



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université HAMMA LAKHDER D'el oued

Mémoire de Fin d'Etude

Faculté de Technologie
département de génie électrique
en vue de l'obtention du diplôme de

Master académique

Réseaux électriques

Thème

**Résolution du problème de puissance active dans un réseau
d'énergie utilisant les techniques métaheuristique**

Présenter par

Nesrat Djebbari ET Soltani Elbachir

Soutenu le 04/06/2018

Devant le jury :

Mr. KACEM ABDELMALEK	Maitre de conférences	président
Mr. LABBI YACINE	Maitre de conférences	rapporteur
Mr. GUIA TALAL	Maitre de conférences	examineur

Année universitaire 2017/2018

Résumé

habituellement, le calcul de la répartition optimale de la puissance ou l'écoulement de puissance optimal (OPF) au niveau d' un réseau électrique, emploie des techniques de programmation mathématique . Ces programmes donnent aux réseaux électriques une amélioration de l'approvisionnement en énergie électrique.

Nous pouvons être exposés à de nombreux problèmes dans les réseaux électriques, en particulier dans la distribution de l'énergie électrique .par conséquent, de nombreux algorithmes OPF ont été développés pour de nombreuses applications afin d'améliorer les différents objectifs avec des restrictions et des coûts. Chacun d'eux a ses propres propriétés favorables, telles que le temps de solution et les propriétés de convergence. Par conséquent, le choix des méthodes d'optimisation dépend des problèmes que vous rencontrez. On utilisé deux méthodes algorithme génétique et recherche de motif.

La distribution économique du flux d'énergie basée sur les algorithmes génétiques et la recherche de motifs a été testée sur des réseaux électriques 30. On peut dire que l'amélioration du flux d'énergie par les algorithmes génétiques est universelle car elle converge vers puissance active et donne un vecteur de contrôle cohérent. Les résultats obtenus permettent d'espérer une application pratique de bonne programmable pour calculer le flux d'énergie optimal dans un environnement temps réel.

Les méthodes de test pour l'optimisation des coûts, et un test facile de différentes méthodes d'optimisation sur des réseaux de test de différentes tailles (30.J.D.B). Les résultats de l'application des algorithmes génétiques et du modèle de recherche dans le premier test apparaissent sous la forme de comparaisons entre les résultats .

Dédicace

Je dédie ce travail à:

Que dieu ALLAH les bénissent,

Mon frère et mes sœurs,

Toute ma famille,

Et tout mes fidèles amis

*Notre dédicace va également à
ceux qui ont participer de près ou
de loin à l'aboutissements de nos
efforts*

Remerciement

*En premier lieu, nous tenons à remercier "**Dieu**" qui nous a aidé pour que ce modeste travail soit achevé et pour que nous avons réussi.*

*Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous a orientées et nous a encouragées .nous pensons en particulier à notre encadreur : **LABBI Yacine** d'avoir nous bien me suivi et dirigé notre travail et de nous faire profiter de son savoir , ainsi que les conseils, toute l'aide et les remarques constructive qui nous ont permis d'améliorer ce travail et qui grâce à lui nous avons pus réaliser notre objectif.*

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation à l'Institut de génie électrique.

En fin ; nous remercions nos amis pour leur aide ,leur soutien et leur compréhension.

Dédicace

*Je dédie ce simple travail à mes chers parents,
mes enfants, mes frères, mes sœurs, mes amis et
à toute la famille universitaire. Et je veux que ce
travail obtenu le consensus de tout le monde*

Nesrat djebbari

sommaire

- *Résumé.
- *Remerciements
- *Dedicace
- *Sommaire
- *Liste des figures.
- *Liste des tableaux
- *Liste des symboles et acronymes
- *Introduction generale

CHAPITRE I

ÉCOULEMENT DE PUISSANCE OPTIMALE

I-1	Introduction.....	3
I-2	Modelisation des composants du Reseau Electrique.....	3
I-2-1	Générateurs.....	3
I-2-2	Transformateurs de puissances.....	3
I-2-3	Charges.....	4
I-3	Ecoulement de puissance.....	4
I-3-1	Definition de l'état du reseau.....	4
I-3-2	Calculer l'amplitude des courants de transit.....	5
I-3-3	Evaluer les pertes.....	5
I-3-4	Definir une strategie de reglage et de conduite.....	5
I-4	Ecoulement de Puissance Optimal.....	5
I-4-1	Dispatching économique.....	6
I-4-2	Fonction du coût et incrémentation du coût.....	7
I-4-3	Les contraintes.....	7
	Cas d'un Système sans pertes.....	7
	Contraintes d'inégalités.....	7

I-5	Formulation mathématique du problème du Dispatching Economique.....	7
I-5-1	Dispatching économique sans pertes.....	8
	Méthode lagrangien.....	8
	Dispatching économique avec pertes.....	9
	Considération des pertes constant.....	10
	Pertes variables.....	10
	Calcule les pertes.....	10
I-6	Probleme du dispatching economique.....	10
I-7	Solution du dispatching economique Sans Perte.....	11
I-8	Dispatching economique Avec Pertes.....	11
I-9	Conclusion.....	12

CHAPITRE II

LES ALGORITHMES GENETIQUES

II-1	Introduction.....	15
II-2	Les Algorithmes Génétiques	15
II-2-1	Définition de l'Optimisation.....	15
II-2-2	Fonction Objectif.....	16
II-2-3	Les Algorithmes Génétiques.....	16
II-2-3-1	Définition.....	17
	Définition 1 (Séquence/Chromosome/Individu (Codage binaire)).....	17
	Définition 2 (Fitness d'une séquence).....	17
II-3	mécanisme de recherche	17
II-3-1	Codage et population initiale.....	18
II-3-2	Codage binaire.....	18
II-3-3	codage réel.....	18
II-4	Les opérateurs utilisés par les AG	19
II-4-1	L'opérateur sélection.....	19

II-4-2 La Recombinaison Génétique.....	20
II-4-3 L'opérateur croisement.....	20
A. Croisement en un Point.....	20
B. Croisement en deux Points.....	21
II-4-4 Mutation.....	21
II-5 Réglage des Paramètres d'un AG	22
II-6 Mécanisme de recherche.....	24
II-6-1 Recherche de motifs Hooke et Jeeves	24
II-6-2 Mouvement de motif.....	25
II-6-2-1 Algorithme complet.....	25
II-6-2-2 Mouvement de motif.....	26
II-7 Conclusion.....	28

CHAPITRE III

APPLICATION ET RESULTATS DE SIMULATION

III-1 Introduction.....	30
III-2 Test de l'algorithme génétique	30
III-3 Test et application.....	31
III-3-1 Réseau test Sonelgaz (ouest de l'Algérie).....	31
III-3-1-1 Sélection de paramètre	34
III-3-1-2 Calcul avec les pertes constantes (premier cas).....	34
III-3-1-2 Calcul avec les pertes variables (deuxième cas)	36
III-3-1 Réseaux tests (IEEE 30-Bus).....	38
III-4 Conclusion.....	42
Conclusion générale.....	44
Références bibliographiques.....	45
Annexe.....	46

Liste des figure

Figure I.1 : le coût de carburant en fonction de la puissance générée.....	6
Figure II.1 : Illustration du codage des variables.....	18
Figure. II.2: représentation d'une sélection par tournoi d'individus pour un critère de maximisation (chaque individu représente une solution possible).....	19
Figure II.3 Représentation schématique du croisement en un point.....	21
Figure II.4 Représentation schématique du croisement en deux point.....	21
Figure II.5 Représentation schématique de la mutation simple.....	22
Figure II-6 : Organigramme d'un algorithme génétique.....	23
Figure II-7. Organigramme de la recherche de motifs.....	27
Figure III.1 : fenêtre de outil d'optimisation optimtool on utilise AG algorithme.....	31
Figure III.2 : fonction d'objective @EDouestALG.....	31
Figure III.3 : Réseau électrique dans l'ouest de l'Algérie.....	32
Figure III.4 : la convergence de Valeur de la fonction de coût d'ouest du réseau algérien durant le processus de l'AG.....	35
Figure III.5 : la convergence la fonction de coût durant le processus de Pattern search (PS).....	35
Figure. III.6 : la convergence de l'algorithme génétique.....	36
Figure. III.7: la convergence de Pattern search.....	37
Figure III.8 : Résultats sur le deuxième cas.....	37
Figure.III.9 : Schéma unifilaire du réseau électrique IEEE 30 bus.....	38
Figure.III.10: Evolution progressive de la fonction coût de l'AG - Binaire.....	39
Figure III.11 : Modules des tensions du réseau électrique à 30 jeux de barr par AG.....	40
Figure. III.12 : Angles des tensions du réseau électrique à 30 jeux de barre par AG.....	41
Figure. III.13 : la convergence de coût de génération en utilisant Pattern search.....	41
Figure. III.14 : la convergence du maillage (mesh PS) pour le système de IEEE 30 bus	42

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Données de ligne de transmission en p.u.....	33
Tableau III.2 : Valeur d'état en p.u.....	33
Tableau III.3 : Comparaison des résultats obtenus des AG du réseau ouest algérien de 1 ^{er} cas.....	34
Tableau III.4 : Comparaison des résultats obtenus du réseau ouest algérien de 2 ^{eme} cas....	36
Tableau.III.5: Les données des fonctions de coût des 6 générateurs du réseau 30 bus.....	39
Tableau.III.6: Puissances et coûts de production du réseau électrique à 30 J.B.	40

liste des Symboles et Acronymes

OPF	Ecoulement de puissance optimale.
HT	Haute tension.
MT	Moyenne Tension.
AG	Les algorithmes génétiques.
PS	Recherche de motif.
J.D.B	Jeux de barre.
i	Numéro du J.D.B.
S	Puissance apparente.
NI	Nombre max d'itération.
Ch	Chromosome.
H	Représente la contrainte d'égalité.
C _i	Le coût du la production de centrale « i ».
C _{tot}	Le coût total de la production.
α, β, γ	Coefficients de la courbe du coût quadratique du générateur i.
P _{gi}	La puissance produit par le centrale « i ».
P _{gi min}	Limite minimale de production de la puissance générée d'un centrale « i ».
P _{gi max}	Limite maximale de production de la puissance générée d'un centrale « i ».
P _d	La puissance totale demandé.
ng	Nombre de génétiques.
λ	Le multiplicateur de Lagrange.
P _c	Probabilité de croisement.
P _m	Probabilité de mutation.
K	Individus.

Introduction Générale

Introduction générale

La production et la distribution d'électricité doivent être effectuées au coût le plus bas et avec une efficacité maximale. Il est donc nécessaire de planifier les forces actives et interactives de chaque centrale afin de réduire le coût total de fonctionnement de l'ensemble du réseau. D'une autre manière, il est nécessaire de modifier les forces actives et interactives des générateurs dans certaines limites afin de répondre à la demande spéciale de grosseur au coût le plus bas du carburant. C'est ce qu'on appelle le «flux d'énergie optimale» (OPF) et parfois connu comme le problème de la distribution économique du flux d'énergie.

Les algorithmes génétiques ont leur propre capacité de calcul parallèle et la capacité de gérer des fonctions cibles inhabituelles, non persistantes et immuables, ainsi que des recherches dans un domaine incertain et complexe pour trouver un point proche du niveau optimal global.

Le but de notre travail est de résoudre le problème de la distribution économique optimale et, en particulier, d'étudier et d'appliquer des algorithmes génétiques et comparée avec pattern search (PS méthode direct) pour résoudre ce problème.

Le premier chapitre : donne une idée générale sur le dispatching économique, son objectif, mode d'exploitation des unités de génération, le dispatching économique dans les réseaux sans pertes ou avec pertes, et quelques définitions.

Le deuxième chapitre : Nous identifions les "algorithmes génétiques" et les expliquons en trouvant des solutions aux problèmes de distribution économique, ainsi que la méthode « recherche de motifs ».

Le troisième chapitre : On va tester le programme qu'est le dispatching économique optimal et l'écoulement de puissance en utilise les algorithmes génétiques sur des réseaux électriques de 30 JB IEEE, ainsi que sur le réseau électrique ouest algérien. Les résultats obtenus sont également analysés.

CHAPITRE I

CHAPITRE I

ÉCOULEMENT DE PUISSANCE OPTIMALE

- I-1** Introduction,
- I-2** Modelisation des composants du Reseau Electrique,
- I-3** Ecoulement de puissance,
- I-4** Ecoulement de Puissance Optimal,
- I-5** Formulation mathematique du probleme du Dispatching Economique,
- I-6** Probleme du dispatching economique,
- I-7** Solution du dispatching economique Sans Perte,
- I-8** Dispatching economique Avec Pertes,
- I-9** Conclusion.

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 [1].

L'effondrement du camp socialiste à la fin des années quatre-vingt et l'ouverture du marché concurrentiel d'une part et les prix de plus en plus chers des combustibles d'autre part ont donné au fonctionnement optimal ou économique des systèmes d'énergie électrique une position importante dans la gestion de sociétés productrices. 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 [1].

I-2 Modélisation des composants du réseau électrique :

Un réseau de transport ou de distribution électrique contient un ensemble de composants qu'on doit modéliser afin d'établir les équations qui gouvernent le système électrique. Dans les sections qui suivent, on va exposer quelques modèles algébriques de base relatifs aux composants du réseau qui sont nécessaires pour le calcul de l'écoulement de puissance [2].

I-2-1 Générateurs :

Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants. Dans l'état stationnaire, un générateur est généralement contrôlé de sorte que la puissance active injectée aux jeux de barres et la tension aux bornes de générateurs soient maintenues constantes. La puissance active délivrée par le générateur est réglée à travers le contrôle de la turbine, qui doit être dans les limites de la capacité du système turbine générateur. La tension est liée principalement à l'injection de la puissance réactive au jeu de barres de production, qui est contrôlée par le courant de l'excitation, et comme le générateur doit fonctionner dans les limites de sa courbe de capacité réactive $Q(P)$, il n'est pas possible de régler la tension en dehors de certaines limites admissibles [1].

I-2-2 Transformateurs de puissances :

Les transformateurs de puissance jouent plusieurs rôles dans le fonctionnement du réseau électrique ils sont utilisés comme élévateurs de tension et ce au niveau de la source pour

transporter l'énergie électriques avec minimum de pertes coté (HT-HT) ,il ont utilisés comme abaisseurs de tension au niveau des stations de transformation et d'interconnexion pour alimenter les réseaux moyenne tension (HT-MT) à titre d'exemple réseau 60Kv, ils assurent aussi le maintien d'une tension fixe quelle que soit la fluctuation du profil de tension au niveau des connexion haute tension. (HT-HT) [3].

I-2-3 Charges :

Les générateurs et les charges sont définis à l'aide des grandeurs fondamentales telles que les puissances actives et réactives et les deux composantes de la tension qui sont l'amplitude et la phase. Lorsque l'on décrit une charge à un sommet dit consommateur, cette dernière est représentée par la puissance complexe consommée [2].

C'est-à-dire les valeurs P de la puissance active et les valeurs Q de la puissance réactive. Lorsque l'on décrit un sommet générateur leur fonctionnement est décrit par la puissance active P délivrée et l'amplitude V de la tension en ce nœud. On définit aussi la fourchette [2] de sa capacité de fourniture/absorption de la puissance réactive. Une exception est cependant faite pour la machine la plus puissante connectée au réseau, que l'on appelle nœud bilan qui servira comme référence pour la tension en module et en phase et qui sera celle à laquelle seront affectées les pertes dans le réseau calculées a posteriori.

I-3 Ecoulement de puissance :

Le calcul d'écoulement de puissance est une étude en régime permanent du réseau électrique qui consiste à déterminer, en premier lieu, à chaque jeu de barres, l'amplitude et la phase de la tension ainsi que les puissances active et réactive injectées. Connaissant les tensions (amplitude et phase) aux jeux de barres ainsi que les puissances injectées (active et réactive), nous pouvons calculer, en deuxième lieu, les courants et les puissances dans les lignes et ceux fournis par les sources [3].

I-3-1 Définition de l'état du reseau :

Le calcul de la répartition des charges au sein d'un réseau a pour objet de déterminer l'état du réseau en fonction des charges qui sont connectées et de la répartition de la consommation sur l'ensemble des nœuds du réseau. Ce calcul se fait en supposant que le réseau fonctionne en régime permanent et que les générateurs fournissent la puissance électrique sous forme d'un système de tensions et de courants alternatifs sinusoïdaux triphasés équilibrés

directs. Le but du calcul est de fournir une image exacte de la répartition des puissances actives et réactives sur l'ensemble des éléments de transmission du réseau [1].

I-3-2 Calculer l'amplitude des courants de transit :

La connaissance de la valeur de l'intensité du courant de transit dans chacun des composants du réseau, ligne, câble ou transformateur permet de s'assurer que dans chacun de ces composants de l'intensité ne dépasse pas la valeur limite compatible avec un bon fonctionnement de ce composant [4].

I-3-3 Evaluer les pertes :

De même, la connaissance des courants de transits permet d'avoir une évaluation des pertes en lignes et éventuellement de modifier le plan de tension afin de minimiser les pertes sur l'ensemble du réseau [1].

I-3-4 Définir une stratégie de réglage et de conduite :

La capacité de détermination des tensions en chaque nœud et des puissances active et réactive que doit fournir la machine concernée, afin d'assurer le transport et la fourniture en chaque nœud consommateur de la puissance demandée, permet de définir les consignes de réglage à appliquer au niveau de chacune des machines connectées au réseau. Un tel calcul est utilisé également pour des analyses de stabilité [2].

I-4 Ecoulement de Puissance Optimal :

Un Ecoulement de Puissance Optimal (OPF) est destiné à trouver une solution de l'écoulement de puissance qui optimise une fonction de performance (objectif) comme le coût du combustible, ou les pertes de transmission, tout en veillant à respecter les limites physiques imposées par les équipements du système.

L'effondrement du camp socialiste à la fin des années quatre-vingts et l'ouverture du marché concurrentiel d'une part et les prix de plus en plus chers des combustibles d'autre part ont donné au fonctionnement optimal ou économique des systèmes d'énergie électrique une position importante dans la gestion de sociétés productrices. 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.

Ce chapitre traite le problème du fonctionnement économique des systèmes électro-énergétiques, des définitions de base ont été expliquées telles que la fonction objectif,

fonction du coût, problème de dispatching économique, différents types de combustibles utilisés avec leur modélisation .

Notons que seules les unités thermiques seront traitées dans le cadre de ce mémoire. Une solution de l'écoulement de puissance est alors obtenue qui, d'une part, est réalisable physiquement, et d'autre part, offre une valeur minimale de la fonction objectif [5].

I-4-1 Dispatching économique :

Dans le dispatching économique, la fonction objective à minimiser est le coût total de production des groupes thermiques, de telle sorte que la charge électrique du système soit entièrement satisfaite. Dans ce cas, la seule contrainte est que la somme de toutes les puissances actives générées, soit égale à la charge totale du système.

On en conclut que le modèle utilisé par le dispatching économique standard, considère que les pertes de puissances actives dans les lignes de transport et les transformateurs sont négligeables, et que les équations de l'écoulement de puissance ne sont pas prises en considération. Le système électrique est alors équivalent à un seul jeu de barre où sont connectées tous les générateurs de puissance et toutes les charges électriques .

Le coût de l'énergie à l'entrée du générateur, est évalué en (Mbtu/h) ou (\$/MW), qui représente la quantité de fuel ou de combustible nécessaire pour le fonctionnement de la chaudière [6].

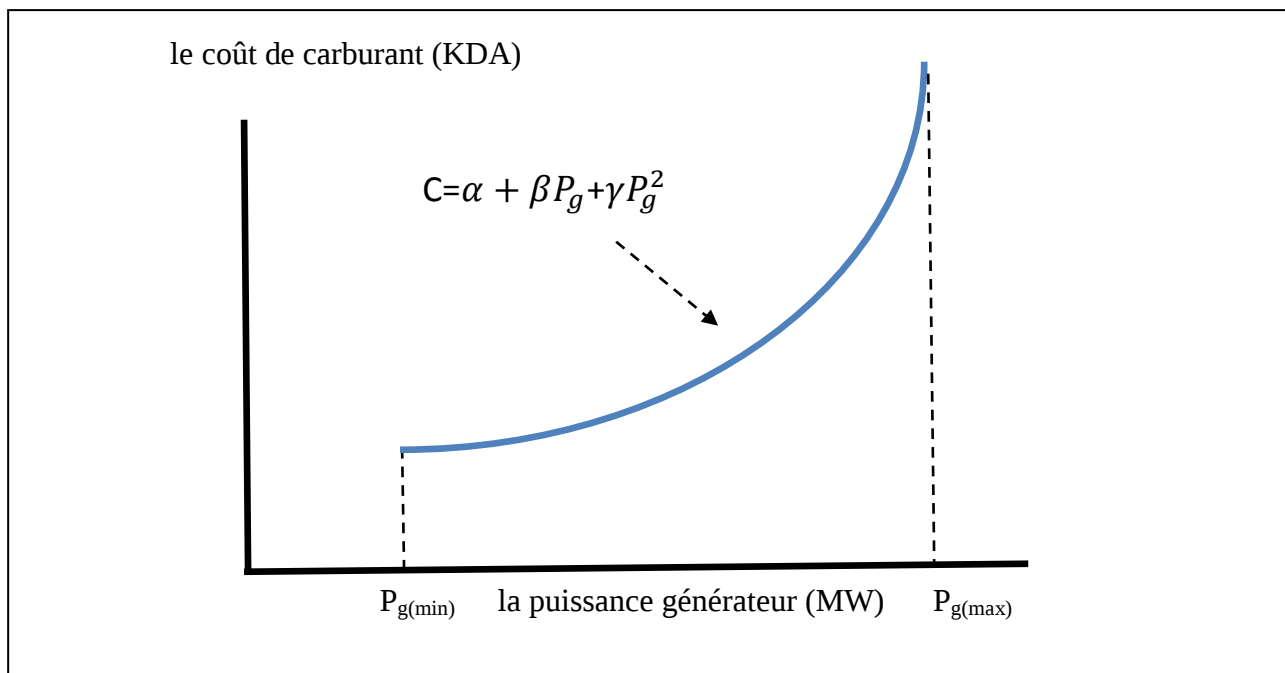


Figure I.1 : le coût de carburant en fonction de la puissance générée

I-4-2 Fonction du coût et incrémentation du coût :

Le coût de production à l'entrée \$ / Mw varie avec la puissance à la sortie du générateur P_{gi} en Mw . La relation entre le coût de production et la puissance de sortie est appelée « courbe de coût » $C_i (P_{gi})$, figure (I-1).

I-4-3 Les contraintes :

Dans le dispatching économique, la fonction objective à minimiser est le coût total de production des groupes thermiques, de telle sorte que la charge électrique du système soit entièrement satisfaite [7].

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

✓ Cas d'un Système sans pertes:

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

$$\sum_{i=1}^k P_{gi} = P_D \quad (I.1)$$

✓ Contraintes d'inégalités :

Puisque, chaque générateur est limité par sa capacité minimale et maximale de production il faut que la puissance P_{Gi} choisi doive être satisfaire la contrainte d'inégalité :

$$P_{Gimin} < P_{Gi} < P_{Gimax} \quad i = 1, 2, \dots, ng \quad (I.2)$$

I-5 Formulation mathématique du problème du Dispatching Economique :

Le problème du dispatching économique consiste à minimiser le coût total du combustible (C), n sujet à une seule contrainte d'égalité qui est la somme de toute les puissances générées est égale à la puissance totale demandée (P_D).

Mathématiquement on peut écrire ;

$$\text{Minimiser : } C = \sum_{i=1}^{ng} C_i (P_{gi}) = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta_i \cdot P_{gi} + \gamma_i \cdot P_{gi}^2) \quad (I.3)$$

$$\text{Sujet à la contrainte : } \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} = P_D \quad (I.4)$$

I-5-1 Dispatching économique sans pertes :

✓ Méthode lagrangien [8]:

Donc, on remarque que cette formulation est caractérisée par une fonction de coût qui est la seule non-linéarité, une contrainte d'égalité scalaire unique et des contraintes d'inégalités sous forme de limites inférieures et supérieures sur les puissances produites. Pour résoudre le problème du dispatching économique, on formule le lagrangien comme suit,

Elle est encore appelée la méthode de « Kunt Tucker » qui utilise la fonction de coût comme la fonction objectif de lagrangien.

$$F = C_{\text{tot}}(P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gn}) = \sum_{i=1}^{ng} C_1(P_{gi}) \quad (\text{I.5})$$

Pour résoudre le problème du dispatching économique, on peut formuler le lagrangien comme suit :

Ou:

$$L = F(P_{gi}) + \lambda \cdot H(P_{gi}) \quad (\text{I.6})$$

H représente la contrainte d'égalité

$$H(P_{gi}) = P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} \quad (\text{I.7})$$

λ est le multiplicateur de lagrange.

Donc :

$$L = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2) + \lambda (P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi}) \quad (\text{I.8})$$

Les conditions nécessaires pour un minimum sont données par :

$$\left\{ \frac{\partial L}{\partial P_{gi}} = \beta_i + P_{gi} 2\gamma_i - \lambda = 0 \right. \quad (\text{I.9})$$

$$P_{gi(\min)} \leq P_{gi} \leq P_{gi(\max)} \quad (\text{I.10})$$

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

$$\left\{ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_d - \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} \right. \quad (\text{I.11})$$

Donc ,à l'optimum le coût de production total sera minimal si tous accroissements des coût de centrales sont égaux et égal à la valeur de λ .

De la première équation on trouve que :

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

En remplaçant l'équation (I.11) en (I.12) :

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

Donc λ optimal est :

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

En remplaçant la valeur de λ^* dans l'équation (I.16) on trouve :

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

Ces valeur de puissance généré de centrales représentent la solution optimale de problème de dispatching économique qui permet d'obtenir le cout de production minimal d'après le équation (I.6), chaque générateur participant au dispatching économique sans pertes est alors aussi appelé le dispatching d'accroissement du coût égal.

- **Dispatching économique avec pertes :**

Dans les systèmes réels, le transport de l'énergie électrique vers les jeux de barres de charge est souvent accompagné par des pertes de transmission. Le problème du dispatching économique devient un peu compliqué par rapport au cas précédant ou les pertes ont été négligées. Dont , la topologie du réseau aura une incidence sur la répartition optimale de la production. Cependant pour pénaliser les centrales qui produisent de la puissance dont le transit provoque des pertes importantes, nous multiplierons les coefficients de leur de coût par un facteur de pénalité [7].

Il existe deux approches générales pour résoudre le problème du dispatching économique avec pertes de puissance :

- **Considération des pertes constant :**

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

- **Pertes variables :**

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

- **Calcule les pertes :**

Il existe deux approches générales pour calculer les pertes :

On calcule les pertes de transmission par les méthodes de calcul de l'écoulement de puissance N-R ou G-S. la méthode de "formule des pertes" est basée sur l'approximation des pertes totales de puissance active par une fonction directe des puissance actives des générateurs P_{gi} , donnée par l'équation suivante.

I-6 Problème du dispatching économique :

Le dispatching économique est un problème d'optimisation, qui consiste à répartir la production de la puissance active demandée entre les différentes centrales du réseau, de sorte à exploiter ce dernier de la manière la plus économique possible, cette distribution doit évidemment respecter les limites de Production des centrales. La variable à optimiser est donc le coût de production.

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

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

Ce pendant ces pertes varient en fonction de la répartition des puissances entre les centrales et la charge. Ainsi, contrairement à celui sans perte, le dispatching économique avec perte tient compte de la topologie du réseau. Pour pénaliser les centrales qui produisent de la

puissance dont le transit provoque d'importantes pertes, nous multiplions leur coût incrémental par un facteur de pénalité. La justification physique de ce facteur de pénalité s'explique par le fait qu'à cause des pertes, il peut être plus intéressant de produire pour plus cher près du lieu de consommation que loin et pour moins cher [8].

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

I-7 Solution du dispatching économique sans perte :

La solution du dispatching économique est obtenue à l'aide de deux types de méthodes d'optimisation, le premier type utilise le gradient (fonction de Lagrange) comme : La méthode de Kuhn-Tucker et la méthode de gradient. Le deuxième type utilise les itérations (minimisation sans gradient) : la méthode d'itération de Lambda.

Dans certains cas on peut considérer le problème de dispatching comme linéaire par parties, si on considère le problème du dispatching comme un problème linéaire on utilise la programmation linéaire [8].

I-8 Dispatching économique avec pertes :

Deux approches sont essentiellement utilisées pour la solution de dispatching économique avec pertes, la première est le développement d'une expression mathématique des pertes en fonction des puissances de sortie de chaque unité de production (comme celle de beta coefficient) . La deuxième approche consiste à utiliser les équations de l'écoulement de puissances optimal (optimal power flow), les deux approches sont utilisées dans ce mémoire comme nous allons voir au troisième chapitre (résultat et simulation) [8].

I-9 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons analysé le problème de l'écoulement de puissance d'une manière détaillée dans sa première partie, toutes les équations de l'écoulement de puissance sont ainsi abordées, des schémas unifilaires simplificatrices ont été introduites afin de mieux représenter l'ensemble des éléments de notre réseau électrique (lignes, transformateurs impédances ,charges électriques...etc.), dans la deuxième partie, la solution du dispatching économique par utilisation des méthodes classiques les plus répondues ont été étudiées avec et sans considération de pertes .

CHAPITRE II

CHAPITRE II

LES ALGORITHMES GENETIQUES

- II-1** Introduction
- II-2** Definition de l'optimisation
- II-3** Fonction d'objectif
- II-4** Les Algorithmes Genetiques (AG)
- II-5** Definition
- II-6** Mechanisme de recherche
- II-7** Les operateurs utilises par les AG
- II-8** Reglage des parametres d'un AG
- II-9** Recherche de motif
- II-10** Conclusion

II-1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons identifier les deux méthodes pour trouver les solutions idéales :

- Les algorithmes génétiques sont une technique importante dans la recherche du meilleur choix d'un ensemble de solutions disponibles pour un design particulier. Le principe de sélection darwinien est que la manipulation génétique passe les avantages optimaux par des processus de multiplication successifs et renforce ces traits. La production de la progéniture optimale, et en répétant le cycle génétique, la qualité des graines s'améliore progressivement [8].
- La recherche de motifs (également appelée recherche directe, recherche sans dérivation ou recherche par boîte noire) est une famille de méthodes d'optimisation numérique qui ne nécessite pas de gradient. Par conséquent, il peut être utilisé sur des fonctions qui ne sont pas continuées ou différentiables. Une telle méthode de recherche de motifs est la "convergence", qui est basée sur la théorie des bases positives. L'optimisation tente de trouver la meilleure correspondance (la solution ayant la valeur d'erreur la plus faible) dans un espace de possibilités d'analyse l'optimisation [9].

II-2 Les Algorithmes Génétiques :

Les algorithmes génétiques (AG) sont des algorithmes d'optimisation stochastique fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Leur fonctionnement est extrêmement simple. On part avec une population de solutions potentielles (chromosomes) initiales arbitrairement choisies. On évalue leur performance (fitness) relative. Sur la base de ces performances on crée une nouvelle population de solutions potentielles en utilisant des opérateurs évolutionnaires simples : la sélection, le croisement et la mutation. On recommence ce cycle jusqu'à ce que l'on trouve une solution satisfaisante [7].

II-2-1 Définition de l'Optimisation :

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

II-2-2 Fonction Objectif :

C'est le nom donné à la fonction f (on l'appelle aussi fonction de coût, critère d'optimisation ou fitness).

C'est cette fonction que l'algorithme d'optimisation va devoir optimiser (trouver un optimum)

II-2-3 Les Algorithmes Génétiques [6] :

- Un algorithme génétique recherche le ou les extrema d'une fonction définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants:
- Un principe de codage de l'élément de population. Cette étape associe à chacun des points de l'espace d'état une structure de données. Elle se place généralement après une phase de modélisation mathématique du problème traité. Le choix du codage des données conditionne le succès des algorithmes génétiques. Les codages binaires ont été très employés à l'origine. Les codages réels sont désormais largement utilisés, notamment dans les domaines applicatifs, pour l'optimisation de problèmes à variables continues.
- Un mécanisme de génération de la population initiale. Ce mécanisme doit être capable de produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important car il peut rendre plus ou moins rapide la convergence vers l'optimum global. Dans le cas où l'on ne connaît rien du problème à résoudre, il est essentiel que la population initiale soit répartie sur tout le domaine de recherche.
- Une fonction à optimiser. Celle-ci prend ses valeurs dans R^+ et est appelée fitness ou fonction d'évaluation de l'individu. Celle-ci est utilisée pour sélectionner et reproduire les meilleurs individus de la population.
- Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'état.
- Des paramètres de dimensionnement : taille de la population, nombre total de générations ou critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation.

II–2–3–1 Définition [6] :**Définition 1 (Séquence/Chromosome/Individu (Codage binaire)) :**

Nous appelons une séquence (chromosome, individu) A de longueur $l(A)$ une suite, Un chromosome est donc une suite de bits en codage binaire, appelé aussi chaîne binaire. Dans le cas d'un codage non binaire, tel que le codage réel, la suite A ne contient qu'un point.

Définition 2 (Fitness d'une séquence) :

Nous appelons fitness d'une séquence toute valeur positive que nous noterons $f(A)$, où f est typiquement appelée fonction de fitness.

La fitness (efficacité) est donc donnée par une fonction à valeurs positives réelles. Dans le cas d'un codage binaire, nous utiliserons souvent une fonction de décodage qui permettra de passer d'une chaîne binaire à un chiffre à valeur réelle. La fonction de fitness est alors choisie telle qu'elle transforme cette valeur en valeur positive, Le but d'un algorithme génétique est alors simplement de trouver la chaîne qui maximise cette fonction bien évidemment, chaque problème particulier nécessitera ses propres fonctions et f .

Les AG sont alors basés sur les phases suivantes :

1. Initialisation. Une population initiale de N chromosomes est tirée aléatoirement.
2. Évaluation chaque chromosome est décodé, puis évalué.
3. Sélection. Création d'une nouvelle population de N chromosomes par l'utilisation d'une méthode de sélection appropriée.
4. Reproduction. Possibilité de croisement et mutation au sein de la nouvelle population.
5. Retour à la phase d'évaluation jusqu'à l'arrêt de l'algorithme.

Voyons maintenant plus en détail les autres phases de l'algorithme génétique. Nous présentons ces opérateurs sous l'hypothèse implicite que le codage est binaire.

II–3 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 [9].

II-3-1 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.

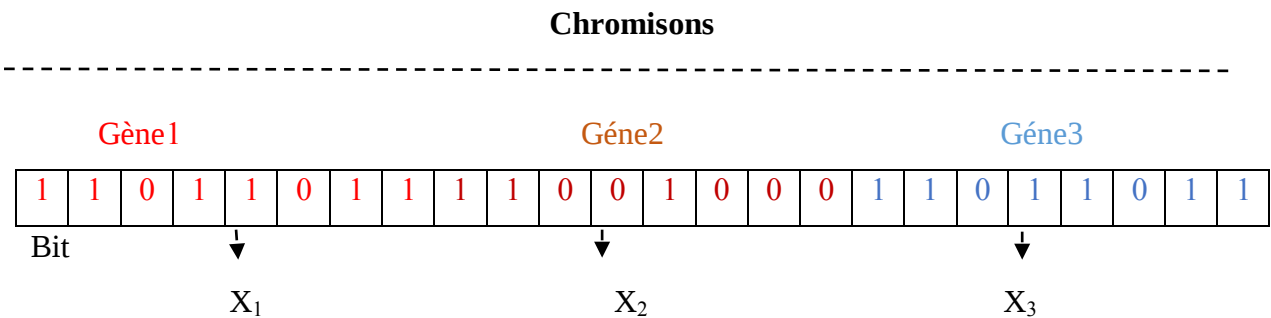


Figure .II.1 : Illustration du codage des variables

II-3-2 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 [9]:

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.

2. La distance Hemming entre deux nombres adjacents (le nombre de bits différents) peut être très importante en codage binaire: le nombre correct 7 correspond à la chaîne 0111 et la chaîne 1000 correspond à l'entier 8. Cependant, la distance entre Hemming et ces deux chaînes est 4, Crée une affinité, pas une valeur optimale.

II-3-3 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, on peut utiliser tout simplement un chromosome 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 transcoding (du binaire vers le réel). Les résultats donnés par montrent que la représentation réelle aboutit souvent à une meilleure précision et un gain important en termes de temps d'exécution [9].

II-4 Les opérateurs utilisés par les AG :

II-4-1 L'opérateur sélection [5] :

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. 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. II.2).

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

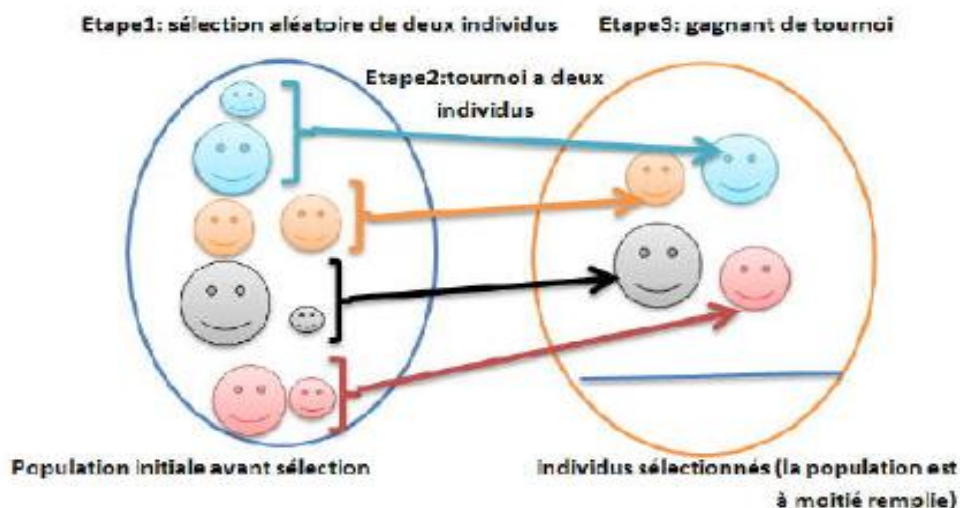


Figure. II.2: représentation d'une sélection par tournoi d'individus pour un critère de maximisation (chaque individu représente une solution possible).

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 (j), la probabilité de sélection d'un individu (j) s'écrit 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 à une influence sur la pression de sélection, lorsque $k = 2$, la sélection est dite par « tournoi binaire ».

II-4-2 La Recombinaison Génétique :

Dans la recombinaison génétique on distingue deux opérateurs principaux : le croisement et la mutation. Ces deux opérateurs sont la base de la progression des algorithmes génétiques.

II-4-3 L'opérateur croisement [5] :

Le phénomène de croisement est une propriété naturelle de l'ADN, et c'est analogiquement qu'on fait les opérations de croisement dans les AG, à partir de deux individus, on obtient deux nouveaux individus (enfants) qui héritent certaines caractéristiques de leurs parents. Le croisement sélectionne des gènes par mis deux individus appelés parents. A partir de ces gènes sont générés les enfants. La probabilité de croisement représente la fréquence à laquelle les croisements sont appliqués.

- ✓ S'il n'y a pas de croisement, les fils sont l'exacte copie des parents.
- ✓ S'il y a croisement, les fils sont composés d'une partie de chacun de leurs parents.
- ✓ Si la probabilité est de 0%, la nouvelle génération est la copie de la précédente.
- ✓ Si la probabilité est fixée à 100%, tous les descendants sont générés par croisement.

Le croisement est mis en place pour que les nouveaux chromosomes gardent la meilleure partie des chromosomes anciens. Ceci dans le but d'obtenir, peut-être, de meilleurs chromosomes. Néanmoins, il est quand même important qu'une partie de la population survive à la nouvelle génération.

Ils existent deux types de croisements :

A. Croisement en un Point :

Pour chaque couple, on choisit au hasard un point de croisement (figure II.3) Le croisement s'effectue directement au niveau binaire, et non au niveau des gènes. Un croisement peut être coupé au milieu d'un gène.

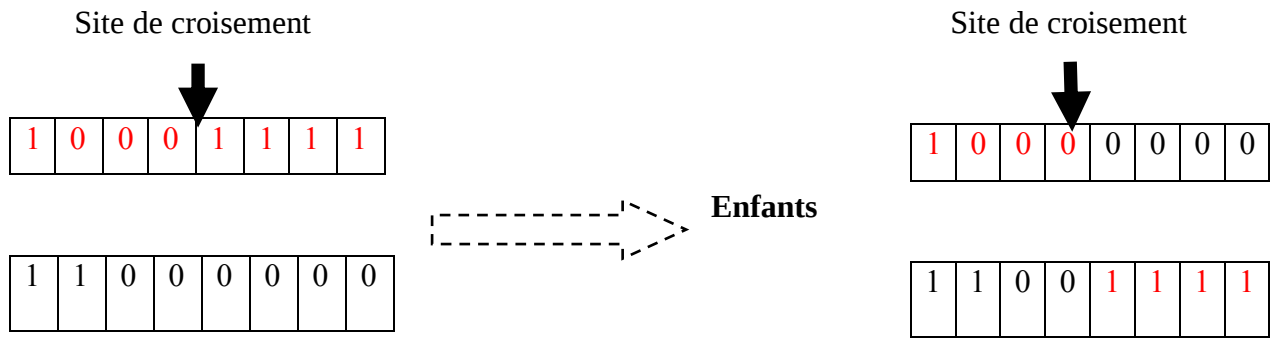


Figure II.3 Représentation schématique du croisement en un point

B. Croisement en deux Points :

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

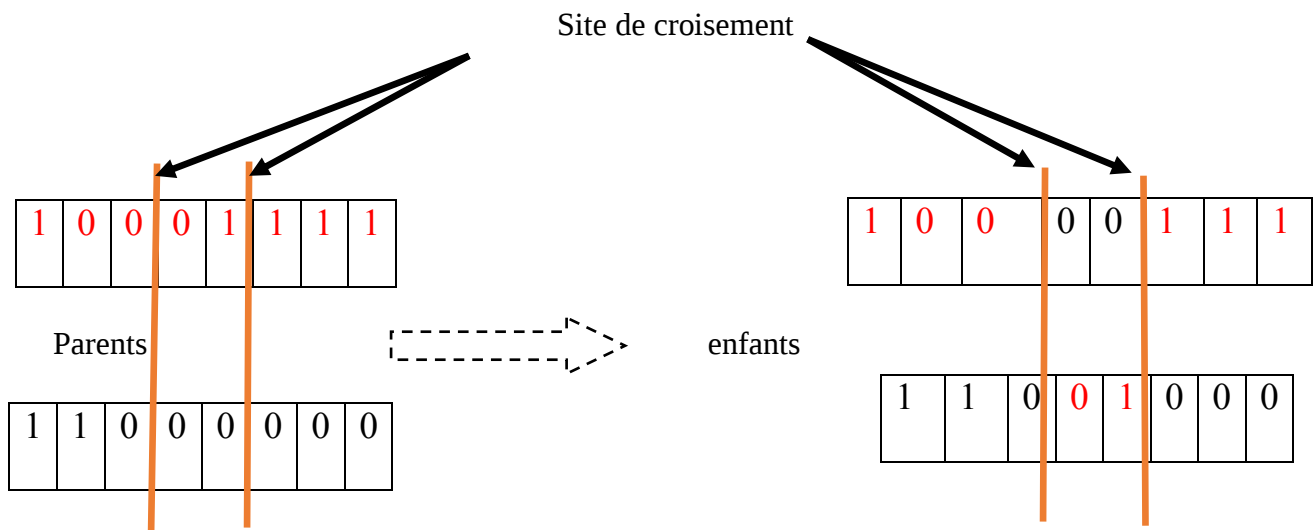


Figure II.4 Représentation schématique du croisement en deux point.

II-4-4 Mutation :

La mutation est traditionnellement considérée comme un opérateur marginal bien qu'elle confère en quelque sorte aux algorithmes génétiques la propriété d'ergodicité (c.-à-d. tous les points de l'espace de recherche peuvent être atteints). Cet opérateur a un double rôle :

- ✓ Celui d'effectuer une recherche locale et/ou de sortir d'une trappe (recherche éloignée).
- ✓ Cet opérateur ne crée généralement pas de meilleurs individus, mais il évite l'établissement de populations uniformes incapables d'évoluer.

La version de base de la mutation, dite mutation simple, consiste à modifier aléatoirement, avec une probabilité P_m faible, la valeur d'un composant de l'individu.

Dans le cas du codage binaire, chaque bit $a_i \in \{0 ; 1\}$ est remplacé selon une probabilité P_m par son inverse $a_{it} = 1 - a_i$. C'est ce qu'illustre la figure II.5. Tout comme plusieurs lieux de croisement peuvent être possibles, nous pouvons très bien admettre qu'une même chaîne puisse subir plusieurs mutations.

La mutation génère des « erreurs » de recopie, afin de créer un nouvel individu qui n'existait pas auparavant. Le but est d'éviter à l'AG de converger vers des extrema locaux de la fonction et de permettre de créer des éléments originaux. Si elle génère un individu plus faible l'individu est éliminé. La probabilité de mutation représente la fréquence à laquelle les gènes d'un chromosome sont mutés.

- ✓ S'il n'y a pas de mutation, le fils est inséré dans la nouvelle population sans changement.
- ✓ Si la mutation est appliquée, une partie du chromosome est changée.

La mutation est prévue pour éviter au AG de s'enliser dans des optima locaux. Mais si elle est trop fréquente, l'AG est orientée vers une recherche aléatoire de la bonne solution [9].

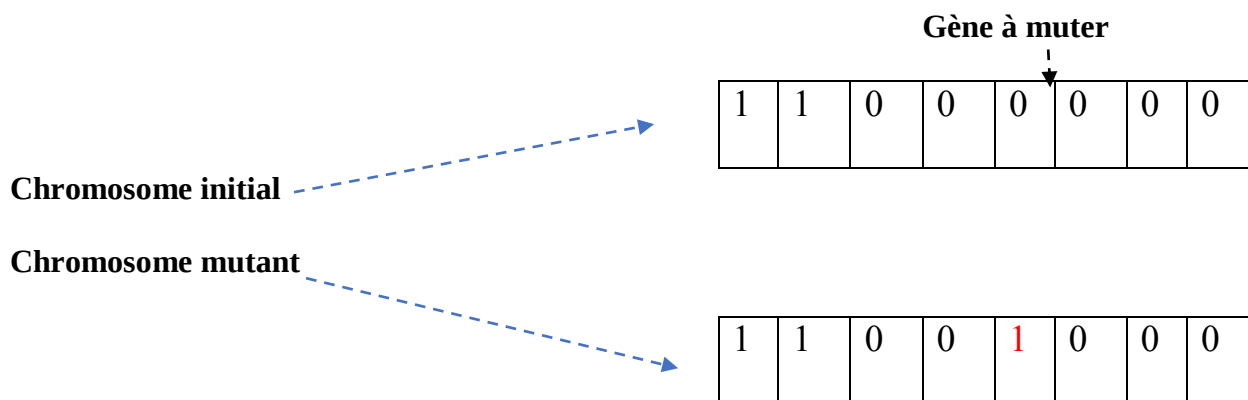


Figure II.5 Représentation schématique de la mutation simple

II-5 Réglage des Paramètres d'un AG:

L'élaboration d'un algorithme génétique nécessite le réglage de certains paramètres. Ce réglage a une influence sur la convergence de l'algorithme génétique et les résultats obtenus.

cependant, il n'existe pas de règle spécifique pour ajuster les paramètres d'un AG, et ils sont : souvent choisis de manière empirique. Quelques remarques sont alors à soulever

- ✓ Probabilité de croisement : la probabilité de croisement a une influence considérable sur la vitesse de convergence d'un algorithme génétique. Plus elle est grande et plus elle

favorise la recombinaison des individus tout en favorisant de tomber dans un optimum local. Les valeurs classiques pour ce paramètre varient 0.6 à 0.95.

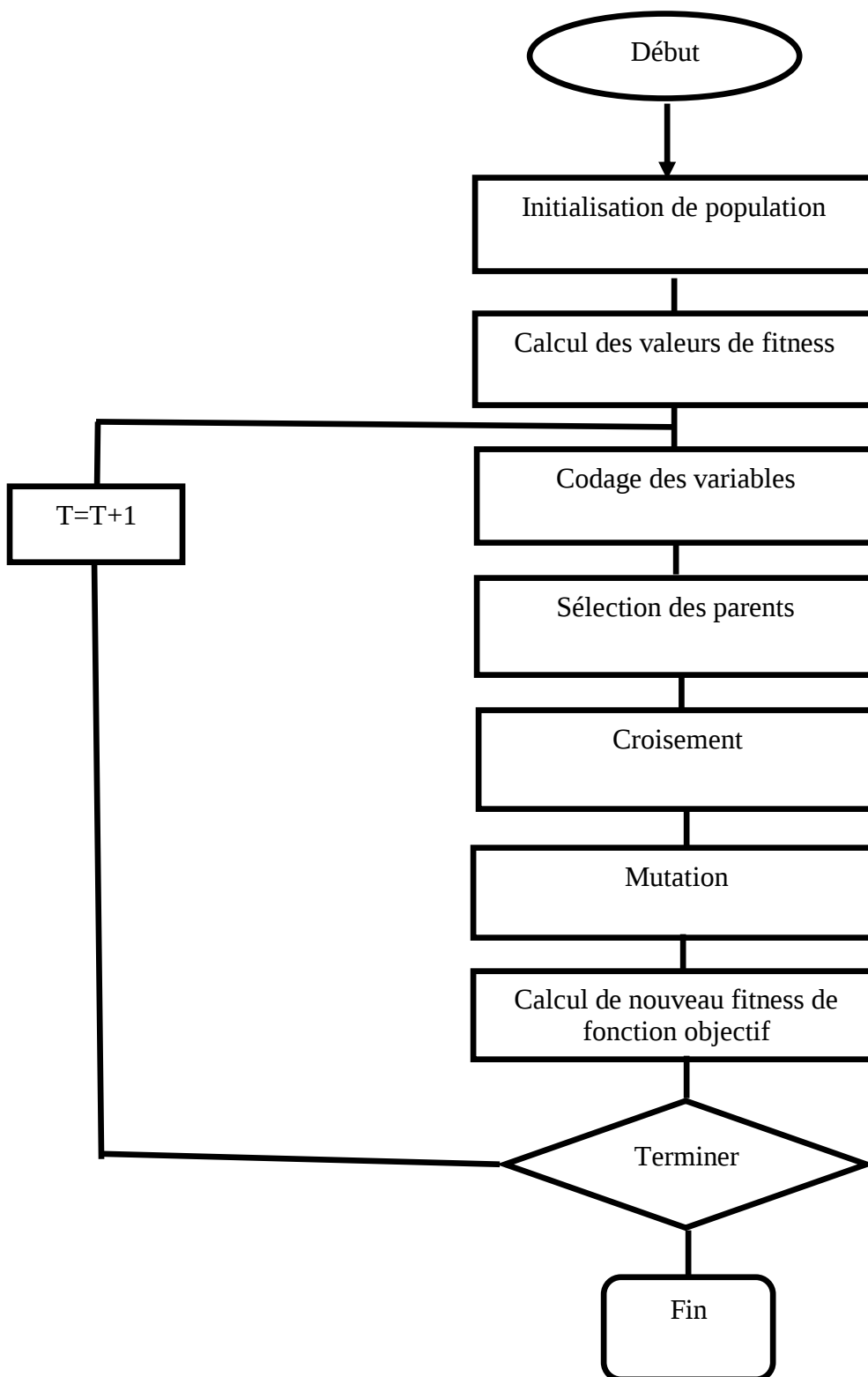


Figure II-6 : Organigramme d'un algorithme génétique

- ✓ Probabilité de mutation : elle doit être assez faible par rapport à celle du croisement de manière à ne pas perturber l'évolution de l'algorithme. Une valeur élevée transformera l'algorithme en une recherche aléatoire, alors qu'une valeur très faible rendra impossible l'extraction des optimums locaux.

Les valeurs classiques pour ce paramètre varient de 0.001 à 0.2.

II-6 Recherche de motif [10] :

Parfois, il est incommode ou impossible de connaître la première ou la seconde dérivée de la fonction objective dans un problème de programmation non linéaire non contraint. Cela peut se produire, par exemple, lorsque la valeur de la fonction à un point d'entrée x est réellement calculée par une simulation d'un système, par la simulation renvoie une mesure des caractéristiques de vol d'un nouvel aéronef en cours de conception.

Dans ce cas, nous pouvons utiliser des méthodes de recherche de formes heuristiques qui n'ont besoin que de renvoyer la valeur de $f(x)$ pour un point d'entrée x .

Pour cette raison, ils sont également connus sous le nom de méthodes sans dérivation, de recherche directe ou d'optimisation de boîte noire. Bien sûr, les méthodes de recherche de formes peuvent également être appliquées lorsque la fonction objective est différentiable, mais dans ce cas, nous ignorons les informations utiles dans les dérivées et les dérivées secondes. Les méthodes de recherche de modèles sont donc généralement appliquées uniquement lorsque les produits dérivés ne sont pas disponibles.

Un certain nombre de méthodes de recherche de motifs ont été développées au fil des ans. Comme un exemple du genre, nous allons regarder l'une des méthodes originales, connues comme Hooke et Jeeves après les auteurs originaux .

II-6-1 Recherche de motif Hooke et Jeeves:

Cette méthode a été publiée à l'origine en 1961. Elle implique deux types de mouvements :

Recherche exploratoire. C'est une recherche très locale qui cherche une direction d'amélioration dans laquelle se déplacer. Dans certains sens, il s'agit d'une recherche grossière de la direction du gradient.

Mouvement de motif. C'est une recherche plus importante dans la direction d'amélioration. Des mouvements plus grands et plus fréquents sont faits aussi longtemps que

l'amélioration continue, nous examinerons chacun de ces deux types de mouvements séparément avant de les assembler dans l'algorithme complet [10], Il y a quelques choses à noter sur l'algorithme de recherche exploratoire [10] :

- Si la perturbation ascendante d'une variable est réussie, alors la perturbation descendante pour cette variable n'est même pas tentée.
- La perturbation vers le bas d'une variable n'est essayée que si la perturbation ascendante de cette variable échoue.
- Il est possible que les perturbations à la hausse et à la baisse échouent pour une variable particulière, auquel cas sa valeur n'est pas modifiée.
- La méthode n'essaie pas toutes les combinaisons possibles de perturbations ascendantes et descendantes des variables (il y aurait $2n$ telles combinaisons : trop nombreuses à essayer). C'est simplement un passage à travers la liste des variables. Dans le pire des cas où la perturbation ascendante échoue pour chaque variable, alors elle essaiera $2n$ combinaisons de perturbations, mais elle essaie normalement moins que cela. Dans le meilleur des cas où chaque perturbation ascendante réussit, elle n'essaiera que n perturbations.

II-6-2 Mouvement de motif :

Tout ce que le mouvement nécessite est deux points :

Le point courant $x^{(0)}$ et un autre point $x^{(1)}$ qui a une meilleure valeur de la fonction objective.

Cela donne au motif une meilleure direction pour se déplacer. Un nouveau point $x^{(2)}$ est généré en passant de $x^{(0)}$ à $x^{(1)}$ comme suit: $x^{(2)} = x^{(0)} + a[x^{(1)} - x^{(0)}]$.

Où a est positif Facteur d'accélération Ce qui ne fait que doubler la longueur de la direction amélioré Vecteur par : $x^{(1)} - x^{(0)}$. Le choix commun est $a = 2$, auquel cas l'équation est réduite à : $x^{(2)} = x^{(1)} - x^{(0)}$.

II-6-2-1 Algorithme complet :

L'algorithme complet nécessite 4 entrées en plus de la fonction objectif à optimiser :

- Un point de départ $x^{(0)}$
- La valeur du facteur d'accélération a
- Le vecteur de perturbation initial P_0

- Le vecteur de tolérance de perturbation $T = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$. Comme nous le verrons plus tard dans l'algorithme complet, ceci donne la plus petite perturbation possible qui puisse être considérée pour chaque variable, et est utilisée pour arrêter l'algorithme.

L'algorithme complet comporte trois parties principales : l'initialisation, la routine de démarrage redémarrage et la routine de déplacement de modèle.

II-6-2-2 Mouvement de motif:

- Obtenir une tentative de $x^{(2)}$ par un mouvement de $x^{(0)}$ à $x^{(1)}$
- Obtenir le dernier $x^{(2)}$ par une recherche exploratoire autour de $x^{(2)}$
- IF $f(x^{(2)})$ est pire que $f(x^{(1)})$ alors:
 - o Mettre à jour les points: $x^{(0)} \leftarrow x^{(1)}$. $\leftarrow [x^{(1)}$ est le meilleur point vu jusqu'ici]
 - o Allez à Démarrer / Redémarrer.
 - ELSE [$f(x^{(2)})$ est supérieur ou égal à $f(x^{(1)})$]:
 - o Mettre à jour les points: $x^{(0)} \leftarrow x^{(1)}$ et $x^{(1)} \leftarrow x^{(2)}$
 - o Aller à Déplacer le motif.

Notez que les mouvements de pattern sont répétés tant qu'ils sont réussis, et deviennent généralement de plus en plus longs. Mais dès qu'un mouvement de modèle échoue. en produisant un $f(x(2))$ qui est pire que la meilleure valeur précédente de la fonction objectif $f(x(1))$, alors le mouvement du motif est rétracté et nous revenons à une recherche exploratoire autour du meilleur point vu ainsi loin, notez aussi qu'un mouvement de pattern obtient d'abord une tentative $x(2)$ et finit ensuite $x(2)$ par une recherche exploratoire. Cela aide la recherche à "se courber", comme nous le verrons dans l'exemple entrant. Enfin, notez comment l'algorithme s'arrête : une recherche exploratoire autour du meilleur point observé jusqu'à présent échoue à toutes les tailles de perturbation, même la plus petite spécifiée par les tolérances de perturbation dans T . Cela signifie que l'algorithme ne peut pas trouver une direction d'amélioration meilleur point, d'où il doit être le point optimal. Ce test peut être trompé, comme nous le verrons plus tard[10].

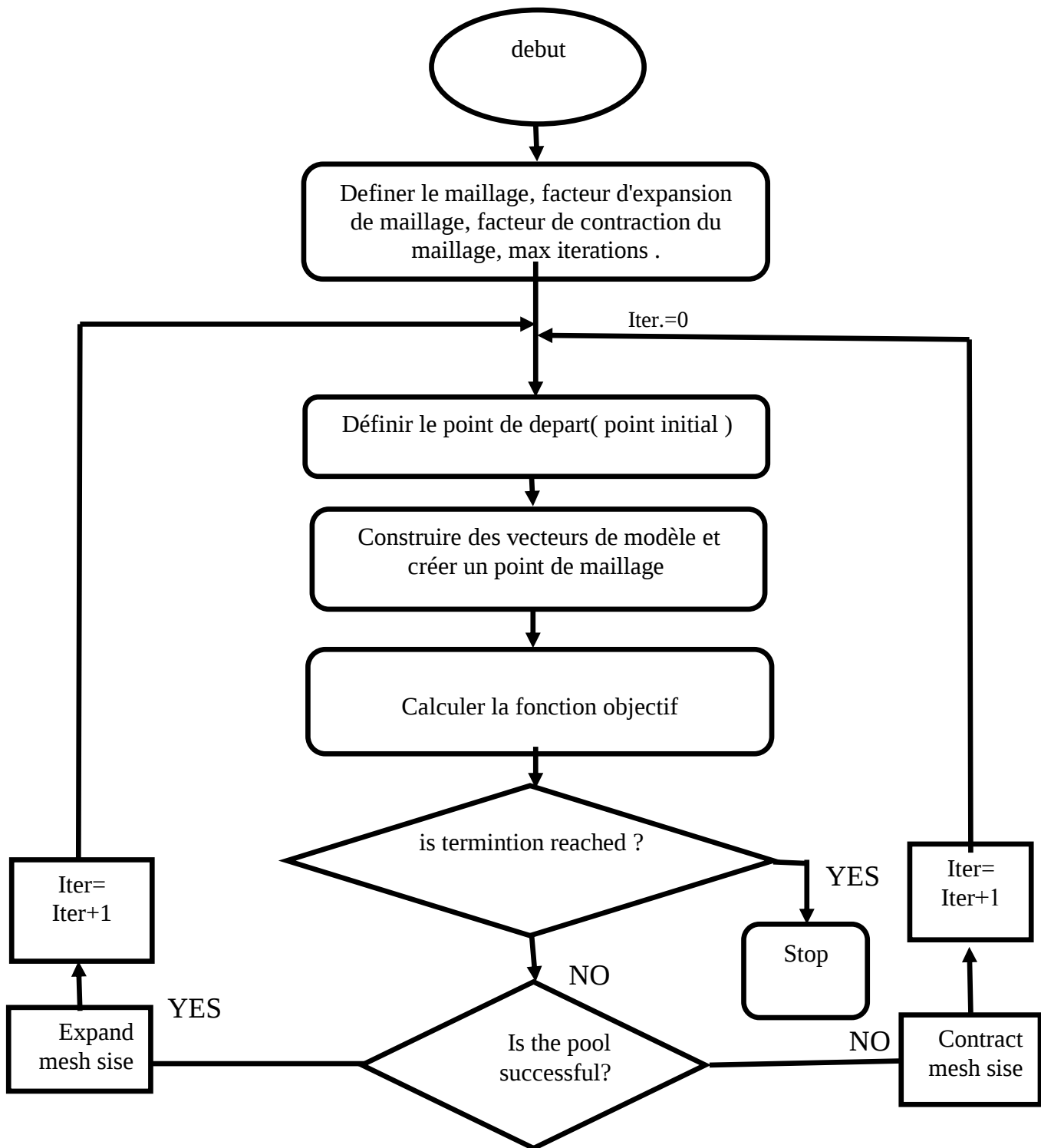


Figure II-7. Organigramme de la recherche de motifs.

II-7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons discuté la méthode des algorithmes génétiques et leur définition et comment ils fonctionnent en les expliquant. Nous avons présenté en détail les mécanismes d'un algorithme génétique, ce dernier fournissent des solutions optimales à l'aide des mécanismes de sélection, de croisement et de mutation comme le montre la figure (II.6). Comme nous l'avons mentionné, une autre méthode est le modèle de recherche direct, l'algorithme de recherche par motif (Pattern Search(PS)).

CHAPITRE III

CHAPITRE III

APPLICATION ET RESULTATS DE SIMULATION

III–1 Introduction

III–2 Toolbox d'optimisation de Matlab (OPTIMTOOL)

III–3 Test et application

III–4 Conclusion

III–1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va tester le programme qu'est le dispatching économique optimal et l'écoulement de puissance en utilise les algorithmes génétiques et Pattern search sur des réseaux électriques, les méthodes qui tiennent compte de la nature quadratique de la fonction objective, ainsi on présente un résumé de la programmation sous forme interface graphique pour simuler, analyser et optimiser les performances des réseaux électriques en utilisant les techniques à l'aide de la Toolbox d'optimisation de Matlab (optimtool).

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à trouver la répartition des puissances sur les générateurs du réseau afin d'obtenir la puissance demandée sans tenir en compte le cout de production c.-à-d. Nous essayons d'expérimenter avec les deux méthodes pour trouver des solutions et chercher le plus bas niveau de coût et le plus rapide.

III–2 Toolbox d'optimisation de Matlab (OPTIMTOOL) :

Une interface graphique utilisateur est un ensemble d'éléments graphiques permettant d'interagir entre des (parties de) programmes et l'utilisateur en affichant des informations (textes, graphiques, images, ...) et en déclanchant des actions (*callbacks*) à la suite d'événements : clic de souris, déplacement de souris, entrée au clavier, ...). Un exemple d'interface utilisateur est la fenêtre liée à une figure et les objets qu'elle peut contenir (menus, boutons, axes, ...).

La version 7.12 de MATLAB possède un outil d'optimisation nommé optimtool (Optimization Toolbox Graphical User Interface) dispose d'une interface graphique simplifiant l'utilisation et le paramétrage des algorithmes.

Pour ouvrir cet outil, taper la commande OPTIMTOOL dans la fenêtre de commande (Command Windows), la fenêtre figure III.1 suivante s'ouvre, le choix de l'algorithme d'optimisation est détermine par la combinaison de plusieurs paramètres. Pour commencer, nous allons utiliser l'algorithme AG et PS, pour cela : dans le champ Solver ; choisir ga et patternsearch, et dans le champ Problem ; choisir @EDouestALG pour le champ Fitness function, cette fonction est codée en langage Matlab dans le fichier EDouestALG.m (figure III.2).

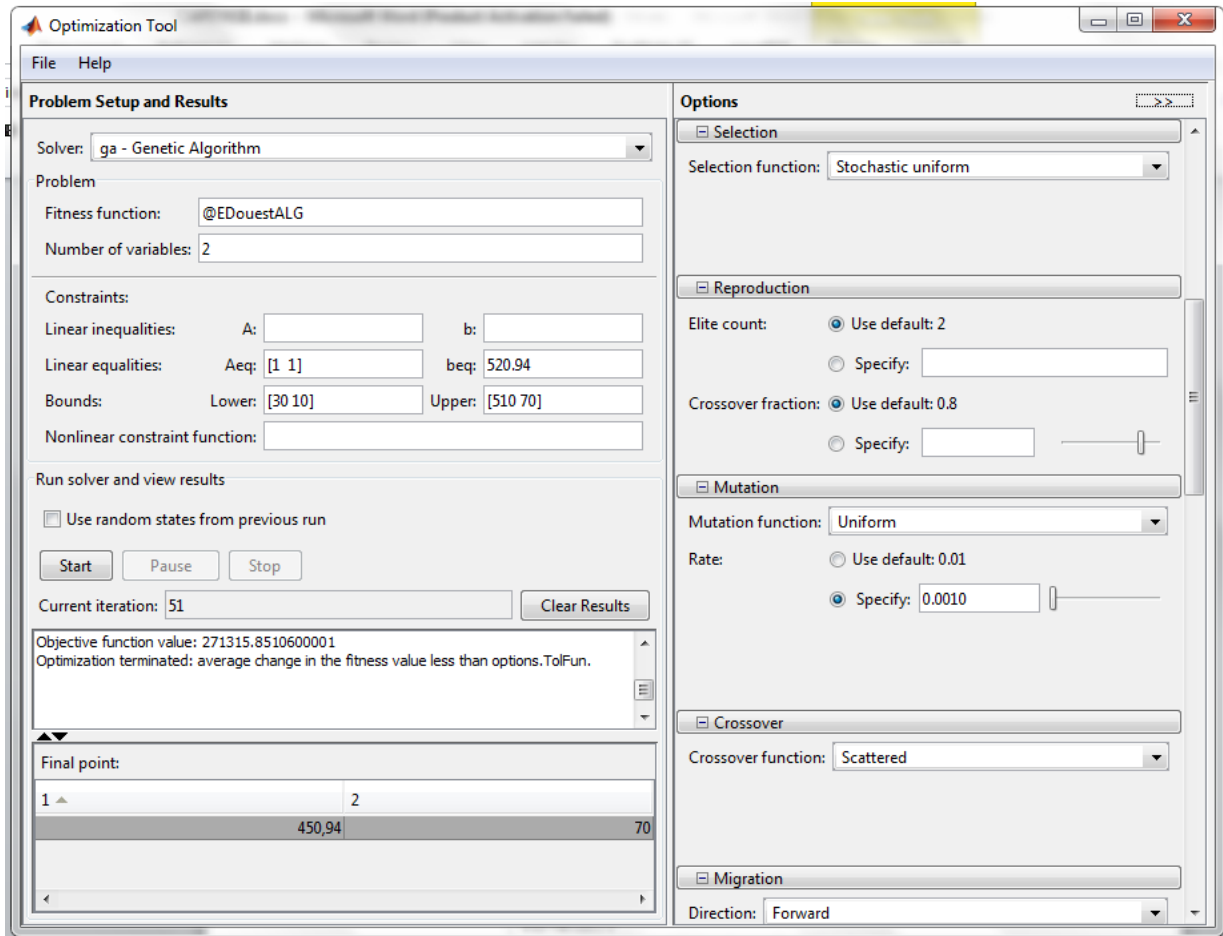


Figure III.1 : fenêtre de outil d'optimisation optimtool on utilise AG algorithme.

```
function F=EDouestALG(x)
P1=x(1);
P2=x(2);
F1 = 2000 + 150*P1 + 0.85*P1.^2;
F2 = 3000 + 250*P2 + 1.7*P2.^2;
F=F1+F2;
```

Figure III.2 : fonction d'objective @EDouestALG.

III-3 Test et application :

III-3-1 Réseau test Sonelgaz (ouest de l'Algérie) :

En Algérie, la plus grande partie de l'électricité est d'origine thermique (98.3%), le reste se répartissant entre les centrales hydro-électriques ou à diesel. Le transport de l'énergie s'effectue par transformation du courant triphasé produit à des tensions variables, en une tension unique de 220kV,

distribuée avec des lignes haute tension. Des sources d'énergie renouvelables telles que le vent et le soleil produisent de l'énergie électrique dans les sites isolés de l'Algérie. Elles représentent cependant des quantités négligeables.

Nous avons testé le DEO en utilisant les algorithmes génétiques et L'algorithme de recherche par motifs (Pattern search) sur la partie ouest du réseau algérien (220kV) (figure III.3). Ce réseau est composé de 12 jeux de barres dont deux de barres sont de type PV ayant pour fonctions coûts du carburant (en Nm^3/h) pour les deux générateurs sont

$$C_1 = 0.85 P_{g1}^2 + 150 P_{g1} + 2000 \quad [\text{Nm}^3/\text{hr}]$$

$$C_2 = 1.70 P_{g2}^2 + 250 P_{g2} + 3000 \quad [\text{Nm}^3/\text{hr}]$$

Où les puissances générées sont exprimées en (MW), et sont limitées via les contraintes suivantes :

$$30 \leq P_{g1} \leq 510$$

$$10 \leq P_{g2} \leq 70.0$$

La puissance demandée est égale à 505 MW. Les coefficients des puissances générées une comparaison des résultats obtenus par l'application de AG et PS avec ceux trouvés par les AG de type binaires [11] et les données de Sonelgaz sont rapportée dans les tableaux III.1 et III.2.

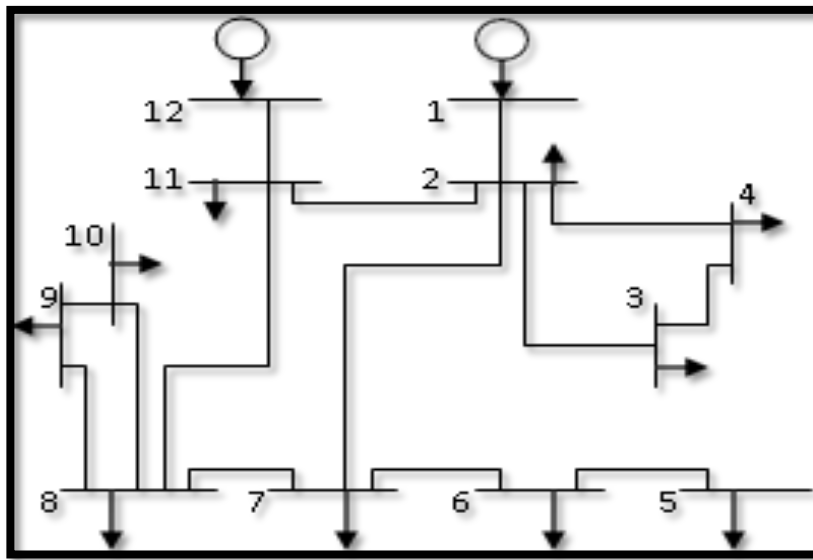


Figure III.3 : Réseau électrique dans l'ouest de l'Algérie.

Tableau III.1 : Données de ligne de transmission en p.u.

k – m	Impedance	
1 - 2	$0.000239 + j0.00115$	$j0.0075$
2 - 3	$0.017760 + j0.08657$	$j0.0645$
2-4	$0.025900 + j0.12890$	$j0.0959$
2-7	$0.013800 + j0.06700$	$j0.0498$
2-11	$0.003180 + j0.01544$	$j0.0464$
3-4	$0.012570 + j0.06100$	$j0.0455$
5-6	$0.022000 + j0.10710$	$j0.0597$
6-7	$0.014500 + j0.07052$	$j0.0797$
7-8	$0.015000 + j0.07347$	$j0.0525$
8-9	$0.011170 + j0.05400$	$j0.0403$
8-10	$0.014000 + j0.04828$	$j0.0342$
8-11	$0.029000 + j0.10117$	$j0.0712$
9-10	$0.011700 + j0.04095$	$j0.0290$
11-12	$0.008000 + j0.02770$	$j0.0196$

La charge totale était de 505 MW et les pertes de la ligne de transport étaient de 15,94 MW après calcul selon la méthode de Newton-Raphson . Deux cas ont été considérés. Dans le premier cas, les pertes de ligne de transmission ont été calculées et maintenues constantes, et dans la seconde, les pertes de ligne de transmission ont été considérées comme une fonction linéaire de la puissance réelle générée [11].

Tableau III.2 : Valeur d'état en p.u.

N°	Bus type	puissance active	puissance réactive
1	réf	-	-
2	Charge	-0.70	-0.52
3	Charge	-0.32	-0.20
4	Charge	-0.33	-0.30
5	Charge	-0.35	-0.26
6	Charge	-0.30	-0.22
7	Charge	-0.35	-0.31
8	Charge	-0.54	-0.60
9	Charge	-1.38	-0.06
10	Charge	-0.08	-0.52
11	Charge	-0.70	-0.52
12	Production	0.55	0.18

III-3-1-1 Sélection de paramètre:

- *L'algorithme génétique :*

L'algorithme génétique a un certain nombre de paramètres qui doivent être sélectionnés. Ceux-ci comprennent la taille de la population, le croisement et la probabilité de mutation :

Taille de la population = 10,

Probabilité de croisement = 0,85,

Probabilité de mutation = 0,001.

- *L'algorithme de recherche par motifs (Pattern search PS):*

Initialement, plusieurs essais ont été effectués avec des valeurs différentes des paramètres de PS tels que la taille initiale du maillage et les facteurs d'expansion et de contraction du maillage. Dans cette étude, la taille du maillage et le facteur de dilatation et de contraction du maillage sont choisis respectivement comme 1, 2 et 0,5. En outre, un vecteur de points initiaux, c'est-à-dire X_0 , a été généré de manière aléatoire pour fournir une estimation initiale du comportement du PS. En ce qui concerne les critères d'arrêt, toutes les tolérances ont été fixées à 10^{-6} nombre maximum d'itérations et les évaluations de fonction ont été mises à 60.

III-3-1-2 Calcul avec les pertes constantes (premier cas):

Les pertes de ligne de transmission ont été calculées et maintenues constantes ($P_L = 15,94$ MW). L'équation du bilan de puissance est alors devenue : $P_1 + P_2 = 520,94$ MW. Les résultats pour la puissance optimale réelle générée, le coût de carburant minimum et le temps de calcul sont donnés dans le tableau III.3.

Tableau III.3 : Comparaison des résultats obtenus des AG du réseau ouest algérien de 1^{er} cas

	Fletcher-Reeves[9]	Fletcher [9]	Sonelgaz [9]	AG [12]	AG	PS
$P_1^{optimal}$ (MW)	466.65	469.93	465.94	450.95	450.94	450.939
$P_2^{optimal}$ (MW)	54.25	49.98	55	69.00	70	70
P_L (MW)	15.95	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94
Coût (Nm ³ /h)	278649	279940	278319	271764	271315.85	271314.93
Temps(s)	0.01	0.01	/	0.05	0.1	0.1
N° itérations	8	3	/	304	51	60

Le tableau III.3 expose une comparaison entre les trouvés par les méthodes d'optimisation (AG) et (PS),

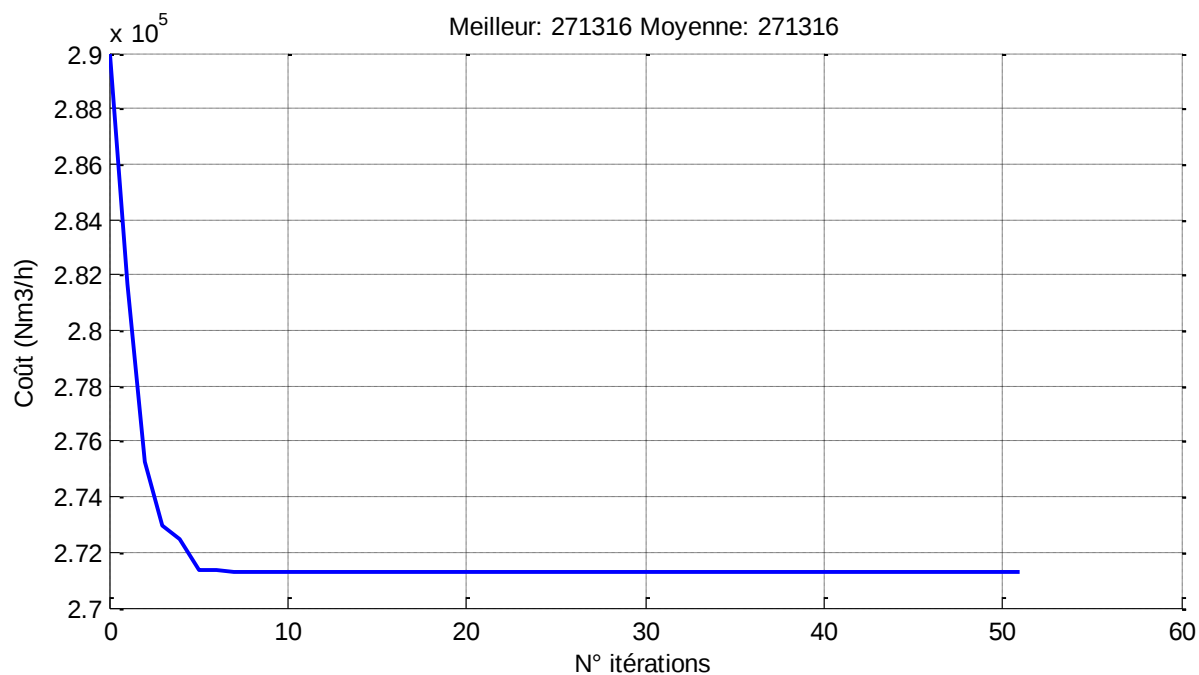


Figure III.4 : convergence de la fonction de coût du réseau d'ouest algérien durant le processus de l'AG

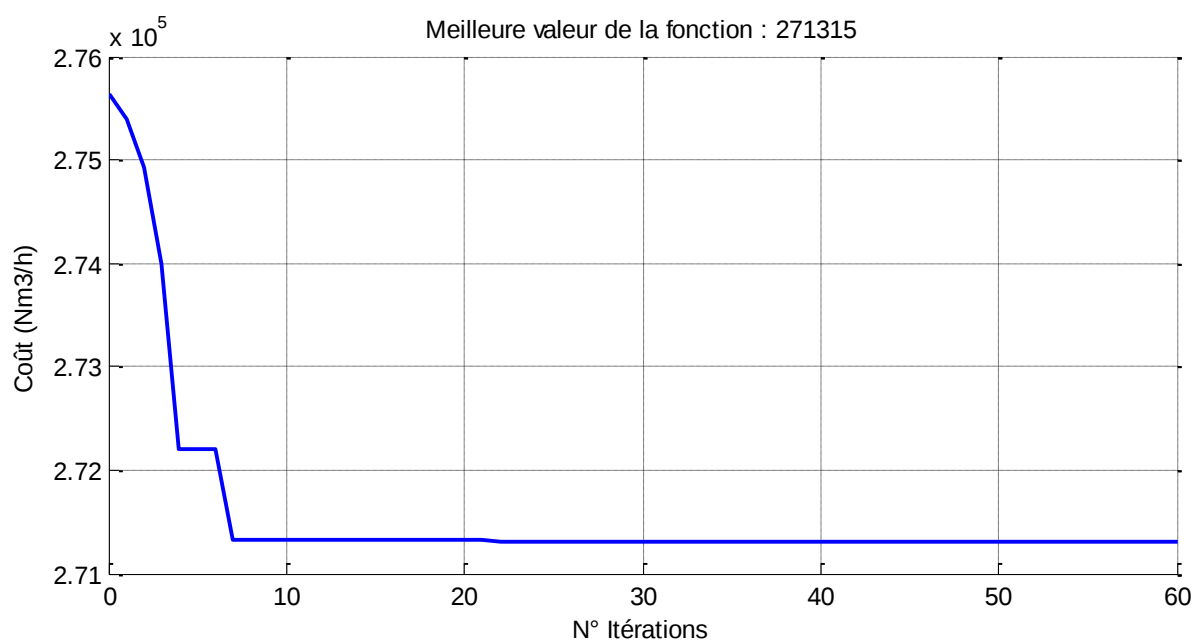


Figure III.5 : convergence la fonction de coût durant le processus de Pattern search (PS).

III–3–1–2 Calcul avec les pertes variables (deuxième cas) :

la fonction de perte est une fonction linéaire de la puissance réelle générée) : les pertes de ligne de transmission ont été considérées comme une fonction linéaire de la puissance réelle générée. Les coefficients ont été calculés en utilisant la méthode de Gauss-Seidel [8, 9]:

$$P_L = 0,0189P_1 + 0,0924P_2.$$

L'équation de bilan de puissance était donc de

$$0,9811P_1 + 0,9076P_2 = 505 \text{ MW}.$$

Les puissances actives générées optimales, le coût minimal de combustible et les pertes totales (pour GA et PS) sont récapitulés dans le tableau III.5.

Tableau III.4 : Comparaison des résultats obtenus du réseau ouest algérien de 2^{ème} cas

	Fletcher-Reeves[9]	Fletcher [9]	Sonalgaz [9]	AG type binaire [12]	AG	PS
$P_1^{optimal}$ (MW)	465.37	468.92	465.94	450.41	449.972	449.971
$P_2^{optimal}$ (MW)	53.36	49.50	55	70.00	69.99	70
P_L (MW)	13.72	13.43	15.94	14.98	14.961	14.971
Coût (Nm ³ /h)	277067	278779	278319	270830	270429.071	270428.88
Temps(s)	0.05	0.01	/	/	0.1	0.1
N° itérations	25	3	/	/	51	60

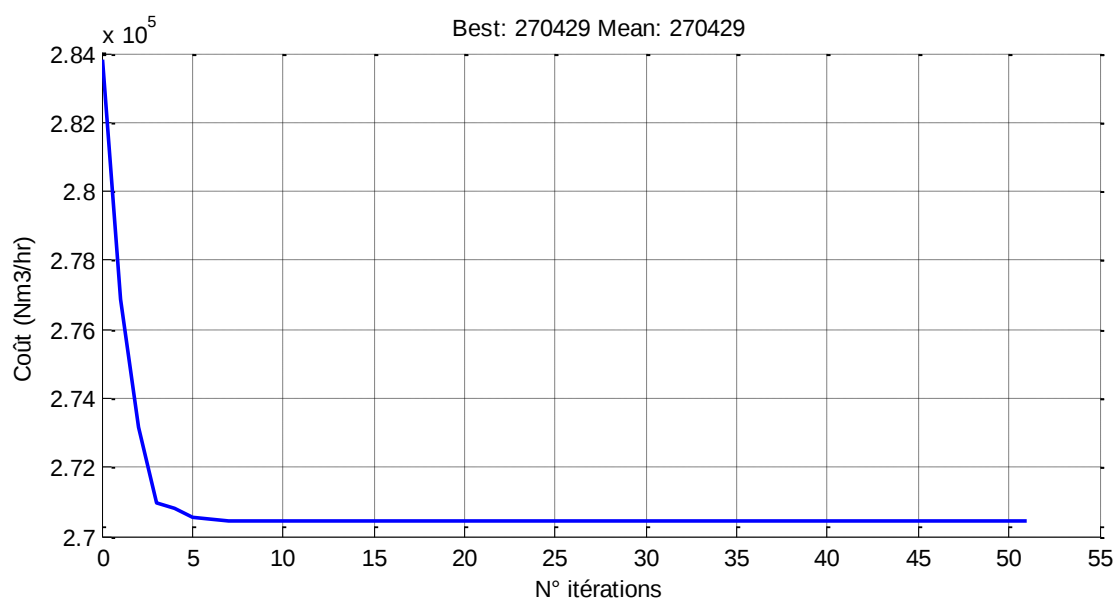


Figure. III.6 : la convergence de l'algorithme génétique.

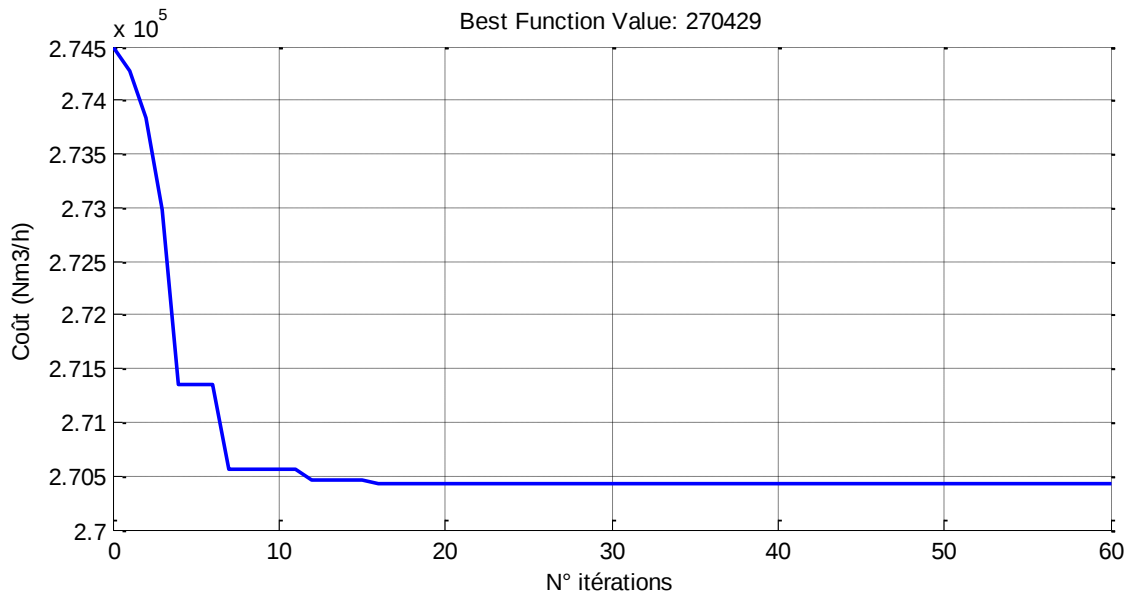


Figure. III.7: la convergence de Pattern search.

On peut noter que les résultats obtenus avec AG et PS sont meilleurs que ceux de Sonelgaz. La méthode des algorithmes génétiques et la recherche d'un modèle donnent un coût beaucoup plus bas comparé aux données de Sonelgaz, ces méthodes fournissent des solutions plus efficaces et supérieures.

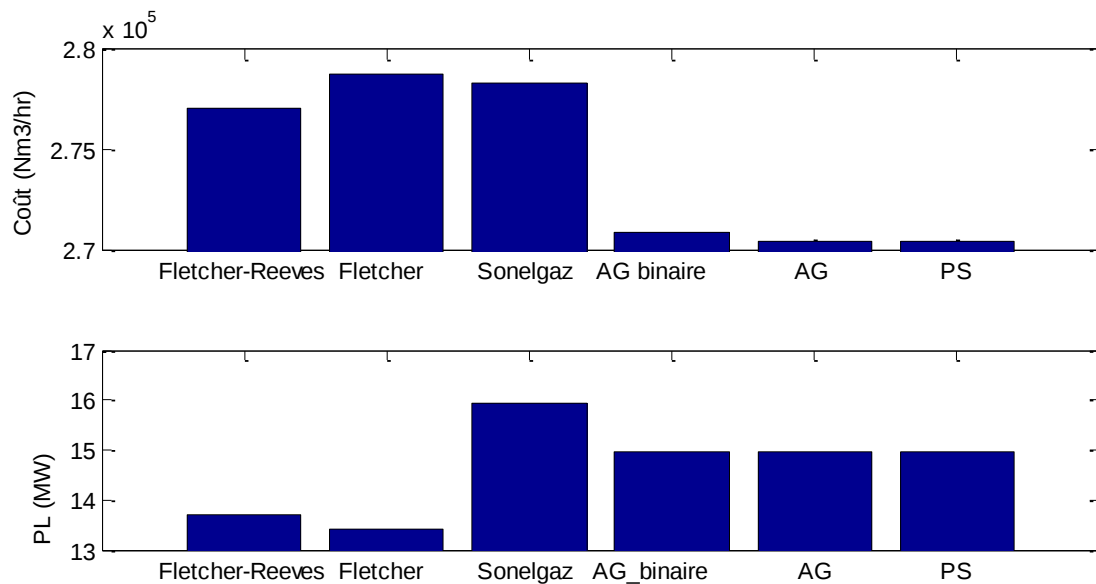


Figure III.8 : Résultats sur le deuxième cas.

On peut constater que les résultats obtenus avec les AG et PS sont plus meilleurs que les données de Sonelgaz. La méthode des algorithmes génétiques donne un gain en combustible de $6637 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ (2.4%) par rapport aux données de Sonelgaz avec une réduction des pertes actives.. Cette réduction en combustible est très importante puisque si on la calcule pour un fonctionnement durant une année de 8760h, elle va donner une valeur très grand de l'ordre de $58.140 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3$.

III-3-1 Réseaux tests (IEEE 30-Bus) :

Le deuxième test est accompli sur un réseau électrique, appliqué sur le réseau test IEEE 30 bus qui représente une portion du système de puissance électrique américain (in the Midwestern US) pour Décembre 1961. Ce réseau électrique est constitué de 30 jeux de barres et 6 générateurs (aux jeux de barres $n=^{\circ} 1, 2, 5, 8, 11,$ et 13) injectant leurs puissances à un système alimentant 20 charges à travers 41 lignes de transport (Figure III.9). La tension de base pour chaque jeu de barres est de 135 KV [12].

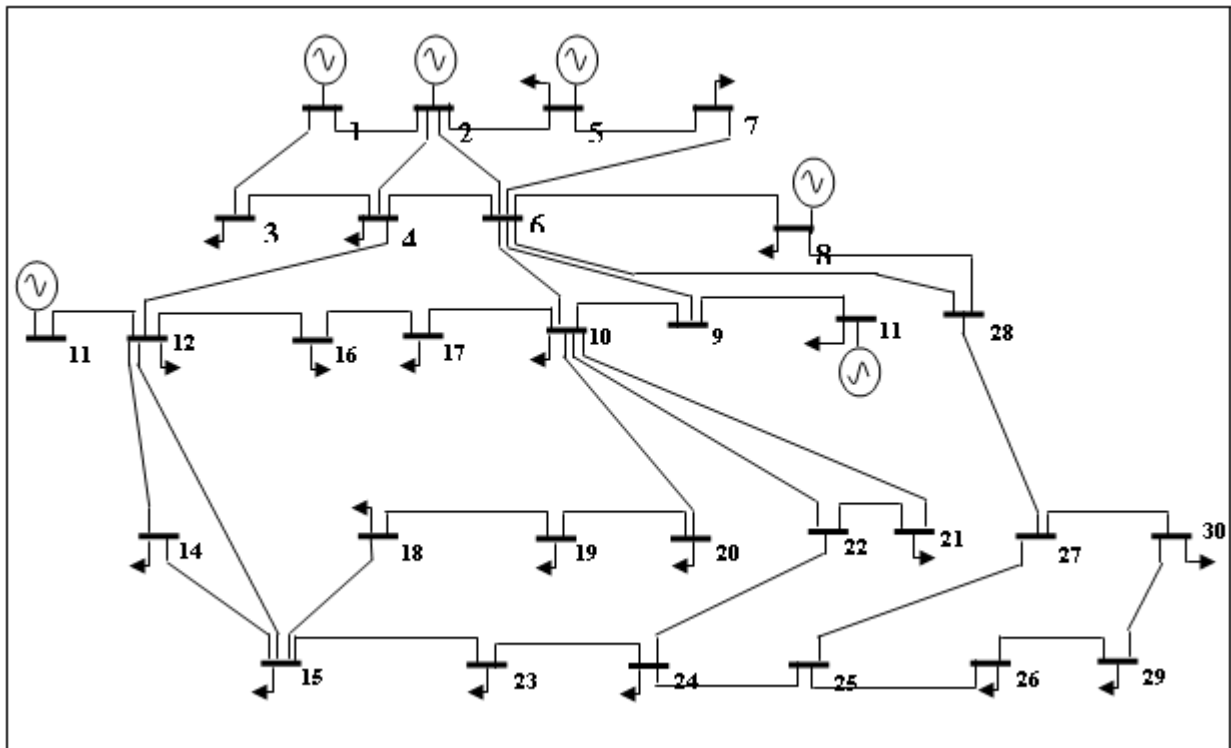
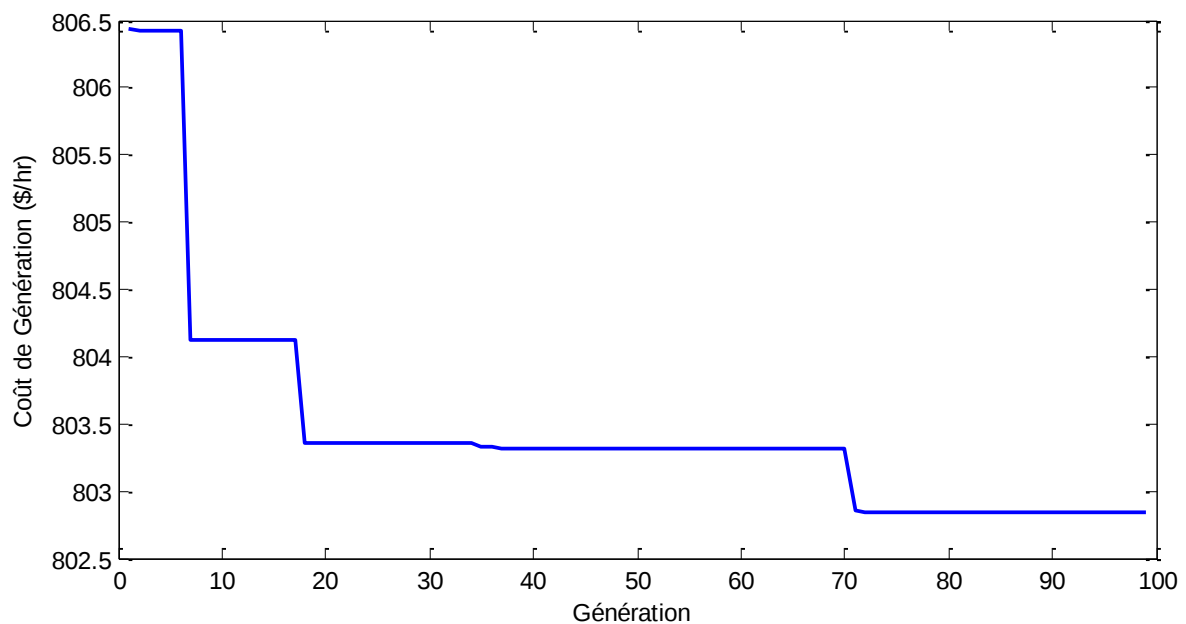


Figure.III.9 : Schéma unifilaire du réseau électrique IEEE 30 bus.

Tableau.III.5: Les données des fonctions de coût des 6 générateurs du réseau 30 bus

J.D.B	P_{gi}		Q_{gi}		Coefficients de cout		
	Limit min (MW)	Limit max (MW)	Limit min (MVAR)	Limit max (MVAR)	γ (\$/MW2hr)	β (\$/MW2hr)	α (\$/hr)
1	50	200	-20	200	0.00375	2.00	0
2	20	80	-20	100	0.01750	1.75	0
5	15	50	-15	80	0.06250	1.00	0
8	10	35	-15	60	0.00830	3.25	0
11	10	30	-10	50	0.02500	3.00	0
13	12	40	-15	60	0.02500	3.00	0

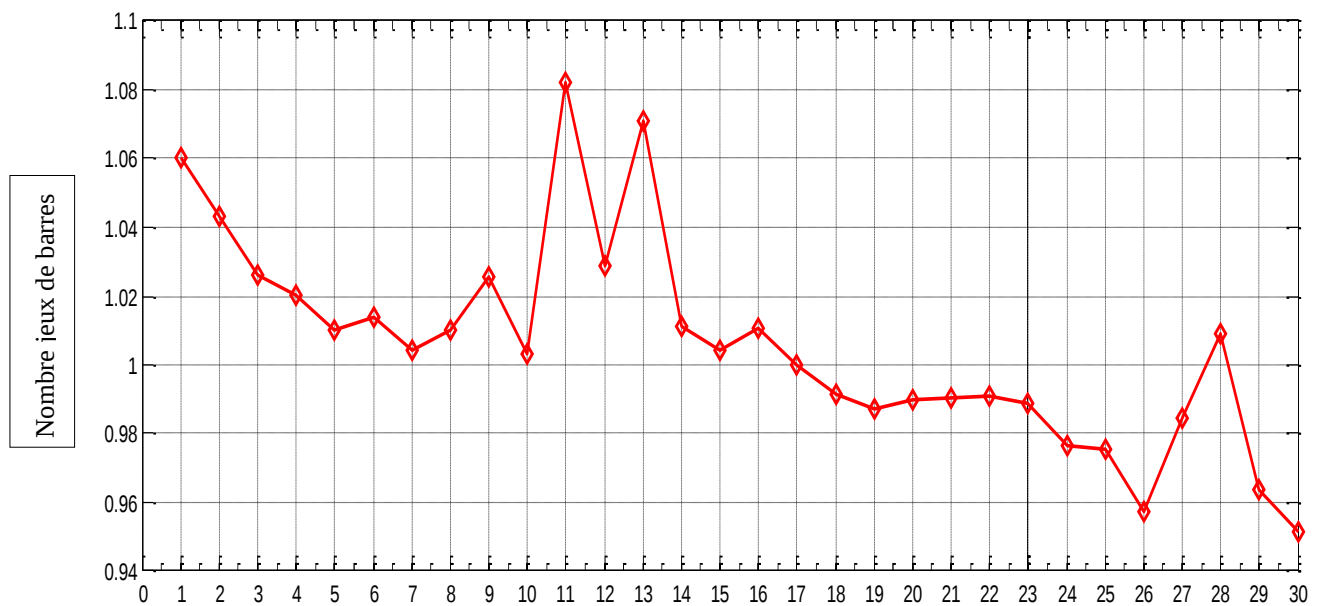
**Figure.III.10:** Evolution progressive de la fonction coût de l'AG.

Comme montré dans le tableau III.6, le coût de production de la puissance active a été réduit de -10.8% après optimisation par l'algorithme AG, avec un gain financier de 96.412 \$/h. Malgré que les pertes de puissance active ont augmentées après l'optimisation, mais le gain financier reste le plus.

Tableau.III.6: Puissances et coûts de production du réseau électrique à 30 J.B.

J.D.B	N-R	AG	PS
1	98.7407	169.1727	175.7028
2	80.0000	49.7400	48.6508
5	50.0000	19.8600	21.4252
8	20.0000	24.7400	22.7188
11	20.0000	14.3800	12.2342
13	20.0000	14.4400	12.0000
Pertes de puissances actives (MW)	5.3407	8.9327	9.3319
Puissance active générée totale (MW)	288.7407	292.3327	292.7319
Coût de Génération (\$/hr)	900.6128	802.8483	802.0013

Ils sont dans leurs limites admissibles entre 0.90 p.u et 1.10 p.u. Sont d'un minimum de 0.9599 p.u. et d'un maximum de 1.0600 p.u Figure III.8.

**Figure III.11 :** Modules des tensions du réseau électrique à 30 jeux de barr par AG.

Par contre, les phases des tensions ont changé. Cela s'explique par le fort couplage qui existe entre les phases des tensions et les puissances actives du système électrique [12].

Les angles des tensions sont d'un minimum et d'un maximum de -14.8353° et de 0.0° respectivement Figure. III.9.

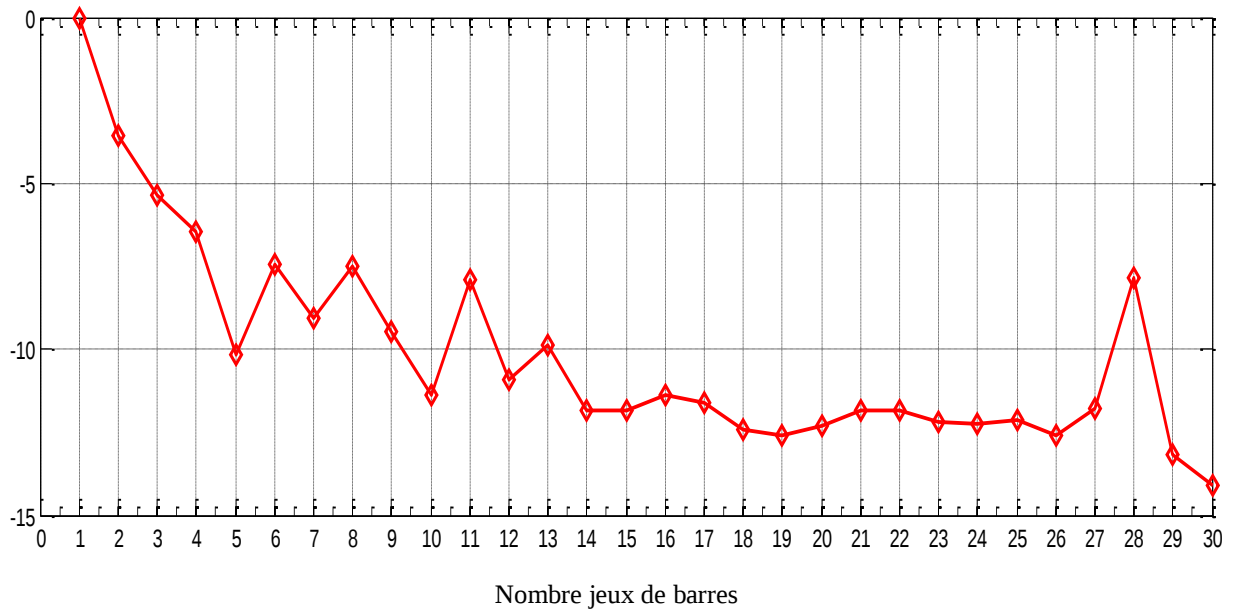


Figure. III.12 : Angles des tensions du réseau électrique à 30 jeux de barre par AG.

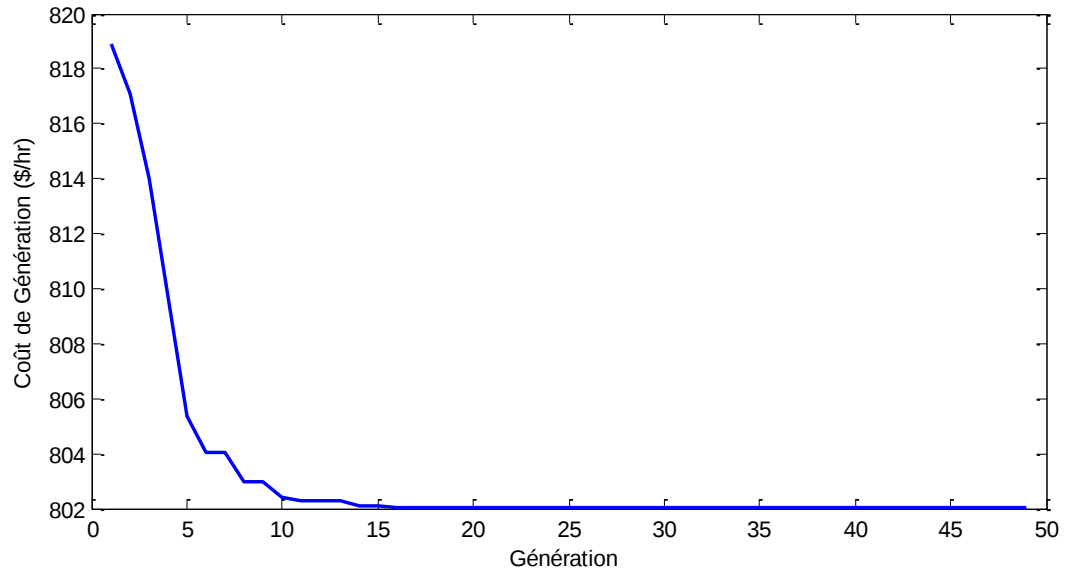


Figure. III.13 : la convergence de coût de génération en utilisant Pattern search.

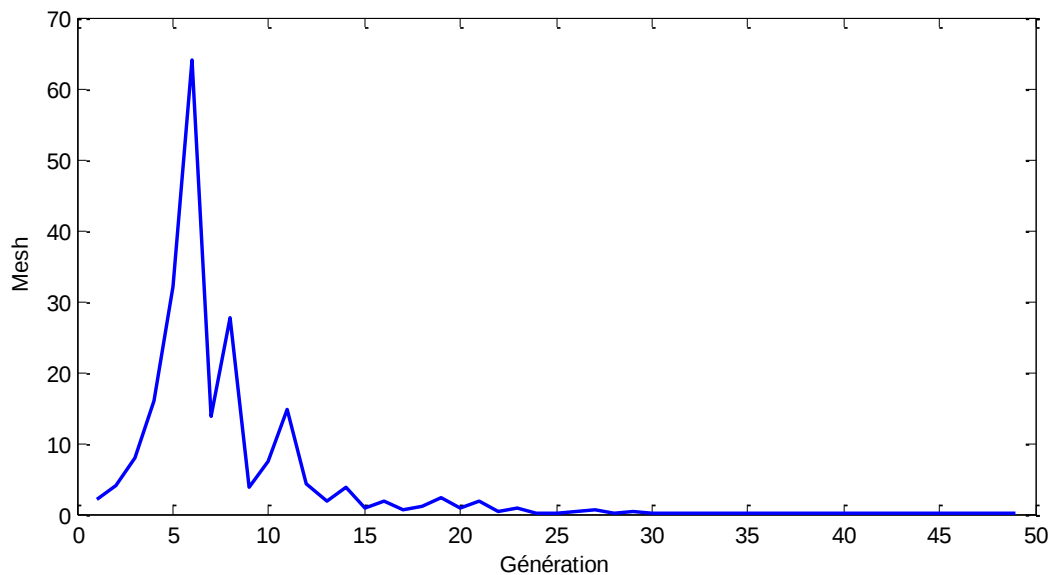


Figure. III.14 : la convergence du maillage (mesh PS) pour le système de IEEE 30 bus

III.4 Conclusion :

On a proposé une interface graphique (GUI) base sur la programmation visuelle (orienté objet). Cette technique possède l'avantage de faciliter le traitement d'information entre l'utilisateur et le programme (échange dynamique des données) et permet la correction des erreurs, afin d'assurer la robustesse du programme.

Dans ce chapitre, on a testé les méthodes d'optimisation présentées dans le chapitre 2, donne une facilité de test avec efficacité les différentes méthodes d'optimisation sur des réseaux tests de tailles différentes. Les résultats d'application des algorithmes GA et PS sur les réseaux tests montrent qu'on peut adapter en temps réel du moment que la convergence est très rapide.

Des méthodes de test pour l'optimisation des coûts, et un test facile de différentes méthodes d'optimisation sur des réseaux de test de différentes tailles (30.J.D.B). Les résultats de l'application des algorithmes génétiques et du modèle de recherche dans le premier test apparaissent sous la forme de comparaisons entre les résultats de l'Algérien Electricité comptant.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Cette recherche nous a permis de connaître les problèmes des réseaux électriques à travers le flux d'énergie et d'améliorer le coût à travers certaines applications sur les méthodes de calcul.

En ce qui concerne la vitesse de calcul, la répartition économique proposée du flux d'énergie sur la base des algorithmes génétiques et de la recherche de motifs a été testée pour validation sur des réseaux électriques. Nous l'avons trouvé convergent rapidement. On peut dire que l'amélioration du flux d'énergie par les algorithmes génétiques est une méthode universelle car elle converge vers la même solution presque à partir de n'importe quel point de départ, et donne un vecteur de contrôle cohérent. Les résultats obtenus permettent d'espérer une application pratique de bonne programmable pour calculer le flux d'énergie optimal dans un environnement temps réel.

En fin de compte, nous croyons que ce travail soutient la recherche antérieure dans ce domaine, ce qui lui donne un bon aperçu de l'avenir.

Références Bibliographique

- [1] : **JEAN-CLAUDE SABONNADIÈRE NOURDINE HADJSAÏD**, lignes et réseaux électriques 3, Ed. Lavoisier 2008.
- [2] : **DALE R. PATRICK ET STEPHEN W. FARDO**. Electrical distribution systems, 2nd. édition. The Fairmont Press, 2009, 471 pages.
- [3] : **THEODORE WILDI ET GILBERT SYBILLE**. Électrotechnique. 4 ième édition, De Boeck université, 2005, 1214 pages.
- [4] : **JOHN J. GRAINGER, JR ET WILLIAM D. STEVENSON**. Power System Analysis, McGraw-Hill Education Pvt Limited. 2003, 785 pages.
- [5] : **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.
- [6] : **TEGANI ILYES ET DAHMANE ABDESLAM**, «Optimisation multi objectif à base des algorithmes génétiques appliquée sur un réseau électrique», mémoire de Master, Université de Biskra, Algérie, Juin 2011.
- [7] : **SAYAH SAMI**, «Application de l'Intelligence Artificielle pour le Fonctionnement Optimal des Systèmes Electriques», Thèse de doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas -Sétif, Algérie.
- [8] : **ABOUB HANIA , MAAMIR MADIHA**, « étude de la répartition économique des puissance dans les réseaux électriques par les algorithmes génétique ; mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique,2009-2010.
- [9] : **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
- [10] : Practical Optimization: a Gentle Introduction **JOHN W. CHINNECK**, 2014
<http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html>.
- [11]: **R.OUIDDIR, M.RAHLI AND L. ABDELHAKEM-KORIDAK**; power systems optimization laboratory ,faculty of electrical engineering. University of science and technology of oran el M'naouer, Oran, 31000 algeria.
- [12] : **S. SAYAH**, "Application des ensembles flous a la repartition optimale de la puissance dans les reseaux electriques " Mémoire de Magister, Université de Sétif, 2005.

Réseaux électriques à de barres :

Tableau A.7 : Données des lignes du réseau électrique à 30 J.D.B.

De	à	r	x	b/2
<i>J.B</i>	<i>J.B</i>	<i>pu</i>	<i>pu</i>	<i>pu</i>
1	1	0.02	0.06	0.03
1	3	0.05	0.19	0.02
2	4	0.06	0.17	0.02
3	4	0.01	0.04	0.00
2	5	0.05	0.18	0.01
2	6	0.06	0.04	0.02
4	6	0.01	0.12	0.02
5	7	0.05	0.08	0.00
6	7	0.03	0.04	0.01
6	8	0.01	0.21	0.01
6	9	0.00	0.56	0.00
6	10	0.00	0.21	0.00
9	11	0.00	0.11	0.00
4	10	0.00	0.26	0.00
12	12	0.00	0.14	0.00
12	13	0.00	0.26	0.00
12	14	0.12	0.13	0.00
12	15	0.07	0.20	0.00
14	16	0.09	0.20	0.00
16	15	0.22	0.19	0.00
15	17	0.08	0.22	0.00
18	18	0.11	0.13	0.00
19	19	0.06	0.07	0.00
10	20	0.09	0.21	0.00
10	20	0.03	0.08	0.00
10	17	0.03	0.07	0.00
10	21	0.07	0.15	0.00
21	22	0.01	0.02	0.00
15	22	0.10	0.20	0.00
22	23	0.12	0.18	0.00
23	24	0.13	0.27	0.00
24	25	0.19	0.33	0.00
25	26	0.25	0.38	0.00
25	27	0.11	0.21	0.00
28	27	0.00	0.40	0.00
27	29	0.22	0.42	0.00
27	30	0.32	0.60	0.00
29	30	0.24	0.45	0.00
8	28	0.06	0.20	0.02
6	28	0.02	0.06	0.

Tableau A.8 Données des jeux de barres du réseau électrique à 30 J.B

J.D.B	Type	P _d (MW)	Q _d (Mvar)	V (pu)	θ (d������)
1	Ref	0.000	0.00	1.060	0.0
2	PV	21.70	12.7	1.043	0.0
3	PQ	2.400	1.20	1.000	0.0
4	PQ	7.600	1.60	1.000	0.0
5	PV	94.20	19.6	1.010	0.0
6	PQ	0.000	0.00	1.000	0.0
7	PQ	22.80	10.9	1.000	0.0
8	PV	30.00	30.0	1.010	0.0
9	PQ	0.000	0.00	1.000	0.0
10	PQ	5.800	0.00	1.000	0.0
11	PV	0.000	7.50	1.082	0.0
12	PQ	11.20	0.00	1.000	0.0
13	PV	0.000	1.60	1.071	0.0
14	PQ	6.200	2.50	1.000	0.0
15	PQ	8.200	1.80	1.000	0.0
16	PQ	3.500	5.80	1.000	0.0
17	PQ	9.000	0.90	1.000	0.0
18	PQ	3.200	3.40	1.000	0.0
19	PQ	9.500	0.70	1.000	0.0
20	PQ	2.200	11.2	1.000	0.0
21	PQ	17.50	1.60	1.000	0.0
22	PQ	0.000	0.00	1.000	0.0
23	PQ	3.200	1.60	1.000	0.0
24	PQ	8.700	6.70	1.000	0.0
25	PQ	0.000	0.00	1.000	0.0
26	PQ	3.500	2.30	1.000	0.0
27	PQ	0.000	0.00	1.000	0.0
28	PQ	0.000	0.00	1.000	0.0
29	PQ	2.400	0.90	1.000	0.0
30	PQ	10.60	1.90	1.000	0.0

Tableau A.9 Données des générateurs du réseau électrique à 30 J.B.

J.D.B	Pg	Qg	Qgmin	Qgmax	Pgmax	Pgmin	γ	β	α
	(Mw)	(Mw)	(Mvar)	(Mvar)	(Mw)	(Mw)	(\$/MW ² hr)	(\$/MW ² hr)	(\$/hr)
1	00	00	-150	250	200	50	0.00375	2.00	0
2	80	00	-40	50	80	20	0.01750	1.75	0
5	50	00	-40	40	50	15	0.06250	1.00	0
8	20	00	-30	40	35	10	0.00830	3.25	0
11	20	00	00	00	30	10	0.02500	3.00	0
13	20	00	-6	24	40	12	0.02500	3.00	0