

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

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

جامعة سعد دحلب البلدة 1
Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الآلية والكهروتقني
Département d'Automatique et électrotechnique



Mémoire de Master

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Machines électriques

Présenté par

Zouak Salim

&

Amalou Nadhir

Thème

Contribution à l'étude de dispatching
économique de la puissance dans un réseau
électrique

Proposé par : Dr. Naas KHERFANE

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement envers **Allah** tout puissant pour la volonté, la patience qu'il m'a donnée durant toutes les années d'études.

Tout d'abord je tiens à exprimer ma profonde gratitude et reconnaissance envers mon encadreur **Dr. NAAS KHERFANE** pour le temps qu'il a consacré à mon travail, pour ses : conseils, réflexions intelligentes, encouragements et pour le soutien qui ont grandement facilité ce travail.

Nous adressons nos vifs remerciements au président du jury ainsi qu'aux examinateurs qui ont accepté de juger ce travail.

D avoir accepter d'honorer par leur présences ma soutenance de master.

Je remercie mes frères, sœurs et mes amis et toute autre personne qui m'a aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Je remercie également tous mes collègues pour leurs soutiens moraux durant cette année de préparation de ce mémoire.

Dédicaces

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

Je dédie ce travail à mes parents, que Dieu leur fasse miséricorde.

Je le dédie à ma belle-mère qui était comme un père et une mère à la fois.

Je le dédie à mes sœurs et frères.

A tout ma chère famille.

A tous mes amies avec lesquelles j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur.

SALIM

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

Je dédie ce travail à mes parents, pour leurs patiences et leurs sacrifices.

Je le dédie à mes sœurs et frères.

A toute ma chère famille.

A tous mes amies avec lesquelles j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur.

NADHIR

ملخص: ساهم تطوير برامج تكنولوجيا المعلومات والتحكم في ابتكار الشبكات الكهربائية، فنحن نتحدث الآن عن الشبكات الذكية. يرتبط هذا التطور بالضرورة بالعديد من التحديات: الطاقة، الاقتصادية، ... إلخ. إدخال تقنيات الذكاء الاصطناعي في برامج القيادة والقرار هو عنصر أساسي في البحث والتطوير في شبكات الغد.

الشغل الرئيسي لتشغيل شبكة الكهرباء هو تلبية الطلب في جميع الاوقات والحفاظ على التوازن بين الانتاج والاستهلاك مع الحفاظ على جودة الخدمة من ناحية ومن ناحية أخرى لتقليل تكاليف الاستغلال.

في حالة عدم وجود إمكانية تخزين الطاقة على نطاق واسع، من الضروري الحفاظ في جميع الأوقات على التوازن بين الإنتاج والاستهلاك مع تقليل تكلفة وحدات الإنتاج وتسمى هذه العملية بالإرسال الاقتصادي.

يعرف هذا المشكل تحسنا ملحوظ من سنة الى أخرى عن طريق تطور خوارزميات الذكاء الاصطناعي.

في هذه المذكرة، سندرس الإرسال الاقتصادي مع الضياعات لشبكة (تحت ماتلاب) باستخدام طريقة الخوارزميات الجينية عن طريق المعامل B_{mn} (مرصوفة) لتحسين التقارب نحو الحل الأمثل.

كلمات المفاتيح: التكلفة، الخوارزميات الجينية، التوزيع الاقتصادي.

Résumé : Le développement de l'informatique et les logiciels de commande a contribué à l'innovation des réseaux électriques, on parle aujourd'hui des réseaux intelligents. Ce développement est forcément lié à plusieurs contrariétés : énergétiques, économiques, etc.

L'introduction des techniques de l'intelligence artificielle dans les logiciels de commande est un élément essentiel dans la recherche et dans le développement des réseaux de demain.

En l'absence de possibilité de stockage de l'énergie à grande échelle, il est indispensable de maintenir à tout instant l'équilibre entre la production et la consommation avec minimisation du cout des unités de production, ce processus de gestion optimale est appelé dispatching économique.

Ce problème connait d'une année à l'autre des améliorations en fonction du développement des algorithmes d'intelligence artificielle.

Dans ce mémoire, on va étudier le dispatching économique avec pertes d'un réseau (sous environnement Matlab) en utilisant la méthode des algorithmes génétiques avec le coefficient B_{mn} (matrice) pour améliorer la convergence vers la solution optimale.

Mots clés : Dispatching économique, Cout, Les Algorithmes génétiques.

Abstract: The development of computer software has contributed to the innovation of power systems to become smart grids. This development is necessarily linked to several concerns: energetic, economic, etc. The introduction of techniques of artificial intelligence in software of control and decision is an essential element in research and development of tomorrow's

networks. Neural networks are among the techniques most used in the field of artificial intelligence.

In the absence of the possibility of large-scale energy storage, it is essential to maintain at all times between production and consumption with minimization of the cost of production units, this process of optimal management is called economic dispatching.

This problem is improving from year to year according to the development artificial intelligence algorithms.

In this brief, we will study the economic dispatching with losses of a network (Under MATLAB) using genetic algorithms method with the coefficient \mathbf{B}_{mn} (**matrix**) to improve convergence towards the optimal solution.

Keywords: Cost, Economic Dispatch, Genetics Algorithms.

Listes Des Abréviations

ED : Economic Dispatch

a_i , b_i et c_i : Coefficients de la fonction objective

- **NG** : nombre de générateurs ou (unités)
- **ND** : nombre des nœuds.
- **\$/MWh** : unité de fonction coût (Dollar par mégawat heure)
- **F(P_{Gi})** : coût de production des puissances générées
- **P_{Gi}** : Puissance active générée par unité de générateur i
- **P_{Gi} Max** : puissance active maximale générée
- **P_{Gi} min** : puissance active minimale générée
- **P_{Di}** : Puissance demandée par une charge i
- **PL** : les pertes totales de transmission
- **B_{ij}** : les coefficients des Pertes
- **B00** : Facteur constant
- **B0i** : facteur linéaire variable
- **ϵ** : erreur
- **GA** : Algorithme génétique
- **PSO** : Particle Swarm Optimisation
- **CIHSA**: Chaotic Improved Harmony Search Algorithm.
- **ALO**: Ant Lion Optimisation.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Liste Des Abréviations

Sommaire

Liste Des Figures

Listes Des Tableaux

Introduction Générale

Chapitre 1

Généralités sur les réseaux électriques

Introduction.....	1
1.1 Définition du réseau électrique	1
1.2 Système électrique	2
1.2.1 La production.....	2
a. Les centrales à combustion fossile.....	4
b. Les centrales à vapeur.....	4
c. Les centrales à fission nucléaire.....	5
d. Les centrales à énergie renouvelable	6
1.2.2 Le transport :.....	8
1.2.3 La distribution :.....	8
1.2.4 La consommation :.....	9
Conclusion	10

Chapitre 2

Le Dispatching économique et les Algorithmes génétiques

Introduction.....	11
2.1 Dispatching économique	11
2.1.1 Définition du dispatching économique	11
2.1.2 L'objectif du dispatching économique	11
2.1.3 Unit commitment	11
2.1.4 La fonction coût	11
a. Minimisation des coûts de génération	13
b. Pertes de transmission	13
2.1.5 Définition des contraintes	14
1.5.1 Contraintes d'égalités	14
1.5.2 Contraintes d'inégalités	15
2.1.6 Méthode de résolution du dispatching économique.....	15
a. Dispatching économique sans pertes.....	15
b. Dispatching économique avec des pertes constantes	15
2.2 Les Algorithmes Génétiques	16
2.2.1 Définition.....	16
2.2.2 Historique :	16
2.2.3 Présentation.....	17
2.2.4 Principe des algorithmes génétiques	18
2.2.5 Le but de ces algorithmes génétiques.....	19
2.2.6 Processus d'un Algorithme Génétique	19
2.2.7 Domaine d'application des algorithmes génétiques.....	25
2.2.8 Les avantages et les inconvénients des algorithmes génétiques.....	26
2.2.9 Organigramme de l'algorithme génétique	25
Conclusion	26

Chapitre 3

Simulations et Résultats

Introduction :	27
3 Simulation :	27
3.1 Exemple 01	27
3.1.1 Comparaison avec des autres Méthodes	28
3.1.2 Comparaison des résultats avec différentes puissances demandées	30
3.2 Exemple 02	31
3.2.1 Comparaison avec des autres méthodes	32
3.2.2 Comparaison des résultats avec différentes puissances demandées	34

3.3	Exemple 03	35
3.3.1	Comparaison avec des autres méthodes	37
	Conclusion :	39
	Conclusion Générale	
	Références et bibliographies	

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1

Figure 1.1 : Schéma bloc d'un réseau électrique	2
Figure 1.2 : Turbine Pelton et turbine à vapeur	2
Figure 1.3 : Alternateur	3
Figure 1.4 : Principe de fonctionnement d'une centrale à turbine à gaz.....	4
Figure 1.5 : Principe de fonctionnement d'une centrale thermique à vapeur	5
Figure 1.6 : Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire	6
Figure 1.7 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.....	7
Figure 1.8 : Installation photovoltaïque.....	7
Figure 1.9 : Une installation éolienne	8

Chapitre 2

Figure 2.1 : Caractéristique du coût de production d'un générateur thermique.....	12
Figure 2.2 : Vue d'ensemble d'un algorithme génétique.....	18
Figure 2.3 : Les quatre niveaux d'organisation des AG	19
Figure 2.4 : Illustration du codage des variables d'optimisation	20
Figure 2.5 : Le codage réel et le codage binaire	21
Figure 2.6 : Principe de la sélection à la roulette.....	22
Figure 2.7 : Représentation d'une sélection par tournoi d'individus	22
Figure 2.8 : Croisement en seul point.....	23
Figure 2.9 : Croisement en multipoints	23
Figure 2.10 : Le croisement uniforme	24
Figure 2.11 : Représentation d'une mutation de bits dans une chaîne	24
Figure 2.12 : Organigramme de l'Algorithme Génétique	26

Chapitre 3

Figure3.1 : Puissance générées optimales obtenus par GA, ALO et CSA.....	29
Figure3.2 : PLOSS obtenus par ALO, CSA et GA	29
Figure3.3 : Cout total obtenus par ALO, CSA et GA.....	30
Figure 3.4 : Puissance générées optimales obtenus par GA, ALO et PSO.....	33
Figure 3.5 : PLOSS obtenus par GA, ALO et PSO	34
Figure 3.6 : Cout total obtenus par GA, ALO et PSO	34
Figure 3.7 : Puissance générées optimales obtenus par GA, SA et PSO.....	38
Figure 3.8 : PLOSS obtenus par GA, SA et PSO	38
Figure 3.9 : Cout total obtenus par GA, SA et PSO.....	39

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 3

Tableau 3.1: donnes de réseau 1.....	27
Tableau3.2 : Les puissances et le cout avec pertes.....	28
Tableau3.3 : Solutions optimales (réseau 1).....	28
Tableau3.4 : Comparaison des pertes par des méthodes différentes (FFA, ALO, SA,CM et CSA, GA).....	30
Tableau3.5 : Comparaison de coût de fuel par d'autres méthodes (FFA, ALO, SA, CM et CSA, GA).....	30
Tableau 3.6 : Données du (réseau 2)	31
Tableau 3.7 : Les puissances et le cout avec pertes.....	32
Tableau 3.8 : Solutions optimales (réseau 2).....	32
Tableau 3.9 : Comparaison des pertes par des différentes méthodes (GA, CM, PSO,FFA, ALO).....	34
Tableau 3.10 : Comparaison de coût de fuel par d'autres méthodes (GA, CM, PSO,FFA, ALO).....	35
Tableau 3.11 : Données du (réseau 3).....	36
Tableau 3.12 : Les puissances et le cout avec pertes.....	37
Tableau 3.13: Solutions optimales (réseau.3).....	37

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Le réseau électrique a été construit et dimensionné pour transporter l'énergie électrique produite par les centres de production jusqu'aux centres de consommation les plus éloignés. Ainsi, les transits de puissances circulent de l'amont depuis les productions d'énergie électrique de type grosses centrales thermiques, hydraulique ou nucléaire, vers l'aval représenté par les consommateurs. Le « système » réseau électrique met donc en œuvre des milliers de kilomètres de ligne, des milliers de poste de transformation, ainsi que de nombreux organes de coupure et d'automates de réglage, etc. dimensionnés pour assurer le bon fonctionnement de la fourniture d'énergie électrique [1].

Les termes « Dispatching Optimal », « Dispatching de génération Optimal », « Dispatching Economique Optimal », « Répartition de puissance Optimal », et « Répartition de charge Optimal » sont essentiellement des synonymes basés sur un type de calcul de répartition dans lesquels quelques quantités sont minimisées, pendant l'horaire dérogation, le terme général « Dispatching Economique » est rapporté à la formulation dans lesquelles les coûts d'investissement sont minimisés. [2].

L'objectif de base d'un dispatching économique est la génération et l'exploitation à coût minimal de l'énergie électrique en satisfaisant toute la demande avec toutes les contraintes de système. D'après la synthèse bibliographique, nous avons constaté que Plusieurs méthodes classiques et modernes ont été utilisées pour résoudre le problème du dispatching économique de l'énergie électrique. Actuellement il existe une nouvelle approche qui est l'application de l'intelligence artificielle, parmi laquelle on trouve les algorithmes génétique (AG). [3]

Il y a deux éléments de base qui s'ajoutent au problème de dispatching économique de puissance uni nodale. Le premier, la modélisation du réseau électrique (Network Constraint Model) et le deuxième est le développement d'une formule pour le calcul et l'assignation des pertes de transmission.

Le problème du Dispatching Economique (DE) est l'un des principales contrariétés pour le fonctionnement des réseaux électriques. Essentiellement, c'est un problème d'optimisation dont l'objectif est de réduire le coût total de génération de l'énergie électrique des différentes unités de production en satisfaisant les contraintes de fonctionnement Pour surmonter tous ces problèmes, on fait recours aux méthodes méta heuristiques. Ce travail

s'articule sur l'application des Algorithmes Génétiques (AG). Les algorithmes génétiques font partie de la famille des algorithmes évolutionnaires [4].

Ils s'inspirent de l'évolution naturelle des espèces. Avec ce type de méthodes, il ne s'agit pas de trouver une solution analytique exacte mais de trouver une bonne solution satisfaisante dans un temps de calcul raisonnable. La première description du processus des algorithmes génétiques a été donnée par John Holland en 1975, puis Goldberg (1989) les a utilisés pour résoudre des problèmes concrets d'optimisation. [5]

Dans ce travail, nous prescrivons aborder les problèmes des réseaux électriques et étudier les causes de ces problèmes, à savoir les pertes de lignes électriques et le coût de production d'énergie, et essayer de rechercher des résultats permettant de réduire les pertes de lignes électriques et les coûts de production. Les calculs et les résultats sont obtenus sous MATLAB.

Dans le premier chapitre, Nous avons mentionné des généralités sur les réseaux électriques.

Dans le deuxième, nous avons présenté une petite vue sur le dispatching économique, Ensuite, On a parlé sur la définition et l'historique et principe de l'Algorithmes Génétiques (AG), puis Quelques termes de base de l'algorithme génétique (Population, Individu, Chromosome, Gène, Fitness) ainsi que les étapes de l'algorithme génétique (population initiale, Evaluation, fitness, Sélection, Croisement, Mutation).

Le troisième chapitre est basé sur l'application en détail de la méthode des algorithmes génétiques.

CHAPITRE 01 :

**Généralités sur les réseaux
électriques**

Introduction :

Le réseau électrique est défini par l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie des centres de production, vers les consommateurs.

Sachant que l'électricité n'est pas stockable, Ainsi on doit produire à chaque instant l'énergie nécessaire à la consommation, en revanche, elle présente l'avantage d'être facile à transporter à de grande distance par simples fils conducteur. Il faut cependant noter que ce transport est assez couteux par les installations qu'il exige ainsi que par les pertes d'énergie dans les lignes.

Dans ce chapitre nous avons commencé par définir le réseau électrique, Ensuite nous avons défini les types de centrales électriques, car elles constituent la chose la plus importante dans le domaine de l'électricité, à partir de laquelle la production commence et atteint les consommateurs, puis la protection des réseaux électriques.

1.1 Définition du réseau électrique

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis les centrales de génération jusqu' aux maisons de campagne les plus éloignées.

Les réseaux électriques sont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines...).

L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur voire figure **1.1**.

Une distribution électrique, importante et complète comprend les diverses parties suivantes :

Les usines de production de l'énergie électrique ou centrales électriques.

Un réseau de lignes de transport à (très) haute tension.

Des postes de transformation, d'interconnexion, de répartition.

Des réseaux de lignes de distribution en moyenne tension.

Des postes de transformation (cabines), associés à des lignes d'utilisation à basse tension. [6]

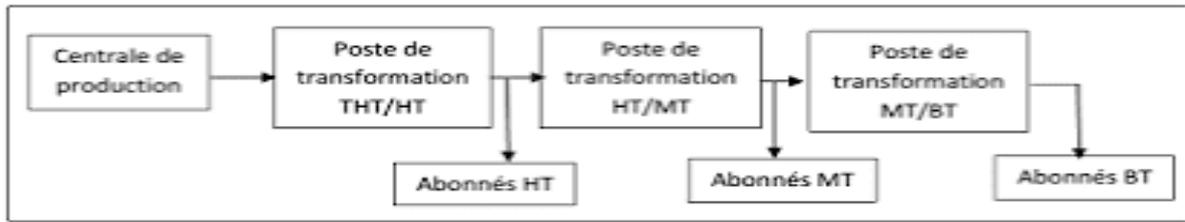


Figure 1.1 : Schéma simplifié d'un réseau électrique.

1.2 Système électrique

De façon général un système électrique est toujours composé de quatre parties :

1.2.1 La production

La production consiste à utiliser des énergies diverses de manière à entrainer des alternateurs qui souvent, produisent des tensions et des courants électriques.

Deux éléments de base qui constituent la majorité des centrales électriques sont :

- **Turbine :**

C'est un moyen qui convertit l'énergie d'un courant d'eau, de vapeur ou de gaz en énergie mécanique. Dans le domaine de la production on peut donner à titre d'exemple voire figure 1.2.

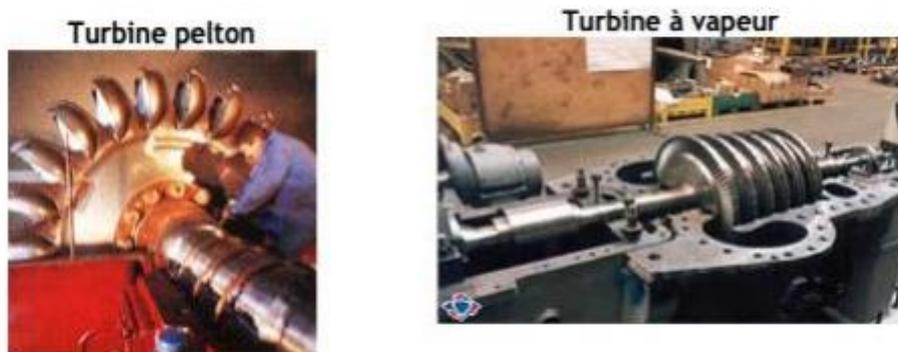


Figure 1.2 : Turbine Pelton et Turbine à vapeur.

- **Alternateur :**

C'est l'organe qui transforme l'énergie de la rotation en une énergie électrique : l'alternateur fournit une ligne tri filaire (signal triphasé) dont les tensions sont des sinusoïdes déphasées de 120° et dont la valeur efficace est de 20kV. Voir figure 1.3 :



Figure 1.3 : Alternateur.

Les différentes centrales électriques sont :

- Les centrales à combustion fossile
- Les centrales à vapeur
- Les centrales à fission nucléaire
- Les centrales à énergie renouvelables

a. Les centrales à combustion fossile :

Dans ce type de centrale, la chaleur est produite par la combustion d'un combustible (pétrole, charbon, gaz), on mentionne le type de centrales qui fonctionne avec le gaz naturel.

Gaz naturel : Les turbines à gaz fonctionnent de façon similaire aux turbines à vapeur sauf que les gaz de combustion sont utilisés pour activer les aubes de turbine au lieu de la vapeur. Outre l'alternateur, la turbine commande également un compresseur tournant pour comprimer l'air, qui est ensuite mélangé aux combustibles gazeux ou liquides dans une chambre de combustion. Plus la compression est importante, plus la température et le rendement atteint dans une turbine à gaz sont élevés. Les gaz d'échappement de la turbine sont émis à l'atmosphère.

Contrairement à la turbine à vapeur, la turbine à gaz ne dispose pas de chaudières ou d'alimentation en vapeur, de condenseurs ou d'un système d'élimination de la chaleur perdue.

Les coûts d'investissement sont donc beaucoup plus faibles pour une turbine à gaz que pour une turbine à vapeur. Dans les applications de production électrique, les turbines à gaz sont généralement utilisées lors des pointes de charge, lorsqu'un démarrage rapide et des périodes courtes de fonctionnement sont nécessaires. [7] Voir figure 1.4.

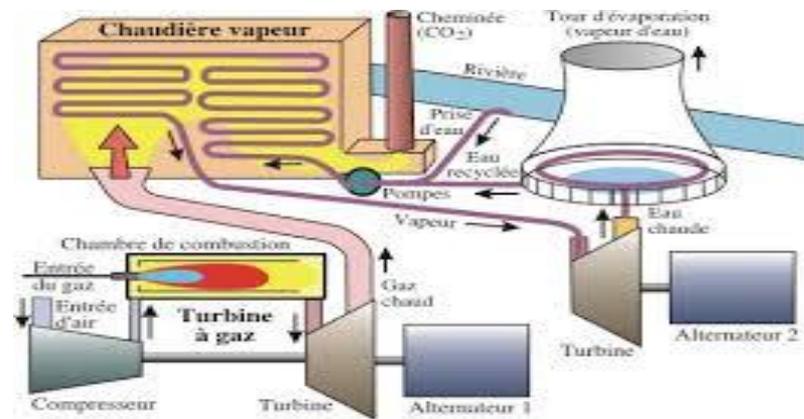


Figure 1.4 : Principe de fonctionnement d'une centrale à turbine à gaz.

b. Les centrales à vapeur :

Une centrale thermique comprend une ou plusieurs unités thermiques. Chaque unité se compose principalement d'une chaudière ou d'un générateur de vapeur, d'une turbine et d'un turboalternateur.

Le principe de fonctionnement d'une unité thermique se résume comme suit : Le combustible, charbon, fioul ou gaz, est brûlé dans une chaudière. La chaleur dégagée transforme l'eau en vapeur. La turbine est alors alimentée de la chaudière par la vapeur et la pression. La turbine à vapeur transforme l'énergie cinétique d'un flux de vapeur d'eau en énergie mécanique, entraînant le turboalternateur couplé à cette turbine qui génère ainsi l'électricité. La vapeur redevient ensuite eau en traversant le condenseur, puis repart pour un nouveau cycle vers la chaudière. [8] Voir figure 1.5.

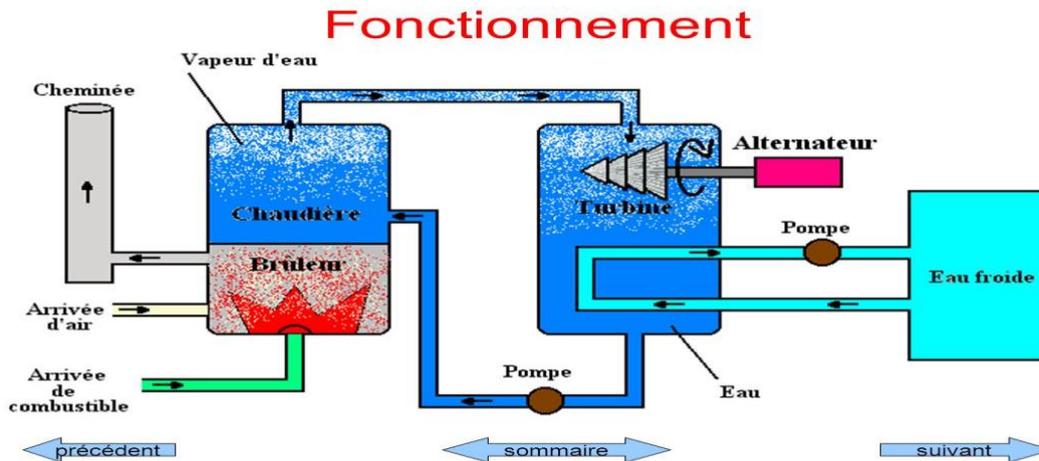


Figure 1.5: Principe de fonctionnement d'une centrale thermique à vapeur.

c. Les centrales à fission nucléaire :

La réaction de fission d'un noyau s'accompagne d'un grand dégagement d'énergie. Les deux produits de fission emportent une grande partie de cette énergie sous forme cinétique : ils sont éjectés avec une grande vitesse (8000 km/s). Ils se frayent un chemin parmi les autres atomes en les "bousculant" car ils constituent de gros projectiles. Au cours de ces chocs, ils perdent rapidement leur vitesse (et donc leur énergie) en échauffant la matière environnante et s'arrêtent dans la masse d'uranium. Leur énergie de départ se trouve finalement transformée en chaleur : localement, la température de l'uranium augmente. Le principe d'un réacteur nucléaire consiste à récupérer cette chaleur pour la transformer en électricité. [9]. Voir figure 1.6.

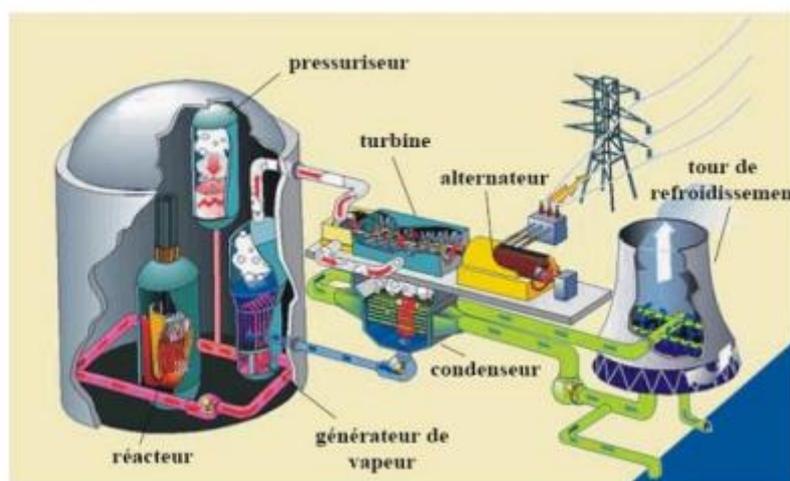


Figure 1.6: Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire.

d. Les centrales à énergie renouvelable :

Dans les centrales à énergies renouvelables, la production d'électricité est basée sur la conversion de l'énergie issue du vent, du soleil, des vagues de la mer en énergie électrique.

- La conversion de l'énergie due au l'eau est assurée par les centrales hydrauliques ;
- La conversion de l'énergie due au vent est assurée par les éoliennes ;
- La conversion de l'énergie due au soleil est assurée par les panneaux solaires photovoltaïques ;

➤ **Les centrales hydrauliques :**

C'est une unité de production d'électricité dans laquelle le flux crée par l'eau amenée par écoulement libre (canaux) ou par des conduites en charge (conduites forcées) actionne la rotation des turboalternateurs, avant de retourner à la rivière. C'est une forme d'énergie renouvelable, propre et non polluante. Il existe de petites centrales hydroélectriques qui transforment l'énergie sauvage d'une chute d'eau en énergie mécanique grâce à une turbine, puis en énergie électrique grâce à un générateur [10]. Voir figure 1.7.

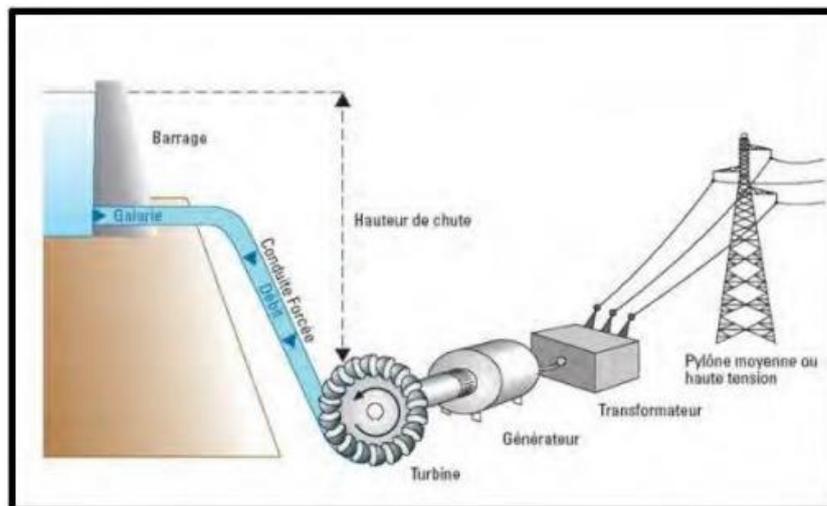


Figure 1.7: Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.

➤ **Les centrales photovoltaïques :**

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé

pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque qui a une caractéristique courant-tension non linéaire présentant un point de puissance maximale [11]. Voir figure 1.8.



Figure 1.8: Installation photovoltaïque.

➤ Les centrales éoliennes :

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice [12]. Voir figure 1.9.

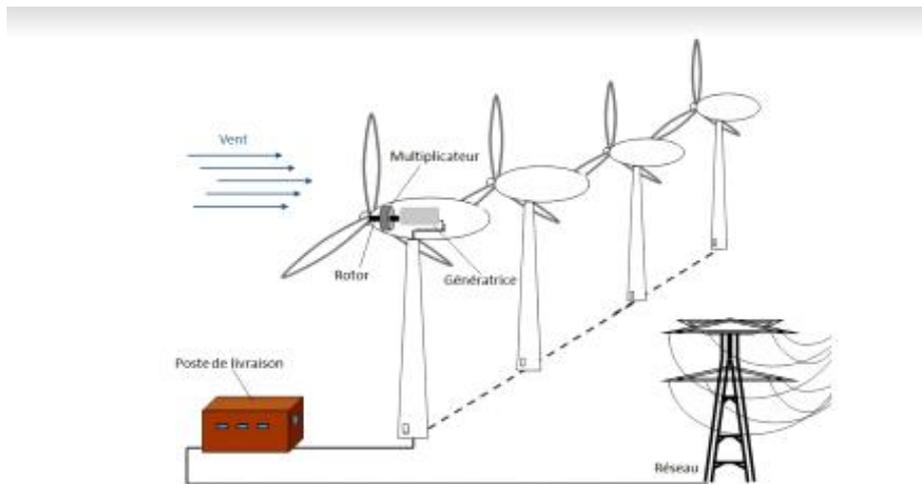


Figure 1.10: Une installation éolienne.

1.2 Le transport :

Un alternateur produit la puissance électrique sous moyenne tension (12 à 15 kV), et elle est injectée dans le réseau de transport à travers des postes de transformation pour être

transmise sous haute ou très haute tension afin de réduire les pertes dans les lignes. Le niveau de la tension de transport varie selon les distances et les puissances transportées, plus les distances sont grandes plus la tension doit être élevée, la même chose pour la puissance. Par exemple, le réseau de transport en Algérie utilise une tension de 220 kV (voir 400 kV pour certaines lignes dans le sud notamment), le réseau européen utilise 400 kV, et le réseau nord-américain 735 kV. [13]

1.3 La distribution :

D'une façon générale la distribution est assurée en moyenne (MT) et basse tension (BT), et même en haute tension pour les clients HT. La distribution est adaptée selon le type de consommation que ce soit des très grandes usines qui peuvent être alimentées carrément du réseau haute tension selon la puissance maximale demandée PMD (le cas du barrage Beni Haroun en Algérie alimenté par le réseau 60 KV, sa PMD est de 100 MW) ou des immeubles d'habitats, des écoles ... exc.) en basse tension (en Algérie 220 à 380 V) [14].

Les niveaux de tension alternative sont définis comme suit :

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

1.4 La consommation :

C'est le point d'arrivée dans un réseau électrique, La consommation d'électricité correspond à un appel de puissance active sur le réseau pour une période de temps bien déterminée ; cela correspond à une consommation d'énergie. L'électricité est consommée par des différents types de consommateurs (résidentiels, commerciaux et industriels). La consommation d'électricité se caractérise par :

- ses fortes fluctuations.
- la difficulté de la prévoir de manière exacte.

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 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 :

**Le dispatching économique
Et les algorithmes genetiques**

2 Introduction

Le but de dispatching économique est la génération et l'exploitation à coût minimal de l'énergie électrique en satisfaisant toute la demande avec toutes les contraintes de système. D'après la synthèse bibliographique, nous avons constaté que Plusieurs méthodes classiques et modernes ont été utilisées pour résoudre le problème du dispatching économique de l'énergie électrique. Actuellement il existe une nouvelle approche qui est l'application de l'intelligence artificielle, parmi laquelle on trouve les algorithmes génétique (AG).

2.1 Dispatching économique

2.1.1 Définition du dispatching économique

Le dispatching économique est un problème d'optimisation statique qui consiste à répartir la production de la puissance active demandée entre les différentes centrales du réseau, 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. Les générateurs à combustibles distincts possèdent différents coûts pour fournir le même montant d'énergie électrique.

2.1.2 L'objectif du dispatching économique

Le but principal de dispatching économique est de résoudre le problème économique de production de l'énergie électrique, c'est-à-dire de minimiser le cout total du combustible nécessaire pour cette production qui se présente sous forme d'une fonction non linéaire, en tenant compte de certaines contraintes de type égalité et de type inégalité [15].

2.1.3 Unit commitment

Le « Unit commitment » ou 'la planification de l'opération des unités de production 'Est le processus de décider quand et quelle unité de génération doit fonctionner ou pas, donc on doit programmer les générateurs ('on' ou 'off') pour répondre aux charges nécessaires à un coût minimum soumis aux pertes du réseau [16].

2.1.4 La fonction coût

C'est la fonction objective dont on veut optimiser, ou le coût de production reflète principalement le coût du combustible utilise, et d'autres coût d'exploitation et de maintenance de la centrale [17].

Le coût de production d'une centrale est généralement modélisé par une fonction polynomiale du second degré en P_G (puissance active générée par la centrale) dont les coefficients sont des constantes propres à chaque centrale :

La fonction cout est polynomiale du second ordre en termes de P_{Gi} sous la forme suivante :

$$FT = \sum_{i=1}^{Ng} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) \quad (2.1)$$

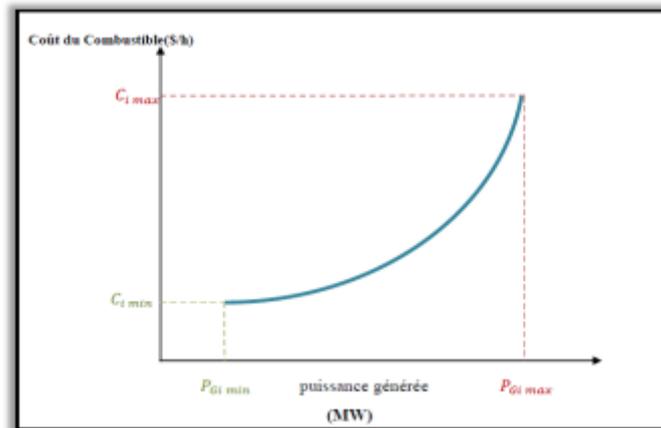


Figure 2.1 : Caractéristique du coût de production d'un générateur thermique.

D'où :

a_i , b_i et c_i sont des constantes propres à chaque centrale.

La constante a_i est normalement appelée coût de marche à vide et représente le coût pour tenir démarrée une unité de génération à production nulle.

P_{Gi} : puissance active générée par unité de génération (i).

$FT(P_{Gi})$: la 1 fonction de cout de la centrale (i).

Ng : nombre des générateurs

Ce coût dépend normalement de l'état de l'unité de production au moment de l'appel à démarrer (démarrage à froid ou à chaud) et le temps de démarrage (pointe ou creux). Les contraintes techniques sont aussi importantes pour l'exploitation. Généralement, l'unité de production ne peut fonctionner de manière stable qu'à partir d'un niveau de production minimal (capacité minimale de production) et jusqu'à un niveau maximal de production (capacité maximale de production).

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 :

$$\text{Min (FT)} = \text{Min} \left(\sum_{i=1}^{Ng} \mathbf{F}_i (\mathbf{P}_{Gi}) \right) \quad \text{avec : } \mathbf{F} = \sum_{i=1}^{Ng} \mathbf{F}_i (\mathbf{P}_{Gi}) \quad (2.2)$$

(Ng) : Le nombre des générateurs.

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.

$$PL = \sum_{i=1}^{Ng} \sum_{j=1}^{Ng} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{Ng} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (2.3)$$

B_{ij} , B_{0i} et B_{00} : sont les coefficients de perte ou B-coefficients.

B_{0i} : facteur linéaire variable.

B_{00} : 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} .

2.1.5 Définition des contraintes

Les puissances actives générées optimales correspondant à une fonction objectif minimal, doivent obligatoirement respecter les contraintes de type égalité et inégalité. Les contraintes de sécurité expriment qu'en cas de perte d'un ou plusieurs ouvrages de production et/ou de transport, le réseau continu à fonctionner dans des limites admissibles [18].

1.5.1 Contraintes d'égalités

Le choix optimal des puissances générées doit obéir à l'équilibre statique de l'énergie dans le système électrique. Ces contraintes sont représentées par des équations non-linéaires de l'écoulement puissance.

On peut dire que les contraintes d'égalités vérifient la loi de Kirchhoff, bilans d'énergie [18].

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 [19].

$$\sum_{i=1}^{ND} P_{Gi} = \sum P_{Di} \quad (2.4)$$

b) Cas d'un système avec pertes

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 [20].

Avec :

$$\sum_{i=1}^{Ng} P_{Gi} - P_D - P_L = 0 \quad (2.5)$$

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.

1.5.2 Contraintes d'inégalités

On les appelle aussi les contraintes de sécurité, directement liées aux limites associées aux centrales électriques.

$$P_{Gi}^m \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^M \quad (2.6)$$

D'où

P_{GiM} : la puissance active maximale que génère le générateur (i).

P_{Gim} : la puissance active minimale que génère le générateur (i).

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

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

- 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...).

2.1.6 Méthode de résolution du dispatching économique

a. Dispatching économique sans pertes

Le dispatching économique statique sans perte est plus simple, seules les puissances actives générées par les centrales influencent sur le coût de production, la résolution est faite pour un instant précis.

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

- La méthode de Kuhn-Tucker et la méthode de Gradient utilise le gradient.
- 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 [21].

b. Dispatching économique avec des pertes constantes

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 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 [17]

2.2 Les Algorithmes Génétiques

2.2.1 Définition

Les Algorithmes Génétiques (AG) sont des algorithmes de recherche globale qui appartiennent à la classe des algorithmes évolutionnaire, dont le but est d'optimiser une fonction définie par l'utilisateur (le critère, la fonction de coût ou la fonction de profit), appelée fonction d'adéquation (traduction du mot anglais fitness). Ces algorithmes sont basés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique, ils combinent une stratégie de « survie des individus les plus forts » avec un échange d'information aléatoire mais structuré. Pour un

problème pour lequel une solution est inconnue, un ensemble de solutions possibles est créé aléatoirement, on appelle cet ensemble la population [22].

La génération d'une nouvelle population à partir de la précédente s'effectue en trois étapes [23] :

- Evaluation : l'Algorithme Génétique évalue la fonction d'adéquation f_i de chaque individu i de l'ancienne population.
- Sélection : l'Algorithme Génétique sélectionne les individus sur la base de leur fonction d'adéquation.
- Reproduction avec croisement et mutation : l'Algorithme Génétique recombine les individus sélectionnés au moyen d'opérateurs génétiques tels que la mutation et le croisement.

2.2.2 Historique :

Les Algorithmes Génétiques, initiés dans les années 1970 par John Holland, sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : croisement, mutation, sélection. Les premiers travaux sur les algorithmes génétiques ont été initialement développés par John Holland (1975). Qui a développé les principes fondamentaux des algorithmes génétiques dans le cadre de l'optimisation mathématique [24].

A cette époque, l'informatique n'avait pas encore connu de développement et ses travaux n'ont pas pu être appliqués sur des problèmes réels de grande taille.

La parution en 1989 de l'ouvrage de référence écrit par D.E Goldberg. Qui décrit l'utilisation de ces algorithmes dans le cadre de résolution de problèmes concrets, a permis de mieux faire connaître ces derniers dans la communauté scientifique et a marqué le début d'un nouvel intérêt pour cette technique d'optimisation, notamment après la parution de puissants calculateurs dans les années 90.

Actuellement c'est l'une des méthodes les plus diffusées et les plus utilisées dans la résolution des problèmes d'optimisations dans de nombreux domaines d'applications [24].

2.2.3 Présentation

Les techniques de recherche et d'optimisation sont en général classées en trois catégories [25]. Énumératives, déterministes et stochastiques.

L'efficacité de l'algorithme génétique va donc dépendre du choix du codage d'un chromosome [22].

L'algorithme génétique recherche le ou les extrema d'une fonction définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants [26] :

- * Le codage de l'élément de population.

- * La fonction de performance pour calculer l'adaptation de chaque individu de la population.

- * Le croisement des individus d'une population pour obtenir la population de la génération suivante.

- * L'opération de mutation des individus d'une population afin d'éviter une convergence prématurée.

- * Les paramètres de réglage ou de dimensionnement : taille de la population, probabilité de croisement et de mutation, critère d'arrêt.

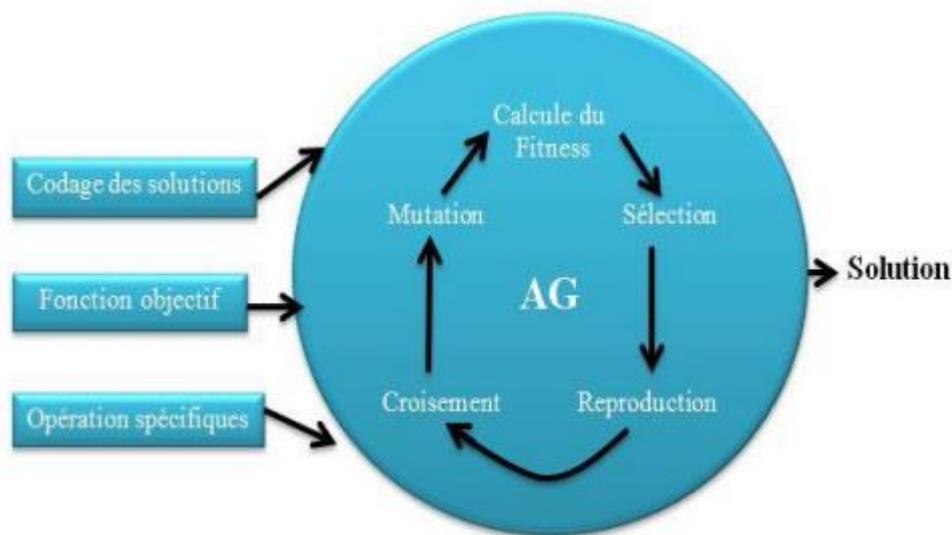


Figure 2.2: vue d'ensemble d'un algorithme génétique.

2.2.4 Principe des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques (AG) se sont des techniques de recherche et d'optimisation stochastiques qui se base à la science de génétique ainsi que les mécanismes de la sélection naturelle et de l'évolution. Ils appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes, On peut dire que l'algorithme génétique est une méthode de programmation qui repose sur le principe de l'évolution pour effectuer la recherche d'une solution adéquate à un problème.

Le vocabulaire employé est directement reproduit sur celui de la théorie de l'évolution et de la génétique. Nous parlerons donc d'individus (solutions potentielles), de population, de gènes (variables), de chromosomes, de parents, de descendants, de reproductions, de croisements, de mutations, etc... [27].

Quelque terme de base de l'algorithme génétique :

* **Population** : ensemble fini d'individus (de solution).

* **Individu** : solution potentielle du problème ou expression des chromosomes.

* **Chromosome** : solution potentielle du problème sous une forme codée (forme de Chaîne de caractères) ou ensemble des gènes.

* **Gène** : partie élémentaire (caractère) non divisible d'un chromosome.

* **Fitness** : terme qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu.

On peut dire que Chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène, toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène, on doit trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique (établir une bijection entre l'allèle "réel" et sa représentation codée). Un chromosome est une suite des gènes, Chaque individu est représenté par un ensemble de chromosomes, et une population est un ensemble d'individus. On aboutit ainsi à une structure présentant quatre niveaux d'organisation voire figure 2.3.

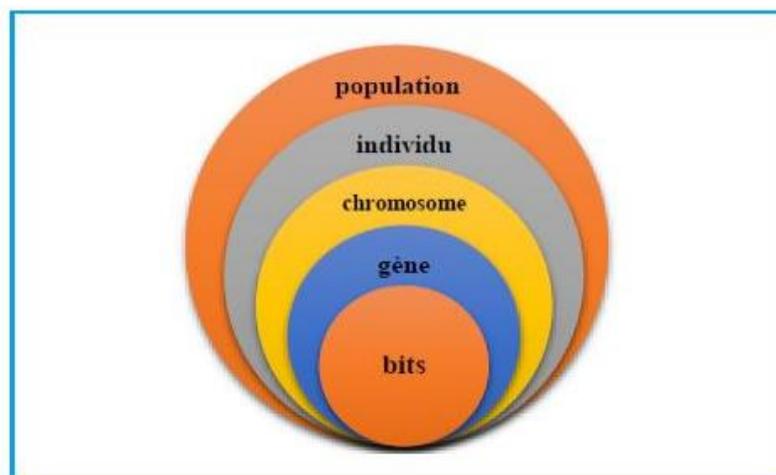


Figure 2.3: Les quatre niveaux d'organisation des AG.

2.2.5 Le but de ces 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](#), lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte (ou que la solution est inconnue) pour le résoudre en un temps raisonnable. Les algorithmes génétiques utilisent la notion de [sélection naturelle](#) et l'appliquent à une population de solutions potentielles au problème donné. La solution est approchée par « bonds » successifs, comme dans une procédure de séparation et évaluation, à ceci près que ce sont des formules qui sont recherchées et non plus directement des valeurs. [28]

2.2.6 Processus d'un Algorithme Génétique [28]

Un Algorithme Génétique (AG) est un processus itératif de recherche exploratoire dont les étapes sont les suivantes :

- a) Initialisation de la population initiale P_0 (population de génération 0).
- b) Évaluation des chromosomes de la population P_i
- c) Sélection des meilleurs chromosomes de P_i qui vont constituer les « procréateurs » de la génération P_{i+1} .
- d) Croisement deux-à-deux des chromosomes sélectionnés pour générer de nouveaux individus, les « descendants ».
- e) Mutation opérée aléatoirement sur un chromosome également choisi au hasard pour apporter de la diversité dans le patrimoine génétique de la population.
- f) Remplacement et génération de la nouvelle population P_{i+1} .
- g) Répéter le processus à partir de 2 tant que le critère d'arrêt n'est pas satisfait (i.e. génération N terminale non atteinte, solution optimale non trouvée...)

a. Codage [23]

Le rôle du codage est double : d'une part, la transformation du problème d'optimisation original en un problème combinatoire puisque les Algorithmes Génétiques sont essentiellement des méthodes de recherche combinatoire indépendantes du problème, et d'autre part, le passage d'une représentation haut-niveau à une représentation bas-niveau plus puissante (au niveau de la recherche des logos et de l'auto-organisation) et plus indépendante du problème ; c'est ensuite sur la représentation bas-niveau que des opérateurs tout à fait généraux vont pouvoir agir pour faire évoluer le système [23] .

Pour utiliser les AG, la première chose à se demander est : « comment décrire un individu ? ». C'est-à-dire comment les paramètres peuvent se coder ?

Il y a plusieurs types de codage : **binaire, réel, codage de gray et codage dynamique** Mais les plus intéressants sont le binaire et le réel.

➤ **LE CODAGE BINAIRE**

Le codage binaire est représenté sous forme d'une chaîne de bits qui contient toute l'information nécessaire pour représenter un point de l'espace de recherche.

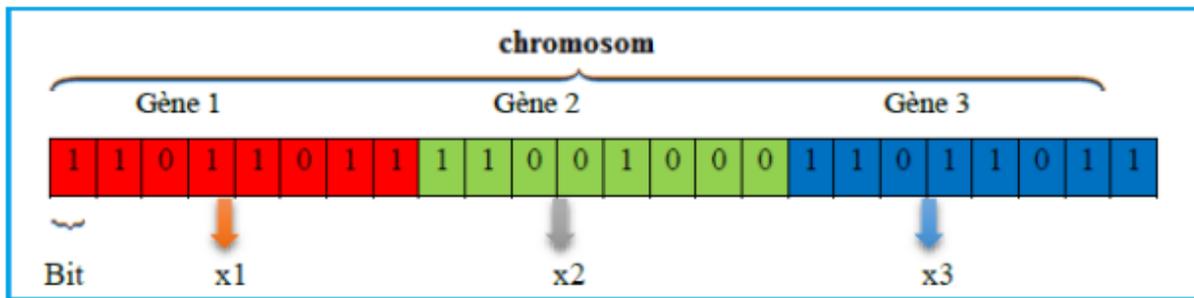


Figure 2.4: Illustration du codage des variables d'optimisation.

➤ **LE CODAGE REEL**

Il a le mérite d'être simple. Chaque chromosome est en fait un vecteur dont les composantes sont les paramètres du processus d'optimisation. Par exemple, si on recherche l'optimum d'une fonction de n variables $f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ on peut utiliser tout simplement un chromosome ch. contenant les n variables :

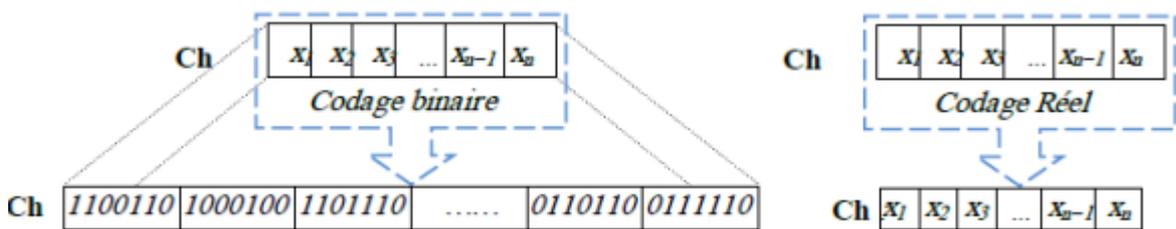


Figure 2.5 : Le codage réel et le codage binaire.

b. Génération de la population initiale

Le choix de la population initiale d'individus conditionne fortement la rapidité de l'algorithme. Si la position de l'optimum dans l'espace d'état est totalement inconnue, il est

naturel d'engendrer aléatoirement des individus en faisant des tirages uniformes dans chacun des domaines associés aux composantes de l'espace d'état, en veillant à ce que les individus produits respectent les contraintes [29].

c. Evaluation : fitness

Premièrement on génère une population de taille aléatoire avec un codage approprié généralement binaire. Chaque individu (chromosome) désigne par une chaîne de bit codée, qui représente des gènes qui sont les variables de la fonction coût (...). Chaque bit est représenté avec deux valeurs 0 ou 1 appelée allèle. Cette opération est inspirée à la fois de la théorie d'évolution des espèces : les individus ayant une meilleure adaptation (fitness) ont plus de la chance de recopier dans la deuxième génération, autrement dit les individus les plus forts survivent avec une probabilité croissante [30].

d. Sélection

Il existe plusieurs méthodes de sélection. Nous ne citons que deux des plus connus :

- **Sélection à la roulette** : c'est la méthode la plus connue des sélections stochastiques. Elle consiste à copier les individus proportionnellement à leur performance. Pratiquement, on procède à un tirage sur une roulette représentée par la figure (2.6). [31]

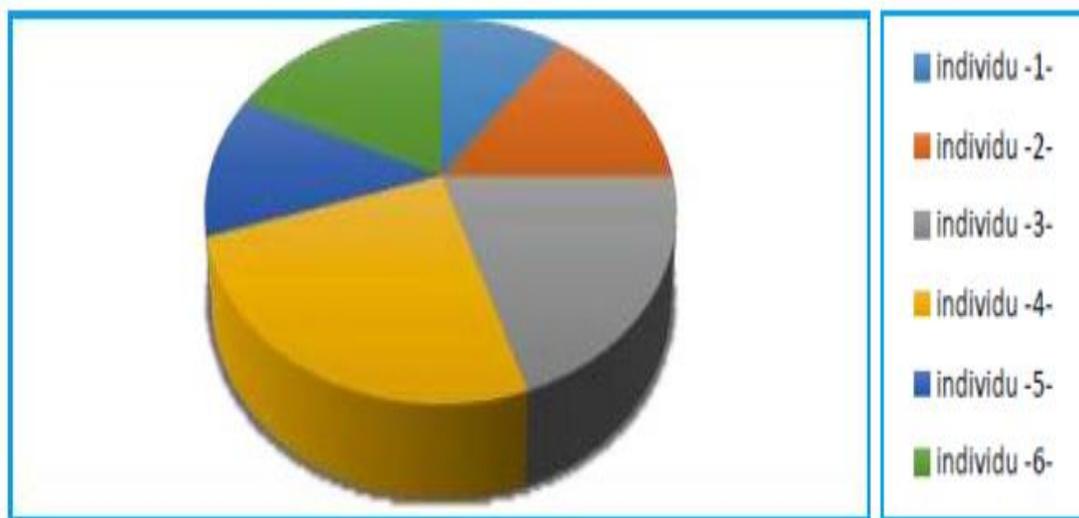


Figure 2.6 : Principe de la sélection à la roulette.

- **Sélection par tournoi** : cette méthode qui utilise des comparaisons entre individus, au même titre que la sélection par rang, ne nécessite en revanche aucun tri de la population.

Le principe consiste à choisir uniformément T individus et à sélectionner le meilleur de ces T individus représentée par la figure (2.7). [31]

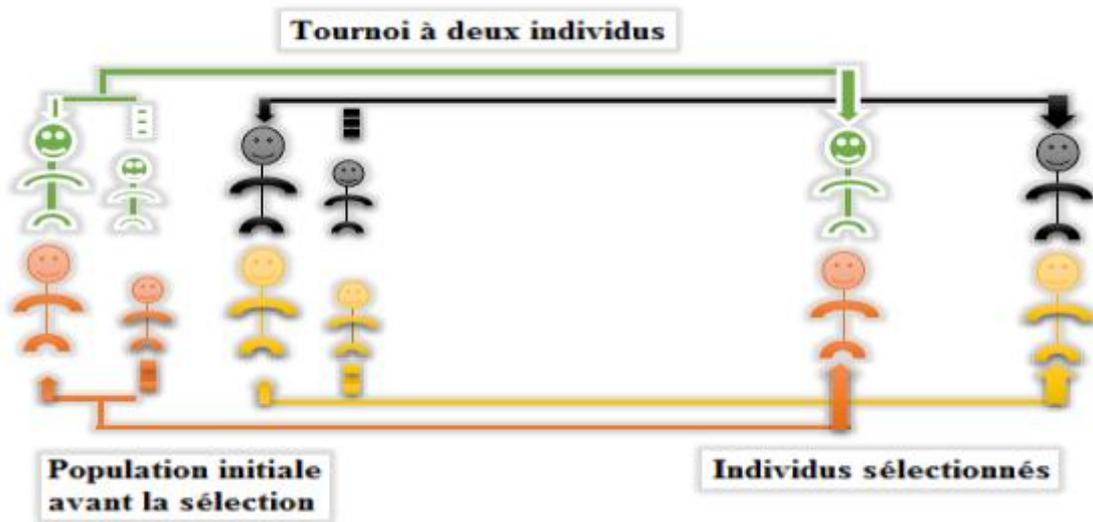


Figure (2.7) : Représentation d'une sélection par tournoi d'individus.

e. Croisement

Le but de cette opération est de créer une diversité dans notre population car l'exploitation (recopiage de meilleur chromosome) ne conduit pas à une exploration optimale de toute l'espace de recherche, en réalité on n'explore qu'une partie de notre espace si les individus sont similaires l'opérateur de croisement n'est qu'une juxtaposition des meilleures portions des anciens chromosomes dont le but d'arriver à générer de bons nouveaux chromosomes et le processus se répète jusqu'à la convergence vers la solution optimale (meilleure adaptation) [30].

Il existe un grand nombre d'opérateurs de croisement, on mentionne les cas suivants :

- **Le croisement en un point** : ou un site de croisement est choisi aléatoirement sur le chromosome, puis les chaînes de code sont échangées autour de ce site voire figure 2.8.

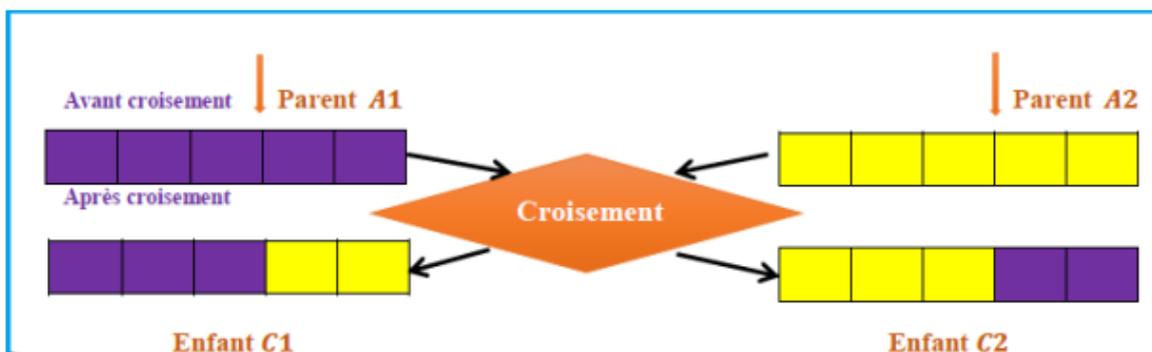


Figure 2.8. Croisement en seul point.

- **Le croisement à deux points** : deux sites de croisement sont choisis, et les portions de code sont échangées alternativement voir figure 2.9.

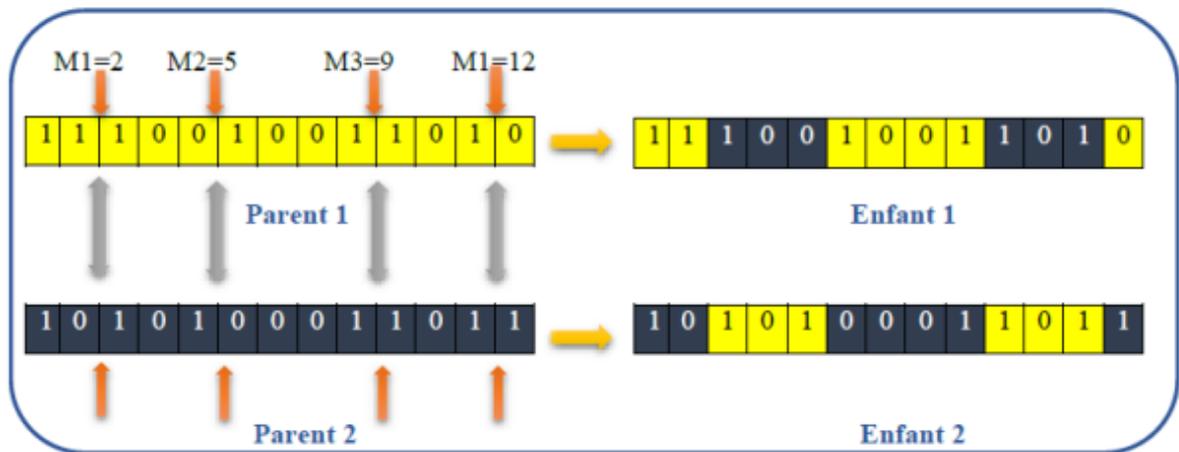


Figure 2.9. Croisement en multipoints ($m = 4$).

- **Le croisement uniforme** : où chaque gène d'un descendant est choisi aléatoirement parmi les gènes des parents ayant la même position dans le chromosome. Assez souvent le second descendant est construit en prenant les choix complémentaires du premier voir la figure 2.10.

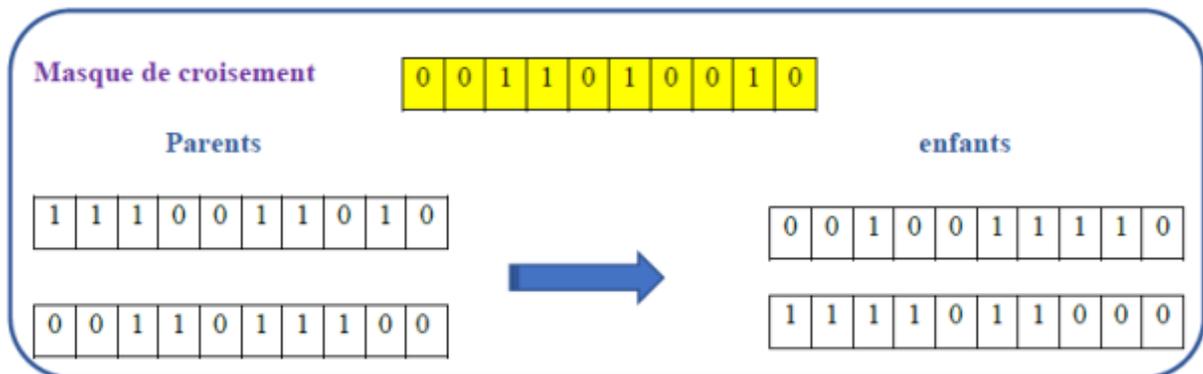


Figure 2.10. Le croisement uniforme.

f. Mutation

La mutation est exécutée seulement sur une seule chaîne. Elle représente la modification aléatoire et occasionnelle et de faible probabilité de la valeur d'un caractère de la chaîne, pour un codage binaire cela revient à changer un 1 en 0 et vice versa (Figure 2.11). Cet opérateur

introduit de la diversité dans le processus de recherche des solutions et peut aider l'AG à ne pas stagner dans un optimum local [30].

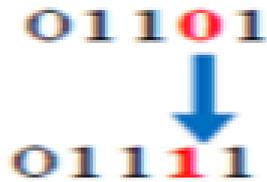


Figure 2.11 : Représentation d'une mutation de bits dans une chaîne.

La mutation peut être aussi spécifique selon la représentation utilisée [31] :

- **Mutation uniforme** : c'est la mutation souvent utilisée dans un algorithme génétique classique. Le principe est d'alerter le contenu d'un certain nombre de gènes choisis aléatoirement.
- **Mutation générale** : ce type de mutation prend en compte les caractéristiques de la population dans son ensemble, généralement la diversité génétique. On effectue à chaque bit une probabilité de mutation inversement proportionnelle à sa diversité. Ce type de mutation est très efficace pour empêcher la convergence prématurée mais elle ralentit aussi la convergence.
- **Mutation des composants** : il s'agit d'un opérateur local conçu spécifiquement pour les problèmes d'optimisation de forme. Le principe consiste à faire des petites modifications localisées sur les contours du domaine de conception. On utilise ce type de mutation à la fin de l'évolution afin de raffiner la forme.

2.2.7 Domaine d'application des algorithmes génétiques

- Contrôle de systèmes industriels.
- Optimisation de design.
- Optimisation d'emplois du temps.
- Optimisation de fonctions numériques difficiles.
- Traitement d'image.
- Constitution des équipes de travail.

2.2.8 Les avantages et les inconvénients des algorithmes génétiques :

Avantages :

- La simplicité de l'approche.
- La possibilité de paralléliser l'algorithme.
- La facilité d'implémentation.
- La flexibilité : peut être facilement modifié pour d'autres problèmes.
- Il gère les problèmes d'optimisations multi-objectives et multimodales.
- Il permet une bonne exploration de l'espace de recherche.

Inconvénients :

- L'ajustement de différents paramètres : taille de population, taux de mutation...etc.
Son exécution qui est lente par rapport à d'autres méthodes.
- Sa convergence prématurée
- Il ne peut pas garantir des temps de réponse constants [33].

2.2.9 Organigramme de l'algorithme génétique [32]

Voire la figure 2.12

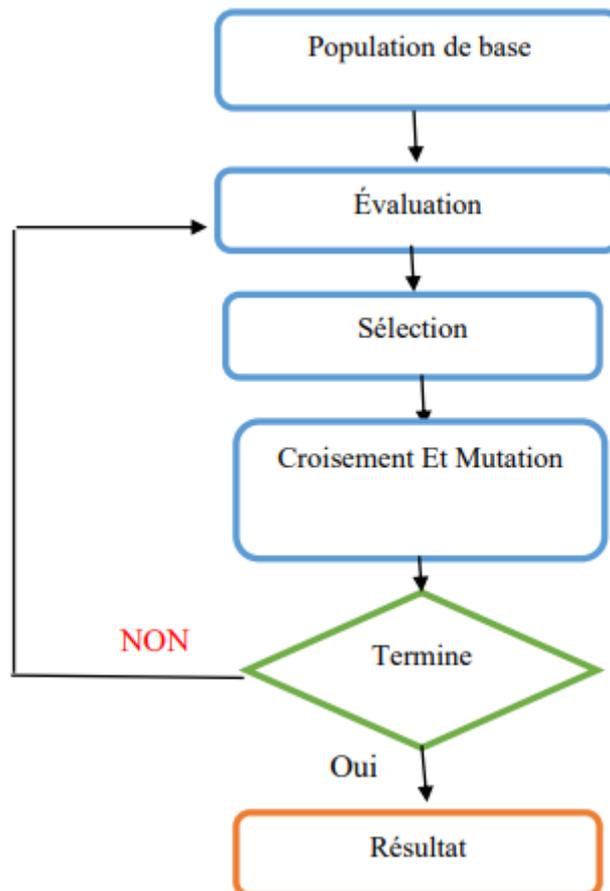


Figure 2.12 : Organigramme de l'Algorithme Génétique.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté tout d'abord le problème de dispatching économique, algorithmes génétiques avec leurs paramètres et les principaux opérations et principe des algorithmes génétiques.

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 03 :

Résultats et discussion

Introduction :

Dans les systèmes électriques, il est indispensable à chaque instant de produire l'énergie électrique nécessaire pour répondre à la demande. Le problème du dispatching économique consiste à déterminer les niveaux de production de l'ensemble des générateurs qui garantissent l'équilibre production-consommation au moindre cout possible.

On a utilisé la méthode GA pour résoudre ce problème pour 03 cas de test différents pour exprimer son potentiel d'optimisation, ou la fonction objective était limitée dans les plages de puissance des unités de production et les pertes de transmission étaient également prises en compte.

3 Simulation :

3.1 Test 01 :

Le réseau investi est un réseau a courant alternatif à 3 nœuds producteurs. Les fonctions des couts et les limites de puissance des 3 générateurs sont les suivantes [33] :

Nœuds	ai(\$/MW ²)	bi(\$/MW)	ci(\$)	PGi,min(MW)	PGi,max(MW)
1	0.03546	38.30553	1243,5311	35	210
2	0.02111	36.32782	1658,5696	130	325
3	0.01799	38.27041	1356,6592	125	315

Tableau 3.1: donnes de réseau 1.

La matrice des coefficients des pertes est [33] :

$$\mathbf{B}_{mn} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 0.71 & 0.30 & 0.25 \\$$

$$0.30 & 0.69 & 0.32 \\$$

$$0.25 & 0.32 & 0.80 \end{bmatrix}$$

Puissance demande (MW)	AVEC PERTES		
	400	500	600
P_1	82,0784	105,8799	130,0211
P_2	174,9938	212,728	250,8462
P_3	150,496	193,3065	236,4368
P_{loss} (MW)	7,5681	11,91	17,304
Cout de fuel (\$/h)	20812	25465	30334

Tableau3.2 : Les puissances et le cout avec pertes.

3.1.1 Comparaison avec des autres Méthodes :

Pour une puissance demandée de **400MW**, les résultats des puissances actives, les pertes de transmission et du cout total sont indiqués sous forme de résultats dans le Tableau (3.3). Ce dernier affiche les solutions optimales des méthodes suivantes :

- **GA**: Genetics Algorithm.
- **CSA** : Cuckoo Search Algorithm. [34]
- **ALO** : Ant Lion Optimisation. [35]

	CSA [34]	ALO[35]	GA
P_1 (MW)	82.0784	82.078	82.08
P_2 (MW)	174.994	174.99	174.99
P_3 (MW)	150.496	150.5	150.50
P_{loss} (MW)	7.56810	7.568125	7.56810
Cout de fuel(\$/h)	20812.3	20812.2936	20812.00

Tableau3.3 : Solutions optimales (réseau 01).

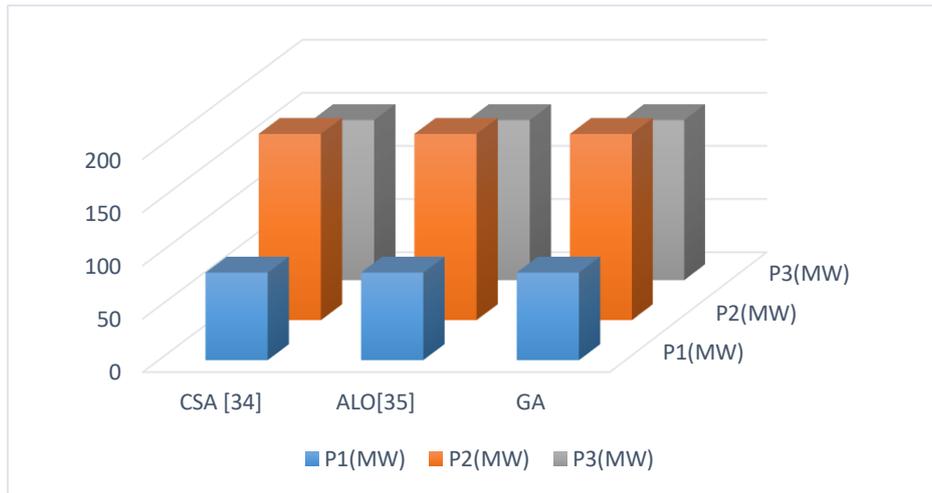


Figure 3.1 : Puissance générées optimales obtenus par GA, ALO et CSA.

Interprétation :

- A travers les résultats trouvés, on peut dire qu'il y a un petit écart entre les puissances générées optimales, le cout de production ainsi que les pertes de transmission entre les différents algorithmes.
- L'optimisation du cout de productions est meilleure l'ors de l'application de **ALO** par rapport à **CSA**. Ceci nous conduit à comparer les résultats de **GA** avec ceux de **ALO**.
- Le cout total donné par **ALO** est de **20812.2936 \$/h** et autour de **20812 \$/h** pour **GA**, ce qui représente une différence de **0.2936\$/h**.
- Les pertes de transmission évaluées par les trois approches sont restées très proches pour les trois algorithmes respectivement (**GA**) **7.56810 MW**, (**ALO**) **7.568125 MW**, (**CSA**) **7.56810 MW**.

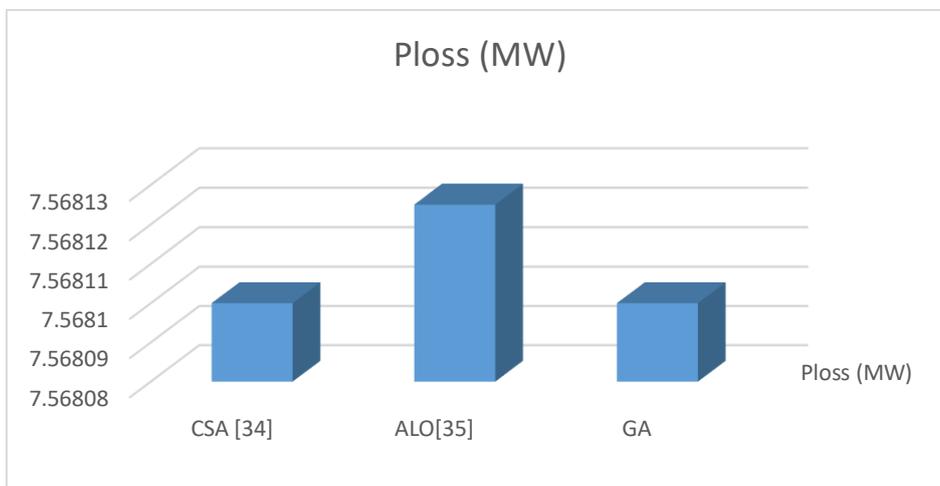


Figure 3.2 : P_{loss} obtenus par ALO, CSA et GA.

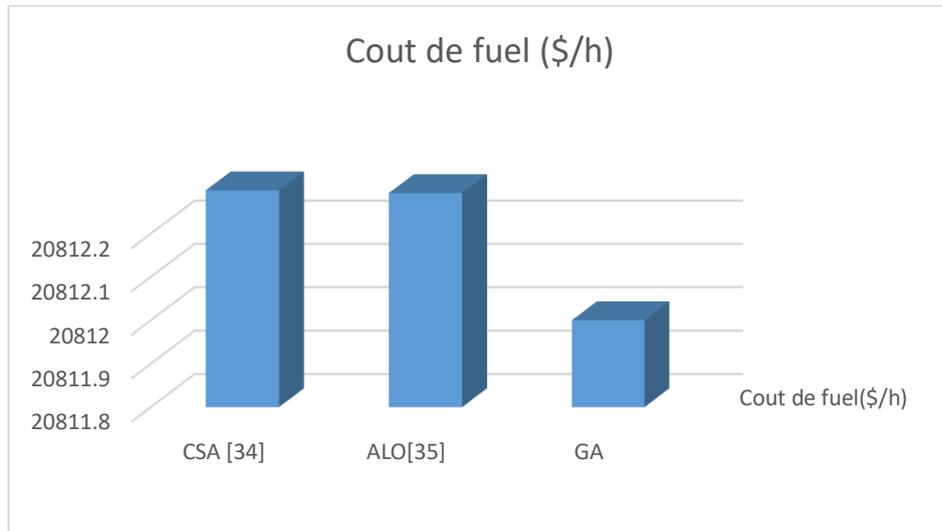


Figure3.3 : *Cout total obtenus par ALO, CSA et GA.*

3.1.2 Comparaison des résultats avec différentes puissances demandées :

N	Puissance demande (MW)	P _{loss} (MW)			
		FFA [33]	ALO [35]	CSA [34]	GA
1	400	7.56813	7.568125	7.56813	7.5681
2	500	11.9144	11.91438	11.9144	11.91
3	600	17.3040	17.30402	17.304	17.304

Tableau3.4 : *Comparaison des pertes par des méthodes différentes (FFA, ALO, CSA et GA).*

Interprétation :

- Pour les trois puissances demandées, les pertes totales obtenues par le **GA** sont presque tous les plus faibles.

		Cout de fuel (\$/h)			
N	Puissance demande (MW)	FFA [33]	ALO [35]	CSA [34]	GA
1	400	20812,30	20812,29	20812,3	20812,00
2	500	25465,50	25465,46914	25465,50	25465,00
3	600	30334,00	30333,99	30334,00	30334,00

Tableau3.5 : *Comparaison de coût de fuel par d'autres méthodes (FFA, ALO, CSA et GA).*

Interprétation :

- A travers les résultats trouvés, on peut dire qu'il y a un écart entre le cout de production entre les différents algorithmes.
- Le cout total donné par **GA** est presque toujours le meilleur pour les différentes puissances.
- Le cout obtenu par l'algorithme **CSA** et **FFA** est le même.

3.2 Exemple 02 :

Le réseau investi est un réseau à courant Alternatif à 6 nœuds producteurs. Les fonctions des couts et les limites de puissance des six générateurs sont les suivantes : [33]

Nœuds	a_i (\$/MW ²)	b_i (\$/MW)	C_i (\$)	$P_{Gi,min}$ (MW)	$P_{Gi,max}$ (MW)
1	0,1524	38,53973	756,79886	10	125
2	0,10587	46,15916	451,32513	10	150
3	0,02803	40,39655	1049,9977	35	225
4	0,03546	38,30443	1242,5311	35	210
5	0,02111	36,32782	1658,5696	130	325
6	0,01799	38,27041	1356,6592	120	315

Tableau 3.6 : Données du (réseau 2).

La matrice des coefficients des pertes est :

$$\mathbf{B}_{mn} = 10^{-4} \begin{bmatrix} 0.14 & 0.17 & 0.15 & 0.19 & 0.26 & 0.22 \\ 0.17 & 0.60 & 0.13 & 0.16 & 0.15 & 0.20 \\ 0.15 & 0.13 & 0.65 & 0.17 & 0.24 & 0.19 \\ 0.19 & 0.16 & 0.17 & 0.71 & 0.30 & 0.25 \\ 0.26 & 0.15 & 0.24 & 0.30 & 0.69 & 0.32 \\ 0.22 & 0.20 & 0.19 & 0.25 & 0.32 & 0.85 \end{bmatrix}$$

	AVEC PERTES		
Puissance demande (MW)	600	700	800
P_1	24,7678	29,4069	33,9198
P_2	10	10	14,4627
P_3	95,4371	118,6637	141,2025
P_4	100,4146	118,1836	135,553
P_5	202,5997	230,3829	257,4262
P_6	180,9356	212,6864	242,6105
$P_{\text{loss}}(\text{MW})$	14,1547	19,3136	25,1743
Cout de fuel (\$/h)	32092	36908	41891

Tableau 3.7 : Les puissances et le cout avec pertes.

3.2.1 Comparaison avec des autres méthodes :

Pour une puissance demandée de **700MW**, les résultats des puissances actives, les pertes de transmission et du cout total sont indiqués sous forme de résultats dans le Tableau (3.8). Ce dernier affiche les solutions optimales des méthodes suivantes :

- **GA** : Genetics Algorithm (Algorithme génétiques).
- **ALO** : Ant Lion Optimisation. [35]
- **PSO** : Particle Swarm Algorithm. [36]

	ALO [35]	PSO [36]	GA
$P_1(\text{MW})$	28.3031	28.28	29.41
$P_2(\text{MW})$	10.00	10.00	10.00
$P_3(\text{MW})$	118.9550	119.02	118.66
$P_4(\text{MW})$	118.6728	118.79	118.18
$P_5(\text{MW})$	230.7596	230.78	230.38
$P_6(\text{MW})$	21.7411	212.56	212.68
$P_{\text{loss}}(\text{MW})$	19.4317	19.4319	19.31
Cout de fuel (\$/h)	36912.1444	36912.16	36908.00

Tableau 3.8 : Solutions optimales (réseau 2).

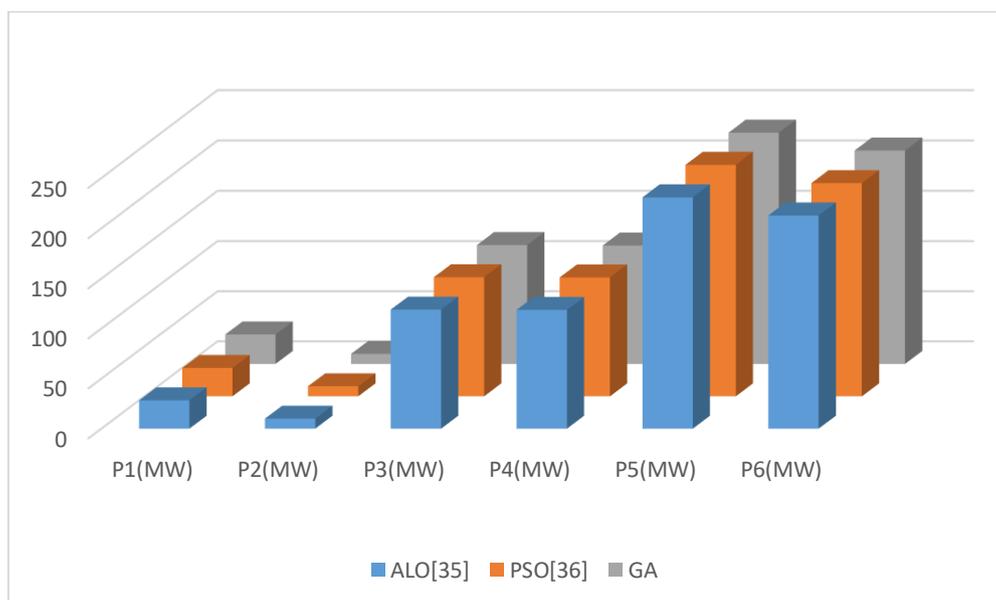


Figure 3.4 : Puissances générées optimales obtenus par GA, ALO et PSO.

Interprétation :

- A travers les résultats trouvés, on peut dire qu'il y a un écart entre les puissances générées optimales, le coût de production et les pertes de transmission pour les différents algorithmes.
- L'optimisation du coût de productions est meilleure lors de l'application de **ALO** par rapport à **PSO**. **36912.1444 \$/h** pour **ALO** et autour **36912.1600 \$/h** pour **PSO**, ce qui représente une différence de **0.156 \$/h**. Ceci a conduit à comparer les résultats de **ALO** avec ceux de **GA**.
- Le coût total donné par **GA** est de **36908\$/h** et autour de **36912.1444\$/h** pour **ALO**, ce qui représente une différence de **4.1444\$/h**.
- Les pertes de transmission sont les plus faibles lors de l'application de **ALO** par rapport à **PSO**, Ceci a conduit à comparer les résultats de **ALO** avec ceux de **GA**.
- Les pertes données par **GA** sont de **19.31 MW** et de **19.4317 MW** pour **ALO**, L'algorithme **GA** a fait diminuer **0.1217MW** par rapport à **ALO**.

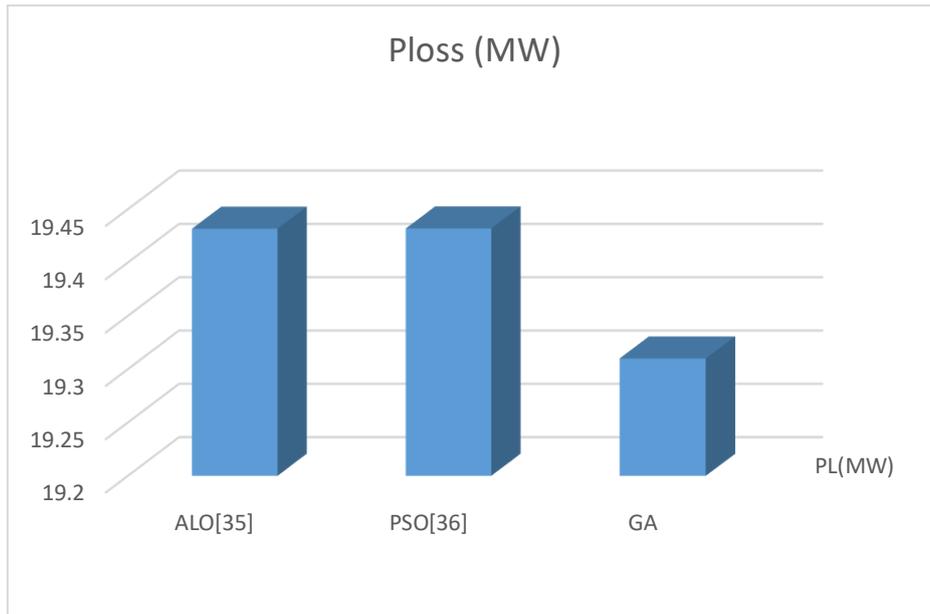


Figure 3.5 : P_{Loss} obtenus par GA, ALO et PSO.

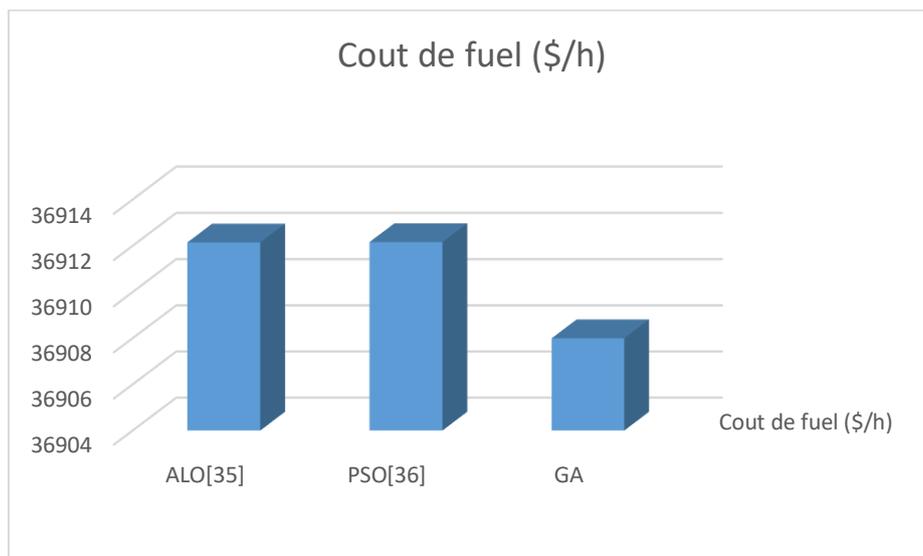


Figure 3.6 : Cout total obtenus par GA, ALO et PSO.

3.2.2 Comparaison des résultats avec différentes puissances demandées :

Puissance demande (MW)	$P_{loss}(MW)$			
	CM [37]	FFA [33]	ALO [35]	GA
600	15,07	14,2374	14,2372	14,1547
700	19,5	19,4319	19,4317	19,3136
800	25,34	25,3312	25,3307	25,1743

Tableau 3.9 : Comparaison des pertes par des différentes méthodes (GA, CM, FFA, ALO).

Interprétation :

- Pour les trois puissances demandées, les pertes totales obtenus par le **GA** sont les plus faible.

Puissance demande (MW)	Cout de fuel (\$/h)			
	CM [37]	FFA [33]	ALO [35]	GA
600	32096,58	32094,7	32094,6783	32092
700	36914,01	36912,2	36912,1444	36908
800	41898,45	41896,9	41896,6286	41891

Tableau 3.10 : Comparaison de coût de fuel par d'autres méthodes (GA, CM, FFA, ALO).

Interprétation

- A travers les résultats trouvés, on peut dire qu'il y a un écart entre le cout de production entre les différents algorithmes.
- Le cout total donné par **GA** est toujours le meilleure pour les différentes puissances.
- La différence de cout entre la **GA** et **CM** est **4.58\$/h** et entre **GA** et **FFA** est **2.7\$/h** et entre **GA** et **ALO** est **2.6783\$/h** pour la puissance de **600MW**.
- La différence de cout entre la **GA** et **CM** est **6.01\$/h** et entre **GA** et **FFA** est **4.2\$/h** et entre **GA** et **ALO** est **4.1444\$/h** pour la puissance de **700MW**.
- La différence de cout entre la **GA** et **CM** est **7.45\$/h** et entre **GA** et **FFA** est **5.9\$/h** et entre **GA** et **ALO** est **5.6286\$/h** pour la puissance de **800MW**.

3.3 Exemple 03 :

Le réseau investi est un réseau à 10 nœuds producteurs. Les fonctions des couts et les limites de puissance des dix générateurs sont les suivantes : [38]

Nœuds	ai(\$/MW ²)	bi(\$/MW)	Ci(\$)	PGi,min(MW)	PGi,max(MW)
1	0,12951	40,5407	1000,403	10	55
2	0,10908	39,5804	950,606	20	80
3	0,12511	36,5104	900,705	47	120
4	0,12111	39,5104	800,705	20	130
5	0,15247	38,539	756,799	50	160
6	0,10587	46,1592	451,325	70	240
7	0,03546	38,3055	1243,531	60	300
8	0,02803	40,3965	1049,998	70	340
9	0,02111	36,3278	1658,569	135	470
10	0,01799	38,2704	1356,659	150	470

Tableau 3.11 : Données du (réseau 3)

La matrice des coefficients des pertes est [38] :

$$\mathbf{B}_{mn} = 10^{-4} [0.49 \ 0.14 \ 0.15 \ 0.15 \ 0.16 \ 0.17 \ 0.17 \ 0.18 \ 0.19 \ 0.20 \\
 0.14 \ 0.45 \ 0.16 \ 0.16 \ 0.17 \ 0.15 \ 0.15 \ 0.16 \ 0.18 \ 0.18 \\
 0.15 \ 0.16 \ 0.39 \ 0.10 \ 0.12 \ 0.12 \ 0.14 \ 0.14 \ 0.16 \ 0.16 \\
 0.15 \ 0.16 \ 0.10 \ 0.40 \ 0.14 \ 0.10 \ 0.11 \ 0.12 \ 0.14 \ 0.15 \\
 0.16 \ 0.17 \ 0.12 \ 0.14 \ 0.35 \ 0.11 \ 0.13 \ 0.13 \ 0.15 \ 0.16 \\
 0.17 \ 0.15 \ 0.12 \ 0.10 \ 0.11 \ 0.36 \ 0.12 \ 0.12 \ 0.14 \ 0.15 \\
 0.17 \ 0.15 \ 0.14 \ 0.11 \ 0.13 \ 0.12 \ 0.38 \ 0.16 \ 0.18 \ 0.18 \\
 0.18 \ 0.16 \ 0.14 \ 0.12 \ 0.13 \ 0.12 \ 0.16 \ 0.40 \ 0.15 \ 0.16 \\
 0.19 \ 0.18 \ 0.16 \ 0.14 \ 0.15 \ 0.14 \ 0.16 \ 0.15 \ 0.42 \ 0.19 \\
 0.20 \ 0.18 \ 0.16 \ 0.15 \ 0.16 \ 0.15 \ 0.18 \ 0.16 \ 0.19 \ 0.44]$$

	AVEC PERTES
Puissance demande (MW)	2000
P ₁ (MW)	54.8691
P ₂ (MW)	80.00
P ₃ (MW)	107.0213
P ₄ (MW)	100.2292
P ₅ (MW)	82.1761
P ₆ (MW)	82.9336
P ₇ (MW)	299.9813
P ₈ (MW)	340.00
P ₉ (MW)	470.00
P ₁₀ (MW)	470.00
P_{loss} (MW)	87.3414
Cout de fuel(\$/h)	111280

Tableau 3.12 : Les puissances et le cout avec pertes.

3.3.1 Comparaison avec des autres méthodes :

Pour une puissance demandée de **2000MW**, les résultats des puissances actives, les pertes de transmission et du cout total sont données dans le **Tableau (3.13)**. Ce dernier affiche les solutions optimales des méthodes suivantes :

- **GA:** Genetic Algorithm.
- **ALO:** Ant Lion Optimisation. [39]
- **CIHSA:** Chaotic Improved Harmony Search Algorithm. [40]

	ALO [39]	CIHSA [40]	GA
P ₁ (MW)	55.00	55.00	54.8691
P ₂ (MW)	80.00	80.00	80.00
P ₃ (MW)	105.5464	106.9347	107.0213
P ₄ (MW)	100.8157	100.6003	100.2292
P ₅ (MW)	81.7552	81.47679	82.1761
P ₆ (MW)	84.1220	83.02687	82.9336
P ₇ (MW)	300.00	300.00	299.9813
P ₈ (MW)	340.00	340.00	340.00
P ₉ (MW)	470.00	470.00	470.00
P ₁₀ (MW)	470.00	470.00	470.00
PL(MW)	87.3294	87.0387	87.3414
Cout de fuel (\$/h)	111280	111497.6310	111280

Tableau 3.13: Solutions optimales (réseau.3).

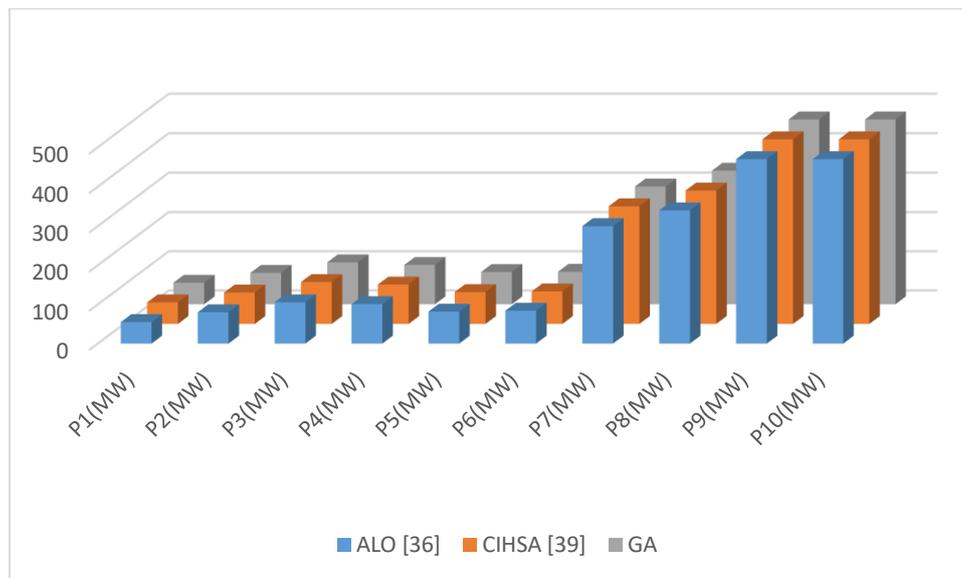


Figure 3.7: Puissance générées optimales obtenus par GA, ALO et CIHSA.

Interprétation

- A travers les résultats trouvés, on peut dire qu'il y a un petit écart entre les puissances générées optimales, le cout de production et les pertes de transmission pour les différents algorithmes.
- L'optimisation du cout de productions est meilleure lors de l'application de **GA** et **ALO** par rapport à **CIHSA**.
- Le cout total donné par **GA** et **ALO** est de **111280\$/h** et autour de **111497.6310\$/h** pour **CIHSA**, ce qui représente une différence de **217.631\$/h**.
- Les pertes de transmission de **GA** sont les plus grandes par rapport à **ALO**, **CIHSA**.

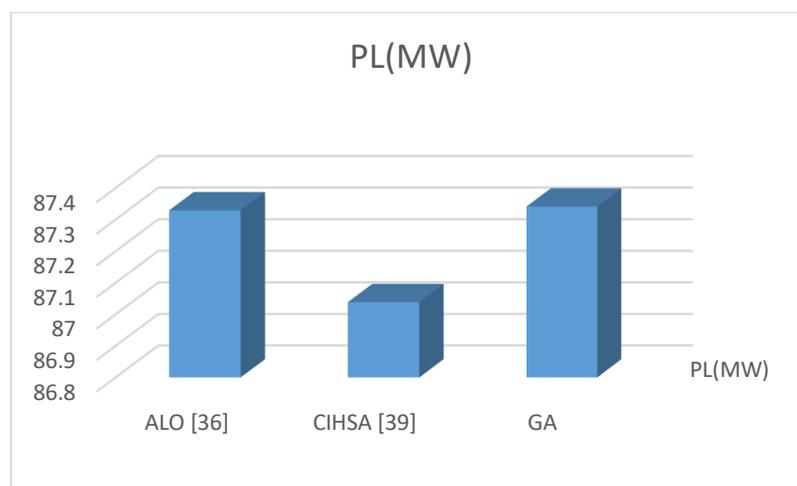


Figure 3.8 : P_{Loss} obtenus par GA, ALO et CIHSA.

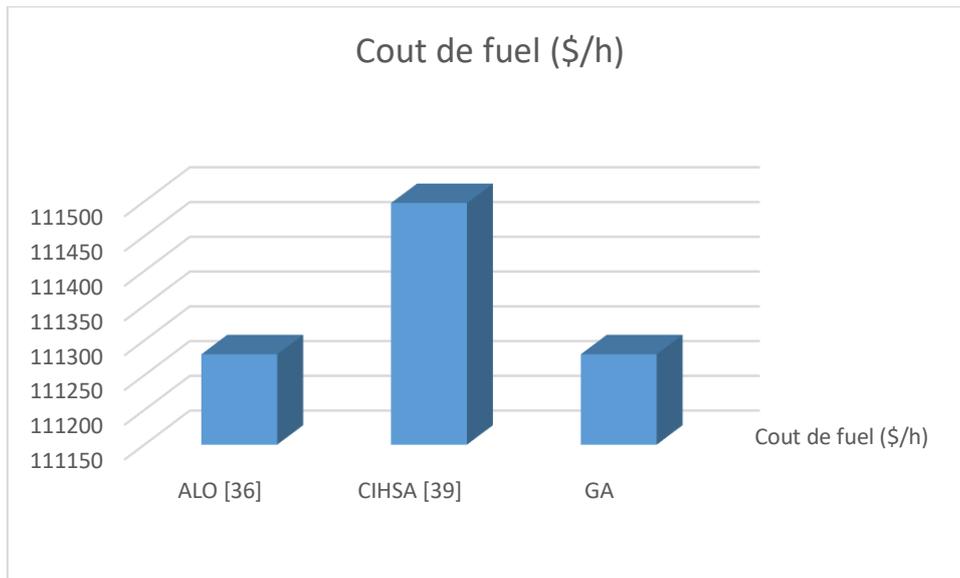


Figure 3.9 : Cout total obtenus par GA, SA et PSO.

Conclusion

Dans ce chapitre, L'algorithme génétique (GA) a été proposé afin de prouver l'efficacité de l'algorithme, il est appliqué au problème du dispatching économique avec pertes avec trois, six et dix unités génératrices. Les résultats obtenus par la méthode proposée (GA) ont été comparés aux plusieurs méthodes.

Le meilleur coût de production est obtenu par GA et ceci pour les trois réseaux. La comparaison montre que l'algorithme génétique peut compris donner presque un meilleur résultat du point de vue pertes de transmission et coût de production.

GA à des caractéristiques supérieures, y compris la qualité de la solution, la stabilité des caractéristiques de convergence et une meilleure efficacité de calcul. Par conséquent, ces résultats montrent que l'optimisation de GA est une technique prometteuse pour résoudre des problèmes de dispatching économique.

CONCLUSION GENERALE

L'importance de l'étude du dispatching économique des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique est capitale ; elle nécessite l'élaboration d'une méthode de calcul numérique plus efficace afin de répondre à ce besoin. De nombreuses études ont été proposées dans la littérature. Notre orientation s'est focalisée sur une méthode évolutionnaire qui est la méthode de l'algorithme génétique.

Dans ce mémoire, on a exploré et testé l'application d'une méthode évolutionnaire qui est l'algorithme génétique, dans la répartition optimale des puissances actives. Afin de réaliser notre but, on a organisé nos recherches en 3 chapitres :

Le premier chapitre, Nous avons mentionné des généralités sur les réseaux électriques. Le deuxième chapitre, la définition du dispatching économique et la fonction coût seront présentées, Puis nous avons présenté la définition et l'historique et principe de l'Algorithmes Génétiques (AG), puis Quelques termes de base de l'algorithme génétique (Population, Individu, Chromosome, Gène, Fitness) ainsi que les étapes de l'algorithme génétique (population initiale, Evaluation, fitness, Sélection, Croisement, Mutation).

Le dernier chapitre, Nous avons basé sur l'application en détail de la méthode des algorithmes génétiques. Nous avons fait notre étude sur les réseaux à 3,6,10 générateurs et comparé les résultats avec plusieurs méthodes.

Enfin, On conclure que la méthode GA est fiable et donne des résultats satisfaisants sur lesquelles nous pouvons compter.

REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIES

- [1] J.F. CANARD, « Impact de la génération d'énergie dispersée dans les réseaux de distribution », Thèse de doctorat de l'INPG, Décembre 2000.
- [2] Angar Yahia et Allaoua Slimane (Minimisation des pertes actives par Algorithme génétique appliquée au réseau électrique Algérien), Université de Med Khider Biskra, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en réseaux électriques une. Promotion Juin 2011
- [3] Dispatching Economique D'Energie Electrique Par Essaims De Particules Et Algorithmes Génétiques.
- [4] A. J. Wood, and B. F. Wollenberg. "Power Generation, Operation & Control". New York, John Wiley and Sons, 1994.
- [5] Goldberg, D., 1989. Genetic algorithm in search, Optimisation and machine learning. Addison Wesley.
- [6] Boutaina Bouzidi Idrissi, 2019. Introduction réseaux électriques.
- [7] Commission européenne « Grandes installations de combustion » document publié Juillet 2006.
- [8] Mr Bensalem Ahmed, « Analyse Et Gestion De La Production Des Centrales Electriques Liées Aux Réseaux Electrique De Grande Taille ». Thèse de doctorat d'état, Université de ElHadj Lakhdar, Batna, 28 juin 2007.
- [9] CEA, « le fonctionnement d'un réacteur nucléaire » Imprimerie de Montligeon - 09/2002, www.cea.fr.
- [10] « centrales hydroélectriques » consulté le 15/06/2018, sur le site : <https://www.nbpower.com/fr/about-us/learning/learn-about-electricity/hydro/>
- [11] M. Angel Cid Pastor « Conception et Réalisation de Module Photovoltaïques Electroniques » Thèse de doctorat en Conception des Circuits Microélectroniques et Microsystèmes, Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse, 29 septembre 2006.

- [12] F. POITIERS « Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne-Machine asynchrone à cage autonome-Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau » Thèse de Doctorat Université de Nantes, 2003.
- [13] Techniques de L'ingénieur (D4091) Réseaux D'interconnexion Et De Transport.
- [14] Sihem Bouri « Optimisation de la production et de la structure d'énergie électrique par les colonies de fourmis ». Thèse de Doctorat Université de Jilali Liabès sidi belabess, 2007.
- [15] L. Abdelmalek et M. Rahali « Répartition optimale des puissances actives par les méthodes hessiennes » université d'Oran, Acta Electro technica, volume49, number 2,2008.
- [16] A. Merev, "Comparison of the economic dispatch solutions with and without transmission losses", JEE, Vol.2, No. 2, 2002, pp. 521-525.
- [17] Draïdi Abd Ellah « Réparation économique de l'énergie électrique utilisant les techniques d'intelligence artificielle ». Thèse de magister, département d'électrotechnique université de Constantine ,2010.
- [18] SI TAYEB Abdelkader, "Méta heuristiques pour l'optimisation des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique" Mémoire de Magister, Université-Oran, 2011.
- [19] NESRAT Djebbari. SOLTANI Elbachir, "Résolution du problème de puissance active dans un réseau d'énergie utilisant les techniques méta-heuristique" Mémoire de Master, Université Hamma Lakhder-El-Oued, 2018.
- [20] SEGHEIR Tayeb. MOGDAD Med Tayeb, "Résolution de dispatching économique par la méthode pattern search" Mémoire de Master, Université d'EL-Oued, 2011.
- [21] 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.
- [22] J.Holland, «Adaptation in natural and artificial systems», University of Michigan press, Ann Arbor, 1975.
- [23] Jean Michel Renders, « Algorithmes génétiques et réseaux de neurones », Hermès, Paris, 1995.

- [24] Goldberg E. D., "Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning," Addison-Wesley publishers, 1989.
- [25] Coello Coello, Carlos A, Van Veldhuizen D.A. et Lamont G.B. 2002. Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. Kluwer Academic Publishers, New York 576 p.
- [26] SETIT, 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, TUNISIA. March 27-31, 2005.
- [27] Quatrième Conférence Internationale sur le Génie Electrique CIGE'10, 03-04, Université de Bechar, Algérie, Novembre 2010.
- [28] D'Un algorithme génétique pour l'ordonnement robuste : application au problème du flow shop hybride 36 P.
- [29] N. DURAND, "Algorithmes génétiques et autres outils d'optimisation appliqués à la gestion de trafic aérien". 5 octobre 2004.
- [30] Nabil Mancer, Contribution à l'optimisation de la puissance réactive en présence de dispositifs de compensation dynamique (FACTS), mémoire de magister, université mohammed kheider, Biskra, 2012.
- [31] Belkacem Sid, « Optimisation topologique de structures par algorithmes génétiques », thèse de doctorat, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, 2006.
- [32] Bouabdallah Amara, « Application des algorithmes génétiques au dispatching économique et environnemental », mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2012.
- [33] Jebari Hakim, Rahali, Azzoizi Saida, Samadi Hassan "Hybridation des Métaheuristiques pour la Résolution de Problème D'ordonnement Multi-Objectif dans un Atelier Flow-Shop", <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01260744> ,23 avril 2016.
- [34] K. Sudhakara Reddy, Dr. M. Damodar Reddy. "Optimal load dispatch Using Firefly Algorithm." International Journal of Engineering Research and Applications 2,no.4(2012):2325-2330.

[35] A.Hima Bindu, Dr. M. Damodar Reddy, « Economic Load Dispatch Using Cuckoo Search Algorithm », International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com / Vol. 3, Issue 4, Jul-Aug 2013, pp. 498-502.

[36] M Mahendru Nischal et al. Int. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN: 2248-9622, Vol. 5, Issue 8, (Part - 2) August 2015, pp.10-19

[37] BELGANDI Imad Eddine, MEDJBER REDHA, « Application de la méthode « simulated Annealing » pour le calcul du dispatching économique », » Mémoire de Master, Université Dr Tahar Moulay de Saida, 2017.

[38] Yohannes, M. S. "Solving optimal load dispatch problem using particle swarm optimization technique." International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA) 4, no. 12 (2012): 12.

[39] M. Basu, « Economic Environmental Dispatch Using multi-objective differential Evolution», Elsevier Applied Soft Computing 11, 2011, pp 2845-2853
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494610002917/Applied Soft Computing, March 2011.

[40] Belhadeif Sid Ali, Kadri Abdelghani, « Application de la méthode « Ant Lion Optimization » pour le calcul du dispatching économique », » Mémoire de Master, Université Saad Dahleb Blida 1, 2022.

[41] Hamid Rezaie, M.H Kazemi-Rahbar, Behrooz Vahidi, Hasan Rastegar, « Solution of combine economic and emission dispatch problem using a novel chaotic improved harmony search algorithm », Departement of Electrical Engineering, Amirkabir University of technology (AUT), 424 Hafez Ave, Tehran, Iran, b Departement of electrical Engineering, Shahed University, Persian Gulf Freeway, Tehran, Iran, Page 09,16 August 2018.