

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

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

جامعة سعد دحلب البلدية 1
Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الآلية والكهروتقني
Département d'automatique & Electrotechnique



Mémoire de Master

Filière Électrotechnique
Spécialité Machines électriques

Présenté par

BELKHIER Sid Ahmed

Etude de problème de la répartition économique de puissance par la méthode recuit simulé

Proposé par : Dr. KHERFANE Naas

Année Universitaire : 2022-2023

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce Travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

À ma chère mère et mon cher père À mes très chers frères et ma sœur et mon oncle AZZEDINE et toute ma famille.

À tous mes enseignants surtout Mr BELAZZOUG, Mr BRADAI, Mr CHANANE, Mme BRAHIMI.

À mes chers amis spécialement SALIM et SIDAHMED À tous ceux que j'aime et qui m'aiment. À tous les amis d'études de promotion

2022/2023

Sid Ahmed

Remerciement

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Mon travail est une contribution aux précédents et une continuité des futurs travaux. Sincèrement, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Monsieur KHERFANE, enseignant à la faculté de Technologie de l'université Blida 1, à qui je lui portons mes plus sincères remerciements, sa disponibilité durant mon préparation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à Mr BELAZZOUG le chef de spécialités Machines électriques et à tous les membres de jury et tous mes enseignants et à toutes les personnes qui ont aidés et soutenus de près ou de loin, sans oublier de remercier ma famille pour leurs soutiens, sans laquelle ne je serais pas ici aujourd'hui.

ملخص: مع النمو السكاني والتوسع الحضري، ساهم التطور التكنولوجي والصناعي في الاستهلاك المستمر للطاقة الكهربائية. لأنه لا يمكن تخزين هذه الطاقة، لذلك يجب أن يكون هناك توازن بين الإنتاج والاستهلاك.

العلم أن الطاقة الكهربائية يتم إنتاجها في نفس الوقت الذي يتم في استهلاكها، لذا فإن نظام إمداد الكهرباء الموثوق والاقتصادي ضروري للحياة اليومية للسكان 24س\24س و7ي\7ي.

بالإضافة إلى ذلك، فإن لمجموعات الإنتاج قيودًا تقنية معينة يجب عدم تجاوزها لتلبية الحمل المتقلب بأقل تكلفة.

نحن أمام ما يسمى بـ "مشكلة التوزيع الاقتصادي".

لقد استخدمنا طريقة التلدين المحاكاة لحل هذه المشكلة.

كلمات المفاتيح: الطاقة الكهربائية؛ قيودًا تقنية؛ أقل تكلفة؛ التوزيع الاقتصادي.

Résumé : Avec la croissance démographique et l'expansion urbaine, le développement technologique et industriel a contribué à une consommation sans cesse d'énergie électrique. Vu que cette énergie est non stockable, il doit y avoir un équilibre entre la production et la consommation.

Sachant que l'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée alors un système d'approvisionnement en électricité fiable et économique est indispensable au quotidien des populations 24h/24h et 7j/7j.

Par ailleurs les groupes de productions ont certaines limitations techniques qu'il ne faut pas dépasser pour satisfaire la charge fluctuante avec un cout minimal.

On est devant ce qu'on appelle " le problème de dispatching économique "

On a utilisé la méthode de recuit simulé pour résoudre ce problème.

Mots clés : Energie électrique ; limitations techniques ; cout minimal ; dispatching économique.

Abstract: With population growth and urban expansion, technological and industrial development has contributed to a constant consumption of electrical energy. Since this energy cannot be stored, there must be a balance between production and consumption.

Knowing that electrical energy is produced at the same time as it is consumed, so a reliable and economical electricity supply system is essential for the daily lives of populations 24 hours a day, 7 days a week.

In addition, the production groups have certain technical limitations that must not be exceeded to satisfy the fluctuating load with a minimum cost.

We are faced with what is called "the problem of economic dispatching"

We used the simulated annealing method to solve this problem.

Keywords: electrical energy; Objective function; technical limitations; minimum cost; economic dispatching.

Introduction générale

L'énergie électrique est un produit qui joue un rôle très important dans la société moderne d'aujourd'hui. Elle est largement utilisée pour l'éclairage, les systèmes informatiques, les systèmes de communication, les systèmes de transport, l'industrie et pour d'autres domaines.

Cette énergie est assurée par un système énergétique interconnecté et complexe qui peut être défini comme 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 hautes et très hautes tensions du réseau de transport maillé sur une zone couvrant un ou plusieurs états, puis est acheminée sur des réseaux de distribution de moyennes et basses tensions dont l'arborescence permet d'atteindre les clients finals. Cette énergie est produite en même temps qu'elle est consommée ; donc en permanence, la production doit s'adapter à la consommation. Par conséquent, il faut ajuster les puissances active et réactive des générateurs selon les limites prédéfinies, en satisfaisant la charge fluctuante avec un coût le plus bas possible. Cela est appelé le dispatching économique.

Malgré l'importance du concept de la répartition économique, il reste subordonné à quelques considérations pratiques. La première considération, c'est la sécurité de fonctionnement du système énergétique qui a un rapport direct avec le transport de l'énergie électrique, où les puissances transitées sur les lignes de transport et les tensions aux différents jeux de barres doivent être dans les plages de fonctionnement adéquat.

La deuxième considération c'est le facteur économique, où la répartition de la puissance générée doit engendrer un coût total de génération minimal tout en satisfaisant les contraintes de fonctionnement.

La troisième considération c'est la sécurité de l'environnement, indiquée par la minimisation des gaz toxiques dégagés par les centrales de production.

La structure générale de notre mémoire est divisée en trois chapitres :

Le premier chapitre présente une vue générale sur le réseau électrique tel que leur architecture, et leur structure, ainsi que ça modélisation, par la suite on a procédé à une étude détaillée sur le dispatching économique dans le réseau électrique et ces méthodes de résolution présentes dans la littérature, telles que la méthode déterministe avec calcul de dérivées,

Introduction générale

Méthode déterministe sans calcul de dérivées, Méthode stochastiques et à la fin Méthode d'apprentissage

Le deuxième chapitre, présente les méthodes métaheuristiques à savoir : Le recuit simulé, La recherche taboue, L'algorithme génétique, et en détail l'algorithme de recuit simulé.

Le troisième chapitre est basé sur l'application en détail de la méthode recuit simulé.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Liste Des Acronymes et Abréviations

Sommaire

Liste Des Figures

Listes Des Tableaux

Introduction Générale

Chapitre 1

Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

1.1	Introduction.....	3
1.2	Structure des réseaux électriques	3
1.2.1	Réseau maillé/bouclé	3
1.2.2	Réseau Radial/arborescent	4
1.3	Architecture des réseaux électriques	5
1.3.1	Réseau de transport HTB	7
1.3.2	Réseau de répartition HTB et HTA	7
1.3.3	Réseau de distribution HTA.....	7
1.3.4	Réseau de livraison BTB	7
1.4	Modélisation des composantes du réseau électrique	8
1.4.1	Modélisation des générateurs	9
1.4.2	Lignes et câbles de transmission	9
1.4.3	Transformateurs de puissance	12
1.4.4	Charge électrique.....	13
1.4.5	Éléments shunt	13
1.5	Modèles des nœuds du réseau.....	14
1.6	Dispatching économique	15
1.7	Formulation mathématique de dispatching économique	15
1.7.1	Fonction objective (Cout) :	16
1.7.2	Contraintes d'égalité :	17

1.7.3	Contraintes d'inégalité :.....	18
1.8	Méthode de résolution de dispatching économique sans pertes	19
1.8.1	La méthode de Kuhn-Tucker [14]	19
1.8.2	Fonction de Lagrange [15].....	19
1.8.3	La méthode du gradient [16]	19
1.8.4	La méthode d'itération de Lambda qui utilise les itérations (minimisation sans gradient).	
1.9	Le dispatching économique avec pertes	19
1.10	Dispatching économique dynamique	20
1.11	Conclusion.....	20

Chapitre 2

Méthodes d'optimisation

2.1	Introduction.....	22
2.2	Méthodes d'optimisation	22
2.2.1	Méthodes déterministes	22
2.2.2	Méthodes stochastiques	23
2.2.3	Méthodes d'apprentissage.....	25
2.3	Présentation de l'algorithme d'optimisation de recuit simulé.....	25
2.4	L'analogie vers le recuit physique [27].....	26
2.5	Organigramme de l'algorithme	27
2.5.1	L'algorithme de Metropolis	27
2.5.2	L'algorithme de recuit simulé	27
2.6	Le processus de l'algorithme.....	29
2.7	Conclusion.....	30

Chapitre 3

Résultats et discussions

3.1	Introduction	31
3.2	Simulation	31
3.2.1	Réseau test IEEE 30-Bus :	31
3.3	Conclusion.....	39

Conclusion Générale

Références et bibliographies

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

1.1 Introduction

Un réseau électrique est un ensemble plus ou moins disponible d'infrastructures énergétiques qui transporte l'électricité des centres de production aux consommateurs d'électricité.

Il se compose de lignes électriques fonctionnant à différents niveaux de tension qui sont connectées ensemble dans une sous-station.

Les sous-stations distribuent l'électricité et la commutent d'une tension à une autre à l'aide de transformateurs.

Le réseau doit également assurer une gestion dynamique de l'ensemble production-transport-consommation, en mettant en place des réglages destinés à assurer la stabilité d'ensemble.

1.2 Structure des réseaux électriques

Pour effectuer le transit des puissances depuis les centres de production vers les consommateurs de divers niveaux de tensions, on utilise différentes architectures et topologies des réseaux qui assurent ces tâches, ces architectures dépendent de plusieurs critères :

- Le niveau de fiabilité recherché.
- La flexibilité et la maintenance.
- Le coût d'investissement et d'exploitation.

Ces topologies sont classées comme suit :

1.2.1 Réseau maillé/bouclé

Il est souvent utilisé dans l'interconnexions des réseaux au niveau du transport et de la répartition, la topologie maillée consiste à créer plusieurs boucles ou liaisons entre les différents postes d'interconnexions à l'aide de lignes THT ce qui forme un maillage.

Les réseaux bouclés sont par contre utilisés pour des niveaux de tension moins élevés, HT ou MT. On les trouve dans les réseaux de répartition et de distribution. Il faut noter que les réseaux MT ne sont pas forcément bouclés

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

a. Avantage

Cette structure, grâce à ses multiples dérivations garantit une grande fiabilité, et une continuité de service. En cas de défaut sur l'une des lignes, ce genre de structure offre une grande sécurité d'alimentation. Pour le réglage de fréquence et de tension, l'interconnexion offre une meilleure souplesse et minimise l'impact des surcharges sur une source donnée.

b. Inconvénient

Cette structure nécessite une protection très complexe et avancée ce qui rend le cout de réalisation très élevé. La complexité et l'étendu de sa structure la rend difficile à gérer et à assurer sa maintenance.

1.2.2 Réseau Radial/arborescent

Ce genre de topologie est principalement utilisé dans les réseaux MT et BT.

Pour le radial, ça consiste à connecter deux postes sources MT ainsi, le flux de puissance n'a qu'un seul trajet possible à suivre.

Pour l'arborescent, il est constitué d'un poste de répartition qui alimente plusieurs postes de distribution BT grâce à des dérivations faites à différents niveaux des lignes alimentant les postes MT/BT.

a. Avantage

Les dispositifs de protection dans ce type de topologie sont moins complexes que ceux utilisés dans le réseau maillé, ce qui rend sa maintenabilité plus facile et moins couteuse. L'extension se fait facilement, il suffit d'un piquage sur la ligne principale. D'un point de vue économique, le cout de sa réalisation est faible comparé à celui d'une structure maillée.

b. Inconvénient

L'inconvénient de cette réalisation est que lors d'un défaut, tout ce qui se trouve en aval du défaut serait isolé, donc il n'assure pas de continuité de service dans ce cas

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

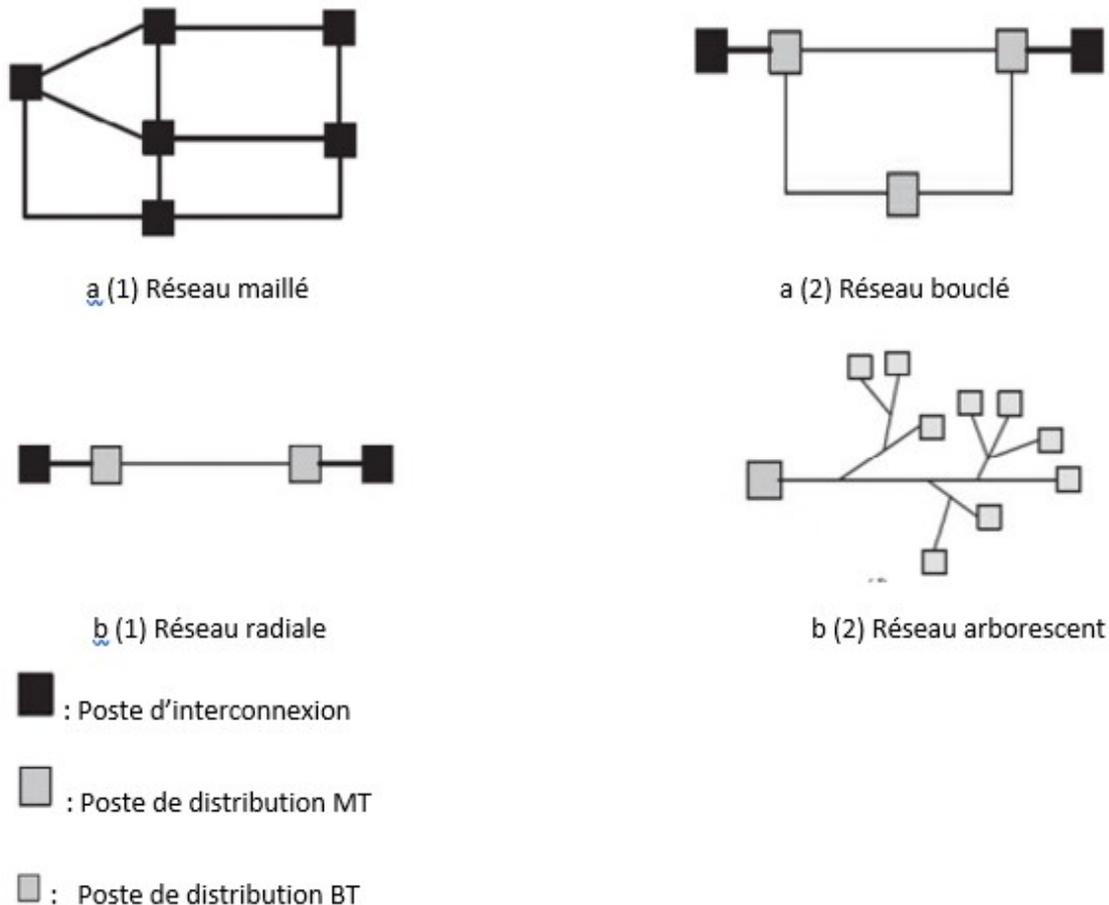


Figure 1.1 : Les différentes structures de réseau électrique

1.3 Architecture des réseaux électriques

Un système électrique est un ensemble constitué d'unités de production, unités de consommation, des réseaux électriques et de centre de contrôle. Son exploitation est assurée par un Gestionnaire de réseau de transport 'GRT'. [1]

L'architecture d'un réseau électrique est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise. Brièvement, le réseau électrique est subdivisé en deux catégories principales : les réseaux de transport/Répartition et les réseaux de Distribution/Livraison. [2]

Pour les niveaux de tension, il existe plusieurs classifications provenant des différentes organisations d'Electrotechnique qui s'occupe de maitre en œuvre les normes et les lois qui régissent le domaine du Génie électrique.

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

Les réseaux électriques sont hiérarchisés. La plupart des pays mettent en œuvre (selon CEI) :[3]

- Un réseau de transport THT 220.... 800 Kv.
- Un réseau de répartition HT 60 170 Kv.
- Un réseau de distribution MT 5 36 Kv.
- Un réseau de livraison de l'abonné BT 400/230Kv.

La nouvelle norme en vigueur en France UTE C18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit : [3]

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

Cette hiérarchie du réseau est montrée dans le schéma sous dessous

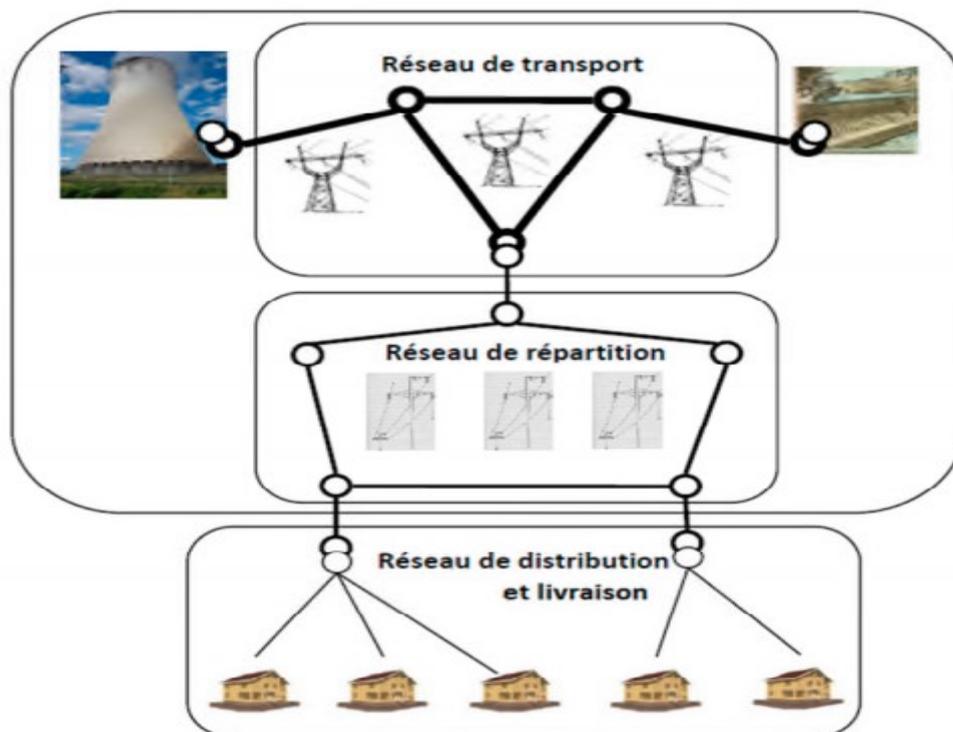


Figure 1.2 : structure générale d'un réseau électrique

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

1.3.1 Réseau de transport HTB

Le réseau de transport et d'interconnexion achemine en très haute tension de grandes quantités d'énergie sur de longues distances depuis des centrales de production vers le réseau de répartition. [3]

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire. Ces réseaux sont, pour la plupart, aériens. Ils sont étudiés pour un transit donné correspondant à la limite thermique de la ligne. [3]

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou de dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence. [1]

1.3.2 Réseau de répartition HTB et HTA

Les réseaux régionaux de répartition répartissent l'énergie au niveau des régions et alimentent les réseaux de distribution ainsi que les clients industriels importants ($S > 10\text{MVA}$) livrés directement en HT ou en THT, Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie, la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire...etc. [2]

Leur structure peut être soit aérienne ou souterraine à proximité des zones urbaines. Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, sa gestion est prise en charge par les centres de conduite régionaux.

1.3.3 Réseau de distribution HTA

La finalité du réseau de répartition s'achève avec un réseau de distribution en moyenne tension qui desservant le consommateur dans le domaine public et les petites et moyennes entreprises. [4]

Des lignes de distribution à moyenne tension partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir. Son exploitation est assurée par un centre de conduite local.

1.3.4 Réseau de livraison BTB

C'est le réseau qui nous est familier puisqu'il s'agit de la tension 400V/230V. La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution aux points de faible

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique. [2]

La puissance à ce niveau est acheminée avec deux topologies suivant la localisation des charges :

- a. Les réseaux urbains : la puissance transite par voie souterraine, ce type de réseau est caractérisé par une forte densité de charge, la topologie de ces réseaux sont réparties en trois groupes : les réseaux en dérivation multiples, les réseaux en coupure d'artère et les réseaux fortement bouclés. [2]
- b. Les réseaux ruraux : la puissance est acheminée par voie aérienne, ils sont caractérisés par une faible densité de charge et un faible maillage avec des boucles entre les postes sources. [2]

1.4 Modélisation des composantes du réseau électrique

Aujourd'hui, les réseaux électriques fonctionnent aussi près que possible de ces limites physiques. Ce qui n'était pas important auparavant, lorsque la structure est trop grande, est maintenant nécessaire pour une modélisation précise afin de s'assurer que le réseau n'est pas détruit.

Un réseau d'énergie électrique comprend des génératrices, des lignes de transport et distribution, des transformateurs de puissance ainsi des charges électriques. En outre le réseau comporte également des transformateurs et des appareils de protection. L'ensemble des systèmes électriques comporte en gros trois sous-systèmes :

- Production (génératrice).
- Transport, répartition et distribution (lignes).
- Utilisation (consommateur).

Vu la complexité d'un réseau d'énergie électrique, il faut simplifier leur représentation pour établir des modèles ou des schémas équivalents des principaux composants à savoir, les générateurs, les différents types de transformateurs, des lignes, les charges. Ceux-ci sont ensuite intégrés dans des programmes de calcul permettant de simuler leurs effets dans l'ensemble du système. [5].

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

1.4.1 Modélisation des générateurs

Les générateurs sont des éléments qui permettent la conversion de l'énergie (mécanique, photonique, chimique...) vers une énergie électrique. Ils peuvent fournir de l'énergie active ou réactive et ils peuvent maintenir un niveau de tension désirée. Un générateur peut être considéré comme une source de puissance active et réactive qui peut maintenir une tension de consigne.

A cause de certain facteur comme la limite thermique du rotor, du stator et la limite de stabilité au régime permanent, le fonctionnement d'un générateur est limité en puissance active ainsi qu'en puissance réactive. Ainsi un générateur peut être modélisé selon le schéma de la figure 1.3.

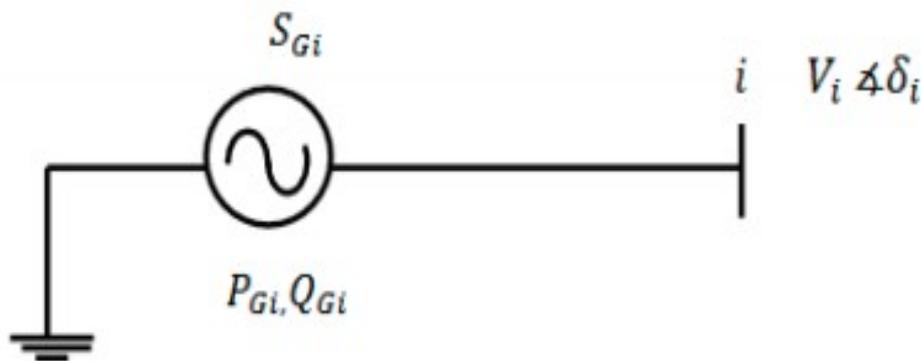


Figure 1.3 : Modèle du générateur

Avec :

S_i : Puissance apparente au nœud i

P_{Gi} : Puissance active délivrée par le générateur au nœud i

Q_{Gi} : Puissance réactive délivrée par le générateur au nœud i

V_i : Tension au nœud i

δ_i : Déphasage de la tension au nœud i

1.4.2 Lignes et câbles de transmission

Généralement la ligne de transport est modélisée par un schéma équivalent en π qui se compose d'une impédance série (résistance R en série avec une réactance inductive X), et une

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

admittance shunt qui consiste en une susceptance capacitive B (due à l'effet capacitif de la ligne avec la terre) en parallèle avec une conductance d'isolation G. Voir (Figure. 1.4) [6].

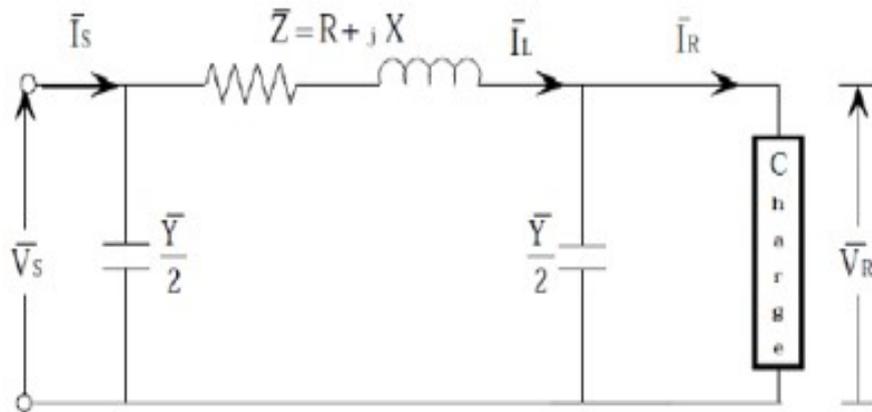


Figure 1.4 : Modélisation d'une ligne électrique

Appliquant la loi de Kirchhoff pour déterminer la tension et le courant à la source, on aura le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \bar{V}_S = A \cdot \bar{V}_R + B \cdot \bar{I}_R \\ \bar{I}_S = C \cdot \bar{V}_R + D \cdot \bar{I}_R \end{cases} \quad (1.1)$$

Sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Avec :

A, B, C et D : sont les paramètres qui dépendent des constantes de la ligne de transmission, qu'on déterminera par la suite.

$A = V_s/V_r$, si $I_r = 0$, i.e., l'extrémité de réception est en circuit ouvert. A est donc un rapport de deux tensions (sans dimension).

$B = V_s/I_r$, si $V_r = 0$, i.e., l'extrémité de réception est en court-circuit. B a une dimension d'une impédance (en ohm).

$C = I_s/V_r$, si $I_r = 0$, i.e., l'extrémité de réception est en circuit ouvert. C donc a une dimension d'une admittance

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

$D = I_s/I_r$, si $V_r = 0$, i.e., l'extrémité de réception est en court-circuit. D a est donc un rapport de deux courants (sans dimension).

\bar{V}_S, \bar{I}_S : Tension et courant à la source respectivement.

\bar{V}_R, \bar{I}_R : Tension et courant à la réception respectivement.

\bar{Z} : Impédance de la ligne.

R, X : Résistance et réactance de la ligne respectivement.

\bar{Y} : Admittance shunt de la ligne.

La tension et le courant à l'extrémité source sont obtenus comme suit :

De la figure (1.4) on a :

$$\bar{I}_L = \bar{I}_R + \frac{\bar{Y}}{2}\bar{V}_R \quad (1.3)$$

La tension à la source est :

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{Z} \cdot \bar{I}_L \quad (1.4)$$

En remplaçant (1.3) dans (1.4) on aura :

$$\bar{V}_S = \left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{2}\right)\bar{V}_R + \bar{Z} \cdot \bar{I}_R \quad (1.5)$$

Le courant à la source est :

$$\bar{I}_S = \bar{I}_L + \frac{\bar{Y}}{2}\bar{V}_S \quad (1.6)$$

Remplaçant (1.3) et (1.5) dans (1.6) on obtient :

$$\bar{I}_S = \bar{Y}\left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{4}\right)\bar{V}_R + \left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{2}\right)\bar{I}_R \quad (1.7)$$

Les équations (1.5) et (1.6) peuvent être écrites sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{2}\right) & \bar{Z} \\ \bar{Y} \cdot \left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{4}\right) & \left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{2}\right) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Par identification des équations (1.2) et (1.8) on aura :

$$A = D = \left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{2}\right); B = \bar{Z}; C = \bar{Y} \cdot \left(1 + \bar{Z}\frac{\bar{Y}}{4}\right) \quad (1.9)$$

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

1.4.3 Transformateurs de puissance

Un transformateur d'énergie électrique est représenté par un quadripôle en π non symétrique. Les grandeurs associées sont le rapport de transformation. Les rapports de transformations sont inclus dans les éléments de la matrice admittance, c'est-à-dire que les susceptances de la matrice admittance sont vues comme des fonctions de rapports de transformation (figure 1.5) [5].

Le transformateur est l'un des éléments qu'on retrouve aux différents niveaux de tensions du réseau électrique, il est entièrement statique, il permet la modification de la présentation de l'énergie électrique alternative afin de la rendre aussi commode que possible aux différents stades de la production, du transport d'énergie à HT (réduction des pertes en lignes) et de la distribution en MT et BT. [6]

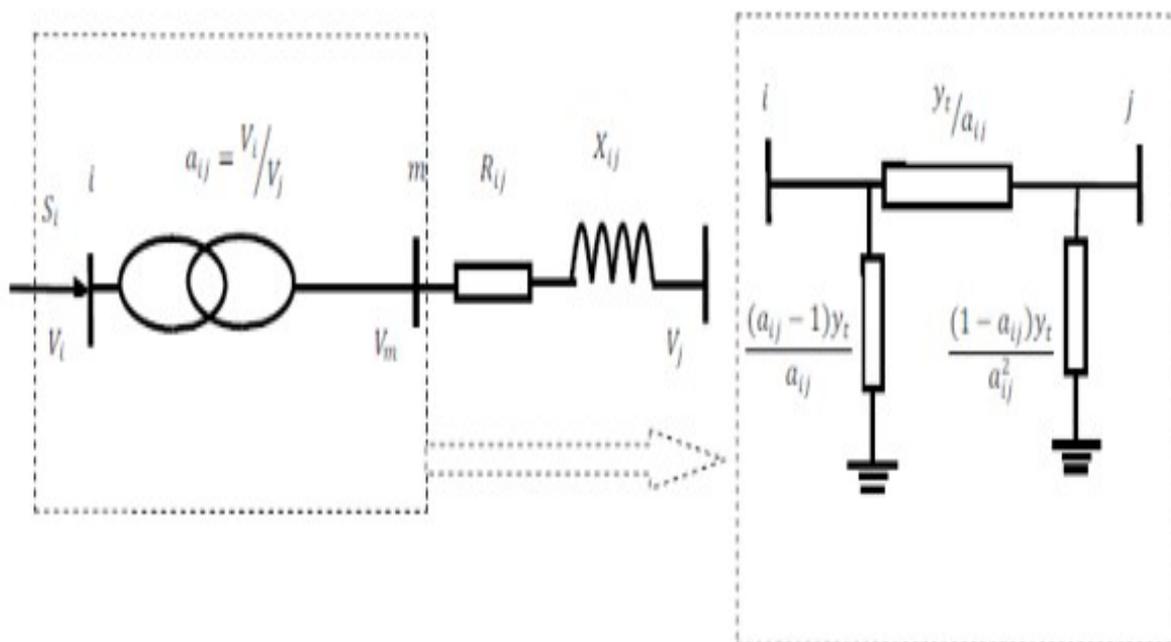


Figure 1.5 : Modèle d'un transformateur [6]

La matrice d'admittance d'un transformateur inséré entre un nœud i et un nœud j s'écrit :

$$y_t = \begin{bmatrix} \frac{y_{ij}}{a_{ij}^2} & \frac{-y_{ij}}{a} \\ \frac{-y_{ij}}{a} & y_{ij} \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

1.4.4 Charge électrique

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d'une impédance constante. La plupart des charges représentent une sous-station (système de distribution). Ces charges sont connectées au réseau électrique à travers un transformateur à prises de charges variables, où le niveau de tension de la charge est maintenu pratiquement constant.

Dans ce cas, les puissances actives et réactives de la charge peuvent être représentées par des valeurs constantes. [7]

Les charges sont modélisées par des puissances constantes indépendantes de la tension nodale :

$$S_{Di} = P_{Di} + jQ_{Di} \quad (1.11)$$

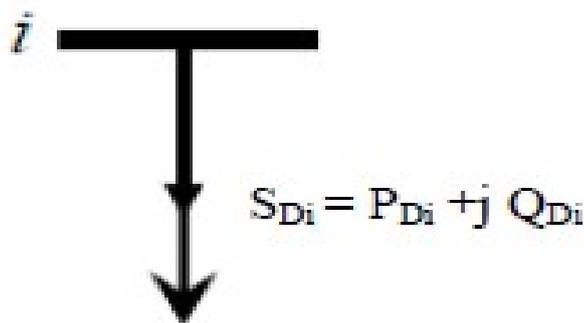


Figure 1.6 : Modèle d'une charge. [8]

S_{Di} : puissance apparente demandée au jeu de barres i

P_{Di} : puissance active demandée au jeu de barres i

Q_{Di} : puissance réactive ; cette puissance réactive peut être positive ou négative selon que la charge est de nature inductive ou capacitive.

1.4.5 Éléments shunt

Dans la plupart des cas, les éléments shunt sont les batteries de condensateurs et les réactances qui sont utilisés pour fournir ou absorber la puissance réactive afin d'obtenir un meilleur profil de tension., sont modélisés par des admittances y_i de la forme :

$$y_i = g_i + jb_i \quad (1.12)$$

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

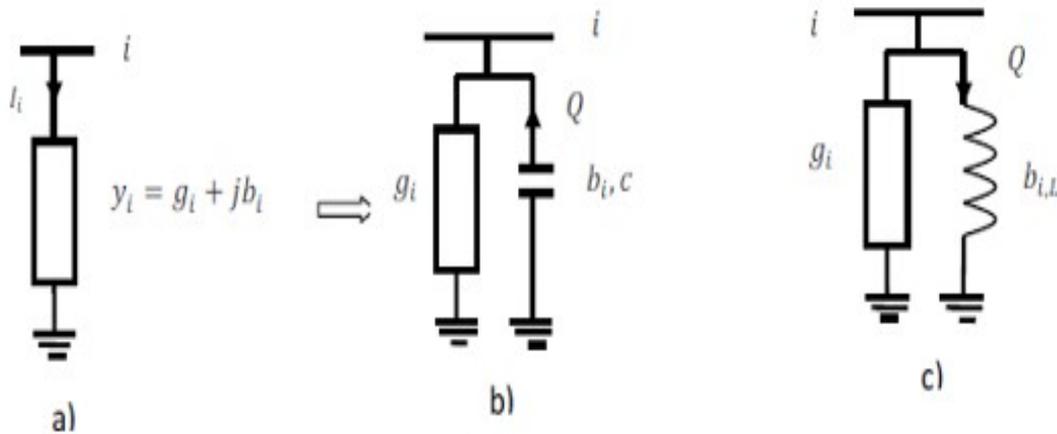


Figure 1.7 : Modèles des éléments shunt : a) symbole, b) élément capacitif, c) élément inductif

1.5 Modèles des nœuds du réseau

Chaque nœud d'un réseau est caractérisé par quatre variables, P_i, Q_i, V_i, δ_i . Si on connaît deux des quatre variables on pourra déterminer les deux autres à partir des équations dans un réseau électrique on distingue trois types de nœud :

1.5.1 Nœud de charge (PQ)

C'est un nœud connecté directement avec la charge, il ne possède aucune source d'énergie. Les puissances active et réactive sont considérées connues.

1.5.2 Nœud de générateur (PV)

C'est un nœud connecté directement avec un générateur ou une source d'énergie réactive. La puissance active et la tension sont considérées connues

1.5.3 Nœud de référence (Slack bus)

C'est un nœud connecté avec un générateur relativement puissant il est considéré dans le calcul d'écoulement de puissance afin de compenser les pertes actives et assurer l'égalité entre la demande et la génération de la puissance active. Dans un nœud référence, l'amplitude et l'angle de la tension sont supposés connus.

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

1.6 Dispatching économique

Le problème de répartition économique dans ces versions statiques et dynamiques occupe désormais une position décisive dans la stratégie concurrentielle de l'entreprise, qui est se retrouvent face à la libéralisation du secteur de l'électricité et donc à la concurrence impitoyable, tant pour les nouvelles contraintes environnementales auxquelles il doit se conformer (réduire le niveau de gaz toxiques rejetés dans l'atmosphère par les usines de production)[8]

L'objectif principal du problème de répartition de l'économie dynamique est de :

Minimisez les coûts globaux de carburant tout en respectant les contraintes du système.

Les coûts de combustible dans les centrales thermiques sont souvent exprimés en fonction quadratique ou cubique de la puissance active de l'unité de production.

1.7 Formulation mathématique de dispatching économique

La répartition optimale de l'électricité est un problème d'optimisation dont le but est de minimiser le coût total de production d'électricité dans le réseau. Si nous ne considérons que la fonction objective, nous l'appelons optimisation sans contrainte. Cependant, si nous considérons l'équation du l'écoulement de puissance, nous sommes confrontés à un problème d'optimisation avec des contraintes d'égalité. Si nous considérons également les contraintes minimales et maximales sur la puissance produite par l'alternateur, la surcharge de la ligne de transmission et le niveau de tension admissible du bus chargé, alors nous sommes confrontés à un problème d'optimisation avec des contraintes d'égalité et d'inégalité.

Le problème de l'écoulement de puissance optimal est donné sous une forme standard d'optimisation avec contraintes d'égalités et d'inégalités comme suit [9] [10] :

$$\text{Min } f(x, u)$$

Sous les contraintes d'égalité et d'inégalités :

$$h(x, u) = 0 \text{ (contraintes d' égalités)}$$

$$g(x, u) \leq 0 \text{ (contraintes d' inégalités)}$$

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

Dans cette formulation, la fonction $f(x,u)$ est la fonction objective, elle doit être minimisée tout en assurant la validité des fonctions de contraintes, $h(x,u)$ représente l'ensemble de contraintes non linéaires d'égalité, $g(x,u)$ représente l'ensemble de Contraintes non linéaires d'inégalité.

- X : Est le vecteur des variables d'état.
- U : Est le vecteur des variables de contrôle.

Le but est d'optimiser une fonction objective avec une solution satisfaisant un certain nombre de contraintes d'égalité et d'inégalités [11]

1.7.1 Fonction objective (Cout):

Cette fonction reflète le besoin de minimiser le coût total de la production des puissances actives. On suppose que le coût individuel de chaque centrale de production dépend uniquement de la génération de la puissance active [12].

$$F = \sum_{i=1}^{Ng} f_i = \sum_{i=1}^{Ng} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (1.13)$$

Avec :

- P_{Gi} Les puissances active générées au nœud i .
- a_i, b_i, c_i Les coefficients constants propres à chaque centrale.

a) Minimisation des coûts de génération

Le but principal du dispatching économique est la minimisation du cout de production de chaque générateur et donc le cout total.

D'autre part, on sait très bien que les facteurs influençant sur le cout sont résumés en trois points essentiels :

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

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

$$\text{Min (FT)} = \text{Min} \left(\sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_{Gi}) \right) \text{ avec : } F = \sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_{Gi}) \quad (1.14)$$

(Ng) : Le nombre des générateurs.

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

FT : La fonction de cout total de la production.

b) Pertes de transmission

C'est la différence entre les unités générées et distribuées. Ceux-ci sont divisés en pertes techniques et pertes non techniques ou commerciales.

La perte de transmission est due à l'absorption d'énergie par le milieu de propagation ou de transmission et se mesure par l'atténuation du signal.

Les pertes techniques sont dues à l'énergie dissipée dans conducteurs et équipements utilisées dans les lignes de transmission et pertes magnétiques dans les transformateurs.

$$PL = \sum_{i=1}^{Ng} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{Ng} B_{0i} P_i + B_{00} (1.15)$$

B_{ij}, **B_{0i}** et **B₀₀** : sont les coefficients de perte ou B-coefficients.

B_{0i} : facteur linéaire variable.

B₀₀ : Facteur constant.

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

1.7.2 Contraintes d'égalité :

Ces contraintes sont l'image des lois physiques gouvernant le système électrique. Elles sont représentées par les équations non linéaires de l'écoulement de puissance. Il faut que la somme des puissances actives et réactives injectées dans chaque jeu de barres soit égale à zéro.

a) Cas d'un système sans pertes

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

$$\sum_{i=1}^{ND} P_{Gi} = \sum P_{Di}$$

b) Cas d'un système avec pertes

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

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

Avec :

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{Gi} - P_D - P_L = 0$$

Où :

P_D : représente la puissance active totale absorbée (consommée) par toute la charge.

P_{Di} : La puissance active totale absorbée (consommé) par la charge (i).

P_L : Les pertes actives des lignes de transmission.

P_{Gi} : représente puissance active générée au nœud (i).

ND : Le nombre de nœud consommateurs

D'après cette expression on peut dire que le système d'énergie électrique est en équilibre car la somme des puissances actives générées, puissances consommées par la charge totale et les pertes actives dans les lignes est nulle.

1.7.3 Contraintes d'inégalité :

En pratique, on ne doit pas dépasser les limites des éléments physiques du réseau électrique tels que les générateurs, les transformateurs à prises de charge, et les transformateurs de phase.

En plus des contraintes sur les puissances actives à chaque générateur qui a une influence directe sur la fonction coût, on peut citer d'autres contraintes d'inégalité [13] :

- La puissance active générée P_{Gi} qui est limitée par une borne inférieure $P_{Gi.min}$, et une borne supérieure $P_{Gi.max}$.

$$P_{Gi.min} < P_{Gi} < P_{Gi.max}$$

- La puissance réactive générée Q_{Gi} qui est limitée par une borne inférieure $Q_{Gi.min}$, et une borne supérieure $Q_{Gi.max}$.

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

$$Q_{Gi.min} < Q_{Gi} < Q_{Gi.max}$$

- Pour garder la qualité de service électrique et la sécurité du système, les niveaux de tension des jeux de barres doivent toujours être entre leurs limites max et min. Ces limites exigent encore l'addition des contraintes d'inégalités.

$$V_{i.min} < V_i < V_{i.max}$$

Donc il y'a 'n'contraintes d'égalités et 'm'contraintes d'inégalités et le nombre des variables du problème est égal à la taille du vecteur des variables de contrôle (y compris puissances actives et réactives générées, niveaux de tension des jeux de barres, prises des transformateurs, etc...).

1.8 Méthode de résolution de dispatching économique sans pertes

La solution du dispatching économique est obtenue avec deux 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.

1.8.1 La méthode de Kuhn-Tucker [14]

1.8.2 Fonction de Lagrange [15]

1.8.3 La méthode du gradient[16]

1.8.4 La méthode d'itération de Lambda qui utilise les itérations (minimisation sans gradient). Dans certains cas on peut considérer le problème de dispatching comme linéaire par parties, on utilise alors la programmation linéaire[17]

1.9 Le dispatching économique avec pertes

Le dispatching économique avec pertes est un procédé itératif qui doit s'il est réalisé correctement converger vers la solution optimale. Pour tenir compte des pertes, nous allons

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

évaluer celles-ci et les inclure dans la demande. Elles varient en fonction de la répartition des puissances entre les centrales et de la consommation locale de puissance.

Le dispatching économique avec pertes tient compte de la topographie du réseau. 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. La deuxième approche consiste à utiliser les équations de l'écoulement de puissances optimal[18]

1.10 Dispatching économique dynamique

Le dispatching économique dynamique (DED) est une extension du problème de répartition économique, qui vise à dispatcher les groupes thermiques en service en fonction de la demande de la charge attendue avec le coût d'exploitation minimum pendant une période de planification donnée.

Le problème de dispatching économique dynamique est la minimisation de cout de production de N unité thermique sur une période de planification « T » donnée comme suite :

$$F_T = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F_i(P_i^t)$$

On tient compte des contraintes suivantes:

Contrainte d'équilibre ou balance de puissance :

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

$$\sum_{i=1}^N P_i^t - D_T - P_L^t = 0$$

1.11 Conclusion

Dans ce chapitre, On a fait une étude générale du réseau électrique, avec l'étude de ses composants nécessaire à la production, au transport, a la distribution et à la livraison de l'énergie électrique.

L'objectif d'un réseau électrique est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs. Puisqu' il n'est toujours pas possible de stocker l'énergie électrique de

Chapitre 1 Généralité et dispatching économique sur les réseaux électriques

manière économique et en grande quantité. Donc il est essentiel de pouvoir maintenir l'égalité en permanence tel que : $\text{Production} = \text{Consommation} + \text{Pertes}$.

Alors pour résoudre le problème de la transmission de la puissance disponible sur les lieux de consommation, il est essentiel de déterminer le niveau de production de chaque groupe et les transits de puissance dans le réseau.

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

2.1 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. [19]

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 [20], 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 divisés 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.

2.2 Méthodes d'optimisation

Etant donné l'importance de ces problèmes, de nombreuses méthodes de résolution ont été développées en IA. Ces méthodes peuvent être classées sommairement comme suit :

- Méthodes déterministes avec calcul de dérivées
- Méthodes déterministes sans calcul de dérivées
- Méthodes stochastiques
- Méthodes d'apprentissage

2.2.1 Méthodes déterministes

Les méthodes déterministes s'appuient sur la connaissance de la direction de recherche, souvent donnée par le calcul du gradient de la fonction à optimiser, ou par les directions données par le vecteur paramètres à optimiser. Elles peuvent être réparties en deux catégories :

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

a. Méthodes déterministes avec calcul de dérivées

Elles sont basées sur l'évaluation de la dérivée à chaque itération. La direction de descente est donnée par l'opposé du gradient dans une région locale de l'espace des paramètres. Ces méthodes sont tributaires des conditions initiales. Ainsi, elles convergent dans le voisinage du point de départ. On peut citer :

(Gradient, gradient conjugué, Newton, Quasi-Newton, Levenberg-Marquardt, Dvidon-Fletcher-Powell)

b. Méthodes déterministes sans calcul de dérivées

Ces méthodes sont connues sous le terme de patterns search (ou méthodes d'optimisation d'ordre zéro). Le mérite de ces méthodes est qu'elles ne nécessitent aucune connaissance particulière (ni continuité, ni dérivabilité) sur la fonction objective. Nous pouvons évoquer les méthodes suivantes :

(Relaxation cyclique, Hooke et Jeeves, Rosenbrock, Nelder et Mead)

2.2.2 Méthodes stochastiques

Les méthodes stochastiques sont appelées aussi métaheuristiques. Elles s'appuient sur des mécanismes de transition aléatoire. Et elles s'inspirent d'analogies avec la réalité (physique, biologie, éthologie). Ces méthodes ont une capacité à trouver l'optimum global du problème. Contrairement à la plupart des méthodes déterministes, elles ne nécessitent aucune connaissance particulière sur la fonction objective. En plus, elles sont généralement itératives, c.-à-d. qu'un même schéma de recherche est appliqué plusieurs fois au cours de l'optimisation. Par ailleurs, elles constituent une alternative pour traiter les problèmes d'optimisation de grande taille. Cependant, elles nécessitent un volume calculatoire important pour atteindre la solution du problème.

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

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

algorithmes Génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essaims particuliers).

Ces techniques métaheuristiques peuvent être classés en deux groupes : les méthodes à population de solutions connues sous le nom d'algorithmes évolutionnaires comme les algorithmes génétiques...etc., ainsi que les méthodes à solution unique comme le recuit simulé. Les méthodes métaheuristiques ont prouvé leurs efficacités dans le domaine de l'optimisation mono-objectif. Actuellement les recherches qui utilisent ces algorithmes sont développées pour la résolution des problèmes d'optimisation multi objectif, en tenant compte de plusieurs contraintes et de nouvelles configurations des réseaux électriques surtout à l'associations de sources des énergies renouvelables où la résolution de ce system complexe est un défi.

a. Recuit simulé

Le recuit simulé est une méthode empirique inspirée d'un processus utilisé en métallurgie (appelé le recuit) où, pour atteindre les états de basse énergie d'un solide, on chauffe celui-ci jusqu'à des températures élevées, avant de le laisser refroidir lentement. L'algorithme du recuit simulé a été proposé par **Kirkpatrick et al. [21]** (Indépendamment, Cerny [22]).

La description classique du recuit simulé le présente comme un algorithme probabiliste, où un point évolue dans l'espace de recherche. Les inconvénients du recuit simulé résident dans : a- Les « réglages », car l'algorithme dispose d'un nombre élevé de paramètres (température initiale, règle de décroissance de la température, durées des paliers de température, etc.) qui rendent les réglages de l'algorithme assez empiriques ; b- Les « temps de calcul », qui peuvent devenir très importants. Cependant, il existe des études qui s'attachent à régler de manière optimale les paramètres de l'algorithme. [23]

Par ailleurs, pour surmonter le problème de temps de calcul, plusieurs méthodes de parallélisation des calculs ont été introduites. [24]

b. Recherche taboue

La méthode taboue qui fait partie des méthodes de voisinage, a été proposée par Fred Glover en 1986. [25] Elle utilise la notion de mémoire pour éviter un optimum local. Le principe de la recherche tabou repose sur une méthode de déplacement sur l'espace des solutions, tout en cherchant constamment à améliorer la meilleure solution courante et en

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

conservant en mémoire la liste des précédents déplacements et ainsi guider la recherche en dehors de zones précédemment parcourues. En général on ne va pas garder tous les déplacements (trop coûteux en mémoire), mais on va seulement empêcher l'accès à certaines solutions pendant un certain nombre d'itération.

c. Algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes. Leur but est d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation. [26]

La solution optimale est cherchée à partir d'une population de solutions en utilisant des processus aléatoires. La recherche de la meilleure solution est effectuée en créant une nouvelle génération de solutions par application successive, à la population courante, de trois opérateurs : la sélection, le croisement, et la mutation. Ces opérations sont répétées jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit atteint

2.2.3 Méthodes d'apprentissage

L'apprentissage consiste en l'acquisition du savoir-faire (càd avoir des processus d'acquisition pratiques, de connaissances, de compétences, d'attitudes ou valeurs culturelles) par l'observation, l'imitation, l'essai, la répétition et la présentation.

L'apprentissage est la caractéristique principale des systèmes experts et des réseaux de neurones largement appliqués dans la classification Les réseaux de neurones artificiels imitent le fonctionnement du cerveau humain, les possibilités offertes par cette technologie augmenteront à mesure que nous découvrons les secrets de notre propre organe. En comprenant l'algorithme sur lequel repose le cerveau humain, et les moyens que nous a apporté l'évolution au fil du temps, ceci nous permettra de porter le potentiel du cerveau humain sur les réseaux artificiels (Pr Peter Corke).

2.3 Présentation de l'algorithme d'optimisation de recuit simulé

Le recuit est une méthode métallurgique permettant d'obtenir des solides cristallisés en évitant l'état de verre. Une fois le métal fondu, la température est baissée progressivement jusqu'à atteindre un état solide. Pour enlever tous les défauts, le métal est réchauffé puis refroidi, par paliers décroissant de température, jusqu'à atteindre un état stable.

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

Ce système de palier décroissant a donné naissance à l'algorithme de Metropolis de 1953 puis au recuit simulé par IBM en 1983.

L'algorithme du recuit simulé, ou *simulated annealing* pour les anglophones, est donc l'adaptation algorithmique du processus du recuit.

Le but est d'atteindre un état stable de la fonction objectif -un optimum local ou global- à partir d'une solution aléatoire. Cet état est atteint par paliers, ou l'acceptation d'une mutation se fait en fonction de la ~température~ du palier.

L'algorithme de recuit simulé génère successivement des configurations à partir d'une solution initiale S_0 et d'une température initiale T_0 diminuant à chaque itération, jusqu'à obtenir une configuration stable. La probabilité d'accepter une nouvelle configuration est (règle de Metropolis) :

- Si la configuration améliore la fonction objective
- $\text{Expo}(\text{diff}(E)/T)$

Avec : $\text{diff}(E)$ la différence énergétique (fonction interne, dépendant de la fonction objective)

T la température

2.4 L'analogie vers le recuit physique[27]

Le principe de fonctionnement s'inspire d'un processus d'amélioration de la qualité d'un métal solide par recherche d'un état d'énergie minimum correspondant à une structure stable de ce métal. L'état optimal correspondrait à une structure moléculaire régulière parfaite. En partant d'une température élevée où le métal serait liquide, on refroidit le métal progressivement en tentant de trouver le meilleur équilibre thermodynamique. Chaque niveau de température est maintenu jusqu'à obtention d'un équilibre. Dans ces phases de température constante, on peut passer par des états intermédiaires du métal non satisfaisant, mais conduisant à la longue à des états meilleurs.

L'analogie avec une méthode d'optimisation est trouvée en associant une solution à un état du métal, son équilibre thermodynamique étant la valeur de la fonction objective de cette solution.

Passer d'un état de la structure du métal à un autre correspond à passer d'une solution à une solution voisine.[27]

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

Voici un tableau récapitulatif

métallurgie	optimisation
énergie	f
état amorphe	minimum local
état cristallin	minimum global
température	paramètre de contrôle
recuit physique	recuit simulé : recherche locale

Tableau 2.1 : L'analogie vers le recuit physique.

2.5 Organigramme de l'algorithme

2.5.1 L'algorithme de Metropolis

Dans l'algorithme de Métropolis, on part d'une configuration donnée, et on lui fait subir une modification aléatoire. Si cette modification fait diminuer la fonction objectif (ou énergie du système), elle est directement acceptée. Sinon, elle n'est acceptée qu'avec une probabilité égale à $\text{Expo}(\text{diff}(E)/T)$ avec (E =énergie, et T =température), cette règle est appelée critère de Métropolis. [28]

2.5.2 L'algorithme de recuit simulé

Le recuit simulé applique itérativement l'algorithme de Métropolis, pour engendrer une séquence de configurations qui tendent vers l'équilibre thermodynamique :

- 1) Choisir une température de départ $T=T_0$ et une solution initiale $S=S_0$.
- 2) Générer une solution aléatoire dans le voisinage de la solution actuelle.
- 3) Comparer les deux solutions selon le critère de Métropolis.
- 4) Répéter 2 et 3 jusqu'à ce que l'équilibre statistique soit atteint.
- 5) Décroître la température et répéter jusqu'à ce que le système soit gelé.

Dans un premier temps, T étant généralement choisi très grand, beaucoup de solutions sont acceptées, et l'algorithme équivaut à une visite aléatoire de l'espace des solutions. Mais à mesure que la température baisse, la plupart des solutions augmentant l'énergie sont refusés, et l'algorithme se ramène à une amélioration itérative classique.

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

A température intermédiaire, l'algorithme autorise de temps en temps des transformations qui dégradent la fonction objective. Il laisse ainsi une chance au système de s'extraire d'un minima local.[28]

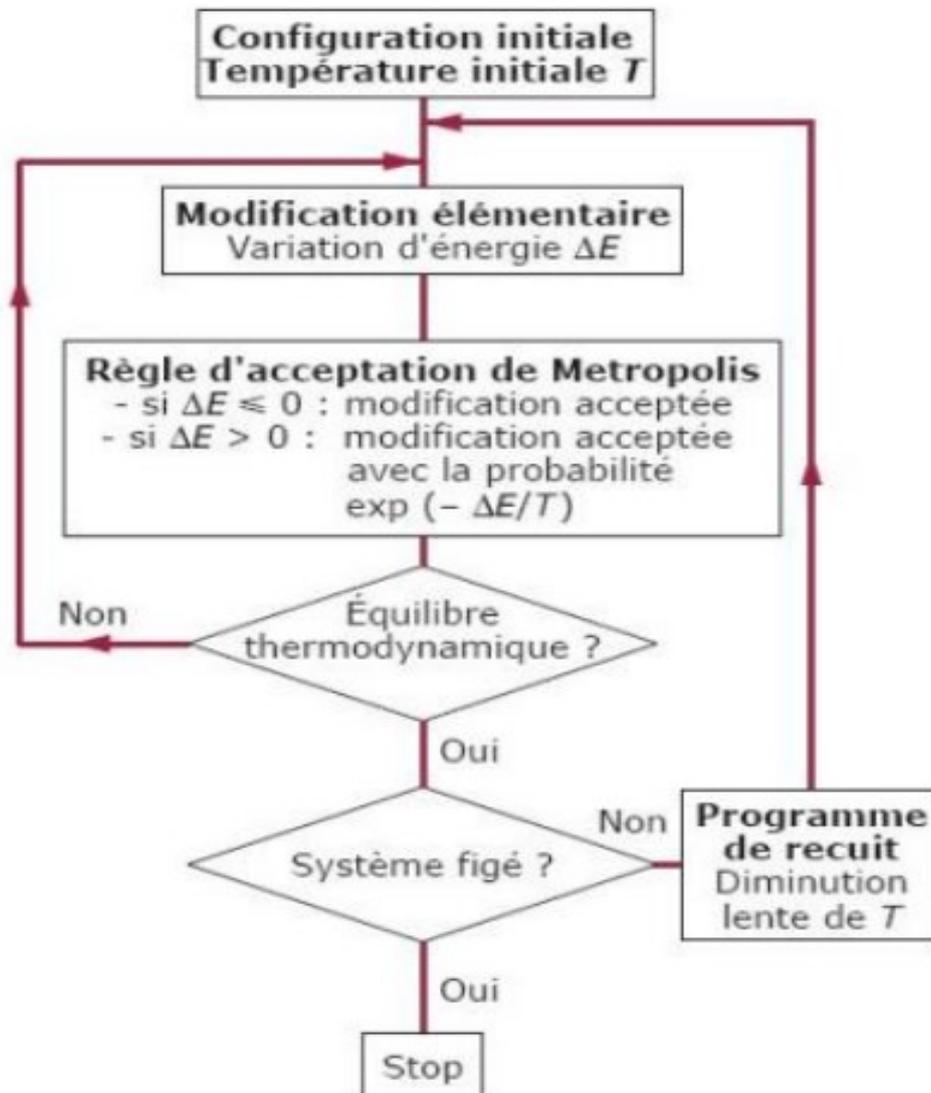


Figure 2.1 : Organigramme de l'algorithme recuit simulé. [21]

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

2.6 Le processus de l'algorithme

Etape 1- Initialisation :

Prendre une solution initiale $S=S_0$ et une température $T=T_0$

L'état initiale est comme pour les méthodes exactes, obtenu par une heuristique (descente ou glouton)

Etape 2- Génération de la solution :

Générer une solution aléatoire $S_{(i+1)}$ dans le voisinage de la solution courante

Etape 3-Comparaison :

Comparer $S_{(i+1)}$ avec S_i selon la règle de **Metropolis**

Etape 4-répétition :

Répéter jusqu'à rencontrer une solution stable (ou après un certain nombre d'itérations)

Etape 5-Critère d'arrêt :

Décroître la température T jusqu'à une température seuil T_{\min} , et vérifier le processus de calcul jusqu'à ce que le nombre d'itérations atteigne la valeur maximale prédéfinie ou qu'une solution de la fonction objective acceptable soit trouvée.[28]

2.7 Domaines d'applications

Comme pour tout méta heuristique, la méthode du recuit simulé trouve son application dans de nombreux domaines dans lesquels on a à résoudre des problèmes d'optimisation difficile. On peut citer entre autres :

- La conception des circuits intégrés (problème de placement et de répartition).
- L'optimisation combinatoire (ordonnancement)
- Le routage des paquets dans les réseaux
- Le problème du voyageur de commerce
- Cette méthode est très utilisée dans les milieux industriels.[21]

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

Avantages et Inconvénients :

Avantages :

- Le principal avantage du Recuit simulé est donc de pouvoir sortir d'un minimum local, en fonction d'une probabilité d'acceptation liée à une fonction exponentielle, appelée transformation de Gibbs-Boltzmann.
- La méthode du recuit simulé a l'avantage d'être souple vis-à-vis des évolutions du problème et facile à implémenter.
- Donne généralement de bonnes solutions par rapport aux algorithmes de recherche classiques.
- Peut être utilisé dans la plupart des problèmes d'optimisation.
- Il converge vers un optimum global (lorsque le nombre d'itérations tend vers l'infini) Cela fait de lui une option attrayante pour les problèmes d'optimisation difficiles. [28]

Inconvénients :

Le principal inconvénient du recuit simulé est qu'une fois l'algorithme piégé à basse température dans un minimum local, il lui est impossible de s'en sortir. Plusieurs solutions ont été proposées pour tenter de résoudre ce problème, par exemple en acceptant une brusque remontée de la température de temps en temps, pour relancer la recherche sur d'autres régions plus éloignées. [28]

Appart cela on peut citer quelques autres inconvénients comme :

- La difficulté de déterminer la température initiale.
 - Si elle est trop basse, la qualité de recherche sera mauvaise.
 - Si elle est trop haute, le temps de calcul sera élevé
- L'impossibilité de savoir si la solution trouvée est optimale.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté tout d'abord les différents types des méthodes d'optimisation, ainsi nous avons parlé sur la méthode de recuit simulé en générale.

Chapitre 02 : Méthodes d'optimisation

Le prochain chapitre représente la partie pratique de notre travail, il explique clairement le processus algorithmique de cette méthode et son application dans l'optimisation de dispatching économique dans les réseaux électriques.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'application de la méthode recuit simulé pour résoudre le problème de dispatching économique dynamique pour exprimer son potentiel d'optimisation, ou la fonction objective était limitée dans les plages de puissances des unités de production et les pertes de transmission étaient également prises en compte puis comparer les résultats trouvés avec des autres méthodes afin de vérifier l'efficacité de cette méthode.

Pour effectuer ces essais, les paramètres choisis pour la température sont : La température initiale est fixée à 100 ° C suffisamment élevée pour que l'équilibre thermique soit rapidement atteint (variations aléatoires d'énergie du système).

3.2 Simulation

3.2.1 Réseau test IEEE 30-Bus :

Le premier réseau test IEEE-30 jeux de barres, se compose de 6 centrales électriques de production et 41 lignes. Pour ce cas d'étude on va optimiser une fonction objective avec considères l'effet des pertes dans les lignes :

- La fonction du cout de production totale.
- Les pertes des linges de transmissions.

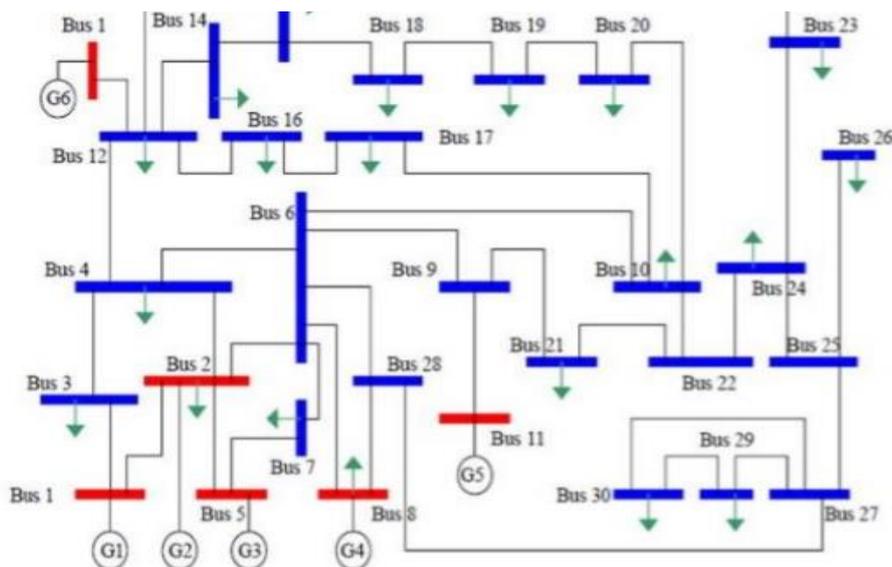


Figure 3.1 : Schéma du réseau IEEE 30 jeux de barre.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

L'application sur un système à six générateurs avec considération de pertes

Pour cette partie, le réseau test est un système à six unités (générateurs) alimentant une Charge a consommation fluctuante journalière :

PD= [166,196,229,267,283.4,272,246,213,192,161,147,160,170,185,208,232,246,241,236,225,204,181,161,131] MW [29].

La figure (3.1) représente la courbe de charges ou la courbe de fluctuation journalière

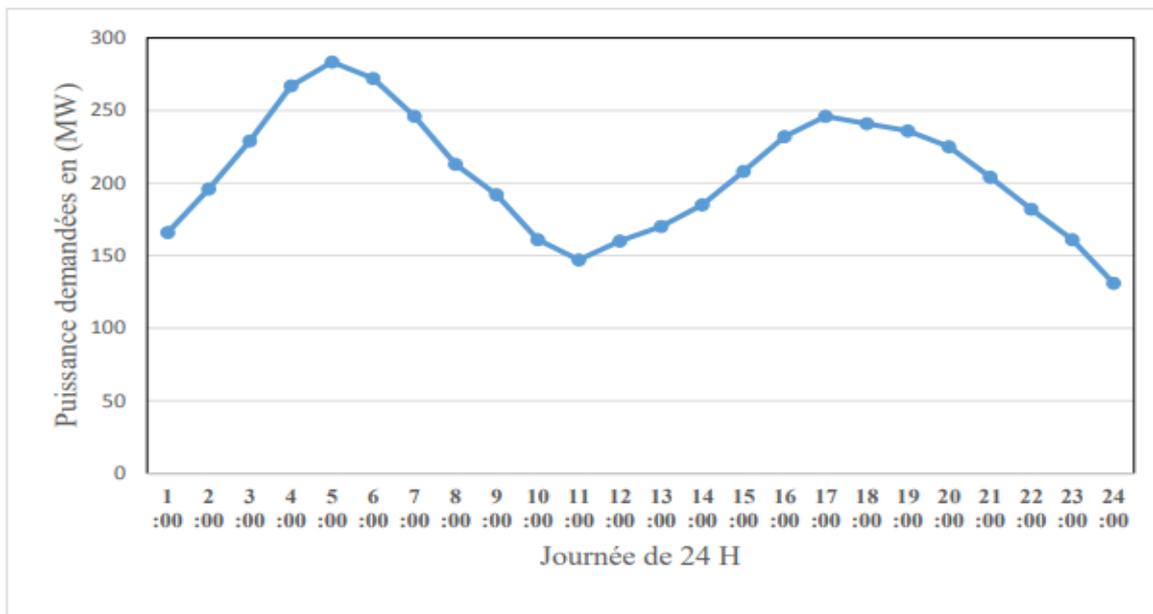


Figure 3.2 : courbe de charge de la consommation journalière [29].

Interprétation de la courbe de charge

La courbe représente deux pointes de consommation : une pointe de jour à 5:00 du matin et une autre pointe de soir à 17:00, cela suite à l'éclairage des maisons.

Cette figure montre aussi un creux de nuit à 24:00, une faible consommation ce qui explique la consommation de puissance par l'éclairage public et l'industrie en permanence ainsi qu'un deuxième creux de jour à 11:00 suite à la diminution de l'utilisation domestique d'électricité seulement dans les lieux de travail.

Enfin, il est remarquable que cette fluctuation est due au habitudes des consommateurs.

Les données du système sont représentées sur le tableau (3.1) : [29]

Chapitre 3 : Résultats et discussions

<i>Nombre des unités</i>	<i>ai (\$/MW²)</i>	<i>bi (\$/MW)</i>	<i>ci (\$)</i>	<i>P min (MW)</i>	<i>P max (MW)</i>
1	0.00375	2	0	50	200
2	0.0175	1.75	0	20	80
3	0.0625	1	0	15	50
4	0.00834	3.25	0	10	35
5	0.025	3	0	10	30
6	0.025	3	0	12	40

Tableau 3.1 : Données du réseau.

Les coefficients de pertes sont les suivants :

$$\mathbf{Bi0} = \mathbf{B00} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{Bij} = 10^{-4} * [2.2 \ 1.1 \ -0.1 \ -0.1 \ 0.1 \ 0.4$$

$$\begin{matrix} 1.1 \ 1.6 \ 0 \ -0.1 \ 0 \ 0.3 \\ 0.1 \ 0 \ 2.4 \ -1 \ -1 \ -0.7 \\ -0.1 \ -0.1 \ -1 \ 1.9 \ 0.7 \ 0.4 \\ 0.1 \ 0 \ -1 \ 0.7 \ 1.6 \ 0 \\ 0.4 \ 0.3 \ -0.7 \ 0.4 \ 0 \ 2.6] \end{matrix}$$

Avec validation de la méthode SA ; les puissances générées ont été calculer ainsi que les pertes de transmissions (PL) et les fonctions réduites de cout de chaque unité. Les résultats de simulation sont présentés sur le tableau (3.2).

Chapitre 3 : Résultats et discussions

L'heure du jour	Demande Totale PD (MW)	Les puissances délivrées (MW)						PL (MW)	Cout totale (\$/MW)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6		
01:00	166	93.2100	28.5587	15.0000	10.0000	10.0000	12.0000	2.7687	417.7477
02:00	196	117.4638	34.2879	16.5174	10.0000	10.0000	12.0000	4.2692	506.2502
03:00	229	144.0845	40.6397	18.5747	10	10	12	6.2990	611.6153
04:00	267	167.6251	46.3421	20.4857	18.2058	10.7707	12.0001	8.4295	742.7603
05:00	283.4	175.9032	48.366	21.1878	22.8608	12.351	12	9.2688	801.2849
06:00	272	170.1546	46.9581	20.7014	19.6146	11.2521	12	8.6808	760.6101
07:00	246	156.3501	43.6022	19.5477	11.8677	10	12	7.3677	669.2187
08:00	213	131.1483	37.549	17.5653	10	10	12	5.2626	559.4637
09:00	192	114.2504	33.5257	16.2752	10	10	12	4.0513	494.0539
10:00	161	88.9751	27.5656	15	10	10	12	2.5407	403.6713
11:00	147	77.1613	24.7964	15	10	10	12	1.9578	365.3002
12:00	160	88.121	27.3751	15	10	10	12	2.4962	400.8796
13:00	170	96.604	29.3545	15.0002	10	10	12	2.9587	429.1513
14:00	185	108.6372	32.1962	15.8512	10	10	12	3.6847	473.0051
15:00	208	127.1204	36.5777	17.2607	10	10	12	4.9588	543.5795
16:00	232	146.5028	41.2343	18.7669	10	10	12	6.504	621.62
17:00	246	156.3394	43.6067	19.5493	11.8717	10	12	7.3671	669.2187
18:00	241	153.559	42.9286	19.3217	10.3092	10	12	7.1186	652.0659
19:00	236	149.7519	42.0137	19.0181	10	10	12	6.7837	635.0716
20:00	225	140.8347	39.8739	18.3216	10	10	12	6.0303	598.3874
21:00	204	123.9031	35.8091	17.0107	10	10	12	4.7229	531.0124
22:00	182	106.2371	31.6291	15.6672	10	10	12	3.5334	464.0984
23:00	161	88.9751	27.5656	15	10	10	12	2.5407	403.6713
00:00	131	63.7143	21.6759	15	10	10	12	1.3904	323.3036

Tableau 3.2 : Résultats de simulation avec considération de pertes.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

Interprétation

- Il se voit clairement d'après les résultats de simulation que :

$$\sum_{i=1}^{24} PG_i = P_L + P_D$$

Avec : $P_D = 4953.4$ MW (la charge total)

$P_L = 120.9856$ MW (les pertes totales) donc : $P_{Gt} = 5074.3856$ MW

- Le deuxième point, on remarque que les pertes de transmission augmentent avec l'augmentation de la valeur de la charge, alors pour la valeur de pointe ($P_D = 283.4$ MW / $P_L = 9,2688$ MW) les pertes sont élevées par contre pour une faible demande ($P_D = 131$ MW / $P_L = 1.3904$ MW) les pertes diminuent.
- Enfin d'après les résultats du tableau précédent, pour une faible consommation, le cout de production devient minime il augmente en augmentant la demande de la charge ($P_D = 131$ MW / $F = 323,3036$ (\$) /MW) et pour ($P_D = 283,4$ MW / $F = 801,7849$ (\$) /MW)
- Les résultats obtenus au moyen du SA sont acceptables et vérifient les principales règles du dispatching économique de puissance.

Comparaison avec des autres programmes

- Pour une puissance demandée de 131 MW, les résultats des puissances actives, les pertes de transmission et du cout total sont indiqué sous forme de résultats dans le tableau 3.4.

Ce dernier affiche les solutions optimales des méthodes suivantes :

- **SA:** Simulated Annealing. (Recuit Simulé)
- **PSO:** Particle swarm optimisation.
- **GA:** Genetics algorithms.

	SA	PSO[30]	GA[31]
P1(MW)	63.7143	63.7189	63.7158
P2(MW)	21.6759	21.6799	21.6745
P3(MW)	15	15	15
P4(MW)	10	10	10
P5(MW)	10	10	10
P6(MW)	12	12	12
PL(MW)	1.3904	1.3906	1.3903
Cout de fuel (\$/h)	323.3036	324.09	323.9836

Tableau 3.3 : Solutions optimales.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

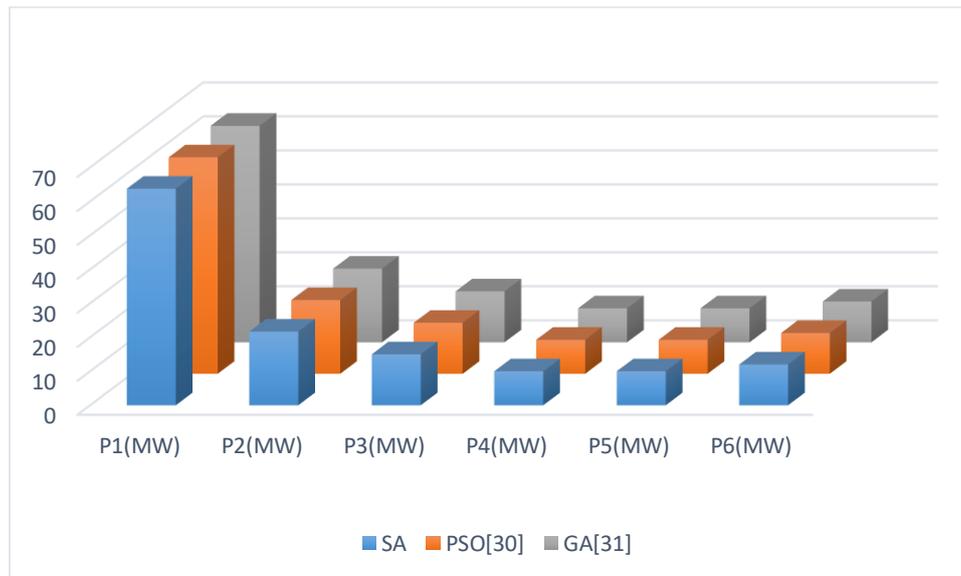
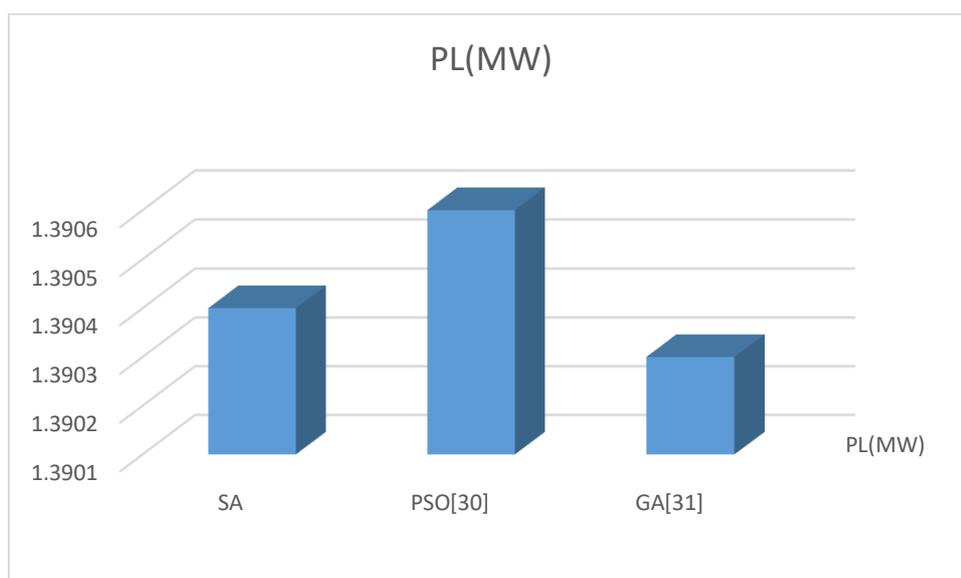


Figure 3.3 : Les puissances délivrées par SA et PSO et GA.

Interprétation

- ✓ Il y a une convergence entre les résultats des puissances délivrées trouvées, le coût de production et les pertes de transmission pour les deux méthodes.
- ✓ L'optimisation du coût de productions est meilleure lors de l'application de **SA** par rapport à **PSO** et **GA**. **323.3036 (\$/h)** pour **SA** et autour **324.09 (\$/h)** et **323.9836** pour **PSO** et **GA**.
- ✓ Les pertes de transmission sont les plus faibles lors de l'application de **PSO** par rapport à **SA** et **GA**.



Chapitre 3 : Résultats et discussions

Figure 3.4 : P_L obtenus par SA et PSO et GA.

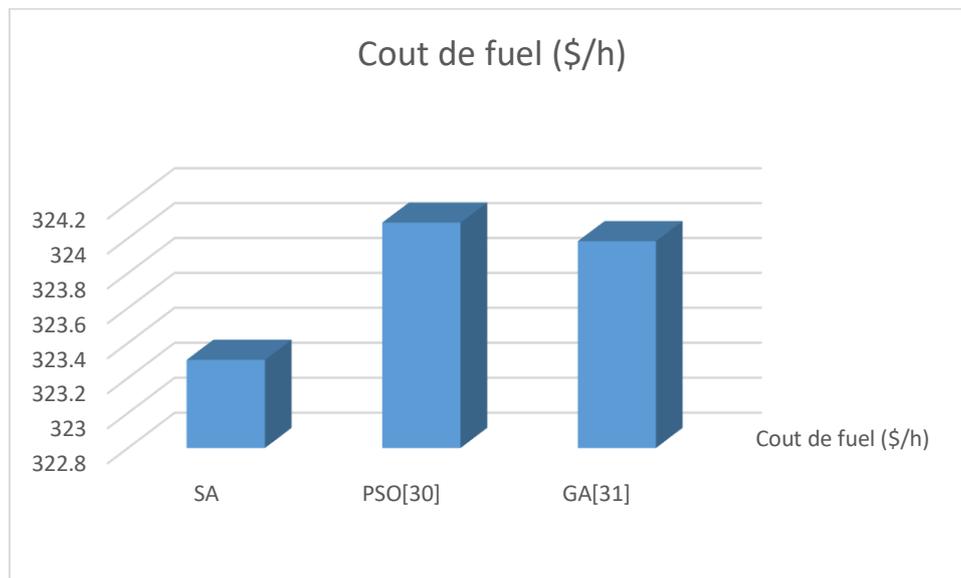


Figure 3.5 : Cout obtenus par SA et PSO et GA.

- Pour une puissance demandée de 283.4 MW, les résultats des puissances actives, les pertes de transmission et du cout total sont indiqué sous forme de résultats dans le tableau 3.3.

Ce dernier affiche les solutions optimales des méthodes suivantes :

SA: Simulated Annealing. (Recuit Simulé)

PSO: Particle swarm optimisation.

GA: Genetics algorithms.

	SA	PSO[30]	GA[31]
P1(MW)	175.9032	175.09	175.902
P2(MW)	48.366	48.3667	48.3653
P3(MW)	21.1878	21.1856	21.1883
P4(MW)	22.8608	22.8647	22.8617
P5(MW)	12.351	12.3591	12.3514
P6(MW)	12	12	12
PL(MW)	9.2688	9.26	9.2689
Cout de fuel (\$/h)	801.2849	801.47	801.7849

Tableau 3.4 : Solutions optimales.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

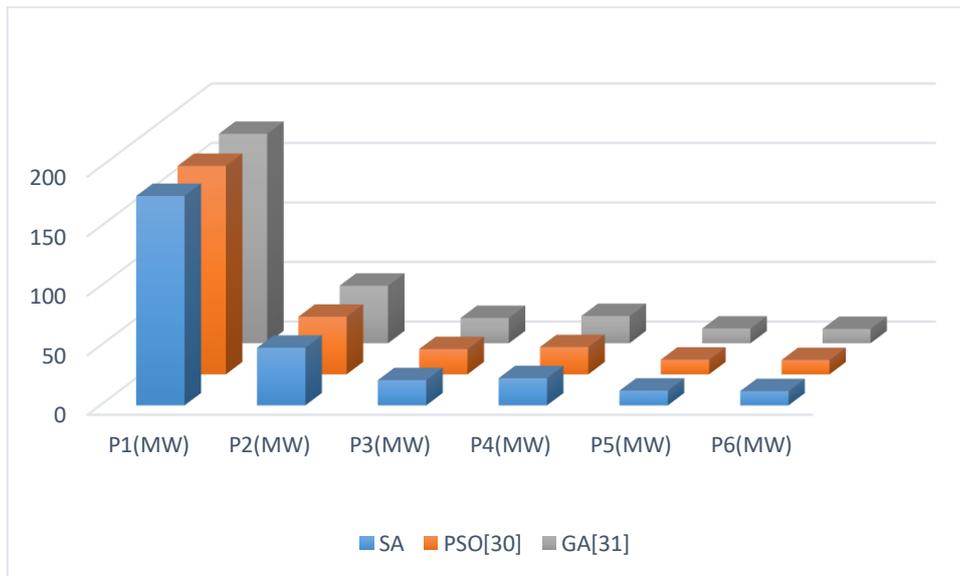


Figure 3.6 : Les puissances délivrées (MW) par SA et PSO et GA.

Interprétation

- ✓ Il y a une convergence entre les résultats des puissances délivrées trouvées, le cout de production et les pertes de transmission pour les trois méthodes.
- ✓ L'optimisation du cout de productions est meilleure lors de l'application de **SA** par rapport à **PSO** et **GA**. **801.2849** (\$/h) pour **SA** et autour **801.47** (\$/h) et **801.7849** pour **PSO** et **GA**.
- ✓ Les pertes de transmission sont les plus faible lors de l'application de **SA** par rapport à **PSO** et **GA**.

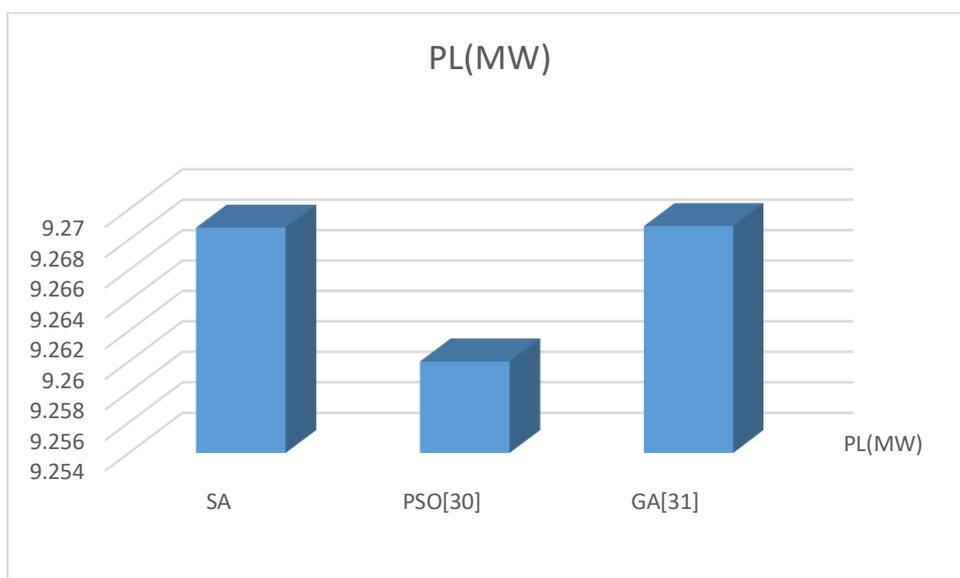


Figure 3.7 : P_L obtenus par SA et PSO et GA.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

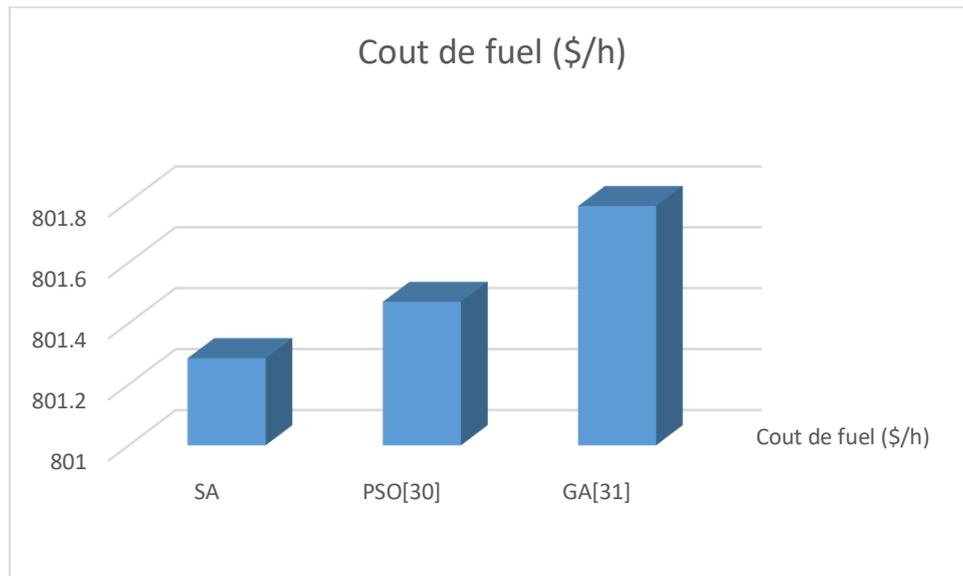


Figure 3.8 : Cout obtenus par SA et PSO et GA.

3.3 Conclusion

Ce chapitre est consacré pour étudier et manipuler les résultats obtenus en appliquant la méthode SA qui a donné de bonne résultats lors de son application à la résolution du problème de répartition économique de puissance et cela avec considération de pertes de transmission et même lors du dispatching dynamique, une comparaison par rapport aux autres méthodes de PSO et GA pour vérifier la capacité et la fiabilité de notre méthode SA.

Conclusion générale

Le dispatching économique de puissance occupe à présent une place déterminante dans la stratégie concurrentielle de l'entreprise de production de l'énergie électrique, ce qui on a poussé à mener notre travail de mémoire sur l'étude du problème de la répartition économique de puissance.

On a cité les différentes techniques et manières de production d'électricité pour montrer les différentes phases de transfert d'énergie primaire à une énergie propre qui est l'électricité, on se basant sur la production qui s'appuie sur la consommation d'une matière première naturelle fossile ; (gaz, pétrole, charbon) cela nous a conduit à l'étude du problème de dispatching économique de puissance pour faire minimiser le cout de combustible en satisfaisant la demande de consommation.

Plusieurs méthodes d'optimisation ont été définies tels que les méthodes classiques (méthodes des couts marginaux, itération lambda et recuit simulé) et les méthodes méta-heuristiques (algorithme génétique, réseaux neurones, colonies d'abeilles artificielle et optimisation à essaims de particules).

On a choisi dans ce travail l'application de la méthode recuit simulé à cause de ses avantages prédits par les chercheurs car il représente un équilibre entre l'exploration de l'espace de recherche et l'exploitation des meilleures solutions.

Sa comparaison avec la méthode d'Optimisation par essaim de particule et l'algorithme génétique a montré que cette méthode est concurrentielle à d'autres méthodes ce qui nécessite son amélioration et son évolution.

Enfin on conclure que la méthode SA est fiable et donne des résultats satisfaisants sur lesquelles nous pouvons compter.

Comme travail d'avenir je souhaite d'appliquer le recuit simulé pour résoudre des problèmes plus complexe (multi-objective) en tenant compte plusieurs contraintes afin de développer un algorithme d'optimisation généralise pour la gestion optimale des réseaux électriques.

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1

Figure 1.1 : Les différentes structures de réseau électrique	5
Figure 1.2 : structure générale d'un réseau électrique	6
Figure 1.3 : Modèle du générateur	9
Figure 1.4 : Modélisation d'une ligne électrique.....	10
Figure 1.5 : Modèle d'un transformateur	12
Figure 1.6 : Modèle d'une charge	13
Figure 1.7 : Modèles des éléments shunt : <i>a) symbole, b) élément capacitif, c) élément inductif</i>	14

Chapitre 2

Figure 2.1 : Organigramme de l'algorithme recuit simulé.....	28
---	----

Chapitre 3

Figure3.1 : Schéma du réseau IEEE 30 jeux de barre.....	31
Figure3.2 : courbe de charge de la consommation journalière	32
Figure3.3 : Les puissances délivrées (MW) par SA et PSO et GA.....	36
Figure3.4 : P_L obtenus par SA et PSO et GA	36
Figure 3.5 : Cout obtenus par SA et PSO et GA	37
Figure 3.6 : Les puissances délivrées par SA et PSO et GA.	38
Figure 3.7 : P_L obtenus par SA et PSO et GA	38
Figure 3.8 : Cout obtenus par SA et PSO et GA	39

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 2

Tableau 2.1 : L'analogie vers le recuit physique.....27

Chapitre 3

Tableau 3.1: données de réseau33

Tableau3.2: Résultats de simulation avec considération de pertes.....34

Tableau3.3 : *Solutions optimales* de réseau.....35

Tableau3.4 : Solutions optimales.....37

Références et bibliographié

- [1] **Arnaud VERGNOL**. « Intégration dans le réseau électrique et le marché de l'électricité de production décentralisée d'origine renouvelable (Gestion de congestion°) » Thèse Doctorat. 2010
- [2] **Egor GLADKIKH**. « Optimisation de l'architecture des réseaux de distribution de l'énergie électrique » Thèse Doctorat. 2006
- [3] **Narimen AOUZELLAG**. « Contribution à l'Amélioration de la Flexibilité dans les Réseaux Electriques liée à l'Intégration des Générateurs Eoliens » Thèse Doctorat. 2011
- [4] **Sellé TOURÉT**. « Optimisation des réseaux « réseau actif et flexible » Thèse Doctorat.2014
- [5] **Yahiaoui Merzoug**, << Contrôle optimal des puissances réactives et des tensions dans un réseau d'énergie électrique par dispositifs FACTS >>, Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat Es-science-d 'Oran Mohamed Boudiaf, Algérie, avril2014
- [6] **Mr Menad MOUZAIA, Mr Sofiane IDIRI**, << Etude de la variation de tension pour le raccordement d'une production décentralisée dans un réseau de distribution >>, Mémoire de Fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique, U-A. MIRABejaia, Algérie, juin2013
- [7] **N. Mancer**, << Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS) >>, mémoire de magister 2012, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [8] **B. H. Choudhary and S. Rahman**, "A review of recent advances in economic dispatch," IEEE Trans Power Sys., Vol. 5, No. 4, pp. 1248-1259, 1990.
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **N. Mezhoud, A. Boukadoum, S. Leulmi, F. Boukhenoufa**, << Conference Paper: September 2010, U- 20 Août 1955 – Skikda, Algérie, this page was uploaded by Nabil Mezhoudon 18 February 2016.

- [12] **M. Sasson**, "Non linear Programming Solutions for load flow, minimum loss, and economic dispatching problems", IEEE trans. vol. Pas-88, No. 4, pp. 399- 409, April 1969.
- [13] **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.
- [14] **D. P. Kothari and J. S. Dhillon**, "Power System Optimization", Second Edition-PHI Learning Private Limited- 2011.
- [15] **K. Abdul-Rahman, M. Shahidehpour, M. Aganagic, S. Mokhtari**, "A Practical Resource Scheduling with OPF Constraints," IEEE Trans. Power Syst., Vol. 11, No. 1, pp. 254–259, Feb. 1996.
- [16] **G.P. Granelli; P. Marannino; M. Montagna; A. Silvestri**, Fast and efficient gradient projection algorithm for dynamic generation dispatching, IEE Proceedings C - Generation, Transmission and Distribution, Vol. 136, Issue: 5, Sept. 1989.
- [17] **A. ZAOUI, W. REGOUTA**, " Répartition optimal des puissances dans un réseau électrique par l'intelligence artificielle ", Mémoire de Fin D'étude, Université EchahidHamma Lakhdar d'El Oued, Juin 2021.
- [18] **Draidi Abd Allah** « Réparation économique de l'énergie électrique utilisant les techniques d'intelligence artificielle ». Thèse de magister, département d'électrotechnique université de Constantine ,2010.
- [19] **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.
- [20] **M. Sasson**, "Non linear Programming Solutions for load flow, minimum loss, and economic dispatching problems," IEEE trans., Vol. Pas-88, N.4, April 1969.
- [21] **S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi**. "Optimization by Simulated Annealing". Science, Vol. 220, 4598, pp. 671–680, 1983.
- [22] **V. Cerny**. "Thermodynamical Approach to the Travelling Salesman Problem: An Efficient Simulation Algorithm". Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 45, pp. 41–51, 1985.
- [23] **J. P. Courat, G. Raynaud, I. Mrad, and P. Siarry**. "Electronic component model minimization based on Log Simulated Annealing". pp. 790–795, 1994.

- [24] **R. Azencott.** Simulated Annealing: Parallelization Techniques. WileyInterscience, 1992.
- [25] **F. Glover.** "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence". Computers and Operations Research, Vol. 13, pp. 533–549, 1986.
- [26] **Harbadji.w,** "optimisation de l'écoulement de puissance environnemental par la méthode de l'algorithme Génétique," Université de Sétif Mémoire ingénieur, 2010.
- [27] **S. ARIF,** Différentes Techniques de Planification de l'Energie Réactive dans les Réseaux Electriques, Thèse de doctorat, école nationale polytechnique, Alger, 2008.
- [28] **Aut. Autin Baptiste,** « Les méta heuristiques en optimisation combinatoire », [Rapport] : Mémoire de fin d'études
[/https://reussirlem1info.files.wordpress.com/2013/02/recuitsimulc3a9.docx/](https://reussirlem1info.files.wordpress.com/2013/02/recuitsimulc3a9.docx/) Conservatoire National Des Arts et Métiers. - PARIS : [s.n.], 2006.
- [29] Contents lists available at Science Direct, Electrical Power and Energy Systems, journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijepes, multi-objective dynamic economic and emission dispatch with demand side management.
- [30] **Bouhini Soraya** « Etude du problème de la répartition économique de puissance avec l'algorithme d'Optimisation à Essaims de particules (PSO) ». Thèse de master, département d'électrotechnique Université DJILALI BOUNAAMA KHEMIS MILIANA, 2018.
- [31] **OULD NAGI Ahmed,** "Optimisation de l'écoulement de puissance par algorithmes AG et PSO-TVAC », Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2014.

Liste des abréviations et acronymes

OPF	Optimisation de l'écoulement de puissance.
JDB	Jeu de barres.
P_i, Q_i	Puissance active et réactive triphasée injectée au nœud i .
P_{Gi}, Q_{Gi}	Puissance active et réactive de génération triphasée injectée au nœud i .
P_{Di}, Q_{Di}	Puissance active et réactive demandée au jeu de barres i .
S_{ij}	La puissance apparente complexe triphasée injectée au nœud ij .
V_i	Tension complexe au nœud i .
δ_i	Déphasage de la tension au nœud i .
\bar{V}_S, \bar{I}_S	Tension et courant à la source respectivement.
\bar{V}_R, \bar{I}_R	Tension et courant de charge respectivement.
A, B, C et D	Les paramètres constantes de la ligne de transmission.
\bar{Z}	Impédance de la ligne.
R, X	Résistance et réactance de la ligne respectivement.
\bar{Y}	Admittance shunt de la ligne.
I_{BUS}	Vecteur des courants complexes injectés à chaque jeu de barres.
V_{bus}	Vecteur des tensions complexes des jeux de barres.
Y_{bus}	Matrice admittance nodale.
h	Contrainte d'égalités.
g	Contrainte d'inégalités.
X	Le vecteur des variables d'état.
U	Le vecteur des variables de contrôle.
F	Fonction objective.
a_i, b_i et c_i	Coefficient du coût.
d_i, e_i	Coefficients de réglage
f_i	Fonction du coût.
F_2	Fonction de perte.
ΔP_i	Différence (écarts) entre P_i calculée et P_i spécifiée.

Liste des abréviations et acronymes

G_{ij}	Conductance entre le JDB i et JDB j .
B_{ij}	Susceptance entre le JDB i et JDB j .
Y_{ij} et θ_{ij}	Module et argument de l'élément ime de la matrice admittance.
V_{max} et V_{min}	Limites max et min de la tension au nœud i
S_{max} et S_{min}	Limites max et min de la puissance apparente injectée au nœud i .
P_{Gi}^{min} et P_{Gi}^{max}	Limites min. et max de puissance active du générateur i .
V_{Gi}^{min} et V_{Gi}^{max}	Limites minimale et maximale sur la variable tension.
T_i^{min} et T_i^{max}	Limites minimale et maximale sur la variable du rapport de transformation.
P_{slack}	La puissance active de jeu de barre de référence.
P_{G2}, \dots, P_{GN_G}	Puissances actives générées sauf celle du jeu de barres de référence.
V_{G1}, \dots, V_{GN_G}	Les tensions de tous les jeux de barres générateurs.
T_1, \dots, T_{N_T}	Les prises des transformateurs variables.
N_G	Nombre total de générateur.
N_T	Nombre total de transformateur.
N	Nombre total de bus dans le réseau.
y_{ij}	Module d'un élément de la matrice admittance du réseau.
SA	Recuit simulé.
PSO	Optimisation par essaim de particule.
GA	Algorithme génétique.