould ahmed

Dr: Oumar ould abdi

dupité :Med vadel ould abdi

*et mes frères et mes sœurs car c'est grâce à leurs soutiens que
j'ai pu arriver à ce stade, sans oublier mes chers grands
parents, mes oncles et mes tantes.*

*et mes amis, Med ali et elhaje et saadna et nagi et ebi ahmeide et Sidi Elmokhtar
et sidi med et Ramzi et med et azize et et yaly et echiekhahmed et Med Baba et
ahmed et henoune et med ahmed et humaine et edah et valle et med mahmoude et
vadhel et salah et dalla et sidiya et habibe et bouvaresse et med bekaye et mayabe
et hohamedaane et issa et elfa etathamane et younesse et abde elveta7e et
brahume et7edhrami et ezllatane et abeld 7aye ould echiekh sidiya et à toute la
promotion 2014.*

Ahmed Ould Nagi

SOMMAIRE

- ◆ *Résumé*
- ◆ *Remerciements*
- ◆ *Dédicaces*
- ◆ *Sommaire*.....*I*
- ◆ *Liste des Figures*.....*IV*
- ◆ *Liste des Tableaux*.....*VI*
- ◆ *Liste des Symboles et Acronymes*.....*VII*

Introduction Générale

Chapitre I : Généralité sur le système électrique

<i>I.1. Introduction:</i>	1
<i>I.2. Introduire le concept du problème d'optimisation</i>	4
<i>I.3. Travaux réalisés dans le domaine d'optimisation (OPF)</i>	4
<i>I. 4. Définition du système électrique</i>	5
<i>I.5. Les réseaux électrique</i>	5
<i>I.5.1. Les différentes fonctions du réseau</i>	6
<i>I.5.1.1. Réseau d'utilisation</i>	8
<i>I.5.1.2. Réseaux de distribution</i>	8
<i>I.5.1.3. Réseaux de répartition</i>	8
<i>I.5.1.4. Réseaux de transport</i>	8
<i>I.5.1.5 Réseaux de L'interconnexion</i>	8
<i>I.6. les avantages des réseaux l'interconnexion</i>	9
<i>I.6.1. Avantage économique</i>	9
<i>I.6.2. Avantage technique</i>	9
<i>I.7. Le charge</i>	9
<i>I.7.1. Nations et contraintes concernant la charge</i>	9
<i>I.7 .2 .caractéristiques des charges</i>	10
<i>I.8. Les moyens de production</i>	11
<i>I.9. Différents types des centrales</i>	11
<i>I.9.1. les Centrales hydrauliques</i>	11
<i>I.9.2. Les centrales thermiques</i>	11

I.9.3. Les Centrales nucléaires	12
I.9.4. Les centrales éoliennes	12
I.9.5. Le solaire photovoltaïque	12
I.9.6. Les centrales géométriques	12
I.9.7. Les centrales biomasses	12
I.9.8. Les centrales Marémotrice	12
I.10. Eléments de l'unité de production de l'énergie électrique	12
I.10.1 Qualité de fréquence	13
I.11.1. Réglage de la fréquence	14
I.12. Le réglage de la tension	14
I.13. Appel de puissance d'un réseau	15
I.14. Marché de l'électricité	15
I.15. La tenue de tension	15
I.15.1. Les limites supérieures de tension	15
I.15.2. Les limite inférieures de tension	15
I.16. Conclusion	16
Chapitre II : l'écoulement de puissance	
II.1 Introduction	18
II.2. Concept général de l'écoulement de puissance	18
II.3. But de l'étude de l'écoulement de puissance	18
II.4 Modélisation des composants du réseau électrique	18
II.4.1 Générateurs	19
II.4.2 Lignes de transmission	19
II.4.3 Charge électrique	19
II.4.4 Eléments shunte	20
II.5 Classification des variables de la répartition de charge	20
II.5.1 Variable de perturbation (non contrôlable)	21
II.5.2 Variable d'état	21
II.5.3 Variable de contrôle	21
II.6 Classification des jeux de barre	21
II.6.1 Jeu de barre de référence	21
II.6.2 Jeu de barre contrôle	22
II.6.3 Jeu de barre de charge	22
II.7. Formulation des équations de l'écoulement de puissance	23

II.8	Algorithme de résolution du problème de l'écoulement de puissance	26
II.9	Méthode de Gauss-Seidel	26
II.9.1:	Principe de la méthode de Gauss Seidel	26
II.9.2:	Application à la solution des équations de l'écoulement de puissance	27
II.10	La technique itérative de Newton Raphson	27
II.10.1.	Représentation géométrique de la méthode de N-R	28
II.10.2.	Algorithme de N-R dans un système de dimension n	28
II.11	L'application de la méthode de Newton-Raphson, au problème de l'écoulement de puissance	29
II.12	Les puissances transités et les pertes	31
II.13	Conclusion	32
Chapitre III : Optimisation un Réseau électrique		
III.1	Introduction	34
III.2	Domaines d'application de l'écoulement de puissance optimal	34
III.2.1.	Minimisation du coût de combustible	34
III.2.2.	Minimisation des pertes	34
III.2.3.	Amélioration du profil de tension	34
III.2.4.	Amélioration de la stabilité de tension	34
III.2.5.	Maximisation de la puissance transmissible	35
III.3	Variables de décision	35
III.4	Formulation du problème de l'écoulement de puissance optimal	35
III.4.1.	Variables de contrôle	36
III.4.2.	Variables d'état	36
III.4.3.	Recherche Optimum locale et globale	36
III.4.4.	Fonction Objective	37
III.4.5.	Contraintes d'égalité	37
III.4.6.	Contraintes d'inégalité	38
III.5	Formulation d'OPF de la fonction mono-objective	39
III.5.1.	Formulation d'OPF pour minimisation du coût de production	39
III.5.1.1.	Fonction objective du coût	39
III.5.1.2.	Formulation d'OPF pour la minimisation de l'émission	40
III.5.1.3.	Formulation d'OPF pour la minimisation des Pertes	41
III.6	Optimisation Multi-objective	41
III.6.1.	Définition	41

III.6.2.Principe et notions de base.....	41
III.6.3.Formulation mathématique du problème multi-objective.....	43
III.7. Les méthodes d'optimisation: déterministes et méta-heuristiques.....	44
III.7.1. Introduction.....	44
III.7.2.Méthodes d'optimisation déterministes.....	44
III.8.Conclusion.....	45

Chapitre IV : les méthodes méta heuristique

IV.1	
Introduction.....	47
IV.2 Définition des Méthodes Méta heuristiques.....	47
IV.4 Recherche taboue.....	48
IV.5 Optimisation par Colonie d'abeilles.....	48
IV.5.1 Recherche de nourriture chez les abeilles.....	49
IV.5.2 : Optimisation naturelle et Les directions fournies par les abeilles.....	49
IV.6. Optimisation par l'algorithme de colonies de fourmis.....	50
IV.6.1. Organigramme de la technique ACO appliquée à l'OPF.....	50
IV.7.Optimisation par algorithmes génétiques.....	50
IV.7.1 Mécanisme de recherche.....	52
IV.7.2 Les opérateurs utilisés par les AG.....	54
IV.8.A Optimisation par essaim de particules (PSO).....	58
IV.8.A.1.L'algorithme PSO.....	58
IV.8.A.2.Algorithme général.....	59
IV.8.A.3.Caractéristiques principales.....	61
IV.8.A.4.Le voisinage.....	62
IV.8.A.5. Les étapes de la méthode d'Optimisation par Essaim de Particules.....	63
IV.9.B. Algorithme de PSO avec Coefficients d'Accélération variable PSO-TVAC.....	63
IV.10. Conclusion.....	65

Chapitre V : les résultats

V.1.Introduction.....	67
V.2.Algorithme Génétique sous l'environnement Matlab (Gatool).....	67
V.2.1. L'instruction « ga » sur Matlab.....	67
V.3. Procédure de travaille d'une instruction « gamultiobj » sur Matlab.....	68
V.4.L'instruction « gaoptimset » sur Matlab.....	69

V.5. Réseaux tests	69
V.6. les Fonctions objectif	71
V.7. Les Contraintes	71
V.8. Application1 : Optimisation par l'algorithme génétique	71
V.8. A. Optimisation mono-objective	71
Cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités.....	71
Cas 2 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités.....	72
Cas 3 : Minimisation de l'émission de gaze avec contraintes de sécurités.....	76
Cas 4 : Minimisation des pertes avec contraintes de sécurités.....	78
V.8. B. Optimisation multi-objective	80
Cas 1 : Minimisation du Cout de production avec émission de gaz	81
Cas2 : Minimisation du coût avec les pertes	81
Application 2 : Optimisation par PSO-TVAC	82
V.9.A. Optimisation mono objective par utilisation de l'algorithme (PSO-TVAC).....	82
Cas 1 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités	83
Cas 2 : minimisation de l'émission de gaz avec contraintes de sécurités	85
V.9.B. Optimisation multi-objectives	87.
Cas 1 : Minimisation du Cout de production avec émission de gaz	87
V.10. Discussion des résultats	88
V.11.Application 3 : Effet de l'augmentation de la charge par algorithme génétique	
AG	89
Cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités	90
Cas2 : Minimisation du coût avec contraintes de tension	90
V.12. Conclusion	92
Conclusion générale	94
♦ Bibliographie	k
♦ Annexe	l

Liste de figure

	<i>page</i>
Chapitre I	
<i>Figure I.1. Réseau électrique simplifié</i>	6
<i>Figure I.2 : différentes étages d'un réseau électrique</i>	7
<i>Figure I.3 : Connexion du générateur G au jeu de barre B du réseau par le transformateur de groupe</i>	10
<i>Figure I.4 : Répartition des modes de production d'électricité</i>	11
<i>Figure I.5: schéma du principe général d'une unité de production d'énergie électrique</i>	13
<i>Figure I.6 : Réglage de la fréquence</i>	14
<i>Figure I.7 : Fluctuation typique de l'appel de puissance durant une année</i>	15
Chapitre II	
<i>Figure II.1 : Modèles d'un générateur</i>	19
<i>Figure II.2: Schéma pi d'une ligne de transmission</i>	19
<i>Figure II.3: Représente la charge électrique</i>	20
<i>Figure II.4: Classification des jeux de barres</i>	22
<i>Figure II.5: Algorithme de résolution du problème de la répartition des charges</i>	26
<i>Figure II.6 : Représentation géométrique de la méthode de N-R</i>	28
<i>Figure II.7: Le fonctionnement de la méthode de N-R</i>	30
<i>Figure II.8 : Transite de puissance d'une ligne de transmission</i>	32
Chapitre III	
<i>Figure .III.1. Domaine admissible comportant des extremums locaux et globaux</i>	37
<i>Figure III.2: Quel mode de résolution choisir ?</i>	42
<i>Figure III.3 : Problématique d'optimisation multi objectif</i>	43
Chapitre IV	
<i>Figure IV.1 : Organigramme de l'ACO-OPF</i>	51
<i>Figure IV. 2 : Illustration du codage des variables</i>	53
<i>Figure IV.3 : Les quatre niveaux d'organisation des</i>	53
<i>Figure IV.4: représentation d'une sélection par tournoi d'individus pour un critère de maximisation</i>	55
<i>Figure IV.4 : Croisement en seul point.</i>	56
<i>Figure IV.5: Croisement en multipoints (m = 4).</i>	56
<i>Figure IV.6: Représentation d'une mutation de bits dans une chaîne</i>	56

Figure IV.7: Organigramme de l'algorithme génétique	57
Figure IV.9. Le cercle virtuel pour un essaim de sept particules	60
Figure IV.10 : Schéma de principe du déplacement d'une particule.....	62
Figure IV.11 : Trois topologies du voisinage différentes	63
Figure IV. 12 : Organigramme de l'algorithme PSO.....	64
Chapitre V	
Figure V.1 Schéma du réseau 30 jeux de barres.....	70
Figure V.2 : Convergence de l'algorithme : cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités AG.....	72
Figure V. 3 : Convergence de l'algorithme : cas2 : minimisation du coût avec contraintes de sécuritésAG.....	73
Figure V.4 : Répartition des tensions	76
Figure V.5 : Convergence de l'algorithme : cas 3 : minimisation de l'émission de gaz avec contraintes de sécurités.....	77
Figure V.6 : Convergence de l'algorithme : cas 4 : minimisation des pertes.	79
Figure V.7 : stratégie d'optimisation multi objectif.....	80
Figure V.8 : Solutions optimales de Pareto coût-émission avec GA.....	81
Figure V.9: Solutions optimales de Pareto coût-pertes avec GA.....	82
Figure V.10 : Caractéristique de convergence de l'algorithme PSO-TVAC: minimisation du coût.....	83
Figure V.11 : Tensions aux niveaux des jeux de barres.....	85
Figure .V.12 Caractéristique de convergence de l'algorithme PSO-TVAC: minimisation de l'émission.....	86
Figure . V.13 : Solutions optimales de Pareto coût-émission avec PSO-TVAC	87
Figure .V.14 : Convergence de l'algorithme : cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités AG.....	90
Figure .V.15: Convergence de l'algorithme : cas2 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités AG.....	91
Figure V.16 : distributions des tensions aux niveaux JB	93

Liste de tableau	<i>page</i>
Chapitre II	
Tab. II.1 : classification et la numérotation des jeux de barres	25
Chapitre III	
Tab .III.1 : Représente les méthodes d’optimisation conventionnelles linéaire et non linéaire.....	46
Chapitre V	
Tab V.1 : La valeur de la fonction cout optimisé et la fonction émission non optimisé : cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités.....	72
Tab V.2. La valeur de la fonction cout optimisé et la fonction émission non optimisé : cas2 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités.....	73
Tab V. 3 : Les valeurs de puissances générées optimales pour 10 exécutions : cas2 : Minimisation du coût avec contraintes de sécurités.....	74
Tab V.4 : les puissances générées optimales : cas2 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités.....	74
Tab V.5 : Les puissances transité dans les lignes : cas 2 : Optimisation du coût	75
..	
Tab .V.6 : La valeur de la fonction émission optimisée et la fonction coût non optimisé : cas3 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités.....	77
Tab .V.7 : les puissances générées cas : 3 minimisation d’émission avec contraintes de sécurités.....	78
Tab .V .8 : La valeur de la fonction pertes optimisée: cas 4 : minimisation des pertes avec contraintes de sécurités.....	79
Tab V.9 : les puissances générées cas :4 minimisation des pertes avec contraintes de sécurités.....	79
Tab .V.10 : Les puissances optimales générées par PSO-TVAC	84
Tab V.11 : La valeur de la fonction coût optimisé, la fonction émission et les pertes non optimisé.....	84
Tab .V.12 : La valeur de la fonction émission optimisée, la fonction coût et les pertes non optimisé.....	86
Tab V.13 : les puissances générées cas : 2 minimisation d’émission avec contraintes de sécurité.....	88
Tab .V.14 : Les puissances optimales générées par GA	90
Tab. V.15 : les puissances optimale génères par AG avec pertes	91
Tab V.16 La valeur de la fonction émission non optimisée, la fonction coût optimisée et les pertes non optimisé.....	91

Liste des Symboles et Abréviations

	<i>La puissance active électrique générée par la centrale en (MW).</i>
AVR	<i>Automatic Voltage Regulator (régulateur de tension)</i>
OPF	<i>Optimal Power Flow (Ecoulement de Puissance Optimal)</i>
f	<i>Fréquence en (Hz)</i>
ai, bi, ci	<i>Coefficients de la courbe du coût quadratique du générateur i.</i>
[p.u]	<i>Per unit (unité relative)</i>
	<i>La tension maximale de jeu de barre (V).</i>
	<i>La tension minimale de jeu de barre (pu)</i>
Z	<i>L'impédance série en (Ω)</i>
	<i>La résistance série de la ligne entre les jeux de barres i et j en (Ω).</i>
	<i>La réactance série de la ligne entre les jeux de barres i et j en (Ω).</i>
Y	<i>L'admittance shunt par phase en (en Siemens [S])</i>
Yij	<i>L'admittance shunt par phase en (en Siemens [S])</i>
	<i>La conductance shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j.</i>
	<i>La susceptance capacitive shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j</i>
P	<i>Vecteur de perturbation.</i>
	<i>Vecteur de Variable d'état</i>
U	<i>Vecteur de commande</i>
 	<i>Module de tension en V</i>
	<i>Arguments des tensions en rad</i>
	<i>Courant complexe injecté à chaque jeu de barres en A</i>
	<i>Tensions complexes de chaque jeu de barres en Volt [V]</i>
N-R	<i>Newton Raphson</i>
JB	<i>Jeux de barre.</i>
	<i>Matrice du Jacobien</i>
	<i>La fonction optimisée de cout (\$/h).</i>
	<i>La fonction optimisée d'émission (Ton/h)</i>
PL	<i>Les pertes de transport énergie électrique (MW)</i>
	<i>Les pertes des puissances apparentes dans les lignes i-j</i>
	<i>Contraintes d'égalité</i>
	<i>Contraintes d'inégalité</i>
	<i>La puissance active électrique générée par la centrale (MW)</i>
	<i>La puissance réactive électrique générée par la centrale (Mvar)</i>
	<i>La puissance active minimale générer par la centrale (MW)</i>
	<i>La puissance active maximale générée par la centrale (MW)</i>
	<i>La puissance réactive minimale générer par la centrale (Mvar)</i>
	<i>La puissance réactive maximale générée par la centrale (Mvar)</i>
	<i>La limite minimale du module de tension au niveau du JB i</i>
	<i>La limite maximale du module de tension au niveau du JB i,</i>
	<i>La puissance apparente entre les JB i et j</i>
	<i>La limite maximale de puissance apparente entre les JB i et j</i>
	<i>L'angle de phase au JB i</i>

	<i>Minimum de l'angle de phase au JB i</i>
	<i>Maximum de l'angle de phase au JB i</i>
<i>, , ,</i>	<i>Les coefficients des puissances générées pour i générateur</i>
	<i>Le nombre des lignes de transmission</i>
AG	<i>Algorithmes génétiques</i>
ACO	<i>Algorithmes colonies de Fourmies</i>
PSO	<i>Algorithmes essais particuliers</i>
ch	<i>Chromosome</i>
PSO-TVAC	<i>Algorithmes essais particuliers Coefficients d'Accélération variable</i>
JB	<i>Jeux de bar</i>
\$/h	<i>Cout doulaire par heure</i>

Introduction général

Introduction général

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Ainsi, pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est nécessaire d'augmenter le nombre de centrales électriques, de lignes, de transformateurs etc., ce qui implique une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel.

Le système électrique est un réseau-source alimentant un très grand nombre de clients à partir d'un petit nombre de centrales de production. L'énergie produite par les centrales transite sur les lignes de haute et très haute tensions du réseau de transport maillé sur une zone couvrant un ou plusieurs Etats, puis est acheminée sur des réseaux de distribution de moyennes et basses tensions dont l'arborescence permet d'atteindre les clients finals. L'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée; donc, en permanence, la production doit s'adapter à la consommation. Il faut, donc, ajuster les puissances active et réactive des générateurs interconnectés dans un réseau électrique dans leurs limites admissibles afin de satisfaire la charge électrique fluctuante avec un coût minimal et parfois avec une certaine protection d'environnement le tout en gardant les pertes des puissances dans leurs limites. Ces conditions-là sont appelé l'écoulement de puissance optimal (OPF).

La procédure de l'OPF utilise des méthodes basées sur la programmation mathématique afin de déterminer le réglage optimal des variables de contrôle du système et ce, en satisfaisant un ensemble d'exigences spécifiées de fonctionnement et de sécurité.

En général, le problème de l'OPF est un problème d'optimisation avec contraintes qui est très difficile à résoudre. En raison de son importance dans les applications de planification et de fonctionnement des systèmes électro énergétiques, des efforts importants de recherches ont été consacrés au développement de procédures d'OPF efficaces et robustes.

Pour un problème d'optimisation il y a de nombreuse méthode d'optimisation "classiques" pour résoudre de tels problèmes, applicables lorsque certaines conditions mathématiques sont satisfaites : ainsi, la programmation linéaire traite efficacement le cas où la fonction objectif, ainsi que les contraintes, s'expriment linéairement en fonction des variables de décision. Malheureusement, les situations rencontrées en pratique comportent souvent une ou plusieurs complications, qui mettent en défaut ces méthodes : par exemple, la fonction objective peut être non linéaire, ou même ne pas s'exprimer analytiquement en fonction des paramètres ; ou encore, le problème peut exiger la considération simultanée de plusieurs objectifs contradictoires.

Introduction général

L'arrivée d'une nouvelle classe de méthodes, nommées méta heuristiques, marque une réconciliation de ce domaine : en effet, celles-ci s'appliquent à toutes sortes de problèmes combinatoires, et elles peuvent également s'adapter aux problèmes continus. Ces méthodes qui comprennent notamment la méthode du recuit simulé, les algorithmes génétiques, la méthode de recherche tabou, les algorithmes de colonies de fourmis, etc. sont apparues avec une ambition commune : résoudre au mieux les problèmes d'optimisation difficile.

Et dans notre travail nous avons choisis les algorithmes génétique qui sont inspirées par des analogies avec la biologie et une variante de PSO pour résoudre le problème multi objectif de l'écoulement de puissance.

Objectifs :

L'objectif de notre travail est l'application de deux méthodes d'optimisation globales, les AG et une variante de l'algorithme PSO nommé PSO-TVAC pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance.

Plan de mémoire

La présente mémoire est structurée autour de cinq chapitres à savoir :

Le chapitre I : ce chapitre présente des généralités sur l'architecture et rôle des réseaux électriques.

Le chapitre II : est consacré à l'étude et l'analyse de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques par les méthodes itératives, en particulier la méthode de Newton-Raphson

Le chapitre III : Nous avons donné quelques définitions de base et formulation du problème d'optimisation mono objectif et multi objectif avec les conditions des limites d'égalité et d'inégalité pour les trois fonctions objectifs, puis nous avons décerné une tentative de classification des méthodes d'optimisation.

Le chapitre IV : Ce chapitre est consacré à donner un aperçu sur quelques méthodes d'optimisation globales à savoir les l'algorithme génétique et l'essaim de particule (PSO).

Le chapitre V : Ce chapitre est consacré à l'analyse des résultats d'optimisation obtenus par l'application de deux algorithmes, GA et PSO-TVAC.

Finalement, ce mémoire se termine par une conclusion générale et perspectives.

Chapitre I

Généralité sur le système électrique

I.1.Introduction

L'exploitation des réseaux électriques pose de nombreux problèmes d'ordre technique et économique. L'exploitant du réseau doit assurer en tout temps et en tout lieu la couverture de l'énergie demandée, de garantir une qualité acceptable de la puissance livrée et de procurer une sécurité d'alimentation élevée avec un coût aussi faible que possible. L'apparition de la crise d'énergie et les prix de plus en plus chers des combustibles ont donné au fonctionnement optimal ou économique des systèmes d'énergie électrique une position importante dans l'industrie de l'électricité. Le problème qui se pose donc est, comment répartir la charge totale du système parmi les unités de générations disponibles de manière à minimiser le coût de production. Au début des années 20, le «Dispatching Economique» était proposé comme approche afin de répartir la puissance active produite entre les groupes thermiques de la manière la plus économique, compte tenu des coûts marginaux de production et des pertes du réseau. Seule la contrainte d'égalité production égale consommation plus les pertes était conservée, et le problème était traité en actif. Les pertes de transmission qui sont des fonctions approximativement quadratiques des puissances générées, sont introduites sous forme de facteurs de pénalité dans la fonction coût à minimiser.

Durant les années 60, l'optimisation est apparue comme une exigence et a été appliquée à l'écoulement de puissance [6].

Comme une exigence et a été appliquée à l'écoulement de puissance.

I.2.Concept du problème d'optimisation

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

Donc optimiser, revient à minimiser ou maximiser une fonction en respectant certaine condition préalable. Cette fonction dite « Objectif » peut être un cout (minimiser), profit (maximiser), production (maximiser). Les fonctions objectifs sont diverses ainsi que les contraintes (conductions) selon le problème à optimiser [5].

I.3.Travaux réalisé dans le domaine d'optimisation (OPF) [38] , [40] ,[39]

Les travaux réalisés dans le domaine d'optimisation (OPF). La fonction objectif représente le critère (ou l'index de performance) utilisé pour l'optimisation. On peut citer quelques fonctions objectives usuelles dans les études de l'OPF, qui sont :

- coûts de production minimum,
- pertes actives de transmission minimum,
- pertes réactives de transmission minimum,
- écart minimum par rapport au point de fonctionnement actuel ou optimal,
- puissances actives transmissibles maximum,
- émissions minimum des gaz,
- coûts de puissance réactive injectée minimum (afin de déterminer l'emplacement optimal pour l'installation de nouvelles batteries ou bobines),
- coûts de puissance active injectée minimum (afin de déterminer l'emplacement optimal pour l'installation de nouvelles unités de productions).

I.4.Définition du système électrique :

Le « système électrique » est l'ensemble des équipements électriques qui assurent la livraison à tous les consommateurs des kilowattheures produits.

Le système électrique peut être séparé en quatre fonctions principales (voir Figure I-1) :

- la production
- le transport
- la distribution
- la consommation

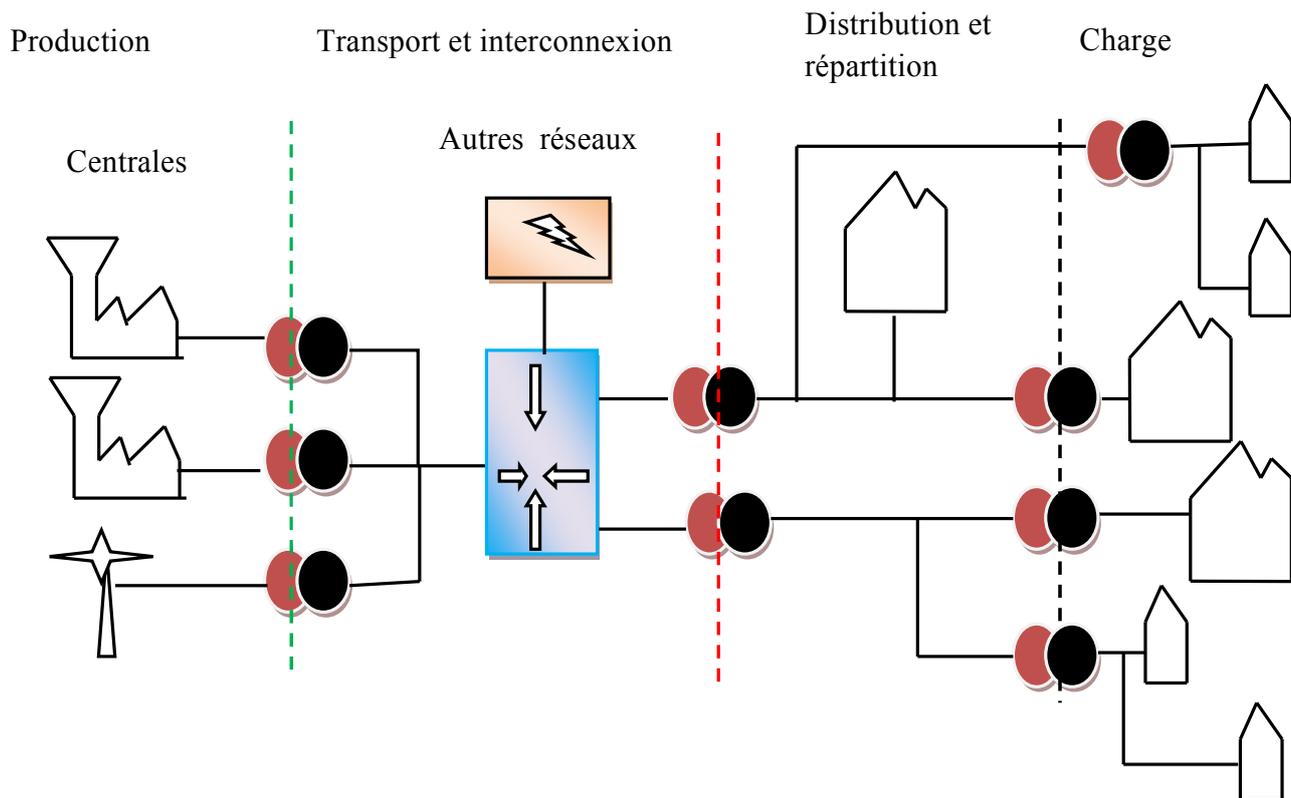


Figure I.1 Réseau électrique simplifié

I.5. Les réseaux électriques :

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

Un réseau électrique doit satisfaire les exigences suivantes:

- Assurer au client la puissance dont il a besoin.
- Fournir une tension stable dont les variations n'excèdent pas 10% de la tension nominale.
- Fournir une fréquence stable.
- Fournir l'énergie avec prix acceptable.

- Maintenir des normes de sécurité rigoureuses.
- Veiller à la protection de l'environnement.

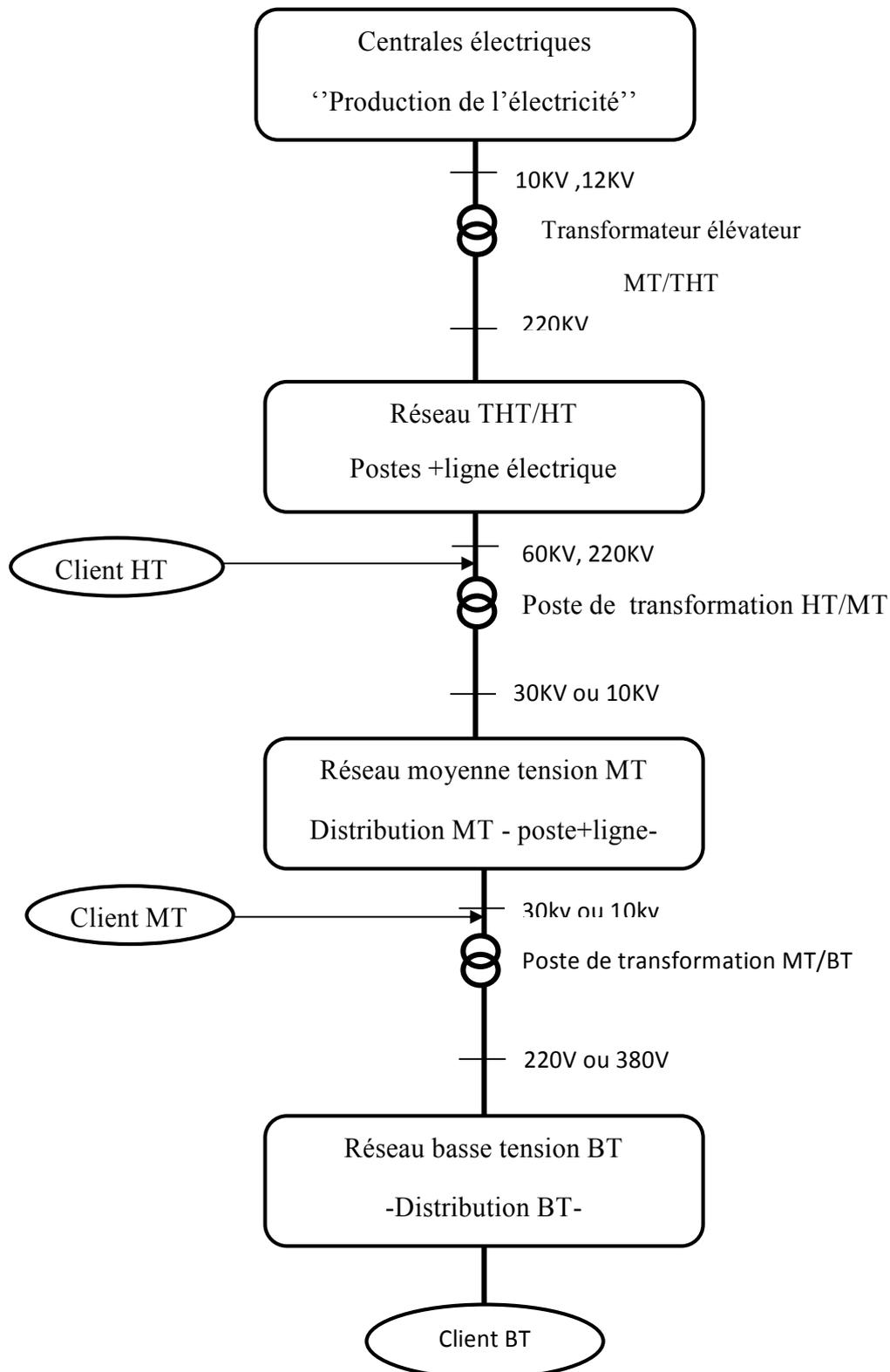


Figure I.2 : différentes étapes d'un réseau électrique [37]

I.5.1. Les différentes fonctions du réseau

I.5.1.1. Réseau d'utilisation

Ces sont les réseaux de basse tension (BT) qui alimentent les foyers, l'éclairage, les moteurs, les appareils domestiques et doivent présenter une sécurité totale.

I.5.1.2. Réseaux de distribution

Ce sont les réseaux de moyenne tension (MT) qui fournissent aux réseaux d'utilisation les puissances nécessaires demandées. Ils doivent observer des distances limitées de voisinage, c'est pour cela que ces réseaux se réalisent en souterrain dans les villes.

I.5.1.3. Réseaux de répartition

Ce sont les réseaux HT/MT, ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions.

I.5.1.4. Réseaux de transport :

Les réseaux des transportes sont des réseaux à très haute tension pour raison économique notamment, afin de minimiser des pertes en ligne. ces réseaux de transport sont des réseaux maillés pour les raison de sécurité. Les réseaux de transport sont caractérisés par des transferts de puissance important avec à moins chute de tension et moins pertes [1]. Un réseau de transport doit être exploité d'une manière particulière: il doit être exploité dans les limites de fonctionnement autorisées. Ces limites ou contraintes du réseau sont exprimées par des valeurs maximales ou minimales sur certaines variables du réseau (fréquence, écoulement de puissance sur les lignes ou transformateurs, niveau de tension, etc.). Si ces limites sont dépassées, le réseau risque de devenir instable.[5]

I.5.1.5 Réseaux de L'interconnexion :

L'interconnexion est un réseau de transport qui à la particularité d'assurer l'change énergétique. Ce réseau utilisé pour des raisons de technique (il permet de renforcer la stabilité du réseau électrique) et économique, L'interconnexion permet aussi d'améliorer la qualité d'énergie fournie en tension, en fréquence et aussi d'établir une large possibilité de réserve et rendre le réseau plus flexible [1]

I.6. les avantages des réseaux l'interconnexion :**I.6.1. Avantage économique :**

- améliorer la courbe de charge globale
- elle favorise en particulier l'intégration des énergies renouvelables ayant un caractère intermittent

I.6.2. Avantage technique :

- une réduction des écarts de fréquence
- une amélioration de la sécurité globale par la possibilité de secours mutuel dans les situations d'urgence
- une amélioration du réglage de la tension aux interfaces

I.7. Le charge :

La consommation d'énergie électrique sur un territoire est diffusée car elle est répartie sur de nombreux appareils électriques différents. Ces appareils sont soit des appareils thermiques, comme un radiateur électrique ou les dispositifs destinés au chauffage des produits industriels, soit des moteurs électriques destinés à produire de la puissance mécanique ou tout simplement l'éclairage [1].

I.7.1. Notions et contraintes concernant la charge [1] :

Le terme générique de charge, qui est généralement utilisé pour caractériser la consommation d'énergie à un utilisateur représente suivant le contexte soit la puissance demandée (on dit aussi « appelée ») soit l'énergie consommée. En ce qui concerne les puissances, on définit :

- *La puissance installée* : qui est la somme des puissances nominales des appareils qui peuvent être alimentés en un point
- *La puissance souscrite* : d'un utilisateur qui est la puissance maximale qu'il s'engage à ne pas dépasser et que le fournisseur s'engage à lui délivrer

- *La puissance de pointe* : qui est la valeur la plus élevée atteinte par la puissance pendant une période déterminée (jour, semaine, mois année) on doit aussi « pointe de charge » ou simplement « pointe »
- *La puissance moyenne* : qui est la quotient de l'énergie délivrée pendant une période par la durée de cette période
- *La puissance garantie* : qui est la puissance moyenne d'une certaine période qualifiée de critique

I.7.2 .caractéristiques des charges :

Dans la majorité des applications, on trouve des moteurs asynchrone à cage d'écurueil . on doit tenir compte de la présence de ces charges et de leur participations au courant de court-circuit lors d'un défaut. or l'impédance de court-circuit est pour ce type de machine très peu différente de l'impédance de démarrage définie à partir de courant de démarrage qui est général donnée par le constructeur et qui est de l'ordre de 4 et 7 fois la valeur de courant de nominal .Une seconde caractéristique de la consommation est la présence de plus en plus importante de convertisseur à base d'électronique de puissance. ceux-ci sont souvent générateurs de courants harmoniques qui se propagent sur les réseaux et créent des pertes ou des perturbations dont il faut protéger l'ensemble des utilisateurs.

I.8.Les moyens de production :

Les moyens de production d'électricité traditionnelle sont basés en général sur des alternateurs synchrones de grande taille entrainés par des turbines à gaz, à vapeur ou hydrauliques et sont connectés sur le réseau de transport à travers des transformateurs de groupe selon le schéma de la figure I-2 [1]

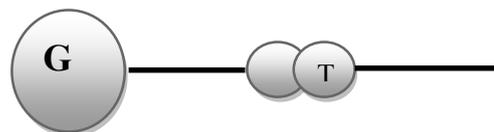


Figure .I.3 : Connexion du générateur G au jeu de barre A du réseau par le transformateur de groupe

Ces moyens de production sont du type nucléaire, thermique à gaz fioul ou charbon ou encore de type hydraulique. La répartition au niveau mondial de l'utilisation de ces énergies primaires pour la production d'électricité est illustrée par le diagramme de la figure I-3 [1].

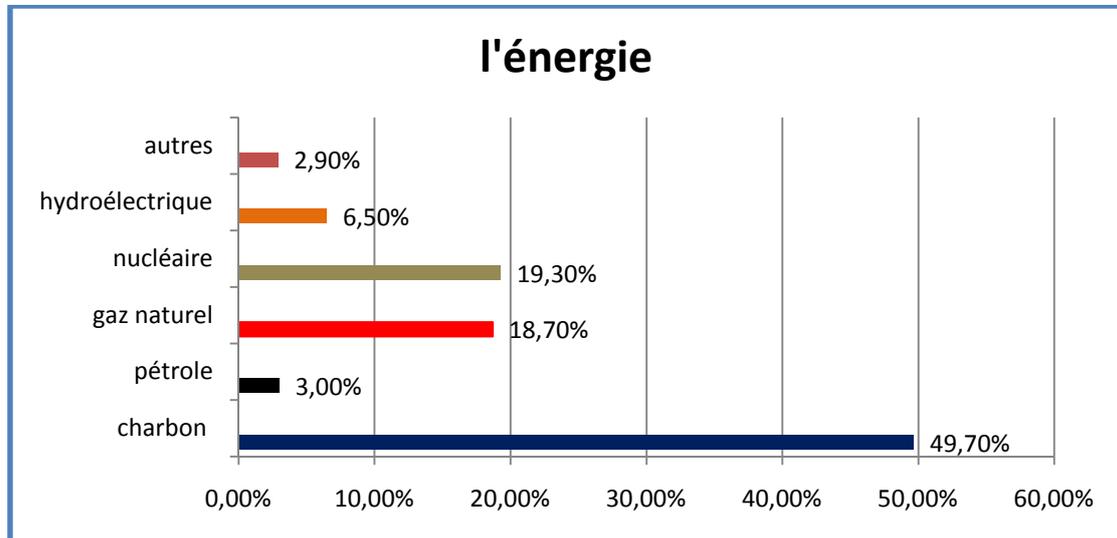


Figure I.4 : Répartition des modes de production d'électricité

I.9. Différents types des centrales :

Les centrales représentées sont les centrales thermiques classiques, nucléaires, hydrauliques, biomasse, géométriques, solaires, marémotrice et éoliennes.

I.9.1. les Centrales hydrauliques :

Les centrales hydro-électriques convertissent mouvement d'eau à énergie électrique.

I.9.2. 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 de gaz naturel [2].

I.9.3. Les Centrales nucléaires :

L'énergie électrique est produit à partir de la chaleur dégager de la réaction nucléaire, une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission.

I.9.4. Les centrales éoliennes :

L'énergie du vent captée par les pales, entraîne le Fonctionnement du moteur ; celui -ci est couplé à La génératrice qui permet de convertir l'énergie mécanique En énergie électrique

I.9.5. Le solaire photovoltaïque :

Le solaire photovoltaïque permet de transformer la lumière du soleil en électricité.

I.9.6. Les centrales géométriques :

Provenant du noyau terrestre. Le principe de la géothermie consiste à injecter en profondeur De l'eau froide sous pression ; celle-ci va Déplacer les roches et ainsi les fracturer.

I.9.7. Les centrales biomasses :

Une centrale biomasse produit de l'électricité grâce à la vapeur d'eau dégagée par la combustion de matières végétales ou animales, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur.

I.9.8. Les centrales Marémotrice :

Une centrale marémotrice ne peut fonctionner que quand la marée monte ou descend, c'est-à-dire seulement quelques heures par jour, Les turbines des centrales marémotrices peuvent tourner dans les deux sens car elles sont actionnées tantôt par la marée

I.10 Eléments de l'unité de production de l'énergie électrique:

Un réseau électrique est constitué généralement par des générateurs, transformateurs (Élévateurs et abaisseurs), lignes, charges et circuits auxiliaires.

Le schéma suivant montre clairement la structure et les différents éléments d'une unité de production Les centrales qui produisent de l'énergie électrique sont implantées selon des Conditions géographiques (centrales hydraulique), ou selon des contraintes D'approvisionnement en combustible (centrales thermiques), ou d'alimentation en eau de Refroidissement (centrales thermiques nucléaires)

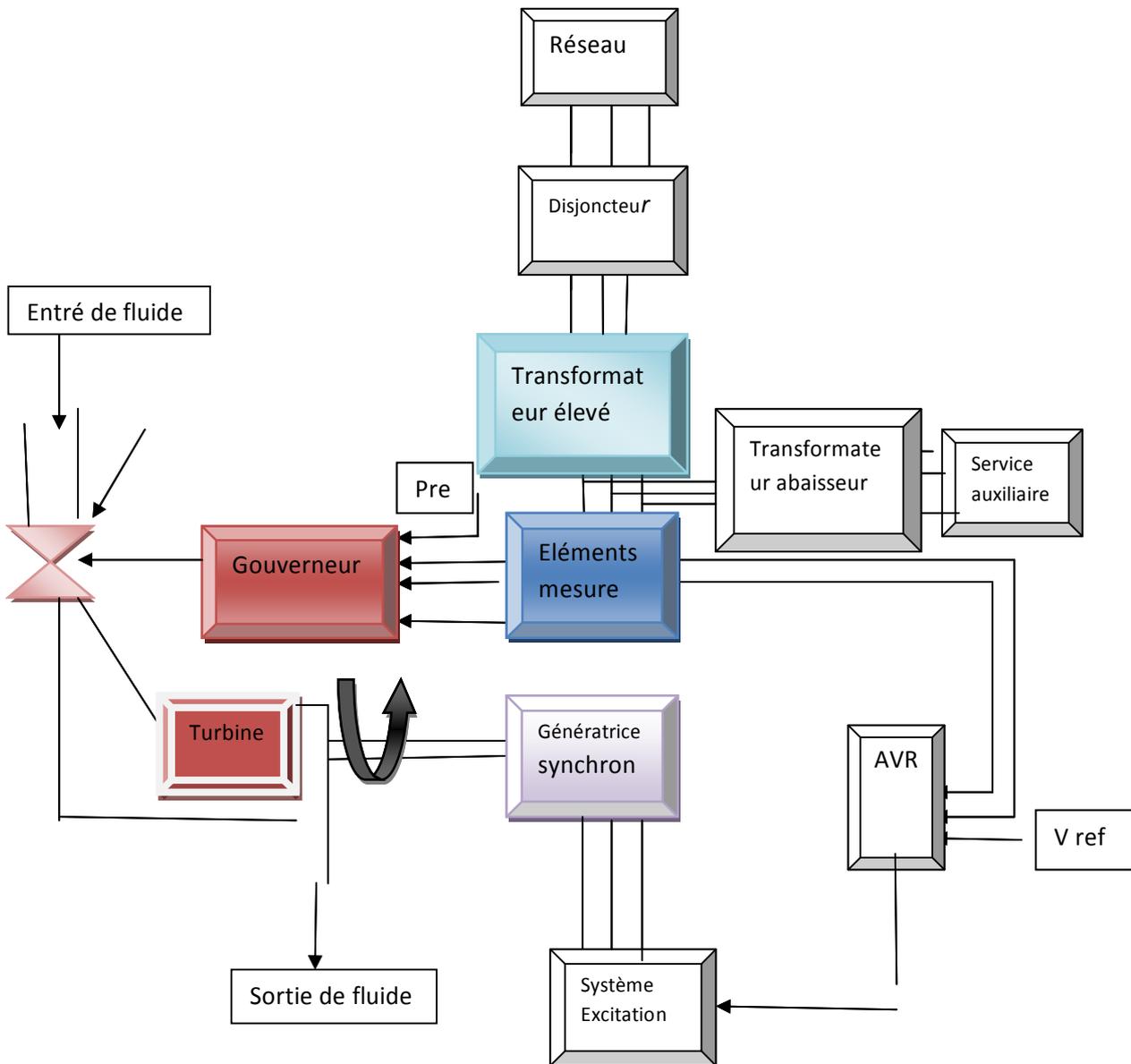


Figure I.5: schéma du principe général d'une unité de production d'énergie électrique

I.10. Qualité de fréquence:

La fréquence est un élément très important dans le réseau électrique donc il est très important de rester constante avec des écarts tolérés très faible autour de la valeur nominale (50Hz ou 60Hz). En effet une variation de fréquence reflète un déséquilibre entre la production et la consommation, pour contrôler la fréquence on utilise régulateur de vitesse automatique (gouverneur) sa permet à contrôler la vitesse d'alternateur donc sa assure la contrôle de la fréquence [1].

I.11. Réglage de la fréquence :

Réglage de fréquence est une fonction déterminante dans la gestion du système. En effet, la fréquence rend compte de l'équilibre production – consommation. L'opérateur doit donc prendre toutes les dispositions et utiliser tous les moyens nécessaires pour s'assurer à tout instant l'équilibre production – consommation afin d'éviter des écarts de fréquence qui dépassent les limites admises.

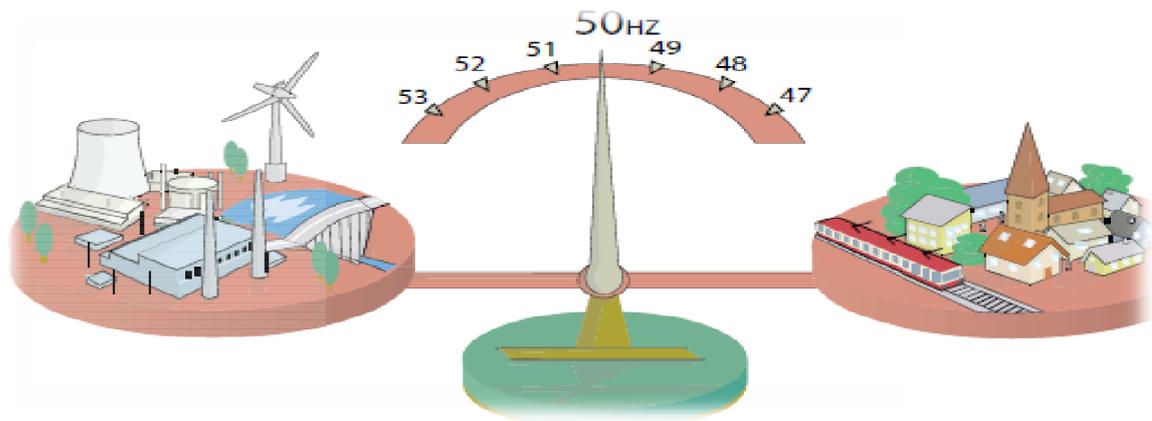


Figure I.6 : Réglage de la fréquence

I.12. Le réglage de la tension :

Le réglage de la tension en point du réseau est réalisé par la modulation de la puissance réactive produite ou consommée en ce point. Le composant le plus facile à activer est la machine synchrone conventionnelle connectée en ce nœud. Donc on déduit que la tension est un élément très important pour les réglages entre la puissance active et réactive.

I.13. Appel de puissance d'un réseau :

La puissance demandée par l'ensemble des clients d'un réseau subit de grandes fluctuations selon l'heure de la journée et selon les saisons. Le graphique de la figure (I-5) montre des variations quotidiennes et saisonnières typiques pour un réseau. On constate dans ce graphique que l'appel de puissance maximale pendant l'hiver (15 GW) peut être plus du double de l'appel minimal pendant l'été (6 GW) [2].

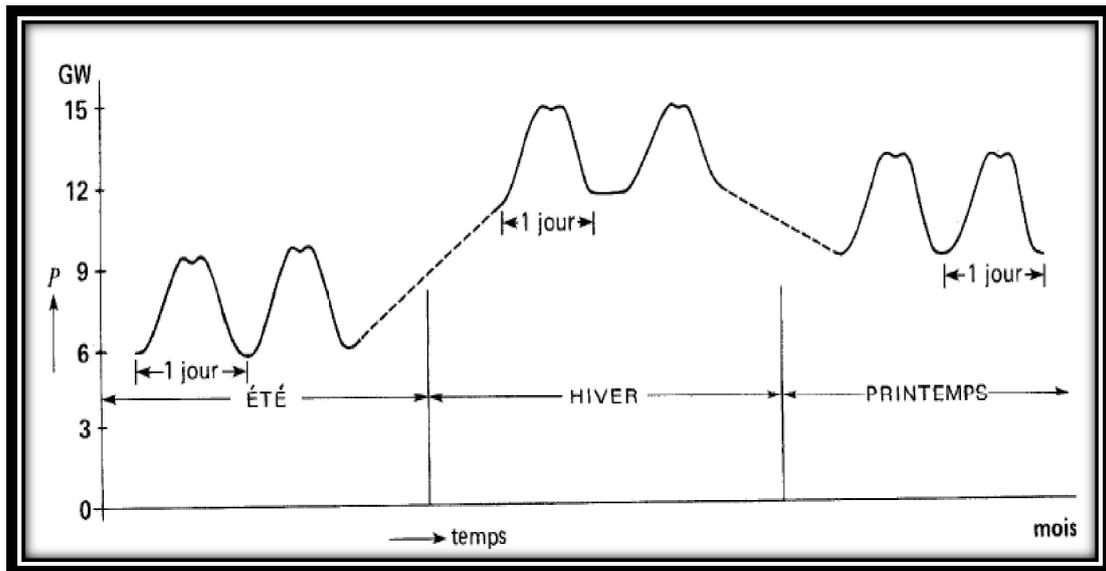


Figure .1.7 : Fluctuation typique de l'appel de puissance durant une année

I.14. Marché de l'électricité

La libéralisation du secteur a aussi entraîné l'émergence de nouvelles structures de marché de l'électricité, dont les 2 plus répandues sont le modèle pool, qui a la forme d'une bourse centralisée, et le modèle bilatéral, où un producteur et un consommateur concluent un contrat pour une certaine fourniture en énergie à un prix négocié librement entre eux. Ces deux modes de fourniture peuvent d'ailleurs très bien coexister au sein d'une même région [1].

I.15. La tenue de tension

Les limites de tension dans le réseau électrique ne doivent pas être dépassées pour les raisons suivantes:

I.15.1. Les limites supérieures de tension :

Sont imposées pour tous les niveaux d'exploitation par la tenue diélectrique des matériels, ainsi que par les limites de saturation des transformateurs. En ce qui concerne les réseaux de distribution, la tension est aussi limitée car une tension trop élevée peut réduire la durée de vie d'appareils utilisateurs.

I.15.2. Les limite inférieures de tension :

Sont imposées au niveau des réseaux de distribution par le fonctionnement correct des appareils industriels ou domestiques. Au niveau des réseaux de transport, les limites inférieures de tension sont liées à la sécurité du système électrique dans son ensemble; une tension trop basse aura les conséquences suivantes:

- surcharge des éléments de transport (lignes et transformateurs) par augmentation du courant, et risque de déclenchement des protections associées
- instabilité de tension pouvant entraîner un écroulement de tension; perte des éléments de production (stabilité statique des alternateurs, limites de fonctionnement des groupes et de leurs auxiliaires) [4].

I.16.Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre des généralités sur les différents aspects techniques (la production, le réseau transport, le réseau d'interconnexions, le réseau distribution, et les différents types de centrales électrique). Les notions de base sur de la qualité de fréquence, le réglage de la tension et le marché de l'électricité, des généralités sur la courbe de charge et les limites thermiques des lignes électriques ont été présentés.

Chapitre II

L'écoulement de puissance

II.1.Introduction

L'étude de l'écoulement de puissance (load flow) permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal et anormal afin d'assurer une exploitation efficace, c'est-à-dire conforme aux normes techniques. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes .les pertes et les courants s'en déduisent. Les études de l'écoulement de puissance permettent de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques ainsi que la conduite et le contrôle de ces réseaux.

➤ Philosophie de l'écoulement de puissance

Dans les réseaux électriques, il existe de nombreux problèmes qui ont des effets sur le but principal qui est, le maintien du système de puissance fonctionnel dans son état normal. Parmi ces problèmes, on trouve celui de l'écoulement de puissance.

L'étude de l'écoulement de puissance permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal ,équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes et les courants s'en déduisent

II .2.Concept général de l'écoulement de puissance

Le problème de l'écoulement de puissance est résolu pour la détermination en régime permanent des tensions complexes au niveau des jeux barres du réseau, à partir de lesquelles les transits des puissances actives et réactives dans chaque ligne et transformateur sont calculés. L'ensemble des équations représente le réseau électrique et de nature non linéaire.

Pratiquement, dans les méthodes de calcul d'écoulement de puissance, on exploite la configuration du réseau et les propriétés de ses équipements pour déterminer la tension complexe au niveau de chaque nœud .d'autre part, on parfaite symétrie entre les trois phases du système triphasés du réseau électrique.

II.3.But de l'étude de l'écoulement de puissance

But de l'écoulement de puissance il résume dans les points suivants :

- Assurer l'équilibre entre la production et la demande d'énergie électrique (L'amélioration de dépense de l'électricité, production d'énergie selon de besoin)
- ne pas dépasser les valeurs limites (la stabilité théorique, selon bon la durée d'utilisation).

- Il faut conserver les tensions de jeu de barre entre les limites théoriques ($V_{min} < V < V_{max}$), en utilisant le contrôle de puissance.
- Planification de réseau (à partir de calcul de la charge). Augmenter la sécurité de fonctionnement des réseaux par une bonne stratégie d'EP avant les perturbations [5].

II.4. Modélisation des composants du réseau électrique

Les éléments qui interviennent dans le problème de répartition des charges sont ceux qui sont exposés à des hautes tensions et à des forts courants, à savoir : générateurs de puissance (machine synchrone), charges électriques, lignes de transports, transformateurs de puissances et compensateurs statiques.

II.4.1. Générateurs

Le générateur est considéré comme le cœur du réseau électrique, il assure la production de l'énergie électrique demandé par le consommateur, Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants.

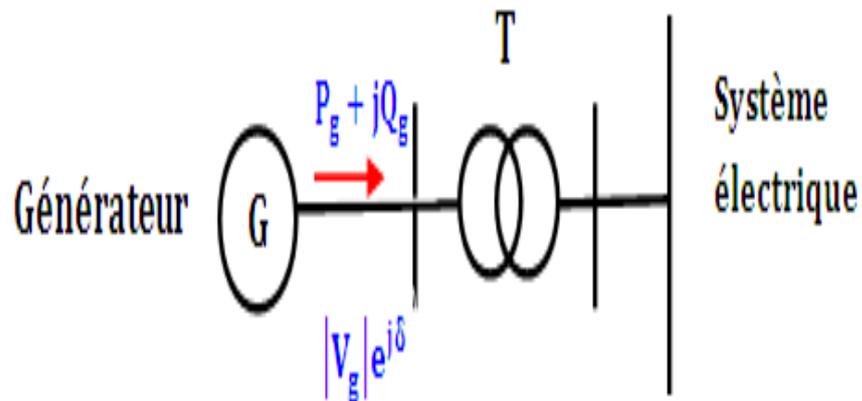


Figure .II.1 : Modèles d'un générateur.

II.4.2 .Lignes de transmission

Les lignes de transmission de l'énergie électrique entre les nœuds i et j généralement représentée par le schéma équivalent par phase de type pi (π) comme indiqué sur la Figure (2.2):

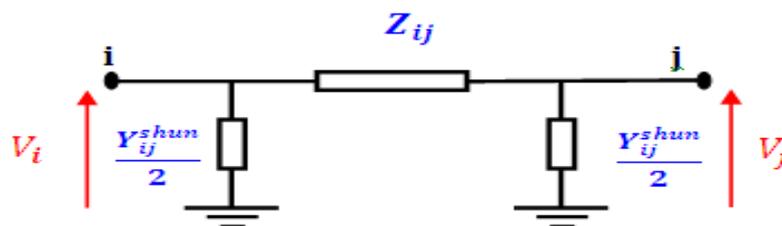


Figure II.2: Schéma pi d'une ligne de transmission.

Ce modèle est caractérisé par les paramètres suivants :

Z : c'est l'impédance série ou longitudinale par phase en (Ω) :

$$Z = R + jX \tag{II.1}$$

Où R et X sont respectivement, la résistance et la réactance série de la ligne entre les jeux de barres i et j .

Y : L'admittance shunt par phase en (*en Siemens*) :

$$Y = G + jB \tag{II.2}$$

Où G et B sont, respectivement, la conductance et la susceptance capacitive shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j . Ces paramètres spécifiques pour des lignes ou des câbles avec une Configuration donnée, dépendent de la nature des conducteurs et de leurs géométries. Dans la plupart des cas, la valeur d'est si petite, qu'on peut la négliger.

II.4.3. Charge électrique

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d'une impédance constante. Ils reflètent souvent des postes de répartition (sous stations) qui alimentent des réseaux de distribution.

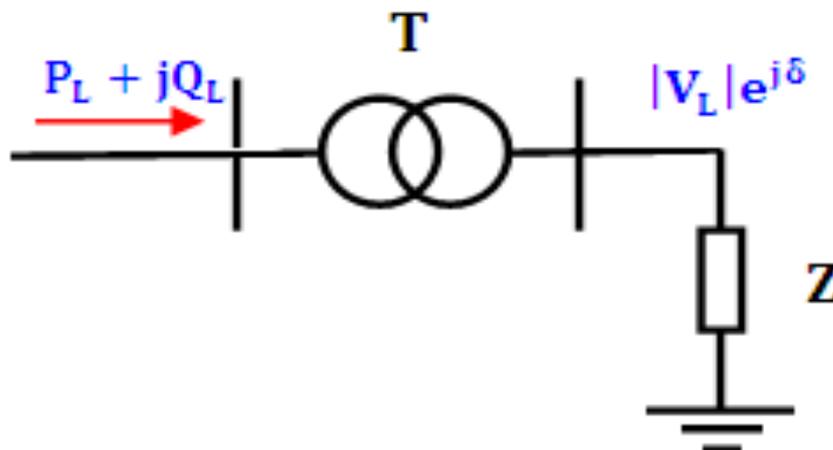


Figure. II.3: Représente la charge électrique

II.5.4 Eléments shunts

Généralement les éléments shuntés sont des dispositifs destinés à :

- La compensation de l'énergie réactive (les réactances qui sont utilisés pour fournir ou absorber la puissance réactive).
- les batteries de condensateurs Pour obtenir un meilleur profil de tension.

II.5. Classification des variables

La classification des variables de l'écoulement de puissance selon les grandeurs suivant: La puissance active et réactive, le module de la tension et l'argument (P, Q, |,) Donc il est impératif d'introduire un certain ordre sur les variables pour cette raison on les partage en groupe naturelle suivant :

II.5.1. Les variables de perturbation ou non contrôlables :

Parmi les douze variables des équations de l'écoulement de puissance, les variables de la demande $P_{D1}, \dots, P_{Dn}, Q_{D1}, \dots, Q_{Dn}$ ne sont pas contrôlables car elles dépendent seulement des utilisateurs de la puissance. Les variables de perturbation avec cette définition constituent les composantes du vecteur de perturbation P.

$$= [\dots] \text{ Avec : } \mathbf{n}, \text{ nombre des consommateurs.}$$

T : transposé d'une Matrice

II.5.2. Variable d'état

Les variables sont définies comme variables d'état, ce sont respectivement les modules et les arguments des tensions (|,), elles représentent par le vecteur d'état X comme suit :

$$= [| \dots]$$

II.5.3. Variable de contrôle

Ce sont les puissances actives et réactive générées par les centrales. Elles représentent par le vecteur de contrôle U comme suit :

$$= [\dots]$$

II.6. Classification des jeux de barres selon leurs spécifications :

On peut grouper les jeux de barres en trois catégories, en fonction des spécifications des variables utilisées :

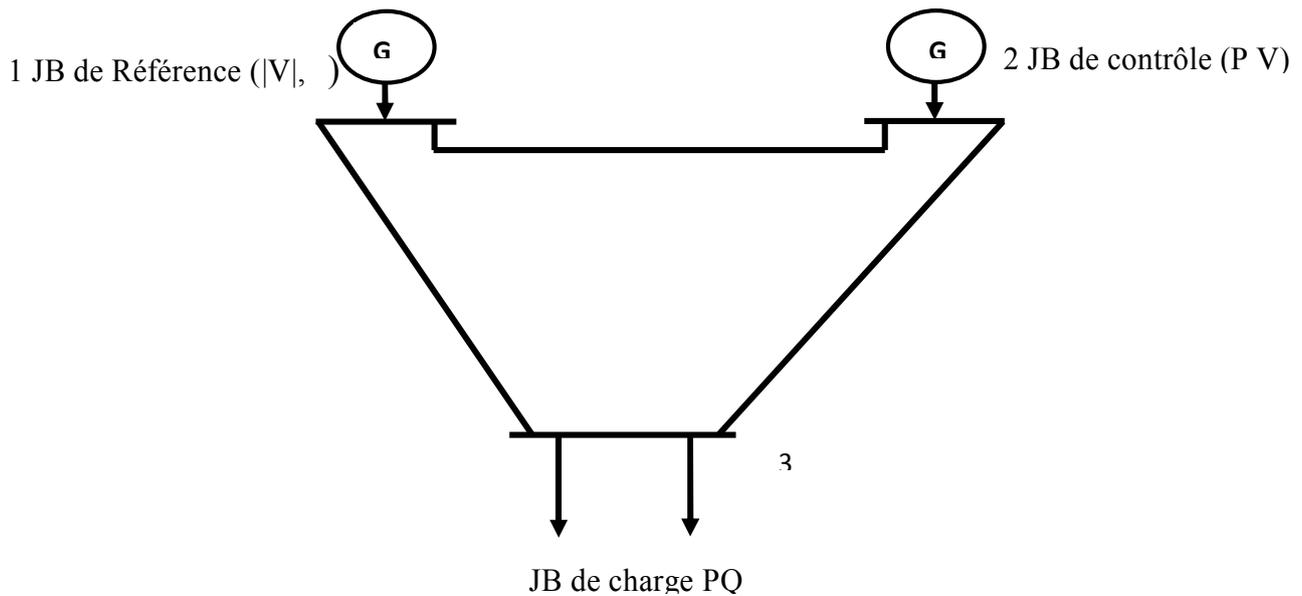


Figure II.4. Classification des jeux de barres

II.6.1 .Jeu de barres de référence (|V|,)

C'est un jeu barre connecté à une source de tension considérée constante, et sans angle de phase et pris comme référence de calcul .Ses puissances actives et réactives, doivent être calculées d'après le calcul de la puissance pour s'adapter aux exigences de jeu barre de contrôle

II.6.2 .Jeu de barres générateur (à tension contrôlée) (P|V|)

Ce jeu de barre est connecté à un générateur délivrant une puissance active P sous une tension constante V contrôlée par un régulateur automatique de tension (AVR). Donc (P, V) sont spécifiées alors que $(Q,)$ sont à calculer.

II.6.3 .Jeu de barres de charge (P,Q)

Ce sont les jeux barre de la demande clientèles, pour ce genre, les puissances actives et sont données, mais l'amplitude de l'argument de la tension sont déterminer, Notons que dans un réseau électrique, les jeux de barres de charge forment de 80 à 90% de la totalité des jeux de barres.

En résumé cette classification et la numérotation des jeux de barres dans le tableau suivant :

Jeux de barres	Variables spécifiés	Variables à calculé	Numérotation des jeux de barres
Jeu de barre de référence	La module de tension et l'argument ($ V $ et θ)	La puissance active et réactive (P et Q)	Généralement numérotée (1 ou 0)
Jeu de barre contrôle (PV)	La puissance active et la module de tension (P et $ V $)	La puissance réactive et la module de tension (Q et θ)	Généralement numérotée (2, ..., k)
Jeu de barre de charge (PQ)	La puissance active et réactive (P et Q)	La module de tension et l'argument ($ V $ et θ)	Généralement numérotée (K, ..., n)

Tableau II.1 : classification et la numérotation des jeux de barres.

II.7. Formulation des équations de l'écoulement de puissance [7]

Dans cette partie, toutes les grandeurs sont exprimées en valeurs relatives (système per unit ou p.u.), à partir d'une puissance apparente triphasée de base et de la tension nominale composée de chaque jeu de barres, 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 :

$$\begin{matrix}
 \dots \\
 = \begin{matrix} \dots \\ \dots \\ \dots \end{matrix} \\
 \dots
 \end{matrix} \tag{II.3}$$

toutes les grandeurs sont exprimées en valeur relative.

Ou encore

$$=$$

Où

$I = [\dots]$ est le vecteur $1 \times N$ des courants complexes injectés à chaque jeu de barres

$V = [\dots]$ est le vecteur $1 \times N$ des tensions complexes de chaque jeu de barres

= est le vecteur $N \times N$ des admittances nodale du système.

, l'élément diagonal ii , est égal à la somme des admittances de tous les composants connectés au jeu de barres i , soit :

$$= + \tag{II.4}$$

, l'élément shunte.

, l'élément hors diagonale de la matrice Y , est égal à la somme négative des admittances de tous les composants connectés entre les jeux de barres i et j , c'est à dire :

$$= \tag{II.5}$$

Alors le courant injecté à un jeu de barres i , peut s'écrire :

$$= + \tag{II.6}$$

Les grandeurs complexes et sont représentées sous la forme exponentielle ou rectangulaire suivantes :

$$= \exp = (\cos + \sin) \tag{II.7}$$

$$= \exp = (\cos + \sin) \tag{II.8}$$

La puissance apparente injecté à un jeu de barres i définir comme suit :

$$= + = \tag{II.9}$$

La puissance active et réactive injecté à un jeu de barres i donné par la formule suivent :

$$P_i = P_{G_i} - P_{L_i} = \text{Re}[V_i I_i^*] \tag{II.10}$$

$$Q_i = Q_{G_i} - Q_{L_i} = \text{Im}[V_i I_i^*] \tag{II.11}$$

Donc, à partir de l'équation (II.6) et (II.9), pour N jeu de barres, le courant formuler comme suit :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = Y_{ii}.V_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n y_{ij}.V_j \tag{II.12}$$

À partir de l'équation (II.12)

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} \cdot V_j \right] \quad (\text{II.13})$$

Finalement la formule de la puissance apparente injecté à un jeu de barre i en fonction de la tension et l'admittance, donnée comme suit :

$$S_i = P_i + jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \exp j(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (\text{II.14})$$

Avec

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (\text{II.15})$$

Et

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (\text{II.16})$$

$i = 1, 2, \dots, n$

$i \neq$ jeu de barres de référence (slack bus)

Cet ensemble de deux équations non linéaires constitue la forme polaire des équations de l'écoulement de puissance. Pour un profil de tension et une topologie du réseau donnés, ces équations donnent les injections de la puissance active, et la puissance réactive, au niveau d'un jeu de barres i .

Finalement, les équations d'équilibre de puissance sont de la forme :

$$P_{Gi} = P_{Di} + \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (\text{II.17})$$

$$Q_{Gi} = Q_{Di} + \sum_{j=1}^n |V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (\text{II.18})$$

II.8. Algorithme de résolution du problème de l'écoulement de puissance

La méthode initialement utilisée était la méthode de Gauss-Seidel, qui a l'inconvénient de converger en un nombre d'itérations proportionnel à la taille du réseau. Actuellement, la méthode universellement adoptée est la méthode de Newton-Raphson ou la méthode découplée rapide, dont le nombre d'itérations requis pour obtenir une solution est indépendant de la taille du réseau étudié.

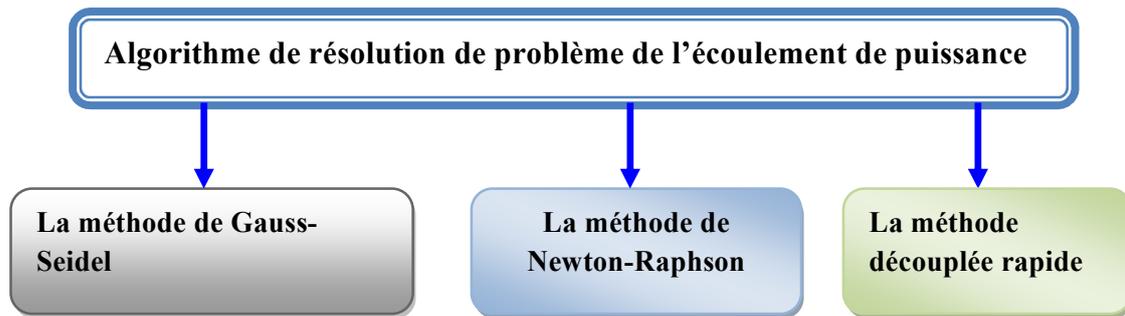


Figure .II.5: Algorithme de résolution du problème de la répartition des charges.

II.9.Méthode de Gauss-Seidel :

Cette méthode est considérée comme l'une des plus simples des méthodes itératives, à savoir que la méthode la plus efficace est la méthode de Newton-Raphson, mais la méthode de Gauss-Seidel s'intervient pour les raisons suivantes [02]:

- 1-Elle possède une valeur scientifique sûre grâce à sa simplicité.
- 2-Elle est utilisée dans les systèmes à faible puissance, dans les quelles les programmes sont simples.
- 3-Elle s'utilise dans de nombreux cas des grands systèmes pour obtenir une solution approximative

II.9.1: Principe de la méthode de Gauss Seidel :

Soit à résoudre la fonction : $f(x) = 0$

Il faut changer cette formule par $X=g(x)$, il est toujours possible de trouver une fonction $g(x)$, telle que : $X=g(x)$ « $g(x)$ n'est pas unique »

On estime une valeur initiale X_0 ; $X_1 = g(X_0)$, $X_2 = g(X_1)$, $X_{j+1} = g(X_j)$ où k est le numéro d'itération.

Le processus itératif se termine si la différence entre deux valeurs successives vérifie le test de Convergence :

$$|x_k - x_{k-1}| < \epsilon$$

ϵ : tolérance choisie.

II.9.2: Application à la solution des équations de l'écoulement de puissance :

$$S = P - jQ = V \cdot Y \cdot V \quad (.)$$

On a alors :

$$V = \frac{1}{Y} \cdot \frac{P - jQ}{V \cdot i} \quad Y \cdot V \quad (.)$$

Donc :

$$V = \frac{1}{Y} \cdot \left[\frac{P - jQ}{V} \quad Y \cdot V \right] \quad (.)$$

Dans cette partie en représenté la méthode de N-R, qui est la plus utilisée.

II.10. La technique itérative de Newton Raphson :

La technique itérative de Newton Raphson converge avec une même vitesse, mesurée par le nombre d'itérations, pour les larges et courts systèmes, en moins de quatre à cinq itérations en général. C'est pour cette raison que la méthode de N-R est la plus utilisée pour l'étude des larges systèmes.

II.10.1. Représentation géométrique de la méthode de N-R :

Elle est basée sur la détermination de la tangente à la courbe $f(x)$ en chaque point $(x^{(k)}, f(x^{(k)}))$. L'intersection de cette tangente avec l'axe des x fournit le point $x^{(k+1)}$, $(\Delta x^{(k)})$ étant une approximation de l'erreur commise sur x à l'itération (k) .

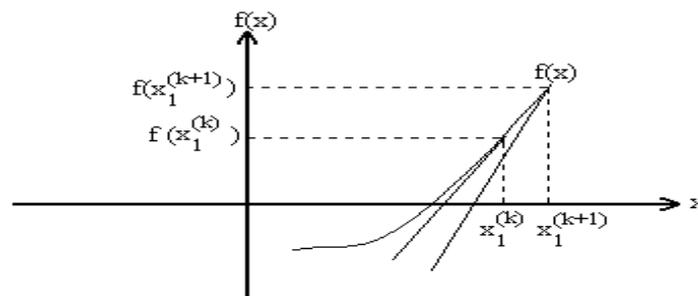


Figure II.6 Représentation géométrique de la méthode de N-R [5]

II.10.2. Algorithme de N-R dans un système de dimension n :

$$f_n(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = 0 \dots\dots\dots$$

Les termes $\left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)|_0, \dots, \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)|_0$ correspondent à la dérivée partielle évaluée avec les valeurs

$$x_1^{(0)}, x_2^{(0)} \dots x_n^{(0)}.$$

Ou dans une notation compacte : $f(x^{(0)}) + j^{(0)} \Delta x^{(0)} \approx 0$

La matrice carrée dite Jacobienne : $[J^{(0)}]$

De cette dernière équation on tire ensuite le vecteur erreur $(\) = (\) - (\)$

Mais :

$$(\) = (\) - (\) \quad (\) = (\) - (\) \quad (\) \quad \text{--- (II.23)}$$

En général :

$$(\) = (\) - (\) \quad (\) \quad \text{--- (II.24)}$$

II.11. L'application de la méthode de Newton-Raphson, au problème de l'écoulement de puissance

L'approximation linéaire est obtenue par un développement en série de Taylor des deux équations (2.15) et (2.16) de l'écoulement de puissance en obtenue cette forme :

$$= (\text{---} + \text{---}) \quad \text{--- (II.25)}$$

$$= (\text{---} + \text{---}) \quad \text{--- (II.26)}$$

Ou en forme matriciel

$$= \quad \text{--- (II.27)}$$

Où H, N, J et L sont, des sous matrices de jacobéenne, est déterminées comme suit :

- Les éléments diagonaux de la matrice Jacobéenne

$$= \text{---} = \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.28)}$$

$$= \text{---} = \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.29)}$$

$$= \text{---} = \quad + \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.30)}$$

$$= \text{---} = \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.31)} \quad \text{De la même manière,}$$

les éléments hors diagonaux de la matrice Jacobienne sont :

$$= \text{---} = \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.32)}$$

$$= \text{---} = \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.33)}$$

$$= \text{---} = \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.34)}$$

$$= \text{---} = \quad (\quad + \quad) \quad \textbf{(II.35)}$$

L'équation liant les variations des puissances aux variations des amplitudes de la tension et les angles de phase pour la méthode de N-R est donnée par :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \dots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \dots & \vdots & \dots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \dots \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

Le principe général du fonctionnement de la méthode de N-R est représenté sur l'organigramme de la figure (II.6)

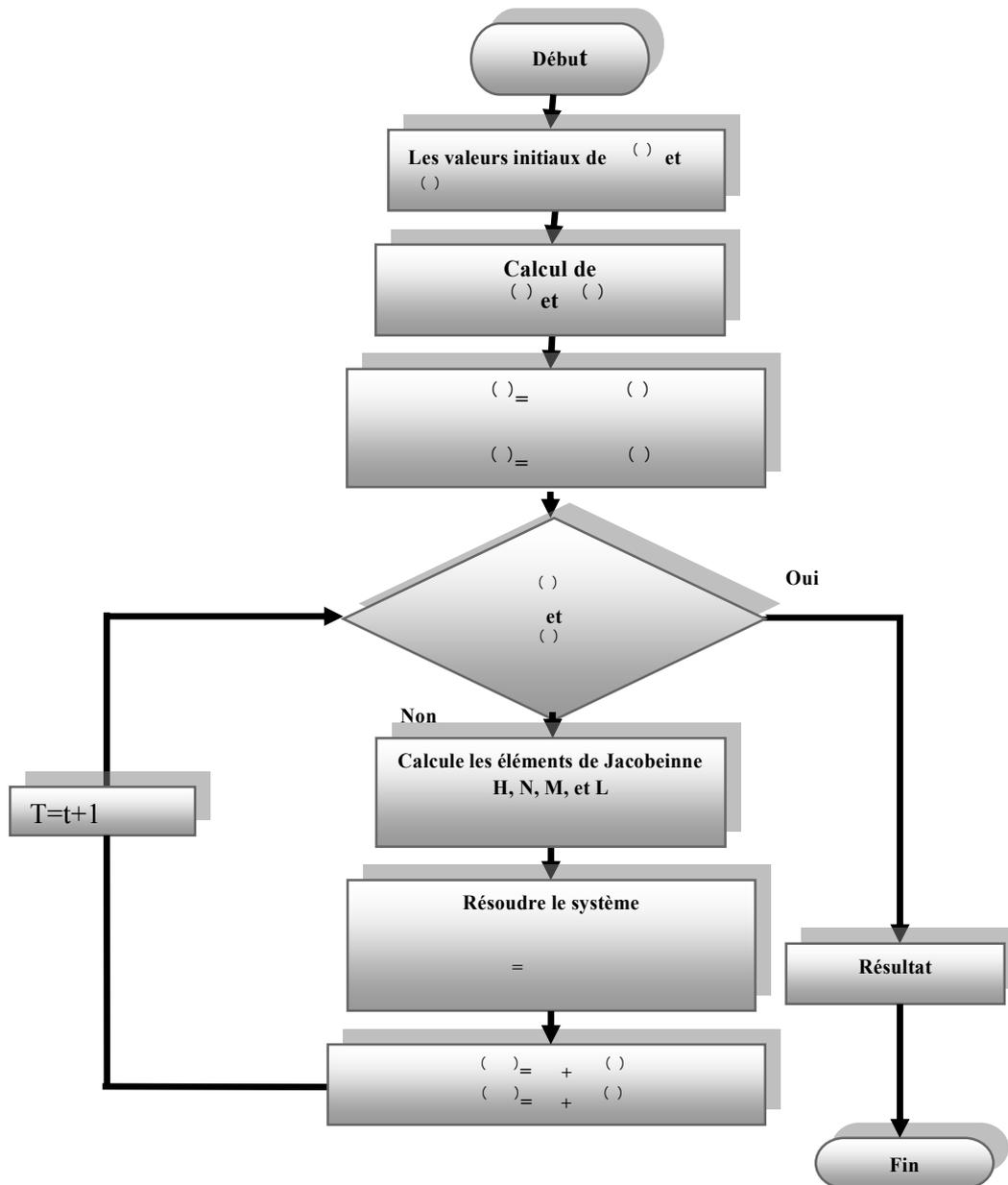


Figure .II.7: Le fonctionnement de la méthode de N-R.

Le calcul de l'écoulement de puissance par l'utilisation de la méthode Newton Raphson, en résumée dans les étapes suivantes :

1. Initialiser le compteur d'itération, $t=0$.
2. formulé la matrice d'admittance Y .
3. Affecter des valeurs initiales aux modules et phases des tensions, $V^{(0)}$ et $\delta^{(0)}$
D'habitude, les valeurs initiales sont $V^{(0)} = 1\text{p.u}$ et $\delta^{(0)} = 0$.
4. Calculé les puissances $P^{(0)}$ et $Q^{(0)}$.

5. Calculer le vecteur des écarts de puissances (ΔP) et (ΔQ) comme suit :

$$(\Delta P)_i = P_{i,spéc} - P_{i,calculé} \quad (II.36)$$

$$(\Delta Q)_i = Q_{i,spéc} - Q_{i,calculé} \quad (II.37)$$

Les écarts de puissances représentent la différence entre l'injection des puissances spécifiées et la valeur actuelle de l'injection des puissances calculées sur la base des formules (II.15) et (II.16), en fonction des valeurs actuelles des variables d'état.

6. Vérifier la convergence. Si le vecteur des écarts de puissance est inférieur à une certaine précision (ϵ_P) et (ϵ_Q) stop. Sinon, continuer.

7. Calculer les éléments de la matrice Jacobienne (H, N, J et L) à partir de (II.25)-(II.32).

8. Résoudre le système (II.24) par rapport à $[\theta, V]$, par l'inversion directe de la matrice jacobienne ou par la technique de factorisation triangulaire et l'élimination gaussienne.

9. Calculer les nouvelles estimations des variables d'états :

$$\theta_i^{(k+1)} = \theta_i^{(k)} + \Delta \theta_i \quad (II.38)$$

$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \Delta V_i \quad (II.39)$$

10. Incrémenter k de 1 et retourner à l'étape 4, jusqu'à le vecteur des écarts de puissance est inférieur à la valeur de précision.

II.12. Les puissances transites et les pertes

La dernière étape de l'analyse de l'écoulement de puissance, c'est le calcul des puissances transites et les pertes au niveau des lignes, pour ce la on considère le modèle en π d'une ligne reliant entre les deux jeux de barres i et j, montré dans la Figure (II.7).

Le courant transite dans la ligne i-j, mesuré au jeu de barre i, définit positif de i vers le jeu de barre j, est obtenu par :

$$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{V_i} = \frac{P_{ij}}{V_i} + jB_{ij} \frac{V_i}{2} \quad (II.40)$$

Et le courant inverse mesuré au jeu de barre j vers le jeu de barre i, s'écrit :

$$I_{ji} = \frac{P_{ji}}{V_j} = \frac{P_{ji}}{V_j} + jB_{ij} \frac{V_j}{2} \quad (II.41)$$

En représente la puissance apparente S_{ij} s'écoulant au jeu de barre i vers le jeu de barre j, et la puissance inverse S_{ji} , du jeu de barre j vers i, sont :

$$= = + \tag{II.42}$$

$$= = + \tag{II.43}$$

En représente la puissance perdu dans la ligne i-j due à la transmission, par la somme algébrique des puissances apparentes et

$$= + \tag{II.44}$$

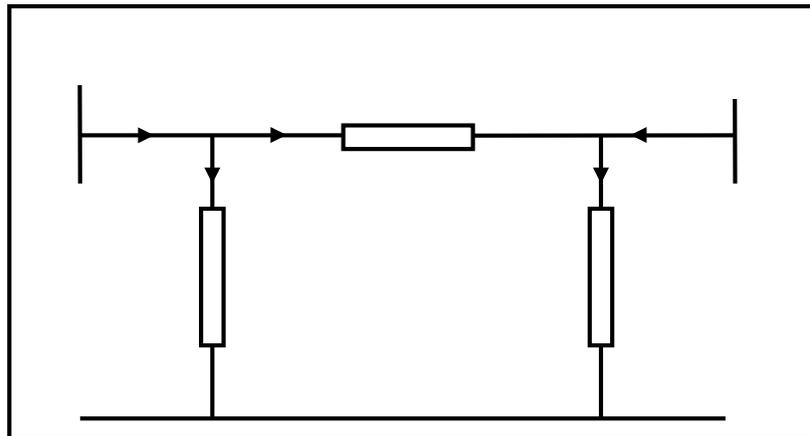


Figure II.8 : puissance transitée d'une ligne de transmission

II.13.Conclusion

Selon ce qui précède, afin d'analyser le réseau électrique, il faut calculer l'écoulement de puissance dont le calcul doit passer par la résolution des équations non linéaires, où le recours aux méthodes numériques est inévitable. Quelques méthodes sont étudiés et nous avons conclu que la méthode de Newton-Raphson représente des avantages énormes par rapport aux autres méthodes, c'est pour cette raison que nous allons l'utiliser dans la partie du calcul de l'écoulement de puissance lors de l'optimisation qu'on va effectuer par la suite.

Chapitre III

Optimisation des Réseaux électriques

III.1.Introduction

Partant de la définition de l'optimisation, on peut dire qu'optimiser un réseau électrique revient à minimiser ou maximiser une grandeur tout en respectant les conditions imposées par le système ou l'opérateur lui-même, cette grandeur optimale peut être un coût, des pertes, un bénéfice ou un dégagement de gaz toxiques ou autres c'est ce qu'on appelle « optimisation mono objectif », mais en réalité l'opérateur des réseaux électriques est confronté quotidiennement à des situations, où il doit satisfaire des fonctions contradictoires ce qui rend cette optimisation multi objectifs très délicate .

III.2.Domains d'application de l'écoulement de puissance optimal

Les applications de la fonction écoulement de puissance optimal peuvent être classées en applications d'exploitation et celles de planification. Dans le domaine d'exploitation, on distingue les applications d'ordre économiques et celles d'ordre technique. Dans chaque catégorie on trouve plusieurs applications, dont les plus courantes sont :

III.2.1.Minimisation du coût de combustible

Le point de départ de l'OPF est la minimisation des coûts d'exploitation des réseaux électriques. La minimisation du coût de combustible est le principal objectif dans cette catégorie. Le but étant de trouver les puissances optimales à générer par les centrales de façon à minimiser le coût total du combustible [8] [9].

III.2.2.Minimisation des pertes

La minimisation des pertes de transmission est considérée aussi comme l'un des objectifs qui permet une réduction des coûts. Cet objectif ainsi que la minimisation du coût de combustible sont les objectifs les plus couramment utilisés [10].

III.2.3.Amélioration du profil de tension

En général, les tensions sont bornées entre des limites supérieures et inférieures dans les contraintes d'inégalité. Cependant, il existe d'autres formulations où le but est de déterminer les paramètres de contrôle pour minimiser la somme des déviations de tension au niveau des jeux de barres de charge [11].

III.2.4.Amélioration de la stabilité de tension

L'amélioration du profil de tension ne garantit pas une sécurité optimale du système. En effet, des problèmes d'instabilité de tension ont été rencontrés dans des systèmes ayant un profil de tension acceptable [12]. La sécurité de tension est assurée si un système est capable de maintenir constamment une tension acceptable au niveau de tous les jeux de barre du système,

dans les conditions de fonctionnement normale, après une augmentation de charge, après un changement de configuration ou lorsque le système est soumis à une perturbation. Cet objectif a fait l'objet de plusieurs travaux de recherches où il a été formulé de différentes manières [13].

III.2.5. Maximisation de la puissance transmissible

Maximiser le transfert de puissance est un objectif appréciable pour les systèmes interconnectés. Il peut aider à minimiser les coûts d'exploitation des systèmes électriques en plus d'autres avantages tel que l'amélioration de la fiabilité. Cet objectif est mieux géré par un ajustement optimal des sources de puissance réactives [14]. Cependant, l'intégration des dispositifs à base de semi conducteurs (FACTS) dans la procédure de l'OPF, peut apporter une amélioration considérable de la capacité de transfert de puissance [15].

Donc Le but de ce chapitre est de donner des définitions et formulation mathématique de la fonction objective à étudier et à optimiser et aussi comment peut-on résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance avec un coût de production minimal et avec aussi le minimum de dégagement de gaz toxique, et le minimum de perte ,on va finalement citer les différentes méthodes utilisées pour l'optimisation de l'écoulement de puissance.

III.3. Variables de décision

Elles sont regroupées dans le vecteur x . C'est en faisant varier ce vecteur que l'on recherche un optimum de la fonction [16].

III.4. Formulation du problème de l'écoulement de puissance optimal

Le problème de l'OPF est considéré comme un problème d'optimisation non linéaire avec contraintes. Un tel problème s'écrit sous la forme d'un programme mathématique non linéaire de la forme :

$$\text{Minimiser ou Maximiser } (,) \text{ (fonction à optimiser)} \quad \textbf{(III.1)}$$

Sous les contraintes :

$$(,) = 0 \text{ Contraintes d'égalité} \quad \textbf{(III.2)}$$

$$(,) \leq 0 \text{ Contraintes d'inégalité} \quad \textbf{(III.3)}$$

$$\textbf{(III.4)}$$

$$\textbf{(III.5)}$$

Dans lequel x représente le vecteur des variables d'état, u est le vecteur des variables de contrôle, $f(x, u)$ représente la fonction objectif à optimiser, $f(x, u) = 0$ traduisent les r contraintes d'égalité, et $f(x, u) \leq 0$ représentent les m contraintes d'inégalité, x_{\min} , x_{\max} , et u_{\min} , u_{\max} sont les limites admissibles des variables de décisions correspondantes.

III.4.1. Variables de contrôle

Ce sont les variables du problème qui peuvent être ajustées afin d'optimiser la fonction objectif et satisfaire les contraintes. Ces variables peuvent inclure :

- les puissances actives générées par les alternateurs,
- les puissances réactives générées par les alternateurs,
- les modules des tensions des jeux de barres générateurs,
- les positions des prises de réglage des transformateurs en phase,
- les phases des transformateurs déphaseurs,
- les puissances réactives délivrées par les compensateurs synchrones,
- les puissances réactives fournies par les compensateurs statiques (SVC),
- les puissances réactives des batteries/bobines de compensation
- les puissances nettes échangées entre les systèmes interconnectés.

III .4.2. Variables d'état

Ce sont les variables du problème qui dépendent des variables de contrôle. Ces variables sont essentiellement les modules des tensions des jeux de barres de charges, et les phases des tensions de tous les jeux de barres (sauf le jeu de barres de référence). L'état de fonctionnement d'un système électrique est complètement déterminé par les variables de contrôle et les variables d'état.

III.4.3. Recherche Optimum locale et globale

Les méthodes de recherche globales d'un extremum sont typiquement employées pour résoudre les problèmes non-convexes complexes d'optimisation en explorant très largement le domaine pour éviter les optimums locaux et ainsi localiser l'optimum global, les méthodes

globales sont moins dépendantes des conditions initiales mais ces techniques ne peuvent pas profiter des caractéristiques locales de l'espace de solution comme les méthodes de type gradient, et leur convergence sera plus lente [27]. La figure (III.1) illustre un espace avec des optimums locaux et un optimum global.

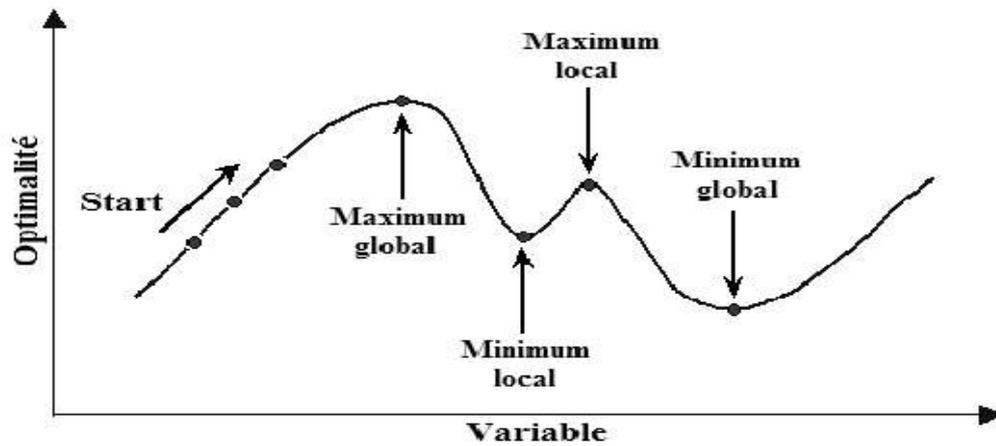


Figure .III.1. Domaine admissible comportant des extremums locaux et globaux

III.4.4.Fonction Objective

La fonction objectif représente le critère (ou l'index de performance) utilisé pour l'optimisation. On peut citer quelques fonctions objectifs usuelles dans les études de

l'OPF, qui sont :

- Minimiser le coût de production,
- Minimiser les pertes actives de transmission,
- Minimiser pertes réactives de transmission,
- Minimiser l'écart de tension,
- Maximiser les puissances actives transmissibles,
- Minimiser l'émissions de gaz,
- Minimiser le coût de puissance réactive injectée par le système de compensation

III.4.5.Contraintes d'égalité

Ces contraintes sont traduites par les lois physiques gouvernant le système électrique. En régime stationnaire, la puissance générée doit satisfaire la demande de charge plus les pertes

de transmission. Cet équilibre énergétique est décrit par les équations d'équilibre de l'écoulement de puissance, déjà discutées dans le chapitre (II), et qui sont formulées par :

$$= + \quad | \quad | \quad (\quad) \quad \text{(III.6)}$$

$$= + \quad | \quad | \quad (\quad) \quad \text{(III.7)}$$

Où est l'ensemble des jeux de barres du système (excepté le JB de référence) et est l'ensemble des jeux de barres de charge.

III.4.6. Contraintes d'inégalité

Les contraintes d'inégalité reflètent les limites admissibles de fonctionnement des éléments physiques du système. Ces contraintes peuvent inclure des limites sur des variables de décision, ou des limites sur des fonctions non linéaires. Ces limites ne doivent pas être violées, afin d'assurer la sécurité du système. Les contraintes d'inégalité habituelles peuvent inclure

✓ **Limites des puissances actives et réactives des générateurs :**

Les puissances actives et réactives délivrées par les unités thermiques doivent être maintenues dans des limites admissibles. Ces limites sont imposées par certaines limitations thermiques et opérationnelles au niveau de chaque unité :

$$\text{(III.8)}$$

$$\text{(III.9)}$$

Où

est la limite minimale de puissance active générée au niveau du JB i ,

: est la limite maximale de puissance active générée au niveau du JB i ,

: est la limite minimale de puissance réactive générée au niveau du JB i ,

: est la limite maximale de puissance réactive générée au JB i ,

N_g : est l'ensemble des indices de tous les JB générateurs.

✓ **Limites des modules de tension :**

Pour des raisons de sécurité et de stabilité du système électrique, les fluctuations de tension sont indésirables. Donc, il est en général important de maintenir la tension au niveau de tous les jeux de barres dans des limites admissibles, à savoir :

$$\text{(III.10)}$$

Où

: est la limite minimale du module de tension au niveau du JB i ,

: est la limite maximale du module de tension au niveau du JB i ,

N : est l'ensemble des JB du système.

✓ **Limite des écoulements de puissance:**

Afin d'assurer la sécurité dans le fonctionnement du système électrique, les branches (lignes de transport ou transformateurs) ne doivent en aucun cas être surchargés. Donc, l'écoulement de puissance sur chaque branche est limité par une valeur maximum qui est généralement spécifiée. Ces restrictions sont généralement conditionnées par les limites thermiques des composants du réseau, ou par des considérations de sécurité. Généralement, il s'agit des limites des puissances apparentes transitant sur les branches qui sont de la forme :

$$(,) \tag{III.11}$$

Où

: est la limite maximale de puissance apparente entre les JB i et j , est l'ensemble des paires d'indices ordonnées (i, j) de tous les JB de départ et d'arrivée du système.

✓ **Les contraintes d'inégalité de l'angle de phase de la tension aux tous les JB i .**

$$\tag{III.12}$$

Où

, : sont respectivement le minimum et le maximum de l'angle phase au JB i .

III.5. Formulation d'OPF de la fonction mono-objective

III.5.1. Formulation d'OPF pour minimisation du coût de production

III.5.1.1. Fonction objective du coût :

L'objectif le plus généralement utilisé dans la formulation de problème d'OPF est la minimisation du coût total de la puissance générée. La fonction objective du coût de production du système électrique peut être alors écrite d'une manière simple sous forme d'un modèle quadratique exprimé comme suit :

$$= (+ +) \tag{III.13}$$

Tel que :

Où : $i=1,2,\dots$

n : est le nombre des générateurs inclure les jeux de barres de contrôle.

P_i : est la puissance active générée au JB i .

a_i, b_i, c_i : Les coefficients des puissances générées pour i générateur.

- Contraintes d'égalité

Tout en minimisant la fonction de coût, il est nécessaire de s'assurer que la puissance générée satisfait toujours les demandes de charge (P_D) plus des pertes dans les lignes de transmission [17].

Habituellement les équations de l'écoulement de puissance sont employées comme contraintes d'égalité : voir l'équation III.6

- Contraintes d'inégalité

Les contraintes d'inégalité sont présentées dans l'équation (III.8)

III.5.1.2. Formulation d'OPF pour la minimisation de l'émission

La formulation mathématique du problème d'optimisation de l'émission de gaz est donnée ci-dessous:

$$F = \sum_{i=1}^n (a_i P_i + b_i P_i^2) + c \left(\sum_{i=1}^n P_i \right) \quad \text{(III.14)}$$

Sous :

$$P_i = P_{Di} \quad \text{Et} \quad P_i \geq 0$$

avec :

F : Représente la fonction d'émission totale

n : est le nombre de générateurs.

P_i : est la puissance active générée au jeu de barres JB i .

a_i, b_i, c, λ_i : Les coefficients des puissances générées pour $i^{\text{ème}}$ générateur.

- Contraintes d'égalité : Voir l'équation III.6
- Contraintes d'inégalité :

Les contraintes d'inégalité sont présentées dans l'équation (III.8)

III.5.1.3. Formulation d'OPF pour la minimisation des Pertes:

L'objectif est de réduire pertes dans les lignes de transport, la fonction objective peut être formulée comme suit :

$$P_{\text{pertes}} = \sum_k \left[\frac{1}{2} G_k (V_k^2 - V_{k'}^2) \right] \tag{III.16}$$

G_k : est la conductibilité d'une ligne k de transmission reliée entre les jeux de barre

n_k : est le nombre des lignes de transmission

V_k et θ_k : sont les amplitudes et les phases de tension dans les jeux de barres respectivement

III.6. Optimisation Multi-objective

III.6.1. Définition

Un problème d'optimisation Multi objective peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes et optimise un vecteur des fonctions objectifs

Par la suite, nous allons voir que les problèmes d'optimisation ont en général plusieurs solutions car la définition d'un optimum ne peut pas être établie dans le problème Multi objective [18]

III.6.2. Principe et notions de base

La difficulté principale d'un problème multi objectif est qu'il n'existe pas de définition de la solution optimale. Le décideur peut simplement exprimer le fait qu'une solution est préférable à une autre mais il n'existe pas une solution meilleure que toutes les autres [25].

Dès lors résoudre un problème multi objectif ne consiste pas à rechercher la solution optimale mais l'ensemble des solutions satisfaisantes pour lesquelles on ne pourra pas effectuer une opération de classement. Les méthodes de résolution de problèmes multi objectifs sont donc des méthodes d'aide à la décision car le choix final sera laissé au décideur [5].

Pour répondre ce problème les chercheurs ont adoptés deux types de comportement. Le premier est de ramener un problème multi objectif à un problème simple objectif au risque

d'enlever toute signification au problème. Le second comportement est de tenter d'apporter des réponses au problème en prenant en compte l'ensemble des critères. Cette partie de la communauté scientifique a amené durant ces dix dernières années un grand nombre d'innovations dans les méthodes de résolution. La différence entre ces deux communautés s'exprime dans le schéma ci-dessous. Soit le décideur intervient dès le début de la définition du problème, en exprimant ses préférences, afin de transformer un problème multi objectif en un problème simple objectif. Soit le décideur effectue son choix dans l'ensemble des solutions proposées par le solveur multi objectif. La principale qualité d'un solveur multi objectif est donc de rendre les décisions plus faciles et Moins subjectives en proposant un sous-ensemble représentatif de F .

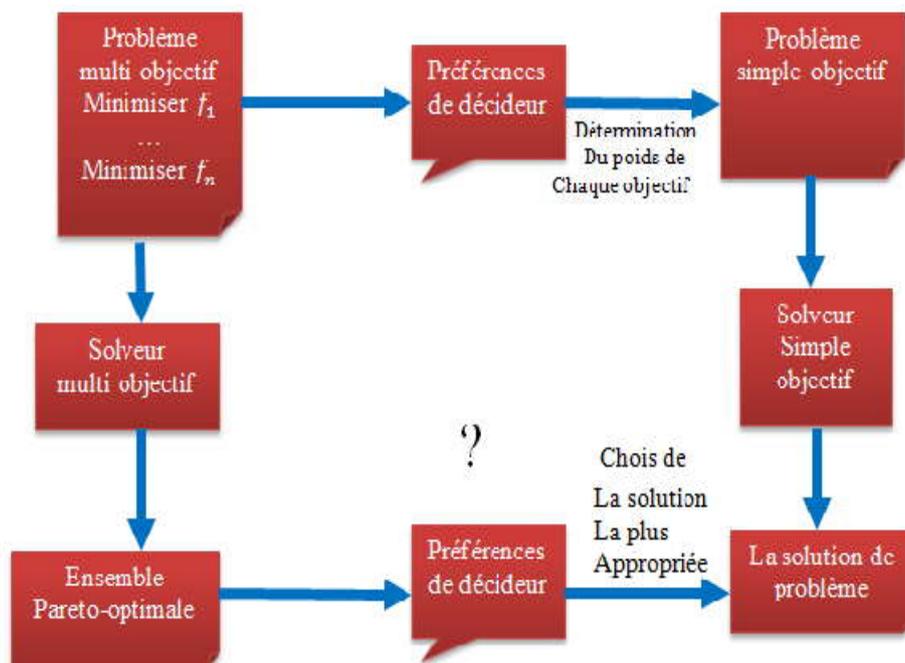


Figure.III.2: Quel mode de résolution choisir ?

Supposons que l'on souhaite minimiser deux fonctions. La figure ci-dessous présente l'espace des objectifs réalisables.

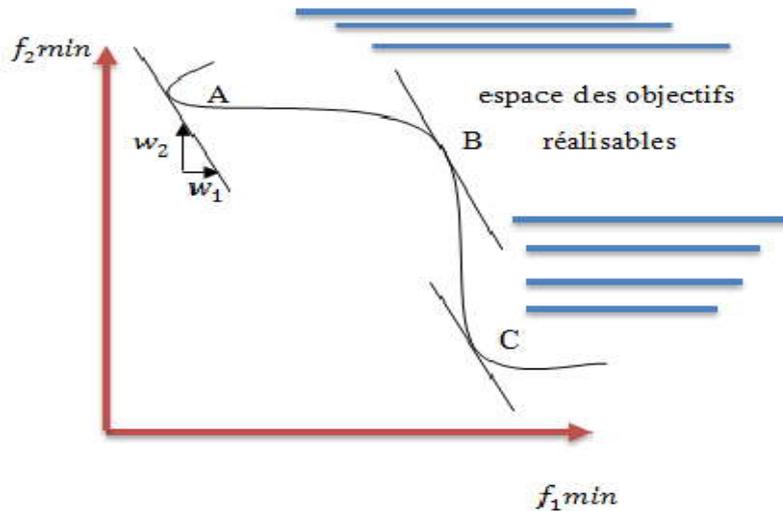


Figure.III.3 : Problématique d'optimisation multi objectif

Si le décideur opte pour une méthode agrégée avec w_1 et w_2 comme poids des objectifs alors le solveur simple objectif va faire converger la solution vers les solutions A ou C. Or toutes les solutions sur la portion de courbe entre A et C peuvent également satisfaire le décideur. L'utilisation d'un solveur multi objectif permet d'obtenir un ensemble de points situés entre A et C donnant ainsi au décideur une plus vaste gamme d'actions.

III.6.3. Formulation mathématique du problème multi-objective

En termes mathématiques, le problème multi objectif peut être écrit comme suit :

Min ou Max $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ (III.17)

Sous les contraintes :

$g(x) = 0$ Contraintes d'égalité

$h(x) \leq 0$ Contraintes d'inégalité

$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$: est la fonction multi objective

G et H sont respectivement les contraintes d'égalité et d'inégalité, et x est le vecteur de l'optimisation ou des variables de décision, u est le vecteur des variables de contrôle

Le problème d'optimisation multi-objective peut être appliqué pour résoudre les cas suivants :

1. pour minimiser le coût de production (Fc) et les pertes (P): $Min F=[C, P]$
2. pour minimiser les dégagements des gaz toxique dégagé par les centrales de production (G) et les pertes (P): $Min F=[G, P]$
3. La fonction multi objective comporte la fonction coût (C) et l'émission des gaz (G): $Min F=[C, G]$

III.7. Les méthodes d'optimisation: déterministes et méta-heuristiques

III.7.1. Introduction:

Les problèmes d’optimisation occupent actuellement une place importante dans la communauté scientifique. Les problèmes peuvent être combinatoires (discrets) ou à variables continues, avec un seul ou plusieurs objectifs (optimisation multi-objectif), statiques ou dynamiques. Cette liste n’est pas exhaustive et un problème peut être à la fois continu et dynamique.

Dans ce chapitre nous allons présentés une introduction générale sur deux grandes catégories d’algorithmes d’optimisation qui sont les méthodes déterministes et les méthodes méta heuristiques.

III.7.2.Méthodes d’optimisation déterministes

Dans la littérature, nous trouvons de nombreuses méthodes d’optimisation conventionnelles (déterministes). Il est possible de classer ces méthodes en deux grandes catégories : programmation linéaire et programmation non-linéaire [25].

Le premier groupe traite de la résolution de problèmes parfaitement représentés par un système d’équations linéaires tandis que la programmation non-linéaire traite les problèmes non-linéaires. Les méthodes déterministes sont basées sur le calcul de la dérivée du problème, ou sur des approximations de cette dernière. Elles nécessitent donc quelques informations sur le vecteur gradient.

Les méthodes d’optimisation conventionnelles à programmation linéaire:

Simplexe de Dantzig	Méthodes primales/duales
---------------------	--------------------------

Les méthodes d’optimisation conventionnelles à programmation non linéaire :

Gradient	gradient conjugué	Fletcher et Reeves	Quasi-Newton	Nelder-Mead
----------	-------------------	--------------------	--------------	-------------

Tableau .III.1 : Représentation des méthodes d’optimisation

❖ Les méthodes méta-heuristiques :

Le prochain chapitre sera consacré à présentés une description détaillée de ces méthodes.

III.8 : Conclusion

Après avoir eu une idée claire sur la notion de l'optimisation mono et multi objectif, ainsi que les méthodes et les techniques de résolution correspondante, il est temps maintenant d'aborder avec détail les méthodes adopté pour notre étude

Chapitre IV

les méthodes méta heuristique

IV.1. Introduction

La complexité du problème d'optimisation de l'écoulement de puissance surtout dans un environnement de marché d'électricité libre, avec l'apparition de nouvelles contraintes en matière de réduction des émissions de gaz polluant (Protocole de Kyoto, 2005) et l'utilisation de sources d'énergies renouvelables, fait en sorte qu'il est souvent difficile d'utiliser des méthodes exactes de solution compte tenu du manque de flexibilité des méthodes classiques pour intégrer diverses contraintes spécifiques [39]. Ces problèmes ont donné lieu au développement d'une nouvelle classe de méthodes d'optimisation nommées méta heuristiques, celles-ci marquent une grande révolution dans le domaine d'optimisation. En effet, elles s'appliquent à toutes sortes de problèmes combinatoires, et elles peuvent également s'adapter aux problèmes continus.

Les méthodes méta heuristiques apparues à partir des années 1980 [41], permettent de trouver une solution de bonne qualité en un temps de calcul en général raisonnable, sans garantir l'optimalité de la solution obtenue. Les méthodes heuristiques peuvent être divisées en deux classes. Il y a, d'une part, les algorithmes spécifiques à un problème donné qui utilisent des connaissances du domaine, et d'autre part les algorithmes généraux qui peuvent être utilisés pour une grande variété de problèmes.

IV.2 : Définition des Méthodes Méta heuristiques

Les méta heuristiques 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 essais particuliers). Ces techniques méta heuristiques peuvent être classées en deux groupes : les méthodes à population de solutions connues sous le nom d'algorithmes évolutionnaires comme les algorithmes génétiques...etc., ainsi que les méthodes à solution unique comme le recuit simulé. Les méthodes méta heuristiques 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 .

IV.4 : Recherche taboue

La méthode taboue qui fait partie des méthodes de voisinage, a été proposée par F.Glover durant les années 1980 [41]. Elle utilise la notion de mémoire pour éviter un optimum local. Le principe de l'algorithme est le suivant; à chaque itération, le voisinage de la solution est sélectionné en appliquant le principe de voisinage. La méthode autorise de remonter vers des solutions qui semblent moins intéressantes mais qui ont peut être un meilleur voisinage. Des fois, ce principe engendre des phénomènes de cyclage entre deux solutions, tandis que la méthode taboue a l'interdiction de visiter une solution récemment visitée. Pour cela, une liste taboue contenant les attributs des dernières solutions considérées est tenue à jour. Chaque nouvelle solution considérée enlève de cette liste la solution la plus anciennement visitée. Ainsi, la recherche de la solution suivante se fait dans le voisinage de la solution actuelle sans considérer les solutions appartenant à la liste taboue.

IV.5. Optimisation par Colonie d'abeilles :

L'optimisation par colonie d'abeilles est une famille très récente des méta heuristiques. Son principe est basé sur le comportement des abeilles réelles dans la vie.

Dans ce contexte, nous allons donner la structure d'une colonie d'abeille, puis une description du comportement des abeilles lors de la recherche de nourriture, enfin nous allons présenter quelques algorithmes inspirés de ce comportement.

✓ Les abeilles en nature

Les abeilles possèdent des propriétés assez différentes de celles des autres espèces d'insectes. Elles vivent en colonies, en construisant leurs nids dans des troncs d'arbres ou d'autres espaces clos similaires [42]. Généralement, une colonie d'abeilles contient une femelle reproductrice appelée reine, quelques centaines de mâles connus sous le nom de faux-bourdon, et de 10.000 à 80.000 femelles stériles qui s'appellent les ouvrières. Après accouplement avec plusieurs faux-bourdon, la reine reproduit beaucoup de jeunes abeilles appelées les couvées.

• La Reine :

Dans une colonie d'abeilles, il y a une seule reine qui est la femelle reproductrice avec l'espérance de vie entre 3 et 5 ans. Son rôle principal est la reproduction (les mâles , les ouvrières ,couvée)

- **Le male (faux-bourdon): [43]**

Au sein de la famille des Apidés, se trouvent plusieurs genres, et notamment les bourdons, qu'il ne faut pas confondre avec les faux-bourdons, les mâles de l'abeille domestique.

- **Ouvrières :**

Les ouvrières sont les abeilles femelles mais elles ne sont pas reproductrices, est responsable de la défense de la ruche utilisant sa piqûre barbelée les bourdons [39].

- **Couvées :**

Les jeunes abeilles sont nommées les couvées. Elles sont nées après que la reine pond un œuf fécondé par un spermatozoïde libéré par la spermathèque dans des cellules spéciales du nid d'abeilles appelées trames de couvée (brood frames [39]).

IV.5.1 Recherche de nourriture chez les abeilles

Les scientifiques ont effectué beaucoup de recherches pour déterminer comment l'ordre est maintenu dans la ruche où vivent des dizaines de milliers d'abeilles. Un grand nombre d'études académiques ont été aussi effectuées à cette fin. Un éminent expert et professeur à l'Université de Munich, le zoologiste autrichien Karl Von Frisch, a consacré un livre de 350 pages à la communication des abeilles, "[The dance language and orientation of bees](#)" (Le langage de la danse et l'orientation des abeilles) [39].

IV.5.2 : Optimisation naturelle et Les directions fournies par les abeilles [40]

Comme il a été déjà mentionné, peu après avoir regardé l'abeille danseuse, les autres ouvrières quittent la ruche et se dirigent vers l'objectif. Cependant, les abeilles sont confrontées à un problème important : l'angle que la danseuse a fourni à ses sœurs est basé sur le soleil. Cependant, le soleil n'est pas fixe dans le ciel, mais il change de position de 1 degré à toutes les 4 minutes. Si une abeille suivait la ligne d'origine, elle ne serait jamais capable de localiser son objectif à cause du changement de position du soleil. Chaque fois que 4 minutes s'écoulent, cela correspond à une marge d'erreur de 1 degré, laquelle atteindra des dimensions impossibles à corriger au cours d'un long voyage. En réalité, cela ne se produit jamais. Depuis maintenant des millions d'années, les abeilles ont compris les directions qui leur sont fournies par leurs sœurs, malgré le mouvement du soleil et le changement des angles. Les abeilles n'éprouvent aucune difficulté à trouver des sources de nourriture, ce qui indique qu'elles ne font aucune erreur en calculant l'angle par rapport au soleil. Pour exprimer cela en termes mathématiques, les abeilles calculent que le soleil se déplace de 1 degré à chaque 4 minutes. En conséquence, elles sont capables de se rappeler de l'emplacement exact de la source de

nourriture et de le "décrire" aux autres abeilles. Les autres abeilles calculent l'angle suivant la position modifiée du soleil, comprennent les directions données et localisent la source de nourriture en question. Dans la littérature plusieurs variantes basées sur l'algorithme standard des abeilles ont été développés pour résoudre une large variété de problème d'optimisation, nous citons :

- ❖ Algorithmes d'abeilles basés sur la recherche de nourriture
- ❖ Algorithme d'optimisation par colonie d'abeilles virtuelle VBA
- ❖ Algorithme d'optimisation par colonie d'abeilles (BCO)
- ❖ Algorithme d'optimisation par la danse d'abeille (DBO)
- ❖ Algorithmes d'abeilles basés sur d'autres comportements
- ❖ Algorithme d'optimisation de colonie d'abeilles artificielle (ABC)

IV.6. Optimisation par l'algorithme de colonies de fourmis

✓ Les fourmis réelles [37]

L'étude des fourmis à long temps été négligée par les entomologistes. Jusqu'à ce que, **Hölldobler** et **Wilson** corrigé cette lacune en 1990 en publiant un ouvrage concentrant tout ce que l'on connaissait alors des fourmis Les fourmis constituent à l'heure actuelle un support majeur pour les théories développées en écologie comportementale et en sociobiologie. On peut citer plusieurs raisons à cette inspiration:

- a) l'influence des fourmis sur leur environnement naturel est extrêmement importante. Il a par exemple été montré (qu'elles déplacent plus de terre en forêt tropicale que les vers de terre, ou encore que le poids total des fourmis sur terre est du même ordre de grandeur que le poids des humains. De plus, la domination des fourmis est une preuve de leur adaptation à des environnements très variés)
- b) l'étude des fourmis se fait assez facilement en laboratoire car elles s'adaptent sans trop de difficultés à des environnements différents de leur habitat d'origine
- c) les fourmis possèdent une gamme de comportements très variés, collectifs ou Individuels.

IV.6.1 : Organigramme de la technique ACO appliquée à l'OPF [38]

Les étapes principales de calcul pour résoudre le problème d'OPF par ACO sont affichées dans la figure4 et discutées au-dessous:

a. *Étape 1: Initiation*

b. *Etape2 : évaluation de la fonction objectif*

c. *Etape 3: répartition des fourmis*

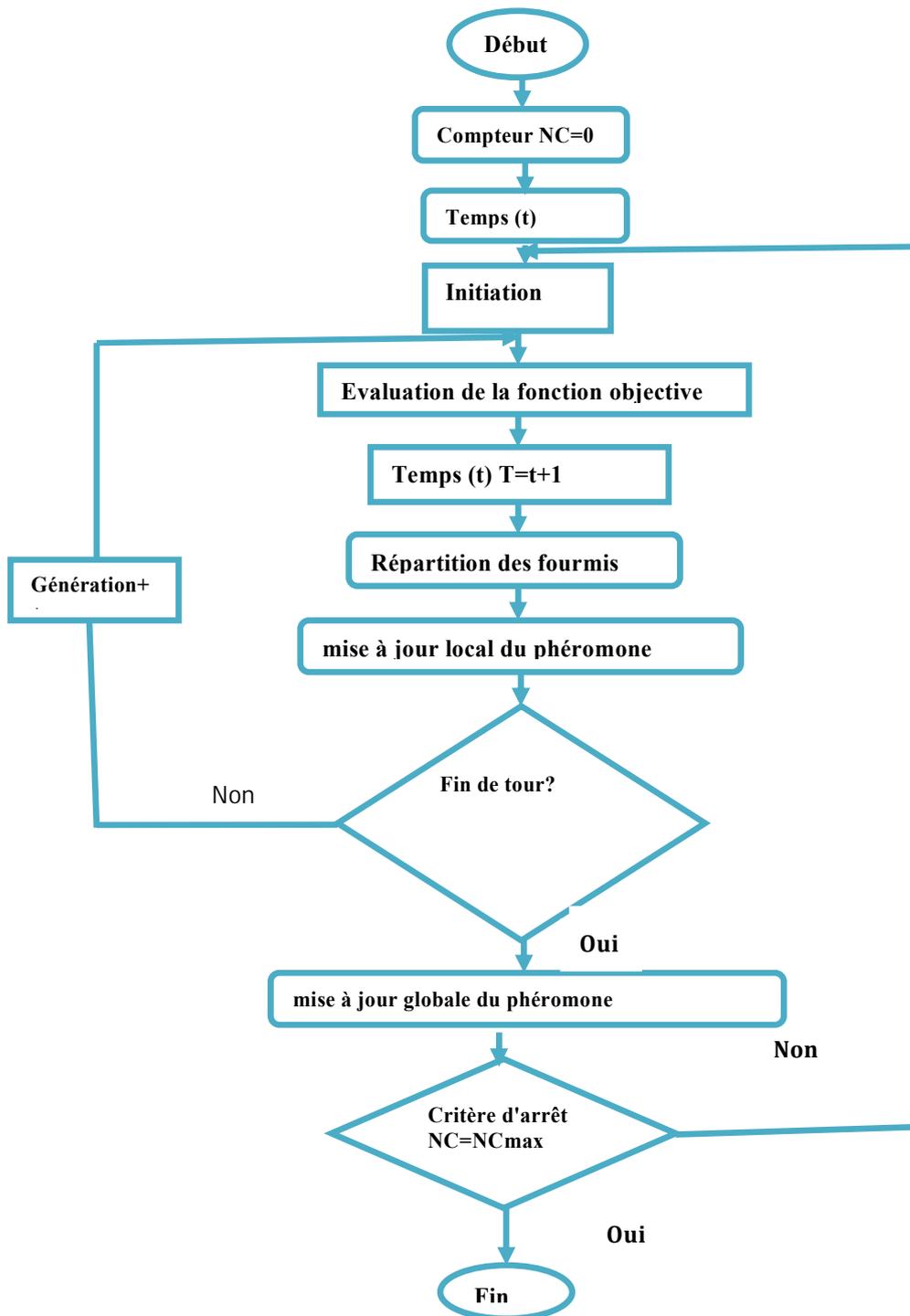
d. Etape 4: Critère d'arrêt

Figure IV.1. Organigramme de l'ACO-OPF

IV.7.Optimisation par algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques (AG) sont des méthodes d'optimisation stochastiques maintenant bien connues, sont inspirés des mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Ils utilisent les principes de survie des individus les mieux adaptés. C'est J. Holland [20], qui a posé les fondements théoriques de l'algorithme génétique, passant du paradigme darwinien de l'évolution naturelle à celui de l'évolution artificielle. Une nouvelle étape est franchie de lorsque les travaux de G. Goldberg [21], vers le milieu des années quatre-vingt, donnent aux algorithmes génétiques leurs lettres de noblesse en tant que méthode d'optimisation viable, efficace et non spécifique [22]. Quelque terme de base de l'algorithme génétique :

- **Population** : ensemble fini d'individus (*de solution*).
- **Individu**: solution potentielle du problème ou expression des chromosomes.
- **Chromosome** : solution potentielle du problème sous une forme codée (*forme de Chaîne de caractères*) ou ensemble des gènes.
- **Gène** : partie élémentaire (*caractère*) non divisible d'un chromosome.
- **Fitness** : terme qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu. Cette Fonction est liée à la fonction à optimiser et permet de définir le degré de performance d'un individu (*donc d'une solution*).

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

IV.7.1 Mécanisme de recherche

Rappelons que la génétique représente un individu par un code, c'est-à-dire un ensemble de données (appelées chromosomes), identifiant complètement l'individu. La reproduction représente dans ce domaine, un mixage aléatoire de chromosomes de deux individus, donnant naissance à des individus enfants ayant une empreinte génétique nouvelle, héritée des parents. La mutation génétique ensuite est caractérisée dans le code génétique de l'enfant par l'apparition d'un chromosome nouveau, inexistant chez les individus parents. [23]

➤ Codage et population initiale

Premièrement, il faut représenter les différents états possibles de la variable dont on cherche la valeur optimale sous forme utilisable pour un AG: c'est le codage. Cela permet d'établir une connexion entre la valeur de la variable et les individus de la population, de manière à imiter la transcription génotype-phénotype qui existe dans le monde vivant. Il existe principalement trois types de codage : le codage binaire, le codage réel et le codage en base n.

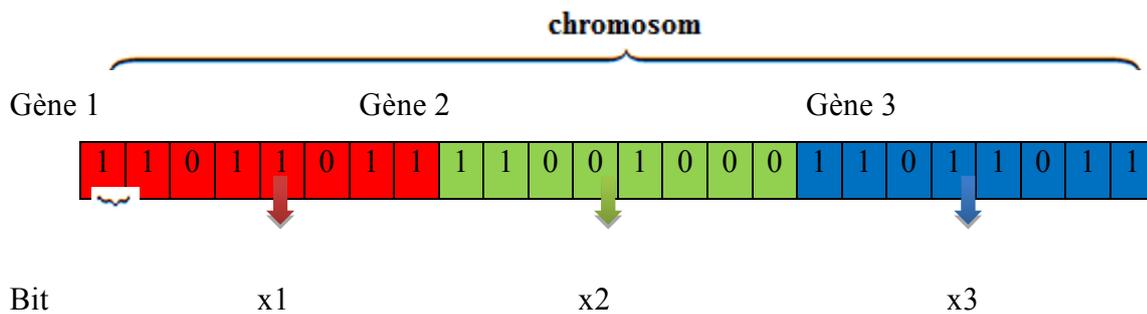


Figure. IV. 2 : Illustration du codage des variables

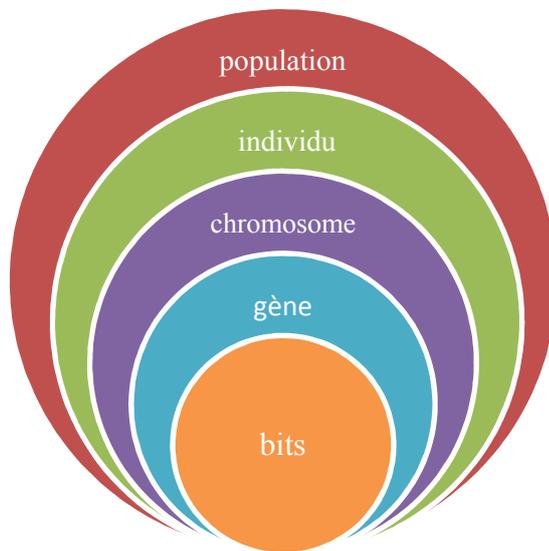


Figure .IV.3 : Les quatre niveaux d'organisation des AG

✓ Codage binaire

Ce codage a été le premier à être utilisé dans le domaine des AG. Il présente plusieurs avantages : alphabet minimum $\{0,1\}$, facilité de mise en point d'opérateurs génétiques et

existence de fondements théoriques (théorie sur les schémas). Néanmoins ce type de codage présente quelques inconvénients :

1. Les performances de l'algorithme sont dégradées devant les problèmes d'optimisation de grande dimension à haute précision numérique. Pour de tels problèmes, les AG basés sur les chaînes binaires ont de faibles performances comme le montre Michalewicz [23].
2. La distance de Hamming entre deux nombres voisins (nombre de bits différents) peut être assez grande dans le codage binaire : l'entier 7 correspond à la chaîne 0111 et la chaîne 1000 correspond à l'entier 8. Or la distance de Hamming entre ces deux chaînes est de 4, ce qui crée bien souvent une convergence, et non pas l'obtention de la valeur optimale.

✓ Codage réel

Il a le mérite d'être simple. Chaque chromosome est en fait un vecteur dont les composantes sont les paramètres du processus d'optimisation. Par exemple, si on recherche l'optimum d'une fonction de n variables $f(xR1R, xR2R, \dots, xRn-1R, xRnR)$, on peut utiliser tout simplement un chromosome ch contenant les n variables.

Avec ce type de codage, la procédure d'évaluation des chromosomes est plus rapide vu l'absence de l'étape de transcodage (du binaire vers le réel). Les résultats donnés par [23] montrent que la représentation réelle aboutit souvent à une meilleure précision et un gain important en termes de temps d'exécution.

IV.7.2. Les opérateurs utilisés par les AG

✓ L'opérateur sélection:

La sélection a pour objectif d'identifier les individus qui doivent se reproduire. Cet opérateur ne crée pas de nouveaux individus mais identifie les individus sur la base de leur fonction d'adaptation, les individus les mieux adaptés sont sélectionnés alors que les moins bien adaptés sont écartés [5]. La sélection doit favoriser les meilleurs éléments selon le critère à optimiser (minimiser ou maximiser). Ceci permet de donner aux individus dont la valeur est plus grande une probabilité plus élevée de contribuer à la génération suivante (figure 4.4).

Il existe plusieurs méthodes de sélection, les plus connues étant la « roue de la fortune » et la « sélection par tournoi » :

- La « roue de la fortune » est la plus ancienne, où chaque individu, de la population de taille maximale , occupe une section de la roue proportionnellement à sa fonction

d'adaptation Fitness (f_j), la probabilité de sélection d'un individu (j) s'écrit :

$$P_j = \frac{f_j}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (IV.1)$$

À chaque fois qu'un individu doit être sélectionné, un tirage à la loterie s'effectue et propose un candidat, les individus possédant une plus grande fonction d'adaptation ayant plus de chance d'être sélectionnés. à chaque fois qu'il faut sélectionner un individu, la « sélection par tournoi » consiste à tirer aléatoirement (k) individus de la population, sans tenir compte de la valeur de leur fonction d'adaptation, et de choisir le meilleur individu parmi les k individus. Le nombre d'individus sélectionnés a une influence sur la pression de sélection, lorsque $k = 2$, la sélection est dite par « tournoi binaire ». [47]

✓ **L'opérateur croisement:**

Le but de cette opération est de créer une diversité dans notre population car l'exploitation (recopiage du meilleur chromosome) ne conduit pas à une exploration optimale de toute l'espace de recherche, en réalité on n'explore qu'une partie de notre espace si les individus sont similaires l'opérateur de croisement n'est qu'une juxtaposition des meilleures portions des anciens chromosomes dont le but d'arriver à générer de bons nouveaux chromosomes

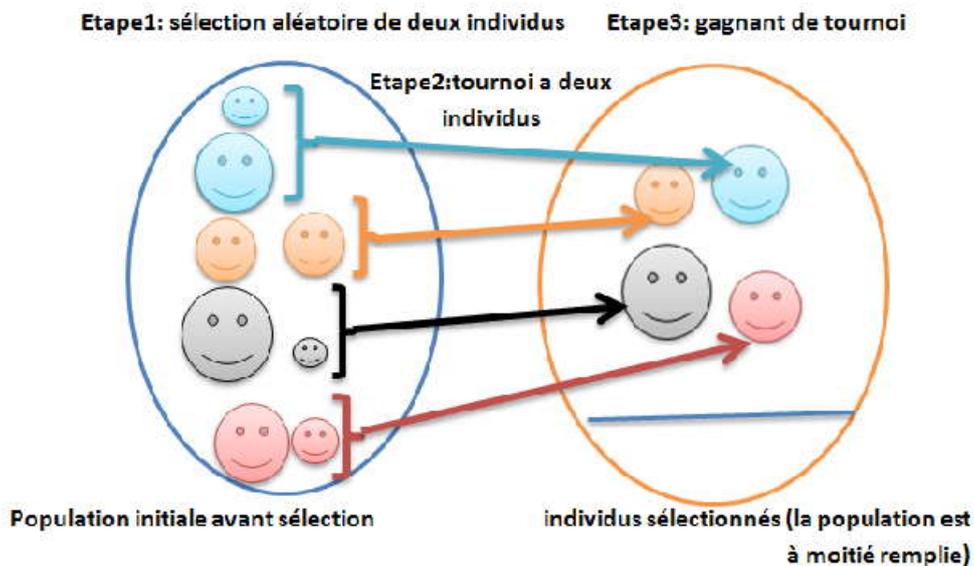


Figure. IV.4: représentation d'une sélection par tournoi d'individus pour un critère de maximisation (chaque individu représente une solution possible).

et le processus se répète jusqu'à la convergence vers la solution optimale (meilleure adaptation).

Il existe un grand nombre d'opérateurs de croisement le Croisement en seul point comme représenté dans la figure. 4.4 et la Croisement en m point on choisit par exemple ($m=4$) comme représenté dans la figure. IV.5 :

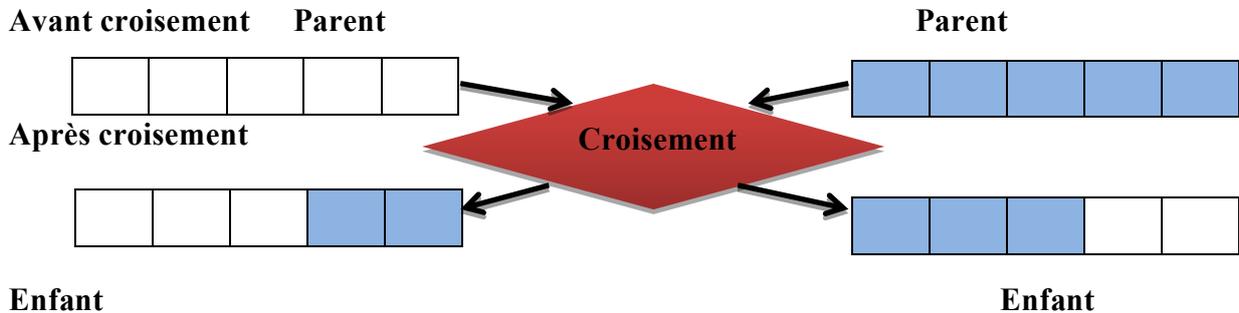


Figure .IV.5 : Croisement en seul point.

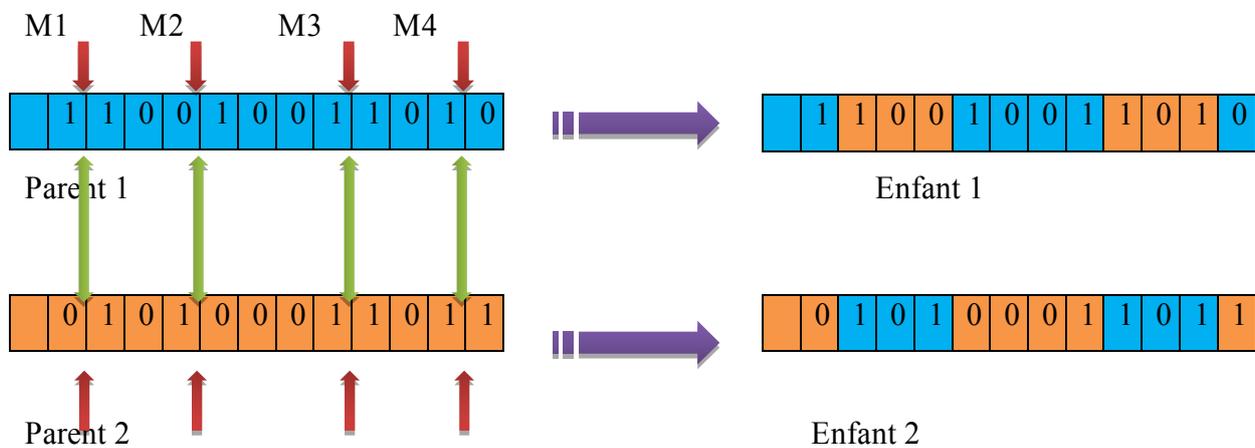


Figure .IV-6: Croisement en multipoints ($m = 4$).

✓ L'opérateur Mutation

La mutation est exécutée seulement sur une seule chaîne. Elle représente la modification aléatoire et occasionnelle de faible probabilité de la valeur d'un caractère de la chaîne, pour un codage binaire cela revient à changer un 1 en 0 et vice versa (figure .IV.6). Cet opérateur introduit de la diversité dans le processus de recherche des solutions et peut aider l'AG à ne pas stagner dans un optimum local.

La probabilité de mutation reste usuellement très faible et, très souvent, elle est maintenue à une valeur fixée tout au long de l'évolution de l'AG.



Figure. IV.7: Représentation d'une mutation de bits dans une chaîn

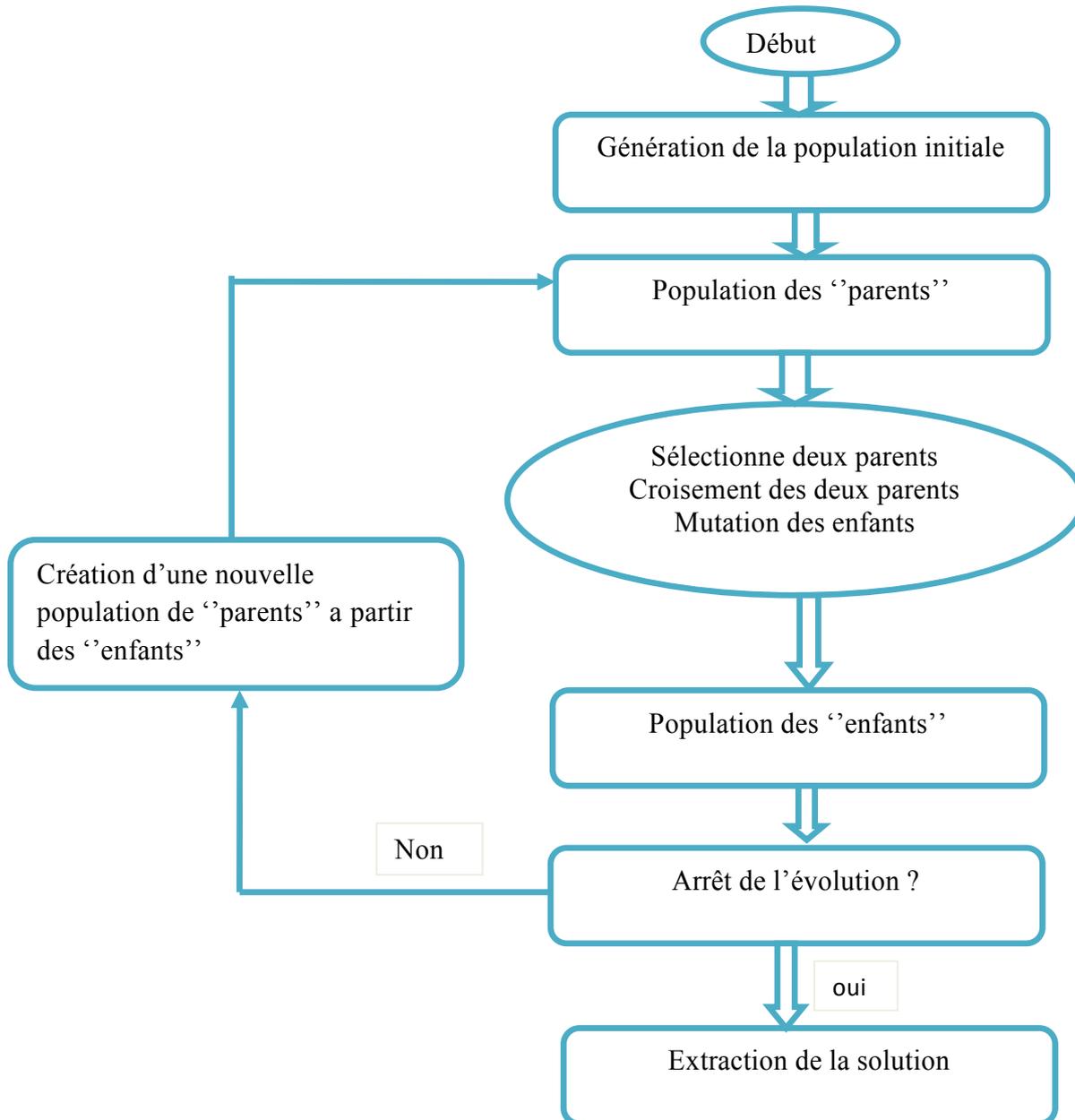


Figure. IV.8: Organigramme de l'algorithme génétique

IV.8.A. Optimisation par essaim de particules (PSO)

L'optimisation par essaim de particules (PSO) est une technique d'optimisation parallèle développée par Kennedy et Eberhart, comme une alternative aux algorithmes génétiques standards [44]. Ces algorithmes sont inspirés des essaims d'insectes (ou des bancs de poissons ou des nuées d'oiseaux) et de leurs mouvements coordonnés. En effet, tout comme ces animaux se déplacent en groupe pour trouver la source de nourriture ou éviter les prédateurs, les algorithmes à essaim de particules recherchent des solutions pour un problème d'optimisation. Les individus de l'algorithme sont appelés particules et la population est appelée essaim. Dans cet algorithme, une particule décide de son prochain mouvement en fonction de sa propre expérience, qui est dans ce cas la mémoire de la meilleure position qu'elle a rencontrée, et en fonction de son meilleur voisin. Ce voisinage peut être défini spatialement en prenant par exemple la distance euclidienne entre les positions de deux particules ou socio-métriquement (position dans l'essaim de l'individu). Les nouvelles vitesses et direction de la particule seront définies en fonction de trois tendances :

la propension à suivre son propre chemin, sa tendance à revenir vers sa meilleure position atteinte et sa tendance à aller vers son meilleur voisin. Les algorithmes à essaim de particules peuvent s'appliquer aussi bien à des données discrètes qu'à des données continues. Les algorithmes à essaim de particules ont été utilisés pour réaliser différentes tâches d'extraction de connaissances [45].

IV.8.A.1. L'algorithme PSO

L'algorithme PSO 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 PSO comprend plusieurs paramètres de réglage qui permettent d'agir sur le compromis exploration – exploitation [45]. 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 [45].

IV.8.A.2.Algorithme général

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

$$v = w \cdot v_k + c_1 \cdot r_1 \cdot (pbest - X_k) + c_2 \cdot r_2 \cdot (pgbest - X_k) \quad \text{IV.1}$$

$$X = X_k + v \quad \text{IV.2}$$

Le symbole * signifie ici la multiplication des vecteurs éléments par élément. A l'itération k la vitesse d'une particule est modifiée à partir de sa valeur courante, affectée d'un coefficient d'inertie w , et de deux forces qui attirent la particule vers sa propre meilleure position $pbest$ et la meilleure position de tout l'essaim $pgbest$. L'intensité de l'attraction est donnée par les coefficients $C1$ et $C2$. La position de la particule X_k est modifiée à partir de la position courante et de la nouvelle vitesse calculée, affectées des coefficients c_1 et c_2 respectivement.

La combinaison des paramètres du coefficient d'inertie (w) et l'intensité d'attraction ($C1$ et $C2$) permet de régler l'équilibre entre les phases de diversification et d'intensification du processus de recherche. L'expression du facteur de poids la plus utilisée par le chercheur est formulé comme suit :

$$w = (w_{\max} - w_{\min}) \cdot \frac{(iter_{\max} - iter)}{iter_{\max}} + w_{\min} \quad \text{IV.3}$$

L'expérience montre qu'une bonne exploration du domaine de recherche est obtenue en introduisant les nombres aléatoires r_1 et r_2 , en général avec une répartition uniforme entre 0 et 1.

✓ **Algorithme unidimensionnel déterministe**

Chaque coordonnée d'une particule est modifiée indépendamment des autres coordonnées. Le seul lien entre les coordonnées est à travers la fonction objective, c'est-à-dire à travers les meilleures positions trouvées jusqu'à $pbest$ présent et $pGbest$. Une autre simplification consiste à considérer la version déterministe de l'algorithme, ce qui revient à remplacer les nombres aléatoires par leurs valeurs moyennes [45].

Avec ces simplifications, l'algorithme unidimensionnel déterministe s'écrit

❖ Description informelle [44]

La version historique peut facilement être décrite en se plaçant du point de vue d'une particule. Au départ de l'algorithme, un essaim est réparti au hasard dans l'espace de recherche, chaque particule ayant également une vitesse aléatoire. Ensuite, à chaque pas de temps :

- chaque particule est capable d'évaluer la qualité de sa position et de garder en mémoire sa meilleure performance, c'est-à-dire la meilleure position qu'elle a atteinte jusqu'ici (qui peut en fait être parfois la position courante) et sa qualité (la valeur en cette position de la fonction à optimiser).
- chaque particule est capable d'interroger un certain nombre de ses congénères (ses informatrices, dont elle-même) et d'obtenir de chacune d'entre elles sa propre meilleure performance (et la qualité afférente).
- chaque particule choisit la meilleure des meilleures performances dont elle a connaissance, modifie sa vitesse en fonction de cette information et de ses propres données et se déplace en conséquence

Le premier point se comprend facilement, mais les deux autres nécessitent quelques précisions. Les informatrices sont définies une fois pour toutes de la manière suivante

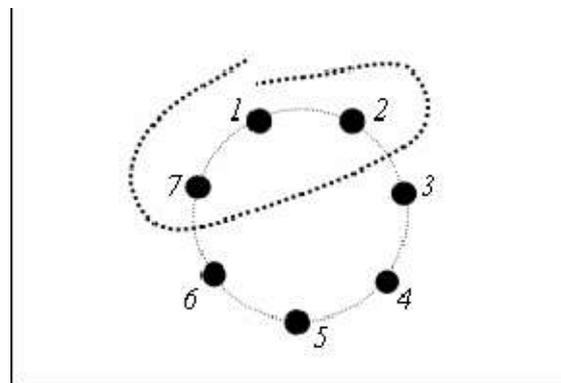


Figure IV.9. Le cercle virtuel pour un essaim de sept particules.

Le groupe d'information de taille trois de la particule 1 est composé des particules 1, 2 et 7. On suppose toutes les particules disposées (symboliquement) en cercle et, pour la particule étudiée, on inclut progressivement dans ses informatrices, d'abord elle-même, puis les plus proches à sa droite et à sa gauche, de façon à atteindre le total requis. Il y a bien sûr de nombreuses variantes, y compris celle consistant à choisir les informatrices au hasard, mais celle-ci est à la fois simple et efficace.

Une fois la meilleure informatrice détectée, la modification de la vitesse est une simple combinaison linéaire de trois tendances, à l'aide de coefficients de confiance :

- la tendance « aventureuse », consistant à continuer selon la vitesse actuelle.
- la tendance « conservatrice », ramenant plus ou moins vers la meilleure position déjà trouvée.
- la tendance « panurgienne », orientant approximativement vers la meilleure informatrice.

Les termes « plus ou moins » ou « approximativement » font référence au fait que le hasard joue un rôle, grâce à une modification aléatoire limitée des coefficients de confiance, ce qui favorise l'exploration de l'espace de recherche. La figure 2.16 présente un schéma de principe résumant les explications ci-dessus

IV.8.A.3. Les Caractéristiques principales

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

- 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)

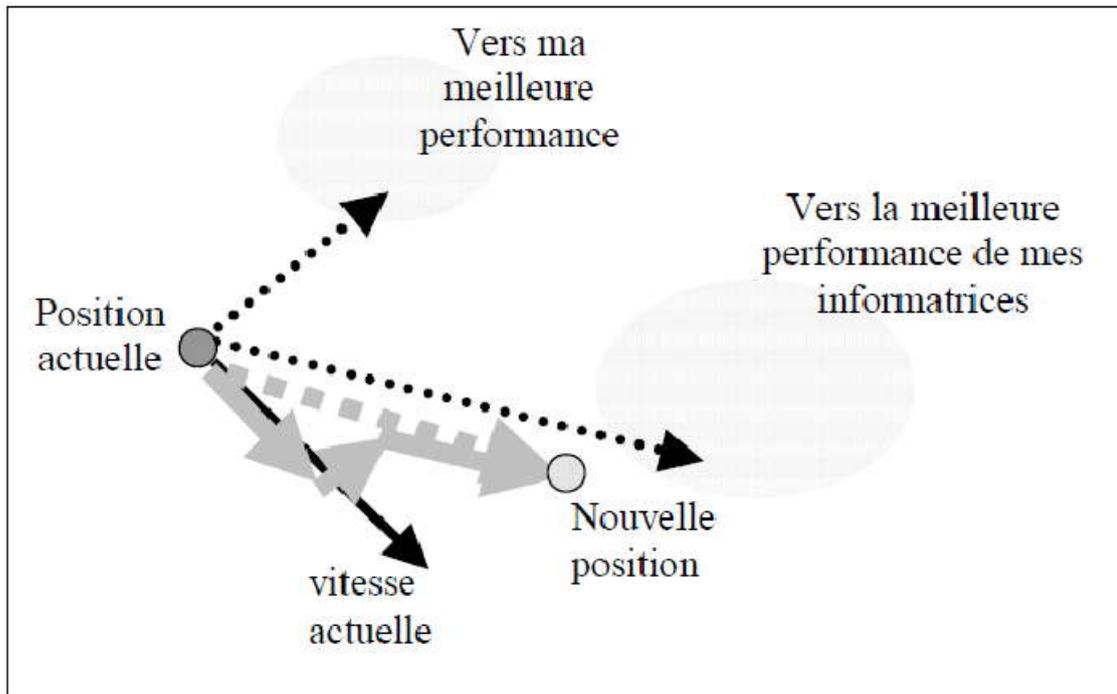


Figure IV.10 : Schéma de principe du déplacement d'une particule.

IV.8.B.4. Le voisinage

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Les particules à l'intérieur d'un voisinage communiquent entre-elles, et sont considérées en fonction des identificateurs des particules et non des informations topologiques comme les distances euclidiennes dans l'espace de recherche :

- Topologie en étoile (figure 2.17(a)) : le réseau social est complet, chaque particule est attirée vers la meilleure particule notée $pgbest$ et communique avec les autres.
- Topologie en anneau (figure 2.17(b)) : chaque particule communique avec n voisines immédiates ($n=3$). Chaque particule tend à se déplacer vers la meilleure dans son voisinage local notée $lbest$.
- Topologie en rayon (figure 2.17(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

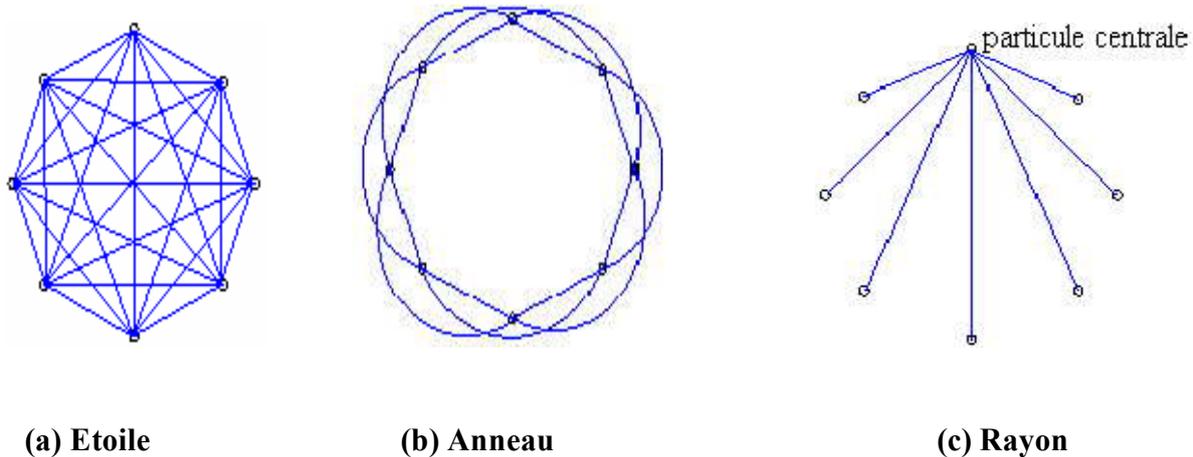


Figure IV.11 : Trois topologies du voisinage différentes.

IV.8.A.5. Les étapes de la méthode d'Optimisation par Essaim de Particules

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

- **1^{ère} étape** : Initialisation des coefficients $cr1$ et $cr2$, le coefficient d'inertie w .
- **2^{ème} étape** : La création de la population initiale aléatoirement et le calcul de la fitness
- **3^{ème} étape** : Le calcul de la nouvelle vitesse et nouvelle position de chaque particule par l'utilisation des formules.
- **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
- **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 la solution optimale

IV.8.B. Algorithme de PSO avec Coefficients d'Accélération variable PSO-TVAC [34]

Dans ce cas, les coefficients cognitif et social $C1$ et $C2$ ne sont plus constants mais variables en fonction de génération (itération), autrement dit dans le temps dont le but est de guider l'exploration tantôt vers la direction de l'expérience de l'individu (coefficient cognitif dominant) tantôt vers la direction de l'expérience de groupe (coefficient social dominant). Enfin l'interaction de ces deux facteurs dirige l'exploration vers la solution voulue. C'est réalisé en changeant les coefficients d'accélération et avec le temps de telle sorte que le composant cognitif soit réduit tandis que le composant social est augmenté comme les revenus de recherche. Les coefficients d'accélération sont exprimés par l'équation suivant :

$$\begin{cases} C_1 = (C_{1f} - C_{1i}) \frac{iter}{iter_{max}} + C_{1i} \\ C_2 = (C_{2f} - C_{2i}) \frac{iter}{iter_{max}} + C_{2i} \end{cases} \quad \text{IV.4}$$

donc C_{1f}, C_{1i}, C_{2f} et C_{2i} c'est son des factures de social accélération initiale et final valeur connaît respectivement. généralement des valeurs utilisé : 2.5 pour C_{1i} et C_{2f} , 0.5 pour C_{2i} et C_{1f}

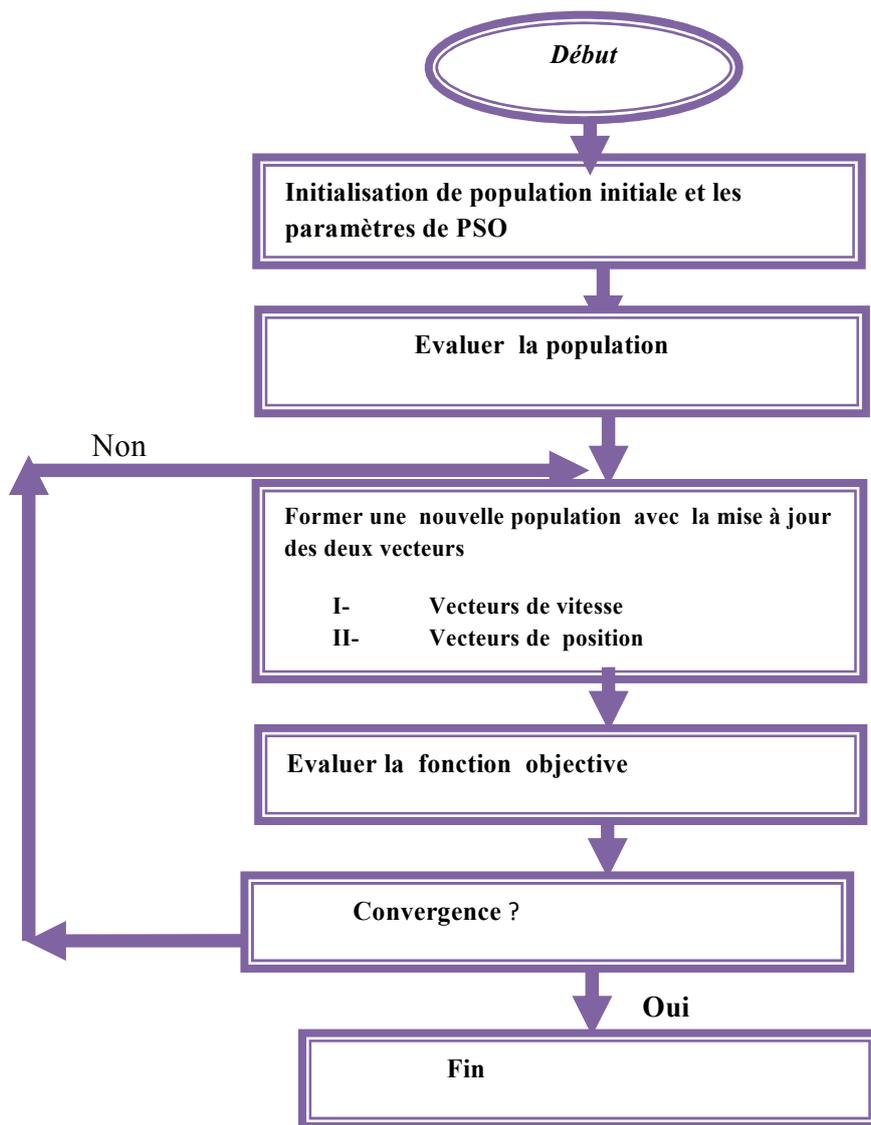


Figure IV- 12 : Organigramme de l’algorithme PSO.

IV.9. Conclusion

Ce chapitre représente une introduction générale aux méthodes d'optimisation déterministes et les techniques d'optimisation globales (met heuristiques) , il donne une vue globales sur leurs philosophie, leur implémentation, leurs caractéristiques et avantages. Puis nous avons abordés l'étude des algorithmes génétiques AG, l'optimisation par essaims de particules PSO. Le prochain chapitre représente la partie pratique de notre travail, il explique clairement le processus algorithmique de ces méthodes et leur application dans l'optimisation d'écoulement de puissance.

Chapitre V

les résultats

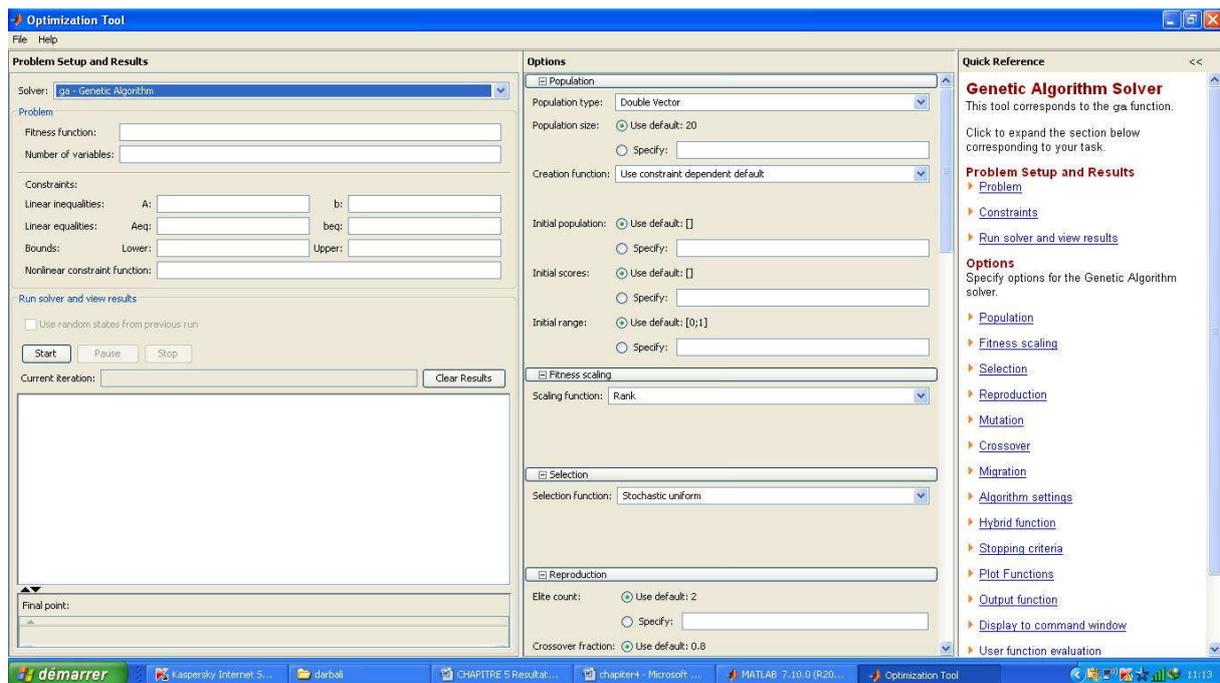
V.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous nous intéressons à résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance avec considération des pertes et la pollution due à l'émission de gaz. A cet effet nous avons appliqué les algorithmes génétiques, et une variante dynamique basée sur l'optimisation par essaims de particules, cette variante nommée PSO-TVAC. Les algorithmes proposés ont été développés sous l'environnement Matlab et validés sur le réseau test IEEE 30-Bus. Les données du réseau test sont présentées dans l'annexe.

V.2. Algorithme Génétique sous l'environnement Matlab : Gatool

Cette partie présente une introduction à l'outil utilisé pour optimiser divers fonctions objectives liés aux problèmes d'optimisation de l'écoulement de puissance.

V.2.1. L'instruction « ga » sur Matlab :



Le « ga » met en application l'algorithme génétique à la ligne de commande pour minimiser la fonction objective.

$=$ (tnessfcn , nvars) , Cette instruction permet de trouver le minimum d'une fonction sans contraintes, pour la fonction objective, « nvars » de « fitnessfcn » est la dimension (nombre des variables de conception) de la fonction fitness 'fitnessfcn'. La fonction objective, 'fitnessfcn', accepte un vecteur x de la taille 'nvars', et renvoie une grandeur scalaire évaluée au x .

Exemple d'utilisation de GA pour résoudre des problèmes de la forme : ()

Sous les contraintes :

$$\begin{aligned} & \times \quad , \quad \times = \quad \text{(Contraintes linéaires)} \\ & () \quad ; \quad () = \quad \text{(Contraintes non linéaires)} \\ & < \end{aligned}$$

En général, X= (PROBLEME) trouve le minimum pour le PROBLEME.

Le PROBLEME est une structure qui a les champs suivants:

- Fitnessfcn : < fonction Objective >
- Nvars : < nombre de variables de conception >
- Options : < structure d'options créer avec GAOPTIMSET >
- < Une matrice pour des contraintes d'inégalité >
- < Vecteur de B pour des contraintes d'inégalité >
- < Une matrice pour des contraintes d'égalité >
- < Vecteur de B pour des contraintes d'égalité >
- LB: < limite inférieure sur x >
- UB: < limite supérieure sur x >
- [X, FVAL] = GA (FITNESSFCN,.....)

V.3. Procédure de fonctionnement de l'instruction « gamultiobj » sur Matlab

Le gamultiobj met en application l'algorithme génétique à la ligne de commande pour réduire au minimum une fonction multi objective.

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

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

La diversité est maintenue en commandant les membres d'élite de la population pendant que l'algorithme progresse. Deux options, 'ParetoFraction' et 'DistanceFcn', commandent l'élitisme. 'ParetoFraction' limite le nombre d'individus sur le front de Pareto (membres

d'élite). La fonction de distance, choisie par 'DistanceFcn', aide à maintenir la diversité sur un front par la préférence des individus qui sont relativement lointains du front

V.4. L'instruction « gaoptimset » sur Matlab

Le 'gaoptimset' est une structure permettant de personnaliser les paramètres d'un algorithme génétique.

Syntaxe : gaoptimset

Options = gaoptimset

Options = gaoptimset ('param1', value1, 'param2', value2,.....)

Description :

Options = gaoptimset ('param1', value1, 'param2', value2,.....) crée une structure « options » et renvoie la valeur du param1 au. value1, et param2 pour value2, et ainsi de suite. Et un paramètre ne pas spécifiés va prendre sa valeur par défaut.

« Options »

Ce qui suit est la liste d'options qui peuvent être placées et modifiés par l'utilisateur avec le gaoptimset.

- Générations : Il indique le nombre maximum d'itérations. Le choix du nombre de génération dépend du problème à résoudre.
- PlotFcns : Il trace les données calculées par algorithme. Dans le @gaplotbestf d'algorithme et le @gaplotbestindiv sont employés pour traçage de la meilleure valeur de fonction objective et le meilleur individu (décision variable).
- Taille de la Population : La taille de population pour GA, est prise 50, en général dépend de la complexité du problème à résoudre.
- StallGenLimit : C'est le critère d'arrêt. Arrêt d'algorithme s'il n'y a pas une amélioration de la fonction objective pour générations consécutives. StallGenLimit est pris 100.
- StallTimeLimit: Arrêt d'algorithme s'il n'y a pas une amélioration de la fonction objective pendant des secondes de StallTimeLimit. La valeur de StallTimeLimit est initialisée comme Inf. Seconds.

V.5. Réseaux tests

Dans notre travail, les deux algorithmes ont été validés sur le réseau test IEEE 30-Bus. Ce réseau est composé de 06 générateurs de production (installés aux nœuds 1, 2, 5, 8, 11 et 13),

41 lignes et 04 transformateurs. Les données de ce réseau test sont reportées en annexe. Le schéma unifilaire de ce réseau test est présenté dans la figure V.1.

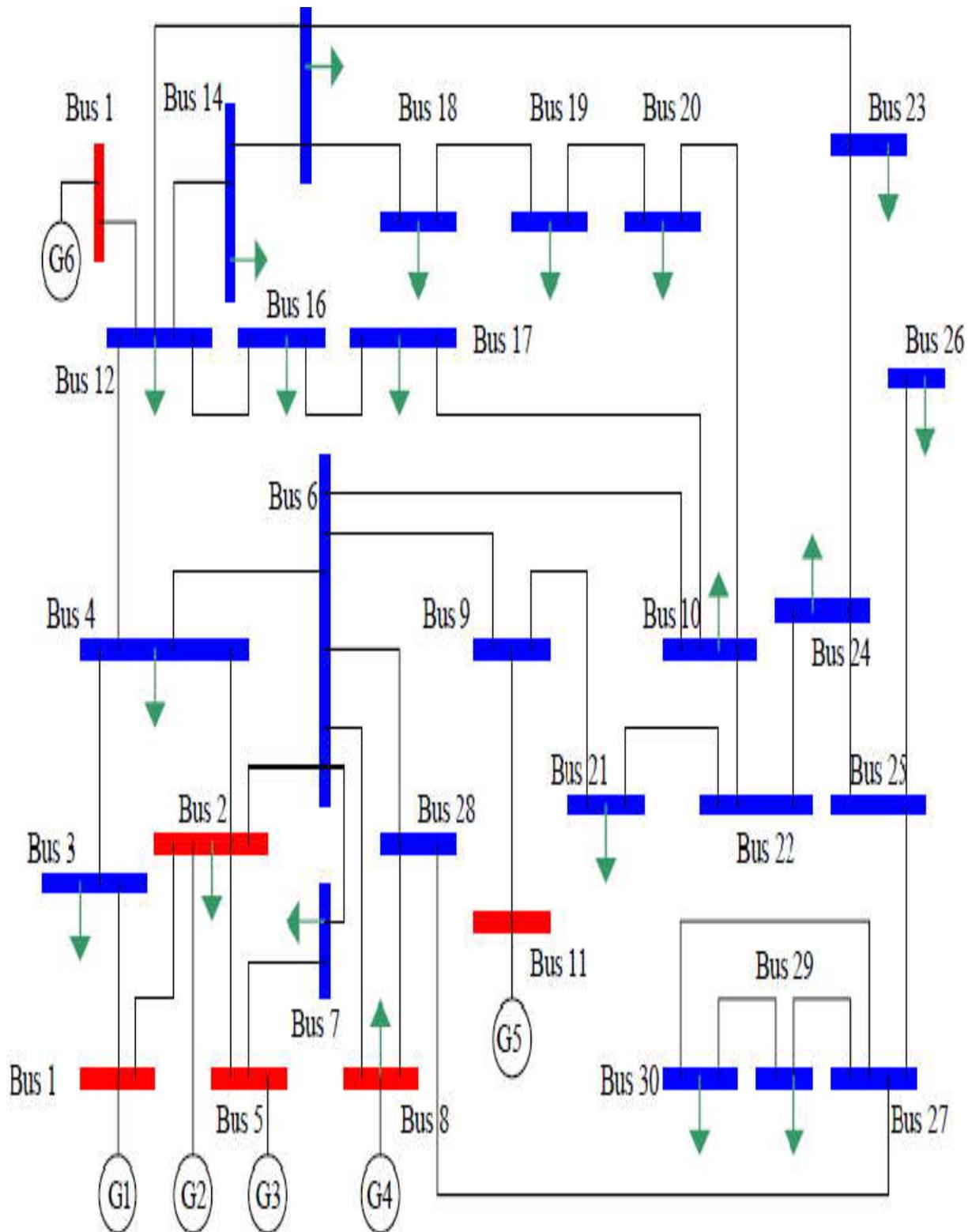


Figure V.1 : Schéma du réseau 30 jeux de barres

V.6. les Fonctions objectif

Les fonctions objectives à minimiser sont :

- Le coût de production.
- L'émission de gaz
- Les pertes actives

V.7. Les Contraintes

Les contraintes de sécurité considérées dans notre optimisation sont les limites des modules et phases de tensions ainsi que les puissances actives et réactives des générateurs de production.

V.8. Application1 : Optimisation par l'algorithme génétique

Dans cette première application l'algorithme génétique est utilisé pour résoudre le problème d'optimisation.

Paramètres d'un algorithme génétique

Les paramètres que nous avons utilisés sont présentés comme suit :

- ✓ La Population =50
- ✓ La Génération =100
- ✓ Croisement =0.8
- ✓ Mutation = 0.08
- ✓ Type de sélection : Roulet
- ✓ Critère d'arrêt : précision désirée : 10^{-9}

V.8. A. Optimisation mono-objective

Dans cette première phase le coût optimisé individuellement avec et sans considération des pertes et l'émission de gaz et les pertes avec considération des pertes sont avec contraintes de sécurités.

Cas1 : Minimisation du coût sans contraintes de sécurités

Le coût optimal obtenu Tableau V. est de 600.1998 (\$/h), l'émission de gaz non optimisés est de 0.2206 ton/h. La figure V.2 montre la convergence de l'algorithme génétique (meilleure valeur et valeur moyenne), ainsi que la répartition optimale des puissances générées.

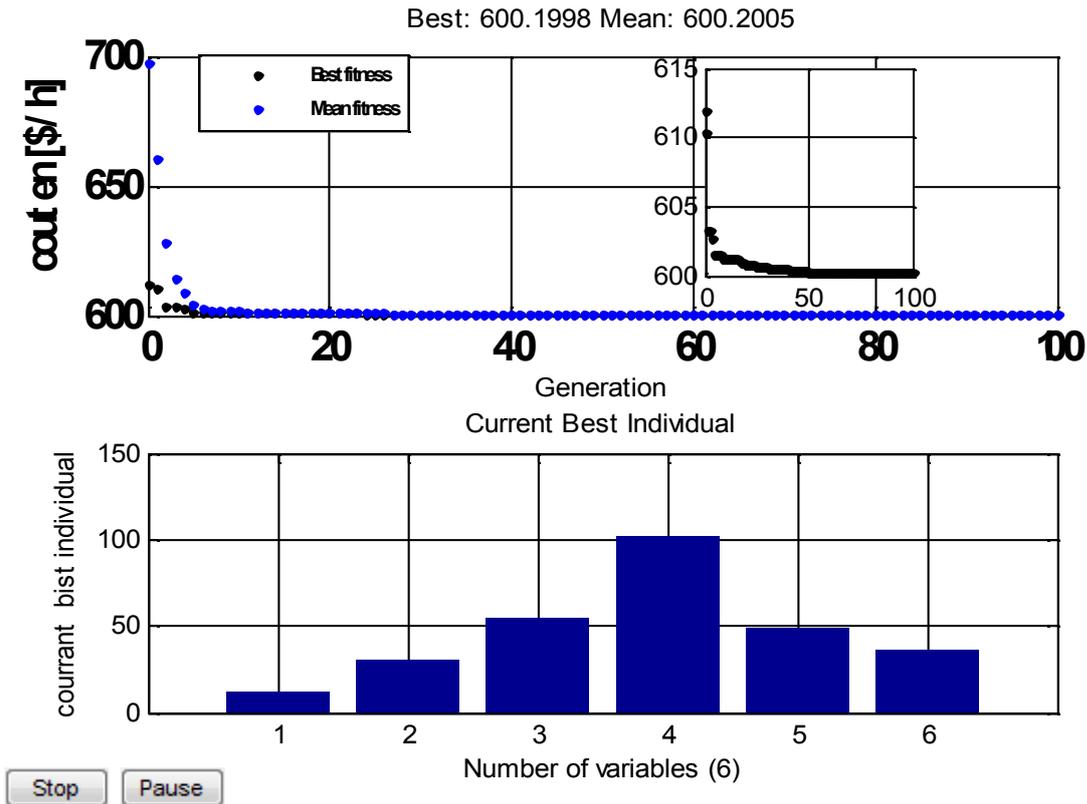


Figure .V.2 : Convergence de l’algorithme : cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités.

La valeur de la fonction cout optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission non optimisée. (Ton/h).
600.1998	0.22069

Tab V.1 : La valeur de la fonction coût optimisée et la fonction émission non optimisé : cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurités.

Cas 2 : Minimisation du coût avec considération des contraintes de sécurités

Pour ce cas le coût optimal obtenu est de **607.4845** \$/h qui est supérieur au premier cas. Il faut noter que les contraintes de sécurités sont vérifiés, les tensions aux niveaux des jeux de barres sont dans leurs limites admissibles, les puissances réactives des unités de production ainsi que les puissances transitées dans les lignes sont aussi respectés. La valeur de la fonction coût optimisée et la fonction émission non optimisée et les pertes non optimisé sont présentés dans le tableau V.2. La figure V.4 représente la distribution des tensions aux niveaux des

jeux de barres. Les valeurs de puissances générées optimales pour 10 exécutions sont présentées dans le tableau V.3, parmi ces valeurs, le meilleur résultat est présenté dans le tableau 5.4. Les puissances transitées dans les lignes sont présentés dans le tableau V.5.

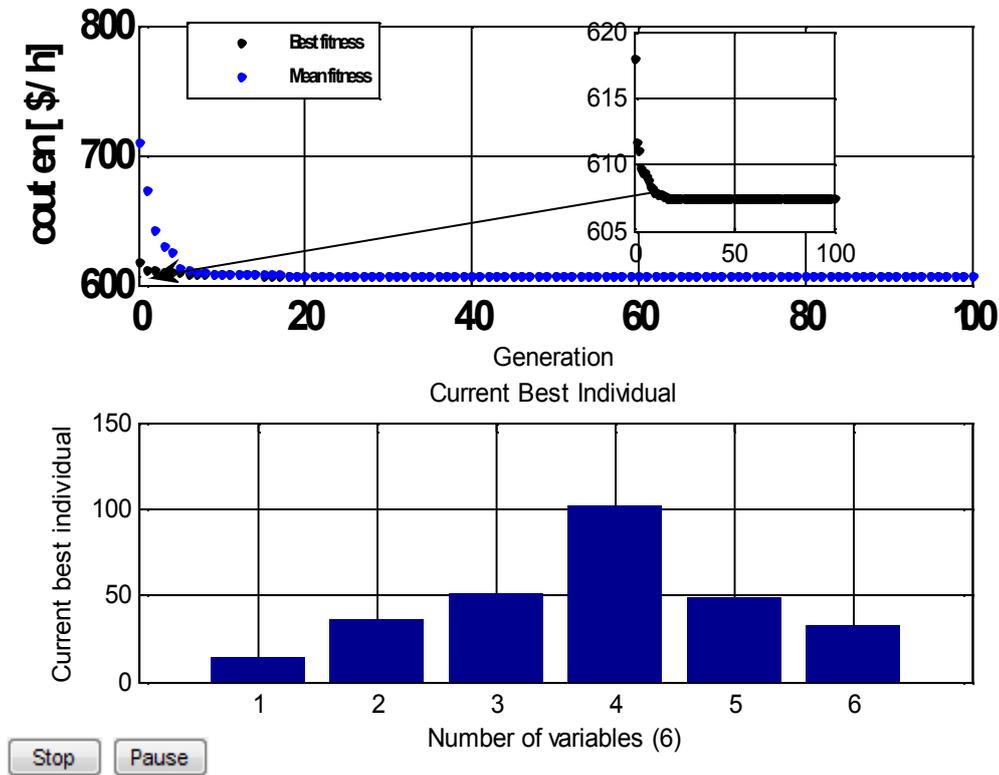


Figure .V. 3 : Convergence de l’algorithme : cas2 : minimisation du coût avec considération des contraintes de sécurités.

La valeur de la fonction cout Optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission non-optimisée. (Ton/h).	La valeur de la fonction pertes non optimisée. (MW).
607.0666	0.2187	2.9810

Tab V.2. La valeur de la fonction cout optimisé et la fonction émission non optimisé : cas2 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités.

N ^o itération /N ^o de JB	1	2	5	8	11	13
1 ^{er}	29.6643	35.8895	48.7101	97.2799	43.5174	31.4023
2 ^{eme}	17.6627	28.8622	47.1229	99.0407	54.4438	39.5103
3 ^{eme}	23.9983	39.6312	49.6862	86.4148	47.6088	38.9674
4 ^{eme}	27.8323	32.2849	40.8293	103.2915	50.5366	32.0778
5 ^{eme}	18.8171	29.1876	50.3573	97.2513	49.8830	41.0076
6 ^{eme}	22.2737	33.2713	46.8070	102.6866	39.8639	41.7896
7 ^{eme}	21.6694	28.3093	47.1173	96.0894	59.4392	33.9337
8 ^{eme}	20.4263	28.4915	50.4816	101.4305	45.9919	39.7367
9 ^{eme}	16.0319	30.5815	54.4322	99.2138	49.7909	36.3301
10 ^{eme}	18.1428	34.2921	48.8030	97.0885	50.3186	37.8584

Tab V. 3 : Les valeurs de puissances générées optimales pour 10 exécutions : cas2 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités

N ^o de Jeux de barre	puissances générées optimales (MW)
1	16.0319
2	30.5815
5	54.4322
8	99.2138
11	49.7909
13	36.3301

Tab V.4 : Les puissances générées optimales : cas2 : minimisation du coût avec contraintes de sécurités.

De	à	P	Q	De	à	P	Q	Les pertes	
jbi	jbj	MW	MVar	jbj	jbi	MW	MVar	MW	MVar
1	2	12.5430	27.1540	2	1	-12.3900	-26.6960	0.1530	0.4580
1	3	3.4900	15.7870	3	1	-3.3850	-15.4030	0.1050	0.3840
2	4	0.0660	9.2240	4	2	-0.0220	-9.0880	0.0450	0.1360
3	4	0.9850	16.8320	4	3	-0.9500	-16.7310	0.0350	0.1010
2	5	23.9960	12.0650	5	2	-23.6830	-10.7500	0.3130	1.3150
2	6	-2.7910	11.7290	6	2	2.8690	-11.4930	0.0780	0.2360
4	6	-12.6490	10.6940	6	4	12.6800	-10.5860	0.0310	0.1080
5	7	-16.0840	5.6510	7	5	16.2150	-5.3210	0.1310	0.3310
6	7	39.4160	4.8990	7	6	-39.0150	-3.6670	0.4010	1.2320
6	8	-56.3780	28.6350	8	6	56.8350	-27.0350	0.4570	1.5990
6	9	-6.9040	-16.3560	9	6	6.9040	16.9670	0	0.6110
6	10	5.8930	-5.2180	10	6	-5.8930	5.5350	0	0.3180
9	11	-49.7910	-10.2740	11	9	49.7910	15.0830	0	4.8090
9	10	42.8870	5.3980	10	9	-42.8870	-3.5590	0	1.8380
4	12	6.0200	-15.9050	12	4	-6.0200	16.5590	0	0.6530
12	13	-36.3300	-4.0290	13	12	36.3300	5.6800	0	1.6500
12	14	7.5910	2.3770	14	12	-7.5230	-2.2340	0.0690	0.1430
12	15	16.8840	6.5300	15	12	-16.6930	-6.1520	0.1910	0.3770
12	16	6.6740	3.3680	16	12	-6.6280	-3.2700	0.0470	0.0980
14	15	1.3230	0.6340	15	14	-1.3180	-0.6300	0.0040	0.0040
16	17	3.1280	1.4700	17	16	-3.1190	-1.4490	0.0090	0.0210
15	18	5.8240	1.8510	18	15	-5.7870	-1.7770	0.0370	0.0750
18	19	2.5870	0.8770	19	18	-2.5820	-0.8680	0.0040	0.0090
19	20	-6.9180	-2.5320	20	19	6.9350	2.5670	0.0170	0.0350
10	20	9.2170	3.4490	20	10	-9.1350	-3.2670	0.0820	0.1830
10	17	5.8970	4.3920	17	10	-5.8810	-4.3510	0.0160	0.0410
10	21	20.3060	11.2640	21	10	-20.1370	-10.8990	0.1690	0.3640
10	22	7.5600	2.2950	22	10	-7.5190	-2.2110	0.0410	0.0840
21	23	2.6370	-0.3010	23	21	-2.6360	0.3020	0.0010	0.0020
15	23	3.9880	2.4310	23	15	-3.9680	-2.3910	0.0200	0.0400
22	24	7.5190	2.2110	24	22	-7.4540	-2.1100	0.0650	0.1010
23	24	3.4040	0.4890	24	23	-3.3890	-0.4590	0.0140	0.0300
24	25	2.1430	0.1690	25	24	-2.1350	-0.1550	0.0080	0.0140
25	26	3.5440	2.3650	26	25	-3.5000	-2.3000	0.0440	0.0650
25	27	-1.4080	-2.2110	27	25	1.4160	2.2240	0.0070	0.0140
28	27	14.6920	-2.5610	27	28	-14.6920	3.3770	0	0.8150
27	29	6.1870	1.6640	29	27	-6.1030	-1.5040	0.0840	0.1600
27	30	7.0890	1.6570	30	27	-6.9300	-1.3580	0.1590	0.2990
29	30	3.7030	0.6040	30	29	-3.6700	-0.5420	0.0330	0.0620
8	28	12.3790	-5.1240	28	8	-12.2690	5.4690	0.1100	0.3450
6	28	2.4250	2.8990	28	6	-2.4220	-2.8910	0.0020	0.0080
Pertes totales								2.9810	19.165

Tab V.5 : Les puissances transitées dans les lignes : cas 2 : Optimisation du coût

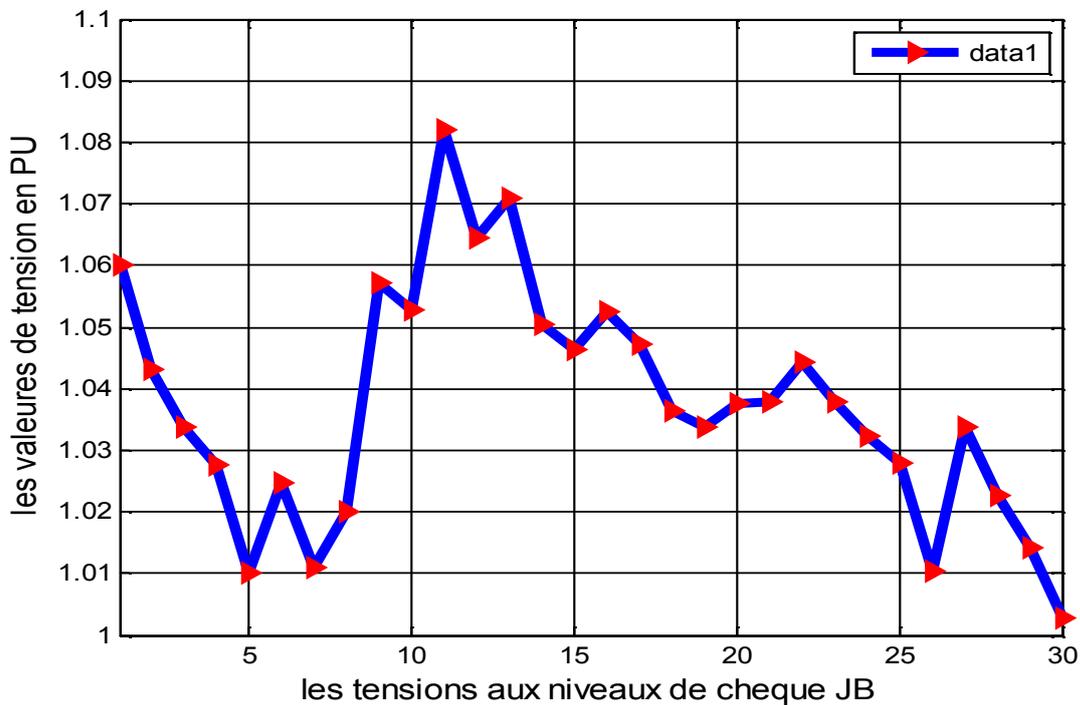


Figure V.4 : Répartition des tensions : cas2 : minimisation du coût

Cas 3 : Minimisation de l'émission de gaz avec contraintes de sécurités

Pour ce cas l'émission du gaz obtenu est de 0.19423 (ton/h) qui est inférieure au premier cas (minimisation du coût). Les contraintes de sécurités sont vérifiées, les tensions aux niveaux de jeux de barres, les puissances réactives des unités de production ainsi que les puissances transitées dans les lignes sont dans leurs limites admissibles. La figure V.6 représente la convergence de l'algorithme génétique, le tableau V.6 illustre les résultats obtenus. Tableau.V.7. les puissances générées pour minimisation d'émission

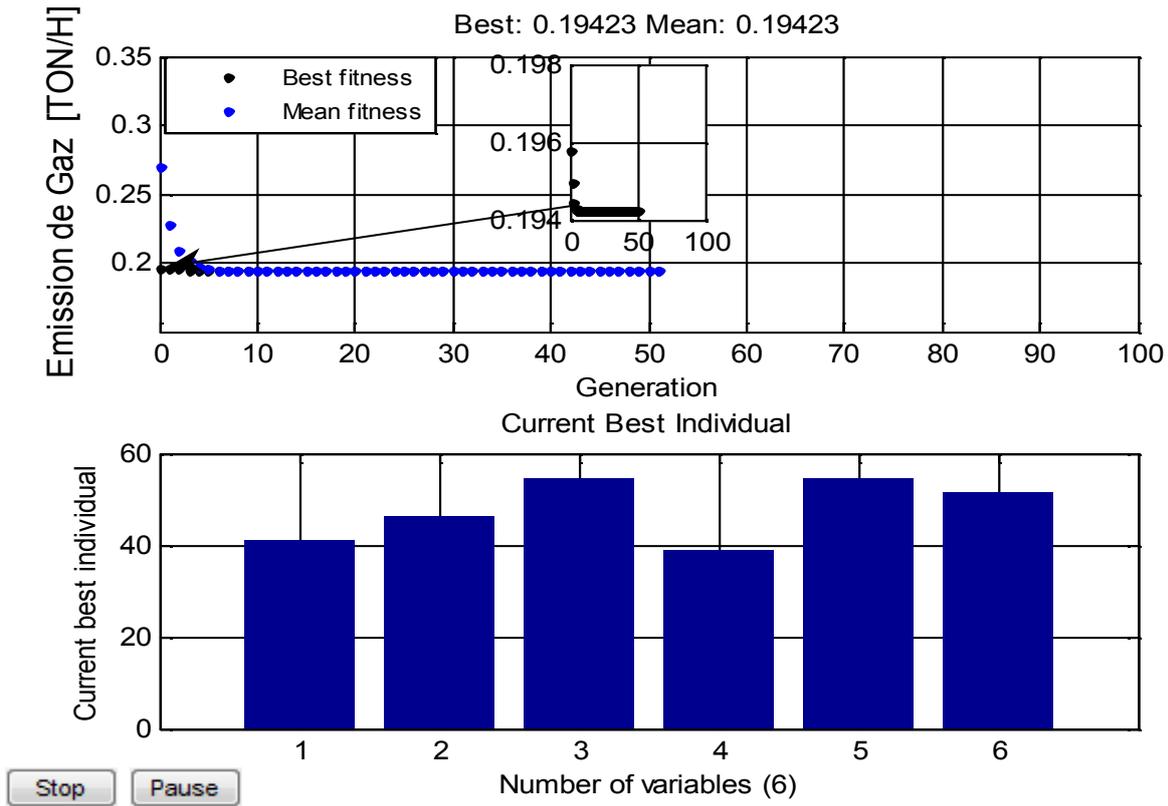


Figure .V.5 : Convergence de l’algorithme : cas 3 : minimisation de l’émission de gaz avec contraintes de sécurités.

La valeur de la fonction cout non-Optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission Optimisée. (Ton/h).	La valeur de la fonction pertes non- optimisée. (MW).
645.3269	0.19423	3.1661

Tab .V.6 : La valeur de la fonction émission optimisée et la fonction coût non optimisé : cas3 : minimisation d’émission avec contraintes de sécurités.

N° de Jeux de barre	Les valeurs de la puissance générée e (MW)
1	41.0202
2	46.3883
5	54.0190
8	39.0814
11	54.4837
13	51.5735

Tab .V.7 : les puissances générées cas : 3 minimisation d'émission avec contraintes de sécurités.

Cas 4 : Minimisation des pertes avec contraintes de sécurités

Pour ce cas les pertes obtenues est de 2.1767 MW qui est inferieur au premier cas (minimisation du coût). Les contraintes de sécurités sont vérifiées, les tensions aux niveaux des jeux de barres, les puissances réactives des unités de production ainsi que les puissances transitées dans les lignes sont dans leurs limites admissibles. La figure V.7 représente la convergence de l'algorithme génétique, le tableau V.8 illustre les résultats obtenus. TableauV.9 présentées les puissances générées minimisation des pertes avec contraintes de sécurités.

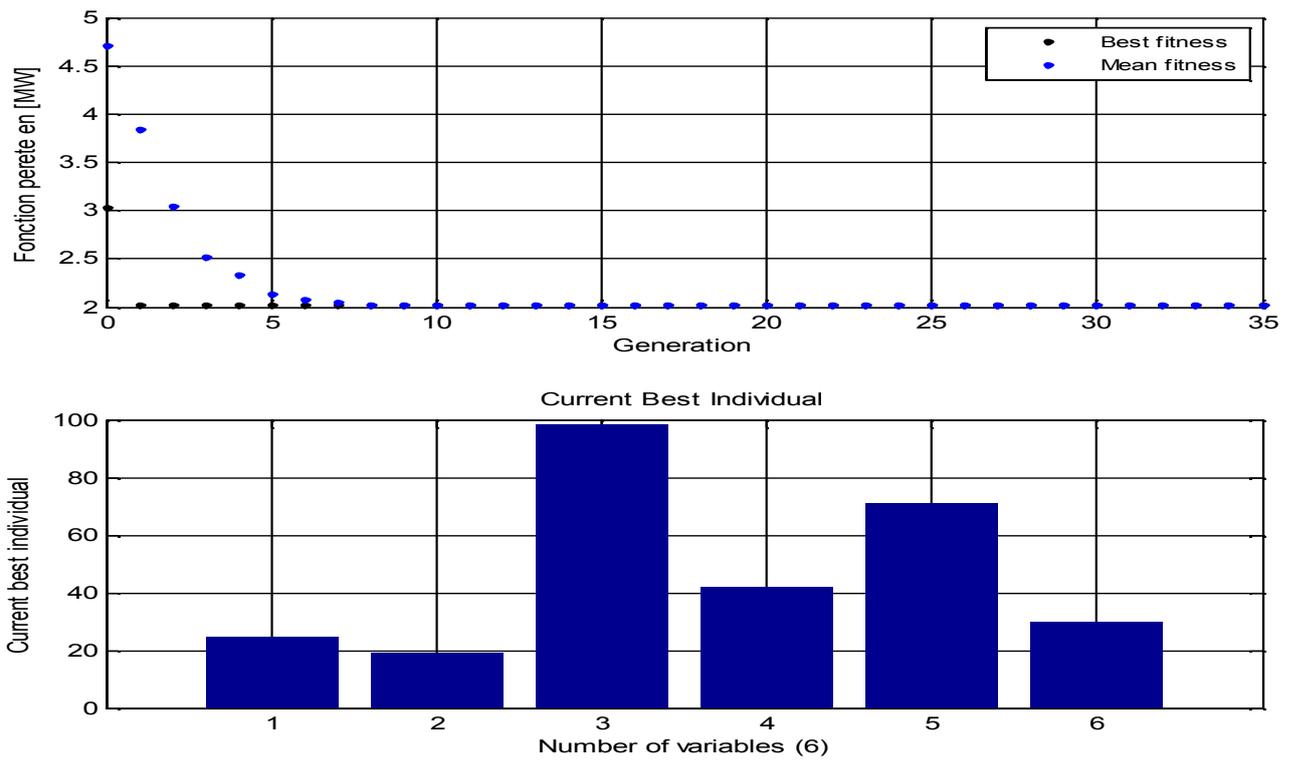


Figure V.6 : Convergence de l’algorithme : cas 4 : minimisation des pertes.

La valeur de la fonction cout non optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission non optimisée. (Ton/h).	La valeur de la fonction pertes optimisée. (MW).
639.8402	0.2166	2.1762

Tab .V .8 : La valeur de la fonction pertes optimisée: cas 4 : minimisation des pertes avec contraintes de sécurités.

N° de Jeux de barre	Les valeurs de la puissance générée en (MW)
1	24.6315
2	19.2517
5	98.5594
8	41.9451
11	71.2265
13	29.9620

Tab V.9 : les puissances générées cas 4 : minimisation des pertes avec contraintes de sécurités.

V.8.b. Optimisation multi-objective

Introduction

Nous allons appliquer l'algorithme génétique basé sur la technique Pareto, cette application a été réalisée grâce à un programme réalisé sous l'environnement Matlab. La stratégie d'optimisation multi objectif est résumée sous forme d'un schéma bloc présentés dans la figure V.7.

Le problème multi-objectif d'OPF (optimisation power flow) a été formulé avec différentes combinaisons notamment le coût de production, pertes de transmission, émission.

Les cas suivants ont été étudiés :

- ✓ Minimisation de cout de production avec minimisation d'émission de gaz toxique.
- ✓ Minimisation de cout de production avec minimisation des pertes

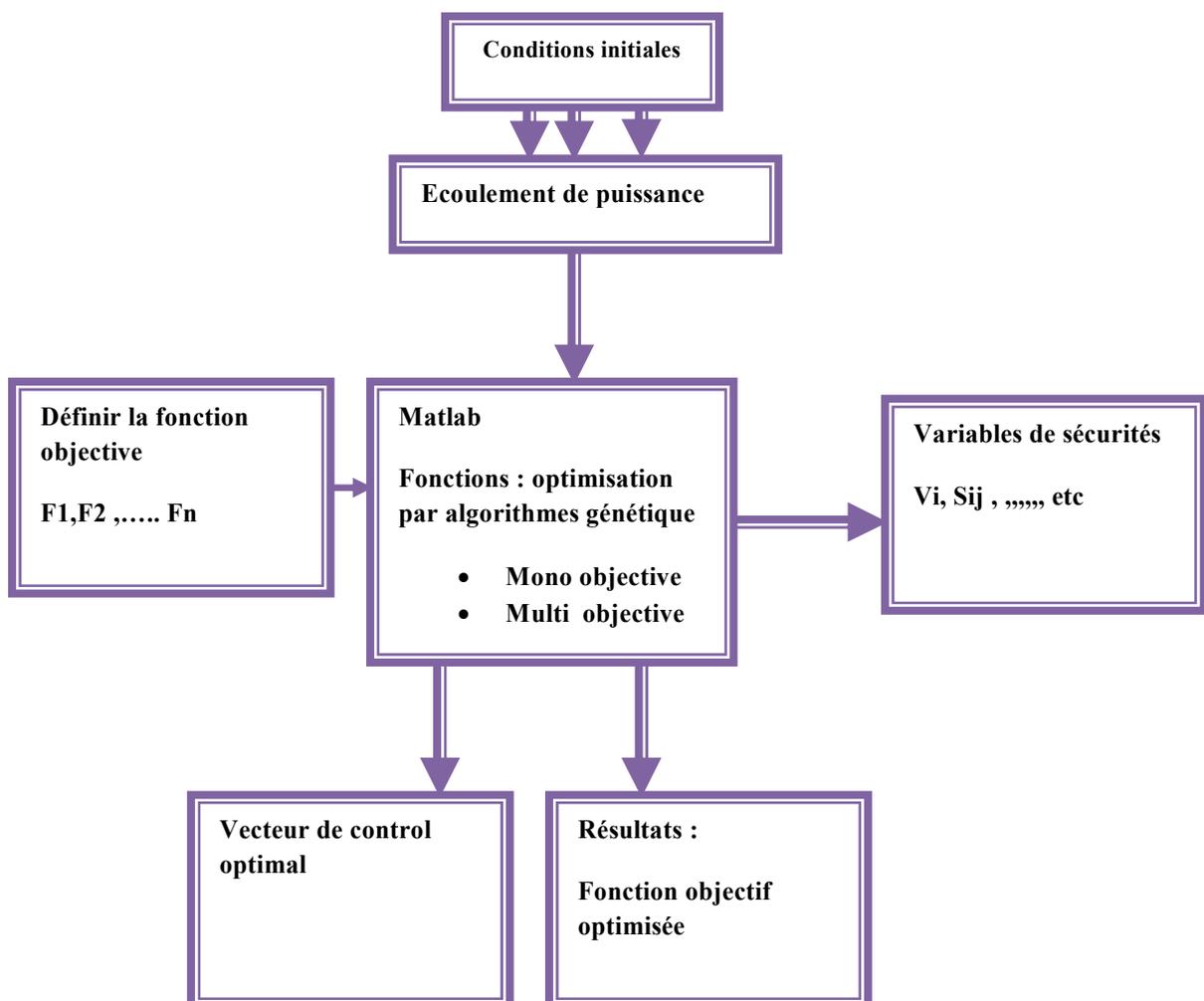


Figure V.7 : Stratégie d'optimisation multi objectif

Cas 1 : Minimisation du Coût de production avec émission de gaz

Pour ce cas, le coût de production est optimisé en coordination avec l'émission de gaz toxique. La figure 5.8 représente les solutions optimales de Pareto.

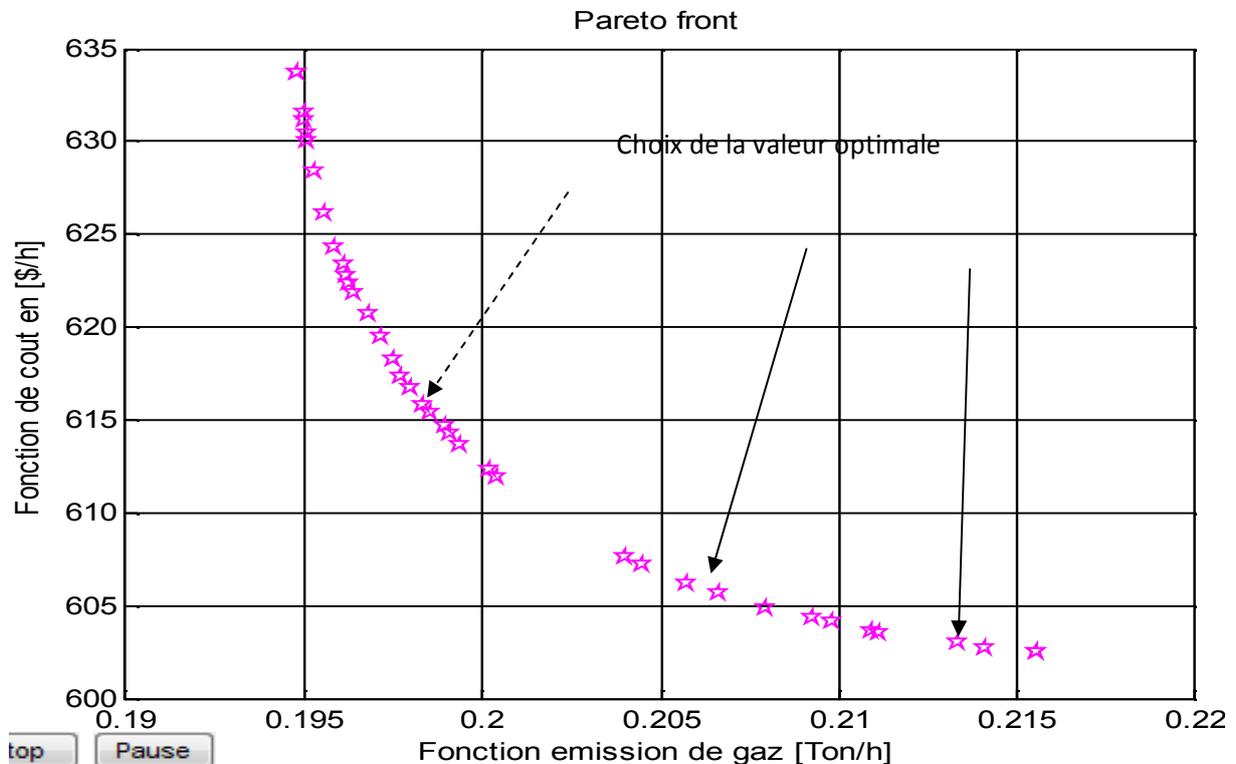


Figure .V.8 : Solutions optimales de Pareto coût-émission avec GA.

En général, le choix du front de Pareto optimal, c'est-à-dire établir un compromis entre le coût de production et l'émission est déterminé en fonction de la stratégie de la société chargée de la gestion de l'énergie.

Cas2 : Minimisation du coût avec les pertes

Dans ce deuxième cas, notre programme a été adapté et appliquée pour optimiser simultanément le coût des unités de production et les pertes dans les lignes de transmission. La figure V.9 représente les solutions optimales de Pareto.

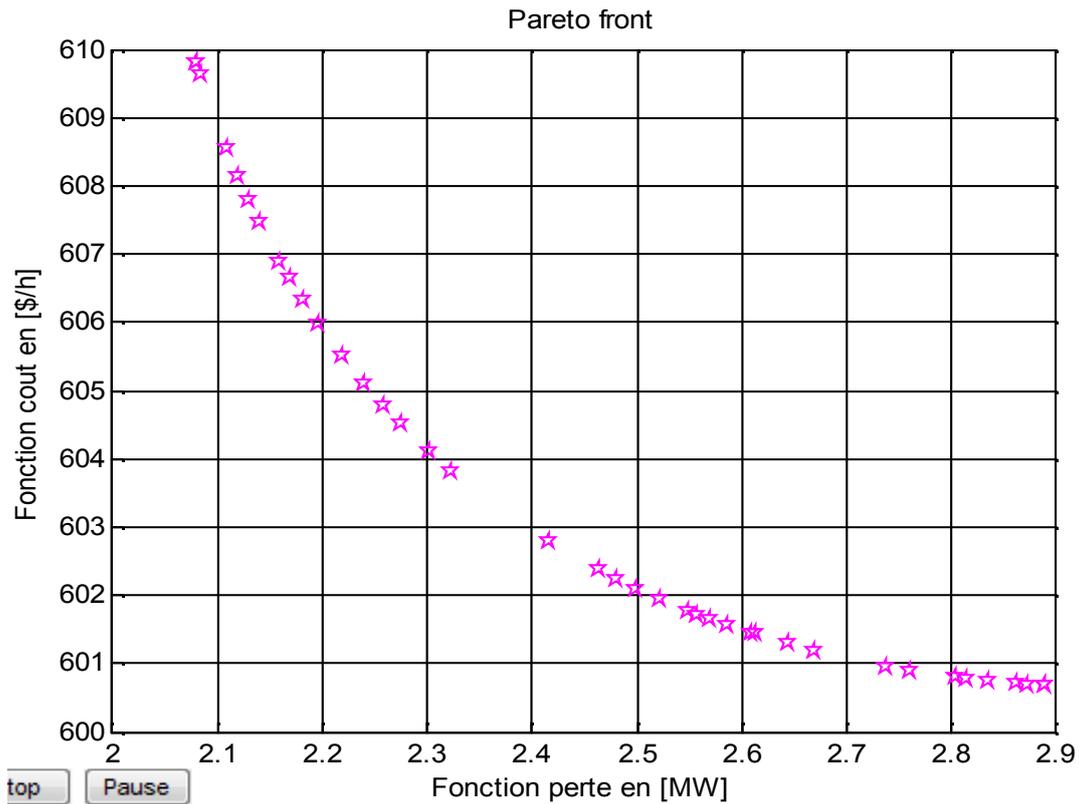


Figure .V.9: Solutions optimales de Pareto coût-pertes avec GA.

V.9. Application 2 : Optimisation par PSO-TVAC

V.9. A. Optimisation mono objective par utilisation de l'algorithme (PSO-TVAC)

✓ Paramètres de PSO-TVAC

Les paramètres de simulation de PSO-TVAC appliquée pour résoudre le problème d'optimisation sont présentés comme suit :

```

itermax = 50;
Wmax=0.9;
Wmin=0.4;
c1i=2.5 ;
c2i=0.5;
c1f=0.5;
c2f=2.5;

```

Cas 1: Minimisation du coût avec contraintes de sécurités

Pour ce cas le coût optimal obtenu est de 600.1114 \$/h. La valeur de la fonction coût optimisé, la fonction émission non optimisé et les pertes non optimisé sont présentés dans le tableau V.11. Après injection des puissances optimisées dans le problème de l'écoulement de puissance, nous constatons que les contraintes de sécurités sont vérifiées, les tensions aux niveaux des jeux de barres sont dans leurs limites admissibles, les puissances réactives des unités de production ainsi que les puissances transitées dans les lignes sont aussi respectés. Les tensions aux niveaux des jeux de barres sont présentées dans la figure V.11. La convergence de l'algorithme par PSO-TVAC est présentée dans la figure V.10.

le tableau. V.10 présenté Les puissances optimales générées

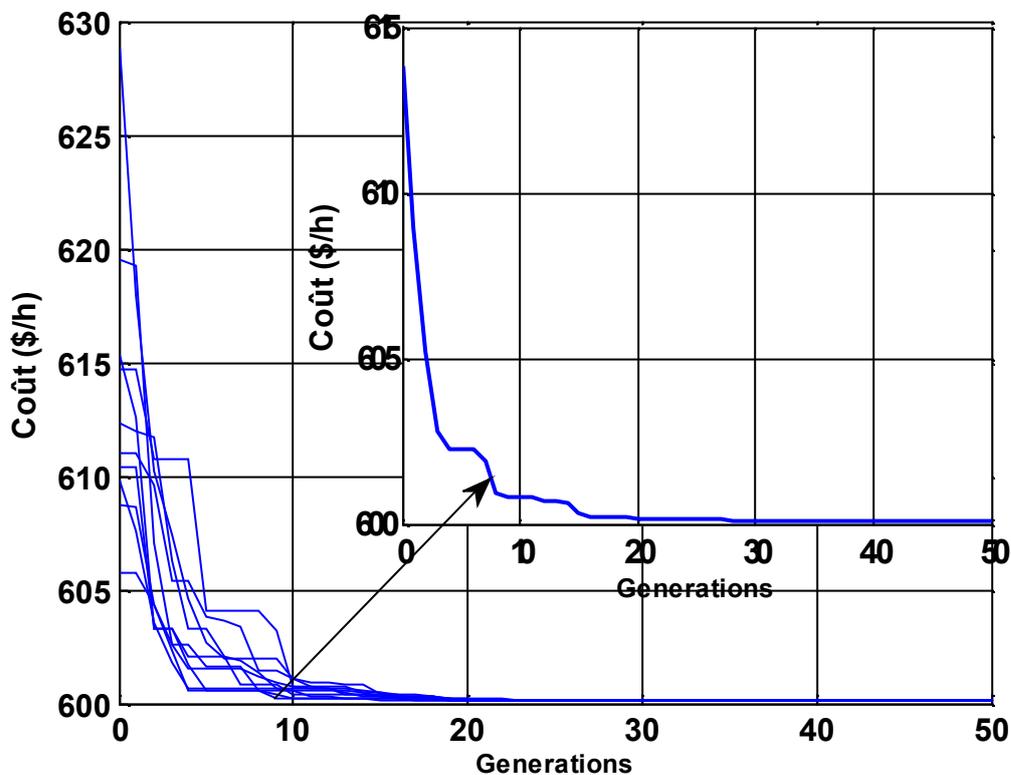


Figure V.10 : Caractéristique de convergence de l'algorithme PSO-TVAC: minimisation du coût.

N° de Jeux de barre	Les valeurs des puissances générées en (MW)
1	10.9503
2	29.9823
5	52.4407
8	101.6204
11	52.4267
13	35.9796

Tab .V.10 : Les puissances optimales générées par PSO-TVAC

La valeur de la fonction cout avant les pertes optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission non optimisée avant les pertes. (Ton/h).	La valeur de la fonction pertes non optimisée. (MW).
600 . 1114	0.2222	0
La valeur de la fonction cout après les pertes optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission non optimisée après les pertes. (Ton/h).	La valeur de la fonction pertes non optimisée. (MW).
607 . 0819	0.2210	3.0980

Tab : V.11. La valeur de la fonction coût optimisé, la fonction émission et les pertes non optimisés.

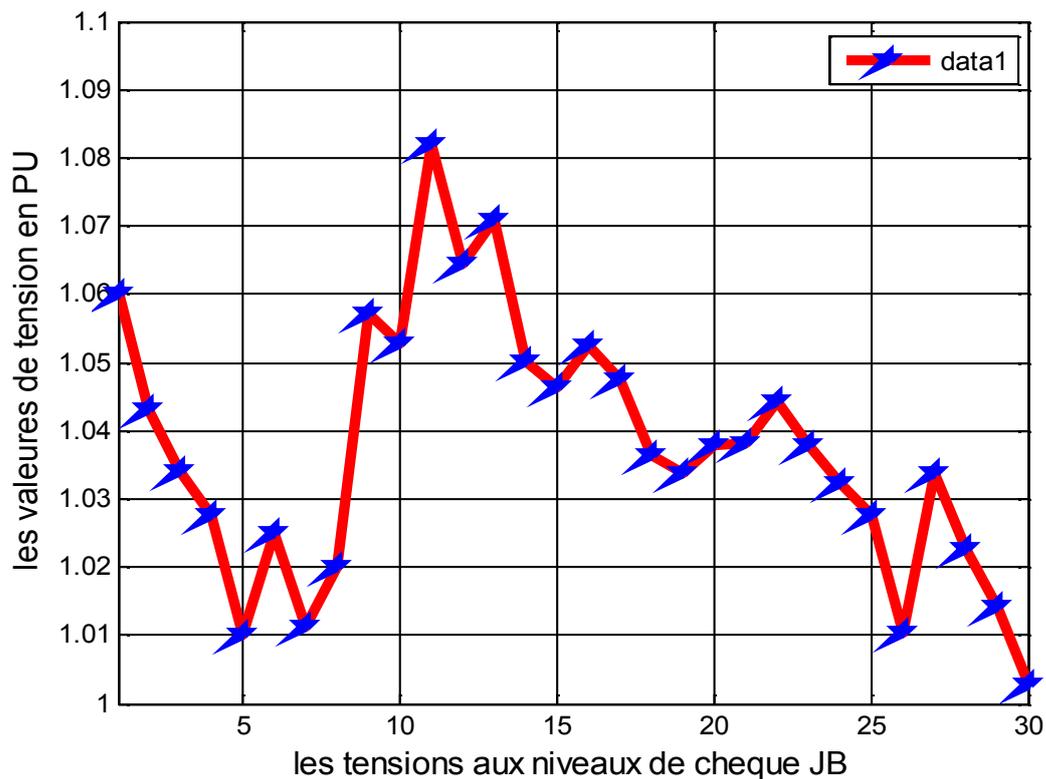


Figure .V.11 : Tensions aux niveaux des jeux de barres

Cas 2 : Minimisation de l'émission de gaz avec contraintes de sécurités

Pour ce cas l'émission de gaz obtenu est de 0.19423 (ton/h) qui est inferieur au premier cas (minimisation du coût). Les contraintes de sécurités sont vérifiées, les tensions aux niveaux des jeux de barres, les puissances réactives des unités de production ainsi que les puissances transitées dans les lignes sont dans leurs limites admissibles. La figure V.12 représente la convergence de l'algorithme PSO-TVAC, le tableau V.12 montre les résultats obtenus. Le tableau V.13 présente les puissances générées.

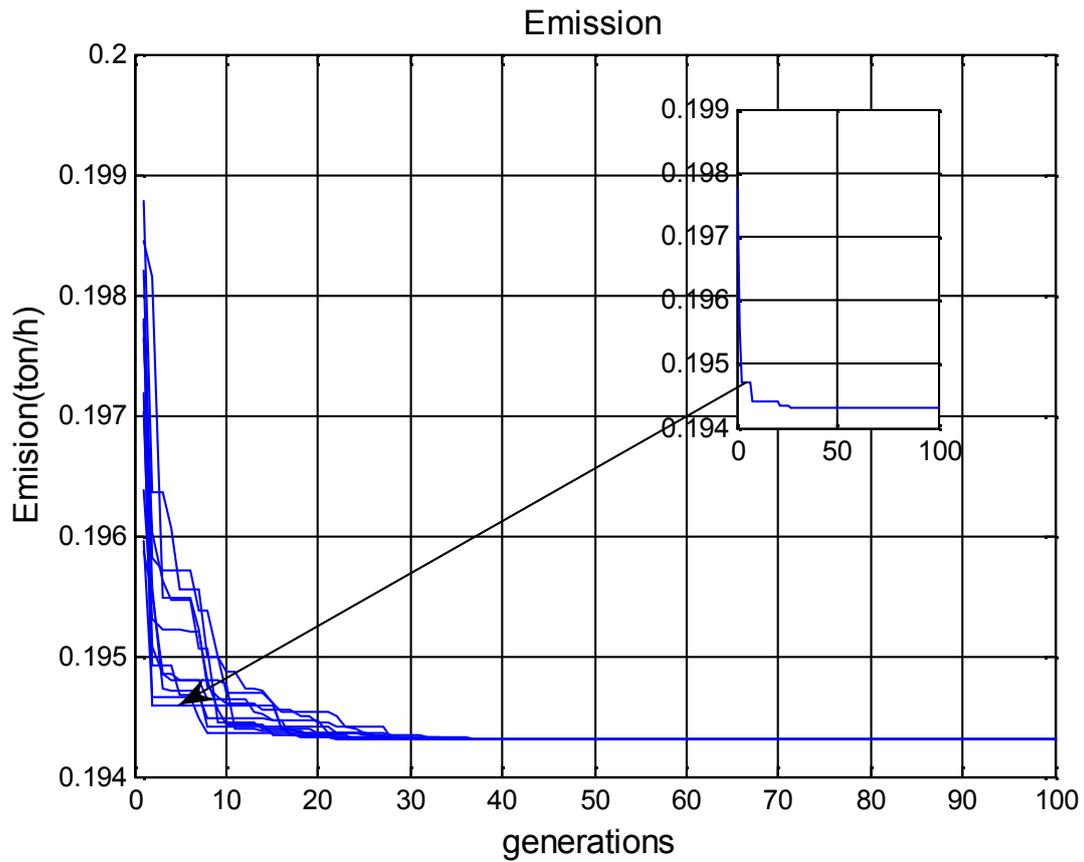


Figure V.12 Caractéristique de convergence de l’algorithme PSO-TVAC: minimisation de l’émission.

La valeur de la fonction coût non optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission optimisée. (Ton/h).	La valeur de la fonction pertes non optimisée. (MW).
638.2818	0.19423	0

Tab .V.12. La valeur de la fonction émission optimisée, la fonction coût et les pertes non optimisés.

N° de Jeux de barre	Les valeurs de la puissance générée (MW)
1	40.6127
2	45.9105
5	53.7921
8	38.2900
11	53.7924
13	51.0023

Tab V.13 : les puissances générées cas : 2 minimisation d'émission avec contraintes de sécurités.

V.9.B. Optimisation multi-objectives

Cas 1 : Minimisation du Cout de production avec émission de gaz

Pour ce cas1, le coût de production est optimisé en coordination avec l'émission de gaz toxique. La figure V.13 représente les solutions optimales de Pareto.

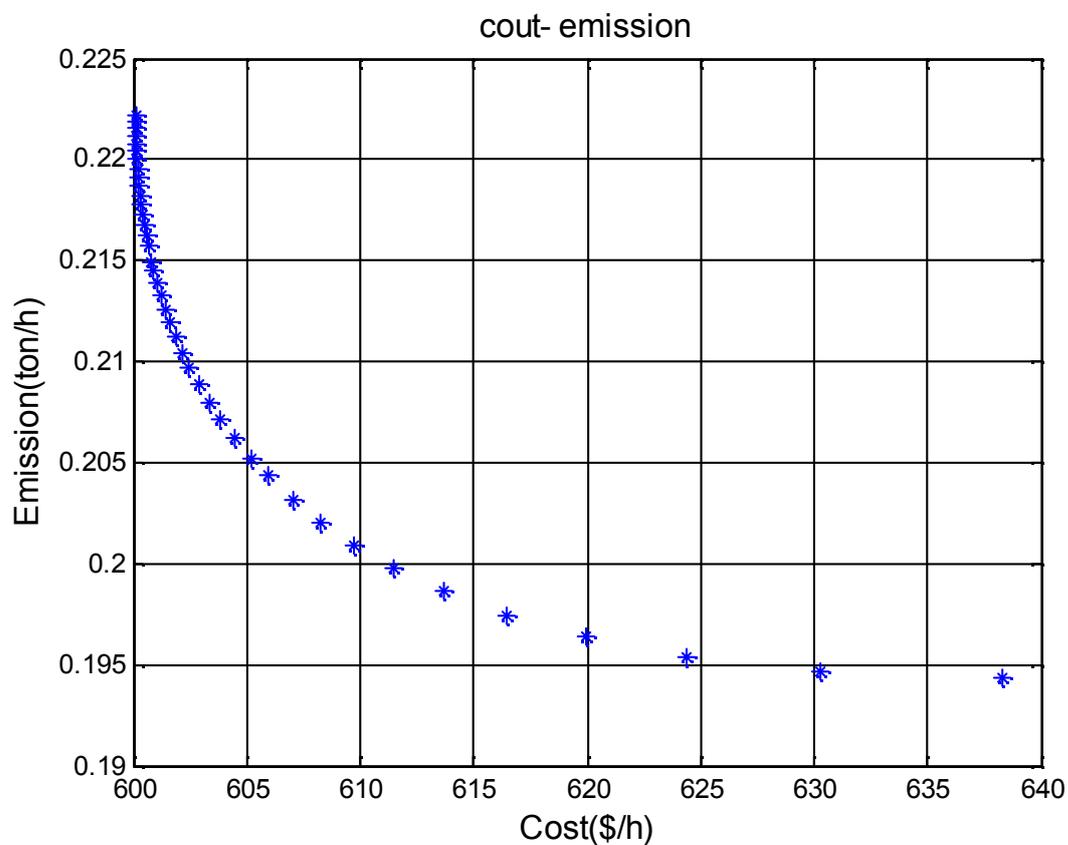


Figure .V.13 : Solutions optimales de Pareto coût-émission avec PSO-TVAC

V.10. Discussion des résultats

Les résultats obtenus par l'application de l'algorithme génétique et la variante dynamique basée sur l'essaim de particule nommée PSO-TVAC nous permet de conclure que :

- 1- L'algorithme d'optimisation par PSO-TVAC prouve sa qualité de convergence sur plusieurs tests effectués.
- 2- Une remarquable robustesse de PSO-TVAC est vérifiée, en effet cet algorithme donne de résultats proche de la valeur optimale avec un nombre réduit d'exécution en comparaison avec l'algorithme génétique.
- 3- Le temps d'exécution de PSO-TVAC est très petit en le comparant avec le temps d'exécution de l'algorithme génétique.

V.11. Application 3 : Effet de l'augmentation de la charge par algorithme génétique AG

Cas1 : Minimisation du coût sans contraintes de sécurité

Pour ce cas, la puissance demandée est augmentée de 30% par rapport à la puissance nominale (283.4 MW), cette augmentation est formulée comme suit :

$$PD_i(new) = PD_i * kl$$

$$QD_i(new) = QD_i * kl$$

Avec $kl=1.3$, représente le coefficient de charge

Le coût optimal obtenu sans considéré les contraintes de sécurité est de 803.3056 (\$/h). La figure V.12 représente la convergence de l'algorithme AG.

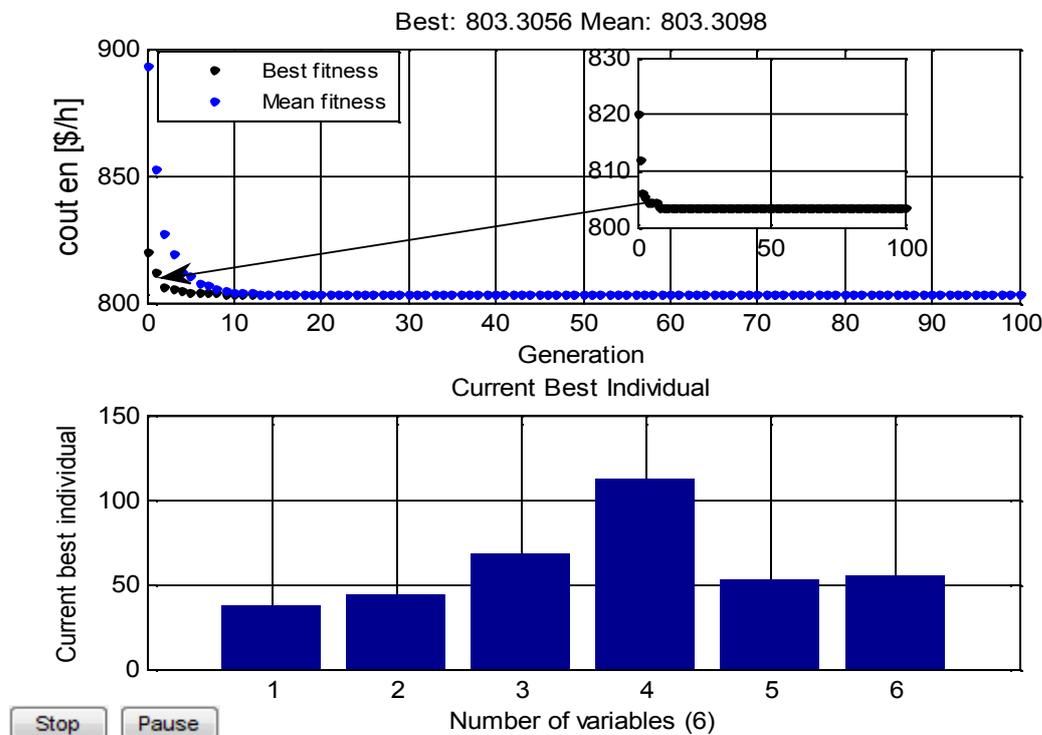


Figure .V.14 : Convergence de l'algorithme : cas1 : minimisation du coût sans contraintes de sécurité.

Cas2 : Minimisation du coût avec contraintes de tension

Pour ce cas le coût optimal obtenu est de **811.5217**\$/h, la convergence de l'algorithme est présenté dans la figure V.15. Il faut noter que la contrainte de tension est vérifiée. La figure.V.16 représente la distribution des tensions aux niveaux des jeux de barres. Les valeurs de puissances générées optimales sont présentées dans le tableau V.14. Les valeurs du coût avec pertes, l'émission et les pertes non optimisée sont présentées dans tableau V.15.

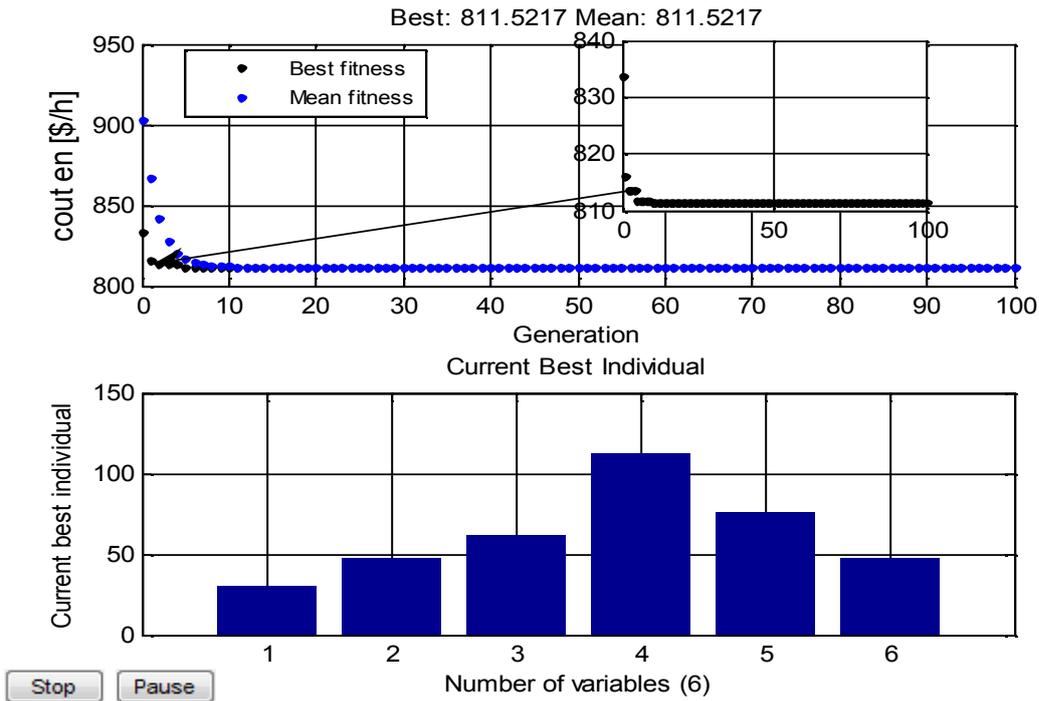


Figure .V.15: Convergence de l’algorithme : cas2 : minimisation du coût avec pertes constante.

N° de Jeux de barre	Les valeurs de la puissance générée (MW)
1	30.2366
2	47.0947
5	61.0109
8	112.5482
11	75.3314
13	47.2061

Tab .V.14 : Les puissances optimales générées par GA.

La valeur de la fonction cout optimisée (\$/h).	La valeur de la fonction émission non Optimisée. (Ton/h).	La valeur de la fonction pertes non optimisée. (MW).
811 . 5217	0.2237	5.0080

Tab V.15 La valeur de la fonction émission non optimisée, la fonction coût optimisée et les pertes non optimisés.

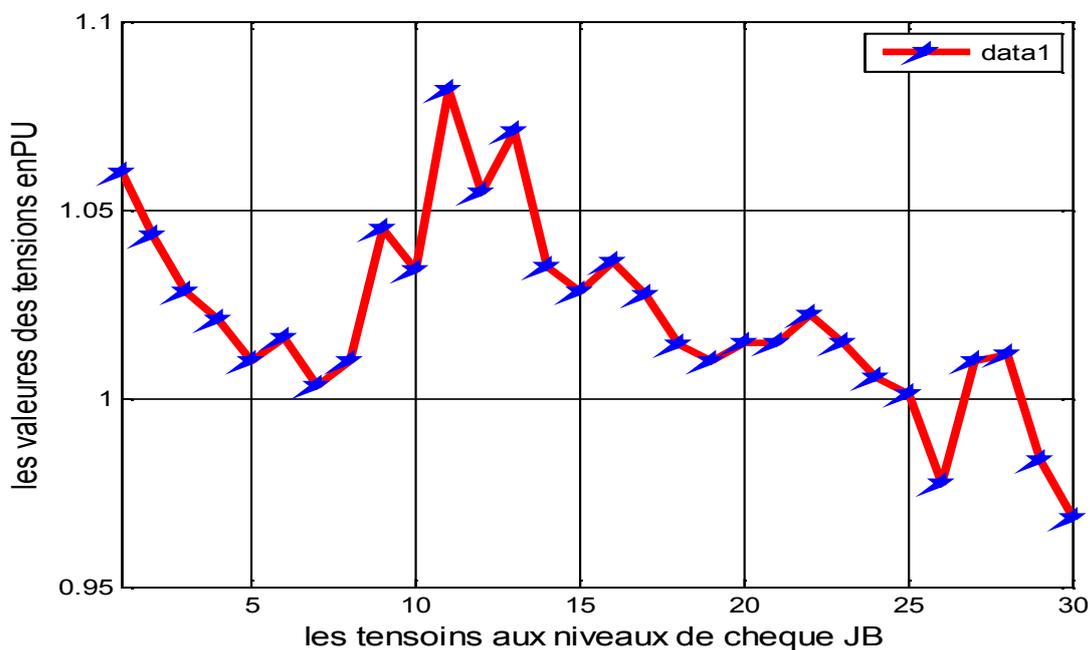


Figure V.15 : Tensions aux niveaux des jeux de barres : cas 2

V.12. Conclusion

Dans ce chapitre on a essayé d'appliquer les algorithmes génétiques et une variante de PSO pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance. Pour mettre en évidence l'efficacité de ces méthodes les points suivants sont traités.

- L'algorithme génétique est appliqué pour la minimisation du cout, l'émission et les pertes totales individuellement (mono objectif) et simultanément (multi objectif). Pour le problème multi objectif, dans la première phase le cout et l'émission sont optimisés simultanément, et pour la deuxième phase le cout est optimisé en coordination avec les pertes totales.
- La variante PSO-TVAC est appliquée pour traiter le problème mono objectif et multi objectif.
- Afin de tester l'efficacité des méthodes d'optimisation dans le domaine de gestion optimale de l'énergie électrique, un cas critique qui est les surcharge et analysé, pour cela l'algorithme génétique est appliqué pour déterminer la répartition optimale des puissances générées afin de minimiser le cout totale de production. Pour ce cas la seule contrainte de sécurité que nous avons considérée est la tension aux niveaux des jeux de barres.

Conclusion général

Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons présentés l'application de deux méthodes globales pour l'optimisation de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques en appliquant les algorithmes génétiques (AG) et les essaims de particules PSO.

Pour concrétiser l'optimisation envisagée on a traité le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance en minimisant trois importantes fonctions objectifs qui ont une influence sur la gestion optimale des réseaux électriques, la première fonction objectif consiste à la minimisation de la fonction cout de production, la deuxième fonction objectif tient compte la minimisation de l'émission de gaz ; tandis que la troisième concerne la minimisation des pertes totale. Afin de tester l'efficacité des méthodes d'optimisation dans le domaine de gestion optimale de l'énergie électrique, un cas critique qui est les surcharge et analysé, pour cela l'algorithme génétique est appliqué pour déterminer la répartition optimale des puissances générées afin de minimiser le coût totale de production

Les deux algorithmes à savoir (GA), et l'algorithme (PSO) dans sa version modifiée (PSO-TVAC) ont été appliqués au réseau test IEEE 30jeux de barres, les résultats de simulation obtenus démontrent l'efficacité de ces méthodes à résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance. Les résultats obtenus par l'approche PSO-TVAC ne peut que confirmer une autre fois nos remarques concernant la caractéristique de convergence et la qualité de solution que présente cette variante.

En perspective on prévoit d'appliquer cette variante nommée PSO-TVAC pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance en tenant en considération d'autres contraintes liées aux unités de production à savoir la fonction objectif multi fuels et les zones de fonctionnement prohibées et aussi en considérant l'intégration des systèmes FACTS afin de développer un algorithme d'optimisation généralisé pour la gestion optimale des réseaux électriques.

ANNEX :

Tableau 1 : Données des jeux de barres du réseau IEEE 30 -Bus

Bus	Type	Vsp	theta	Pgi	Qgi	PLi	QLi	Qmin	Qmax
1	1	1.0600	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1.0430	0	40	50.0000	21.7000	12.7000	-40	50
3	3	1.0000	0	0	0	2.4000	1.2000	0	0
4	3	1.0600	0	0	0	7.6000	1.6000	0	0
5	2	1.0100	0	0	37.0000	94.2000	19.0000	-40	40
6	3	1.0000	0	0	0	0	0	0	0
7	3	1.0000	0	0	0	22.8000	10.9000	0	0
8	2	1.0100	0	0	37.3000	30.0000	30.0000	-10	40
9	3	1.0000	0	0	0	0	0	0	0
10	3	1.0000	0	0	19.0000	5.8000	2.0000	0	0
11	2	1.0820	0	0	16.2000	0	0	-6	24
12	3	1.0000	0	0	0	11.2000	7.5000	0	0
13	2	1.0710	0	0	10.6000	0	0	-6	24
14	3	1.0000	0	0	0	6.2000	1.6000	0	0
15	3	1.0000	0	0	0	8.2000	2.5000	0	0
16	3	1.0000	0	0	0	3.5000	1.8000	0	0
17	3	1.0000	0	0	0	9.0000	5.8000	0	0
18	3	1.0000	0	0	0	3.2000	0.9000	0	0
19	3	1.0000	0	0	0	9.5000	3.4000	0	0
20	3	1.0000	0	0	0	2.2000	0.7000	0	0
21	3	1.0000	0	0	0	17.5000	11.2000	0	0
22	3	1.0000	0	0	0	0	0	0	0
23	3	1.0000	0	0	0	3.2000	1.6000	0	0
24	3	1.0000	0	0	4.3000	8.7000	6.7000	0	0
25	3	1.0000	0	0	0	0	0	0	0
26	3	1.0000	0	0	0	3.5000	2.3000	0	0
27	3	1.0000	0	0	0	0	0	0	0
28	3	1.0000	0	0	0	0	0	0	0
29	3	1.0000	0	0	0	2.4000	0.9000	0	0
30	3	1.000	0	0	0	10.6000	1.9000	0	0

Tableau 2 : Données des lignes de transport du réseau IEEE 30-Bus

From Bus	To Bus	R en [pu]	X en [pu]	B/2 en [pu]	X'mer TAP (a)
1	2	0.0192	0.0575	0.0264	1.0000
1	3	0.0452	0.1652	0.0204	1.0000
2	4	0.0570	0.1737	0.0184	1.0000
3	4	0.0132	0.0379	0.0042	1.0000
2	5	0.0472	0.1983	0.0209	1.0000
2	6	0.0581	0.1763	0.0187	1.0000
4	6	0.0119	0.0414	0.0045	1.0000
5	7	0.0460	0.1160	0.0102	1.0000
6	7	0.0267	0.0820	0.0085	1.0000
6	8	0.0120	0.0420	0.0045	1.0000
6	9	0	0.2080	0	0.9780
6	10	0	0.5560	0	0.9690
9	11	0	0.2080	0	1.0000
9	10	0	0.1100	0	1.0000
4	12	0	0.2560	0	0.9320
12	13	0	0.1400	0	1.0000
12	14	0.1231	0.2559	0	1.0000
12	15	0.0662	0.1304	0	1.0000
12	16	0.0945	0.1987	0	1.0000
14	15	0.2210	0.1997	0	1.0000
16	17	0.0824	0.1923	0	1.0000
15	18	0.1073	0.2185	0	1.0000
18	19	0.0639	0.1292	0	1.0000
19	20	0.0340	0.0680	0	1.0000
10	20	0.0936	0.2090	0	1.0000
10	17	0.0324	0.0845	0	1.0000
10	21	0.0348	0.0749	0	1.0000
10	22	0.0727	0.1499	0	1.0000
21	23	0.0116	0.0236	0	1.0000
15	23	0.1000	0.2020	0	1.0000
22	24	0.1150	0.1790	0	1.0000
23	24	0.1320	0.2700	0	1.0000
24	25	0.1885	0.3292	0	1.0000
25	26	0.2544	0.3800	0	1.0000
25	27	0.1093	0.2087	0	1.0000
28	27	0	0.3960	0	0.9680
27	29	0.2198	0.4153	0	1.0000
27	30	0.3202	0.6027	0	1.0000
29	30	0.2399	0.4533	0	1.0000
8	28	0.0636	0.2000	0.0214	1.0000
6	28	0.0169	0.0599	0.0650	1.0000

Tableau 3: Données du coefficient cout et de la limite de puissance active et réactive du générateur du réseau IEEE 30-Bus

Bus	a	b	c	Pgmin [MW]	Pg max [MW]	Qg min [Mvar]	Qg max [Mvar]
1	10	200	100	5	150	0	0
2	10	150	120	5	150	-40	50
5	20	180	40	5	150	-40	40
8	10	100	60	5	150	-10	40
11	20	180	40	5	150	-6	24
13	10	150	100	5	150	-6	24

Tableau 4: Données du coefficient émission de gaz du réseau IEEE 30-Bus

Bus	gamma	beta	alfa	epsil	lambda
1	6.4900	-5.5430	4.0910	0.0002	2.8570
2	5.6380	-6.0470	2.5430	0.0005	3.3330
5	4.5860	-5.0490	4.2580	0.0000	8.0000
8	3.3800	-3.5500	5.3260	0.0020	2.0000
11	4.5860	-5.0940	4.2580	0.0000	8.0000
13	5.1510	-5.5550	6.1310	0.0000	6.6670

Tableau. 5: représente la données de limite max et min de la Tension du chaque JB du réseau 30

Tension min (Pu)	Tension max (Pu)
0.94	1.1

Bibliographe

- [1] : Jean-Claude Sabonnadière Nourdine Hadjsaïd, lignes et réseaux électriques 3, Ed. Lavoisier 2008
- [2] : électrotechnique Théodore wildi avec collaboration de Gilbert Sybille (ingénieur, institut de recherche d'Hydro-Québec) 3^e édition
- [3] : Nick Jenkins et coll. électrotechnique des énergies renouvelable et de la cogénération
- [4] : T. Bouktir ; «Application de la programmation orientée objet à l'optimisation de l'écoulement de puissances », Thèse de doctorat d'état. Université Batna, Algérie, juin 2004.
- [5] : TEGANI I Lyes et DAHMANE Abdeslam, «Optimisation multi objectif à base des algorithmes génétiques appliquée sur un réseau électrique», mémoire de Master, Université de Biskra, Algérie, Juin 2011
- [6] : SAYAH Sami, «Application de l'Intelligence Artificielle pour le Fonctionnement Optimal des Systèmes Electriques», Thèse de doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas -Sétif, Algérie
- [7] : Jean-Claude Sabonnadière Nourdine Hadjsaïd, lignes et réseaux électriques 2, Ed. Lavoisier 2007
- [16] H. W. Dommel, W. F. Tinney, "Optimal Power Flow Solutions," IEEE Trans on power apparatus and systems, Vol. PAS.87, N..10, pp.1866-1876, October 1968.
- [8]: M.S. Osman, M.A. Abo Sinna, A.A. Mousa. «A solution to the optimal power flow using genetic algorithm » , International Journal of Applied Mathematics and Computation, Vol. 155, No. 2, August 2004, pp. 391 405.
- [9]: J. Yuryevich , K.P. Wong, «Evolutionary programming based optimal power flow algorithm » IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, No. 4, 1999, pp. 1245 1250.
- [10]: O. Alsac, J. Bright, M. Prais, B. Stott, « Further developments in LP based optimal power flow » IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 3, August 1990, pp. 697 711.
- [11] :M.A. Abido, «Optimal power flow using tabu search algorithm » International Journal of Electric Power Components and Systems, Vol. 30, No. 5, 2002, pp. 469 483.
- [12] :T.J. Overbye, C.L. Demarco, «Voltage security enhancement using energy based sensitivities » IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 3, August 1991, pp. 1196 1202.

Bibliographe

- [13]: C. Canizares, W. Rosehart, A. Berizzi, C. Bovo, «Comparison of voltage Security constrained optimal power flow techniques » Proceedings of 2001 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vancouver, BC, Canada, Vol. 3, July 2001, pp. 1680 1685.
- [14]: M. Eghbal, N. Yorino, Y. Zoka, E.E. El Araby, « Application of multi objective Evolutionary optimization algorithms to reactive power planning problem », IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 4, No. 5, August 2009, pp. 625 632.
- [15]: M. Rashidinejad, H. Farahmand, M. Fotuhi Firuzabad, A.A. Gharaveisi, « ATC enhancement using TCSC via artificial intelligent techniques », Journal of Electric Power Systems Research, Vol. 78, No. 1, January 2008, PP. 11 20.
- [16] : Y. Colletto et P. Siarry, « Optimisation Multi-objective » EYROLLES, Nov.2002.
- [17] : Yuryevich J. and Wong K. P., « Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm, » IEEE Transaction on power Systems, Vol. 14, No. 4,1999.
- [18] : Momoh JA, El-Hawary ME, Adapa R. « A review of selected optimal power flow literature to 1993. II. Newton, linear programming and interior point methods » IEEE Trans Power Syst1999, 14(1),pp.105–111.
- [19] : Walid Tfaili, « Conception d'un algorithme de colonie de fourmis pour l'optimisation continue dynamique », l'université paris 12-val de marne 2007
- [20] : J. Holland, « adaptation in natural and artificial systems university of Michigan Press, Ann Arbor, 1975
- [21]: D .E. Goldberg « genetic algorithm optimization and Machine learning » Addison Wesley publishing company, Ind .USA,1989.
- [23] : Nabil MANCER ,« Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS) » Thèse de Magister Université - Biskra, Algérie, Janvier 2012
- [24] : Ankit Yadav «MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW», memoir Master Thapar University, Patiala ,India , Juliet, 2010
- [25]: Alain Berro , « Optimisation multi objectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique», Thèse présentée à l'Université des Sciences Sociales Toulouse I en vue de l'obtention du doctorat le 18 décembre 2001

Bibliographe

- [26]: M. J. D. Powell. *Acta Numerica*, 7 :287-336, 1998. Direct search algorithms for optimization calculations.
- [27]: **S. Granville**, Optimal reactive dispatch through interior point methods, *IEEE Trans. Power Syst.* 9 (1) (1994) 136–146.
- [28]: **Mathieu Liedloff**, "Algorithmes exacts et exponentiels pour les problèmes NP-difficiles : domination, variantes et généralisations", l'université Paul Verlaine – Metz 2007
- [29]: **Momoh JA, El-Hawary ME, Adapa R.** "A review of selected optimal power flow literature to 1993. II. Newton, linear programming and interior point methods" *IEEE Trans Power Syst* 1999, 14(1), pp.105–111.
- [30]: **Walid Tfaili**, "Conception d'un algorithme de colonie de fourmis pour l'optimisation continue dynamique" de l'université paris 12-val de marne 2007
- [31]: **J. Holland**, "adaptation in natural and artificial systems" university of Michigan Press, Ann Arbor, 1975
- [32]: **D.E. Goldberg** "genetic algorithm optimization and Machine learning" Addison Wesley publishing company, Ind .USA, 1989.
- [34]: **Ankit Yadav** «MULTIOBJECTIVE OPTIMAL POWER FLOW», These Master Thapar University, Patiala ,India , Juliet, 2010
- [35] **yaly ould ahmed** «optimisation d'écoulement de puissance» thèse master Janvier 2012 U- Biskra, Algérie
- [36] **Mme SLIMANI Linda** « Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes métaheuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité dérégulé. » thèse doctorat université Batna 2009
- [37] **C. Bouneau, M. Derdevet, J. Percebois**, « Les réseaux électriques au cœur de la civilisation industrielle », Ed. Timée-Editions, France, 2007.
- [38] **T. Bouktir** ; «Application de la programmation orientée objet à l'optimisation de l'écoulement de puissances », Thèse de doctorat d'état. U-Batna, Algérie, juin 2004.
- [39] **Martin Hennebel**, «Valorisation des services système sur un réseau sport d'électricité en environnement concurrentiel», Thèse de doctorat, U-Paris Sud de tran 11, 2009.
- [40] **James Kennedy, Russell C Eberhart, Yuhui Shi**, "Swarm intelligence", Ed. Morgan Kaufmann, 2001.
- [41] **M. Sasson**, "Non linear Programming Solutions for load flow, minimum loss, and economic dispatching problems," *IEEE trans.*, Vol. Pas-88, N.4, April 1969.
- [42] **K. Y. Lee, Y.M. Park, and J.L. Ortiz**, "A United Approach to Optimal Real and Reactive Power Dispatch", *IEEE Trans.on Power Systems*, vol. Pas 104, pp.1147-1153, May 1985.

Bibliographe

- [43] **J. Kennedy and R. Eberhart**, “A Particle Swarm Optimization”, Proceedings of IEEE Inter conf on Neural Networks, Vol. IV, pp.1942- 1948, Perth, Australia, 1995.
- [44] **Ioan Cristian TRELEA**, “L’essaim de particule vu comme un système dynamique : convergence et choix des paramètres”, conf, L’OEP essaim de particules, Paris, 2003.
- [45] **Clerc M.**, “Exemple de logiciel d’OEP sansparamètres de réglage. Tribes, ou la coopération de tribus”, Séminaire Optimisation par Essaim Particulaire OEP’03. Paris, octobre 2003.
- [46] **Hu X., Eberhart R. C.**, “Adaptive particle swarm optimization: detection and response to dynamic systems”, Congress on Evolutionary Computation, Hawaii, 2002.