

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

Khadraoui boubaker

bengachouche azzeddine

Thème:

**Optimisation économique et environnementale des réseaux électriques
par la méthode des Algorithmes Génétiques en présence
d'une production photovoltaïque dans la production électrique**

Soutenu devant le jury composé de :

M ^r Bouhafs Ali	MAA	Président	UKM Ouargla
M ^{me} Benbouza Naima	MCA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^r Boudjella Houari	MCB	Co-Encadreur	UKM Ouargla
M ^r Benmir Abdelkader	MCB	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous remercions avant tout Allah, le Tout Puissant, qui nous a donné la foi pour réaliser notre mémoire.

*Nous remercions sincèrement notre directrice de recherche **Dr BENBOUZA Naima** pour*

son précieux soutien tout au long de cette recherche.

*Nos grands remerciements pour les membres de jury **Dr***

***Bouhafs Ali** et **Dr Benmir Abdelkader** d'avoir accepté*

de valider ce travail

Un grand merci à nos familles et à nos amis proches qui

nous ont encouragés durant la rédaction de notre

mémoire.

Enfin, nous adressons notre remerciement à toute

personne qui a participé du proche ou du loin afin

d'achever ce travail de recherche.

Khadraoui Boubaker, bengachouche azzeddine



Sommaire

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	II
RÉSUMÉ	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
SYMBOLE.....	VII
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I : PRODUCTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE	
I.1. INTRODUCTION	3
I.2. TECHNIQUES GÉNÉRALES DE LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ.....	3
I.2.1. SOURCES PRIMAIRES D'ÉNERGIE	3
I.2.2. LES ÉNERGIES SECONDAIRES	4
I.3. CENTRALES ÉLECTRIQUES CLASSIQUES (THERMIQUE ET NUCLÉAIRE)	4
I.3.2.CENTRALE CLASSIQUES NUCLÉAIRE	5
I.4. PRODUCTION ÉLECTRIQUE DÉCENTRALISÉE (PD).....	5
I.4.1. TECHNOLOGIES DE LA PRODUCTION DÉCENTRALISÉE	5
I.4.2.1. L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE	6
I.4.2.2.PETITE HYDRAULIQUE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
I.4.3.ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE	6
I.4.4. SOLAIRE ET ÉOLIEN	6
I.4.4.1. ENERGIE ÉOLIENNE	6
I.4.5. L'ÉNERGIE BIOMASSE	8
I.4.6.DES UNITÉS DE COGÉNÉRATION	9
I.4.7.AVANTAGES	10
I.4.8.CONCLUSION	11
Chapitre II : Dispatching économique et environnemental des réseaux électriques et méthodes d'optimisation	
II.1. INTRODUCTION	13
II.2. BUT DU DISPATCHING ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES	13
II.3. OPTIMISATION DU DISPATCHING ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL	13
II.3.1. FORMULATION D'UN PROBLÈME D'OPTIMISATION	13
II.3.2 LES ALGORITHMES D'OPTIMISATION.....	14
II.4. LES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES.....	15
II.4.1. PRÉSENTATION DES AG	16



II.4.2 LES OPÉRATEURS	17
II.4.2.1 OPÉRATEUR DE SÉLECTION	17
II.4.2.2 OPÉRATEUR DE CROISEMENT	20
II.4.2.3 OPÉRATEUR DE MUTATION	23
II.4.3. AUTRES PARAMÈTRES	24
II.5. CONCLUSION	24
 Chapitre III :optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques	
III.1. INTRODUCTION	24
III.2. FORMULATION DU PROBLÈME.....	24
III.2.1 FONCTION ÉCONOMIQUE.....	24
A) FONCTION DU COÛT DE LA PRODUCTION THERMIQUE:.....	24
B) FONCTION DU COÛT DE LA PRODUCTION DE LA MINI-CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE:.....	24
III.2.2. FONCTION ENVIRONNEMENTAL:.....	25
III.3.OPTIMISATION BI-OBJECTIVE ET MONO-OBJECTIVE:.....	26
III 4.APPLICATION.....	27
III 4.1.OPTIMISATION AVANT L'INSTALLATION DE LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE.....	28
III 4.2.OPTIMISATION APRÈS L'INSTALLATION DE LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE.....	29
COMMENTAIRES	30
CONCLUSION.....	30
CONCLUSION GÉNÉRALE	31
BIBLIOGRAPHIE	32



Résumé

Le dispatching économique et environnemental des réseaux électrique consiste à l'optimisation de la fonction du coût de production et de la fonction des émissions des gaz toxiques. Le travail présenté dans ce mémoire consiste à l'optimisation du dispatching économique et environnemental d'un réseau électrique à trois nœuds de production électrique qui sont des centrales thermiques. L'optimisation est étudié dans deux cas. Le premier en considérant le réseau électrique avec la production classique et le deuxième cas en introduisant une production photovoltaïque dans la chaîne de production électrique.

La simulation est faite sous l'environnement Matlab à l'aide de la méthode des algorithmes génétiques. Les résultats obtenus ont montré l'effet remarquable l'intégration de la production photovoltaïque dans le réseau électrique. Cet effet consiste en la réduction remarquable dans le coût de production électrique et la minimisation des émissions toxiques dans l'environnement.

Mots clés : production centralisée et décentralisée, Le dispatching économique et environnemental, optimisation, algorithmes génétiques.

Abstract

The economic and environmental dispatching of electrical networks consists of optimizing the production cost function and the function of toxic gas emissions. The work presented in this thesis consists in the optimization of the economic and environmental dispatching of an electricity network with three electricity production nodes which are thermal power stations. Optimization is studied in two cases. The first by considering the electricity network with conventional production and the second case by introducing photovoltaic production into the electricity production chain. The simulation is done under the Matlab environment using the genetic algorithm method. The results obtained showed the remarkable effect of integrating photovoltaic production into the electrical network. This effect consists of the remarkable reduction in the cost of electricity production and the minimization of toxic emissions in the environment.

Keywords: centralized and decentralized production, economic and environmental dispatching, optimization, genetic algorithms

المخلص

يتمثل التوزيع الاقتصادي والبيئي للشبكات الكهربائية في تحسين وظيفة تكلفة الإنتاج ووظيفة انبعاثات الغازات السامة. يتكون العمل المقدم في هذه الأطروحة من تحسين التوزيع الاقتصادي والبيئي لشبكة كهرباء بثلاث عقد لإنتاج الكهرباء وهي محطات طاقة حرارية. تمت دراسة التحسين في حالتين. الأولى بمقارنة شبكة الكهرباء بالإنتاج التقليدي، والحالة الثانية بإدخال إنتاج الخلايا الكهروضوئية في سلسلة إنتاج الكهرباء. تتم المحاكاة في بيئة ماتلاب باستخدام طريقة الخوارزمية الجينية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها التأثير الملحوظ لدمج إنتاج الخلايا الكهروضوئية في الشبكة الكهربائية. يتمثل هذا التأثير في التخفيض الملحوظ في تكلفة إنتاج الكهرباء وتقليل الانبعاثات السامة في البيئة.

الكلمات المفتاحية: الإنتاج المركزي واللامركزي، التوزيع الاقتصادي والبيئي، التحسين، الخوارزميات الجينية

Liste des figures

Chapitre I production de l'énergie électrique

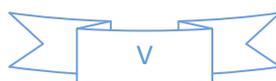
figure I 1.centrale thermique	4
figure I 2.Centrale nucléaire	5
figure I 3.L'énergie hydraulique.....	6
figure I 4.Energie éolienne	7
figure I 5.Principe de fonctionnement des cellules solaires	8
figure I 6.L'énergie biomasse.....	9
figure I 7.-micro cogénération	10

Chapitre II : Dispatching économique et environnemental des réseaux électriques et méthodes d'optimisation

figure II 1.classification des méthodes d'optimisation.....	15
figure II 2.Niveaux d'organisation des AG	16
figure II 3.l'organigramme de l'algorithme génétique.	17
figure II 4.la méthode de sélection de lotr é biaisée.....	19
figure II 6.(a) Croisement en un point de crossover, (b) Croisement en deux points de crossover.....	22
figure II 7.Ccroisement uniforme.....	23
figure II 8.La mutation en codage binaire	23

Chapitre III :optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

Figure III 1.Variation du coût total en fonction du nombre d'itérations(cas sans PV)	28
Figure III 2.Variation du coût total en fonction du nombre d'itérations (cas avec PV)	29



Liste des Tableaux

table III 1. Résultats optimaux cas sans PV	28
table III 2. Résultats optimaux cas avec PV	29
table III 3. Résultats optimaux des deux cas (sans PV et avec PV).....	30

Symbole

P	Dopé Positive.
N	Dopé Négative.
I	courant électrique.
VPV	tension de panneau.
VT	tension thermique.
T	température absolue en °K.
ID	Courant de saturation de la diode.
IPh	Photo courant.
A	le facteur d'idéalité.
K	constant de Boltzmann.
q	charge de l'électron.
IPh	Photo courant créer par la cellule.
IO	Courant de diode.
RSH	Résistances shunt.
RS	Résistance série.
TC	température de jonction (K).
Fthi (PGi)	la fonction du coût du combustible.
Fpvj(Ppvj)	est la fonction du coût de la min-centrale photovoltaïque.
PGi	la puissance générée.
Ppvj	la puissance générée par la ferme au noeud j.
Ai, Bi, Ci	Les coefficients de la fonction globale.
ai , bi , ci	coefficients de coût.
ng	nombre total de générateurs.
nf	nombre total de min-centrale photovoltaïque.
dj	le coefficient de coût propre à la min-centrale photovoltaïque.
Pd	Puissance active de charge totale.
PL	Pertes actives totales dans le réseau.
PGi min	Puissance minimale active du générateur.
PGi max	Puissance maximale active du générateur.
FP	facteur pénalité des prix

Introduction générale

Avec l'évolution récente de la croissance démographique et de la renaissance agricole et industrielle dans le monde, toutes ces évolutions ont fait que l'énergie électrique occupe une place très importante dans les branches de l'économie moderne et de la vie courante. Tous ces facteurs sont en premier lieu les facteurs influençant sur la consommation de l'énergie électrique qui est d'autre part en augmentation continue, ce qui a poussé les scientifiques et les ingénieurs à développer le domaine de l'informatique et de la programmation pour le développement de méthodes et outils permettant d'optimiser l'énergie électrique d'une manière efficace avec un coût minimal et une qualité conforme aux normes. D'autre part, l'énergie électrique étant très difficilement stockable, il doit y avoir en permanence un équilibre entre la production et la consommation pour cela il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre des centrales électriques, et des différents ouvrages (Transformateurs, lignes de transmission, etc.), ceci conduit à une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel. Le marché des énergies renouvelables s'est considérablement développé ces dernières années, ce qui a amené de nombreux pays à revoir leur politique de développement en recourant à l'exploitation des énergies renouvelables qui produisent une énergie durable et respectueuse de l'environnement dont l'énergie photovoltaïque est l'une de ces énergies qui est devenue une réalité mondiale incontournable.

La présence d'une production photovoltaïque dans le réseau électrique aura sans doute un effet très important sur dispatching économique et environnemental des réseaux électriques.

L'objectif de ce travail c'est l'optimisation du dispatching économique et environnemental d'un réseau électrique en présence d'une production photovoltaïque et cela à l'aide de la méthode des algorithmes génétiques. Cette méthode est très utilisés par les chercheurs dans le domaine l'optimisation des différents systèmes vu leur efficacité dans le traitement des problèmes d'optimisations.

Le mémoire est structuré comme suit :

Dans le premier chapitre on a donné une idée sur la production électrique centralisé par les moyens classiques comme les centrales thermique et la production décentralisé qui est assuré par les sources renouvelables comme le photovoltaïque et l'éolienne etc....

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des méthodes d'optimisation particulièrement la méthode des algorithmes génétique.

Le troisième et dernier chapitre consiste en l'application de la méthode des algorithmes génétiques dans l'optimisation économique et environnement d'un réseau électrique, en premier cas sans production décentralisé et en deuxième cas avec l'ajout d'une production photovoltaïque dans la chaîne de production électrique.

Une conclusion générale sur les résultats est donnée à la fin de ce travail.

Chapitre I : production de l'énergie électrique

I.1. Introduction

L'énergie électrique est un facteur essentiel du développement économique, dans tous les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse. La production d'électricité, ramenée au nombre d'habitants, est donc un bon indicateur permettant de mesurer les écarts de développement entre les différentes régions du monde.

I.2. Techniques générales de la production de l'électricité

I.2.1. sources primaires d'énergie

Les sources d'énergie se répartissent en deux grands segments : les matières premières et les phénomènes naturels. De manière générale, les premières fournissent les énergies dites fossiles alors que les secondes fournissent les énergies dites renouvelables.

L'énergie primaire est issue de la nature avant d'être transformée. En cas de non-utilisation de la source primaire dans son état initial, elle est exploitée afin de la transformer en une source d'énergie secondaire utilisable et transportable. Voici la liste des sources d'énergie primaires :

[1]

- Uranium
- Charbon
- Hydrocarbures
- Cours d'eau et chutes d'eau
- Force de la mer
- Rayonnement du soleil
- Force du vent
- Pétrole
- Gaz naturel
- Géothermie
- Déchets et biomasse

I.2.2. les énergies secondaires

L'énergie secondaire est celle obtenue grâce à la transformation d'énergie. Contrairement à la source d'énergie primaire, l'énergie secondaire est plus simplement stockable, transportable et utilisable. Les énergies secondaires sont également connues sous le nom de "vecteurs énergétiques". La transformation d'énergie se fait grâce aux différentes centrales suivantes :

- Centrale nucléaire
- Centrale thermique à flamme (fossile)
- Centrale hydraulique
- Centrale éolienne
- centrale solaire photovoltaïque
- Centrale géothermique
- Cogénération
- Centrale solaire thermique à concentration

I.3. Centrales électriques classiques (thermique et nucléaire)

I.3.1. Centrales thermiques classiques

Sont appelées également centrales thermiques à flamme, elles fonctionnent avec l'énergie produite par une chaudière à vapeur alimentée par du charbon, du gaz naturel, du fuel mais aussi de la biomasse. Cette vapeur actionne une turbine qui, à son tour, entraîne un alternateur pour produire de l'électricité. [2]

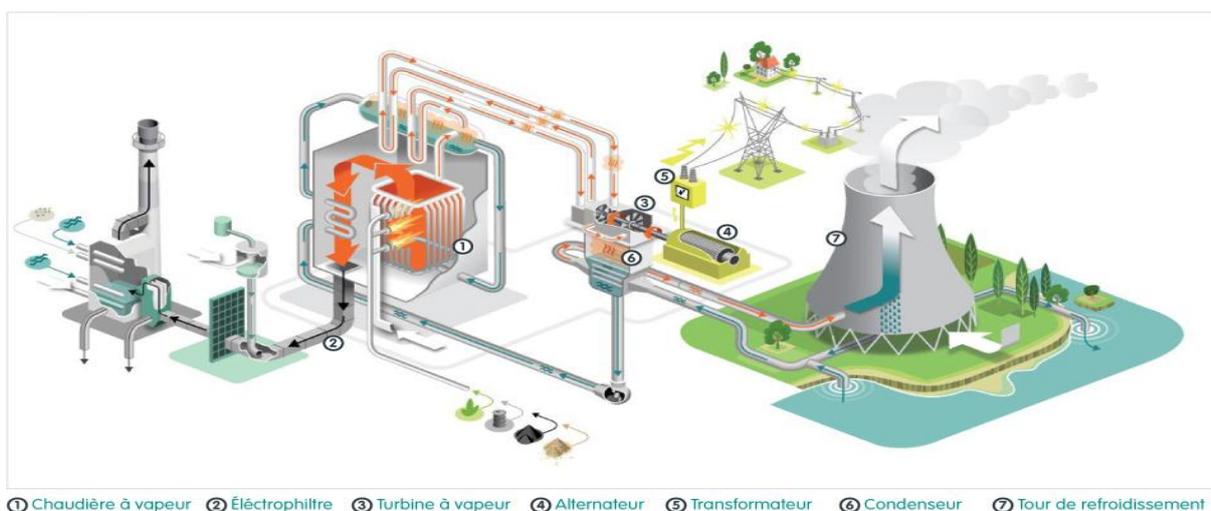


figure I 1.centrale thermique

I.3.2. Centrale classiques nucléaire

Les centrales nucléaires sont des usines de production d'électricité. Ce sont des centrales thermiques dont la source de chaleur est l'énergie dégagée par la fission d'un matériau nucléaire, le combustible. Cette chaleur est transformée en énergie mécanique, puis électrique. [3]

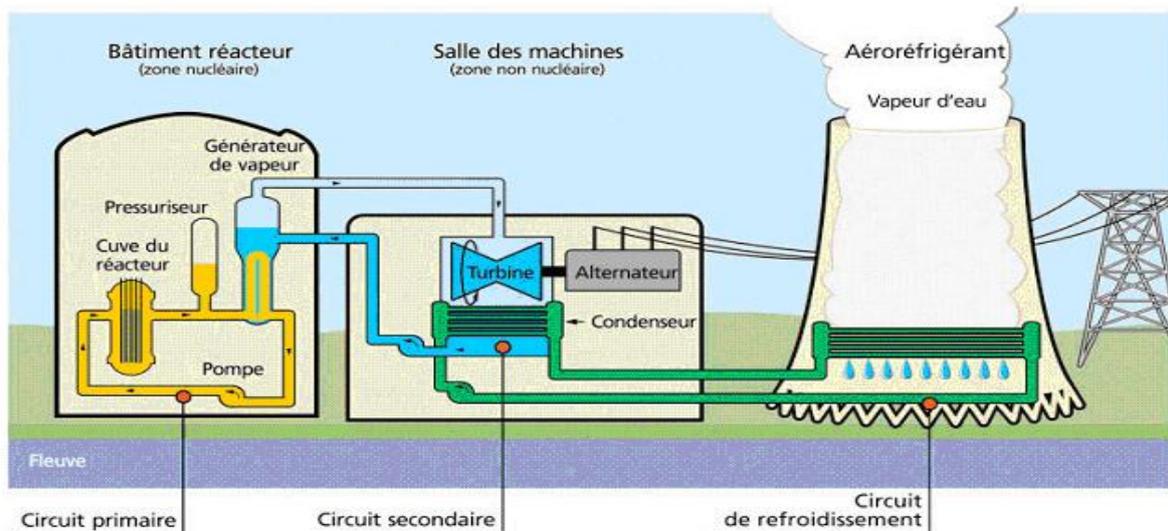


figure I.2 Centrale nucléaire

I.4. Production électrique décentralisée (PD)

I.4.1. Technologies de la production décentralisée

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique) [4]. L'énergie solaire peut être exploitée sous différentes formes .

I.4.2.1. L'énergie hydraulique

Elle est produite par la force de l'eau. Elle est exploitée grâce aux retenues d'eau des barrages, ou encore avec des centrales au fil de l'eau.



figure I 3.L'énergie hydraulique

I.4.3.énergie géothermique

Le principe de la géothermie consiste à puiser dans une nappe phréatique ou le plus souvent à prélever l'énergie gratuite contenue dans le sol pour chauffer une habitation, cette énergie est constamment renouvelée par la nature, le soleil, le vent, la pluie. C'est donc une énergie renouvelable.

I.4.4. solaire et éolien

I.4.4.1. Energie éolienne

Elle est produite par la force du vent qui fait tourner les pales d'une éolienne. L'énergie dite mécanique est convertie en énergie électrique par une génératrice.

Une éolienne est une machine permettant de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de type éolienne. Cette énergie mécanique éolienne a été utilisée au cours des âges pour pomper l'eau ou moulin le grain [6].

Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité de type éolienne qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau).

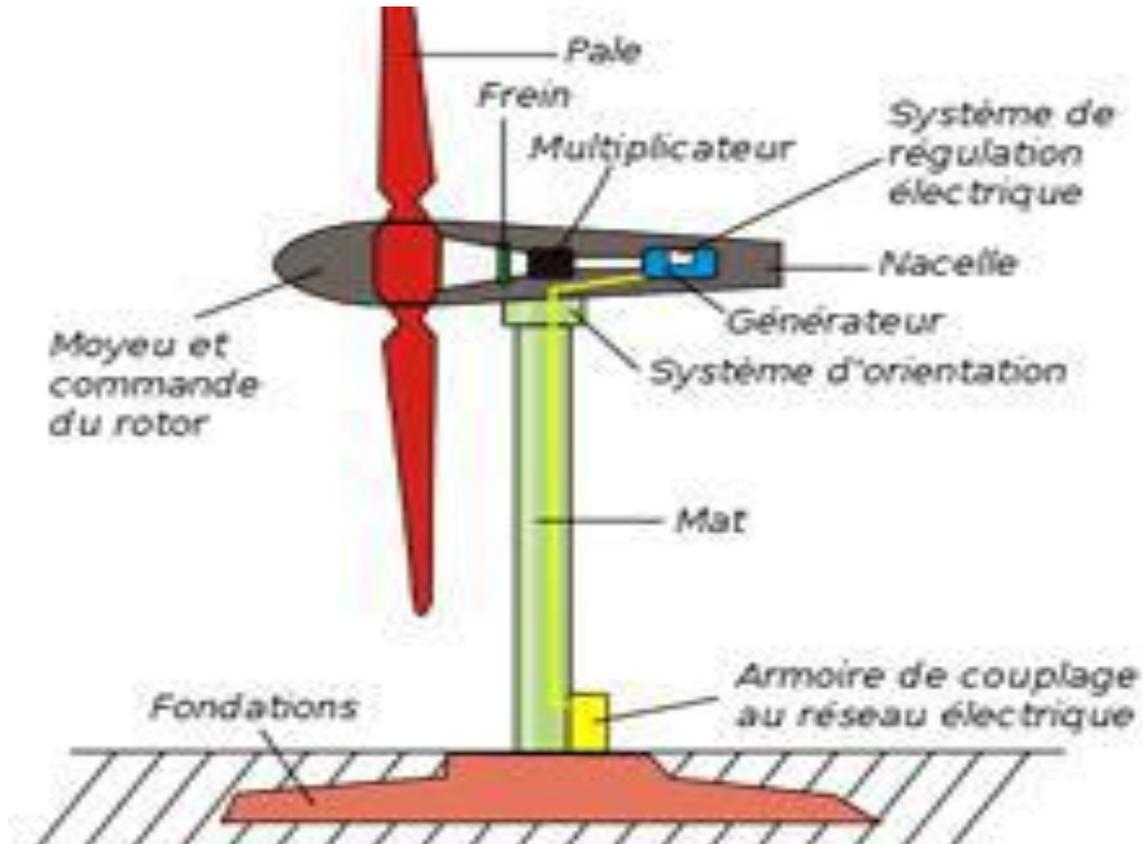


figure I 4. Energie éolienne

I.4.4.2. Energie solaire

Les photons sont convertis en courant électrique par un semi-conducteur. L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque.

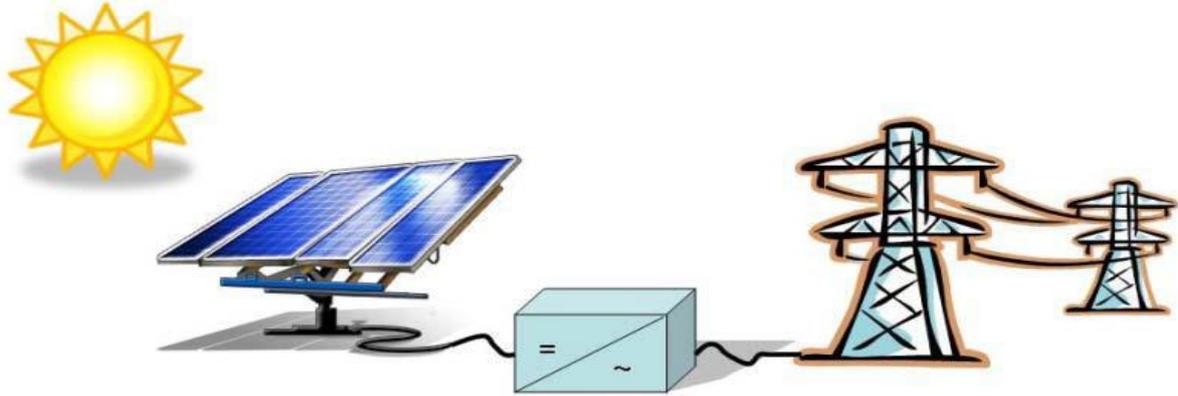


figure 1 5.Principe de fonctionnement des cellules solaires

I.4.5. L'énergie biomasse

Une centrale électrique à biomasse produit de l'électricité et de la chaleur par combustion de La biomasse dans une chaudière. Les types les plus communs de chaudières sont des Chaudières à eau chaude et des chaudières à vapeur.

La biomasse permet en général de réduire les émissions de CO₂ de plus de 80 %.

La production, le traitement et le transport de la biomasse génèrent des émissions de CO₂ Dans la chaîne d'approvisionnement. La production d'électricité par la biomasse produit des Gaz de combustion qui doivent être nettoyés avant d'être émis dans l'atmosphère. Ceci est fait En utilisant des techniques bien établies telles que le lavage des gaz de combustion et les Filtres à particules.

Il existe trois familles pour la biomasse :

- La biomasse lignocellulosique, (ou lignine) comprenant principalement le bois, les Résidus verts, ainsi que la paille. Leurs utilisation est faite à partir d'une combustion, Ou conversions thermochimiques.

- La biomasse à glucide, utilisant la canne à sucre, les céréales et les betteraves Sucrières. On favorise ces constituants par une méthanisation (C'est un processus Naturel biologique de dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène), ou Encore par distillation, conversions biologiques.

- La biomasse oléagineuse, qui est riche en lipide. Ses composants sont le colza, ainsi Que le palmier à huile. Cette catégorie de biomasse est appelé "Biocarburants". Ces Carburants sont récoltés suite à de nouvelles transformations chimiques, et en ressort Sous deux formes : Les esters d'huile végétale, et sous la forme de l'éthanol.

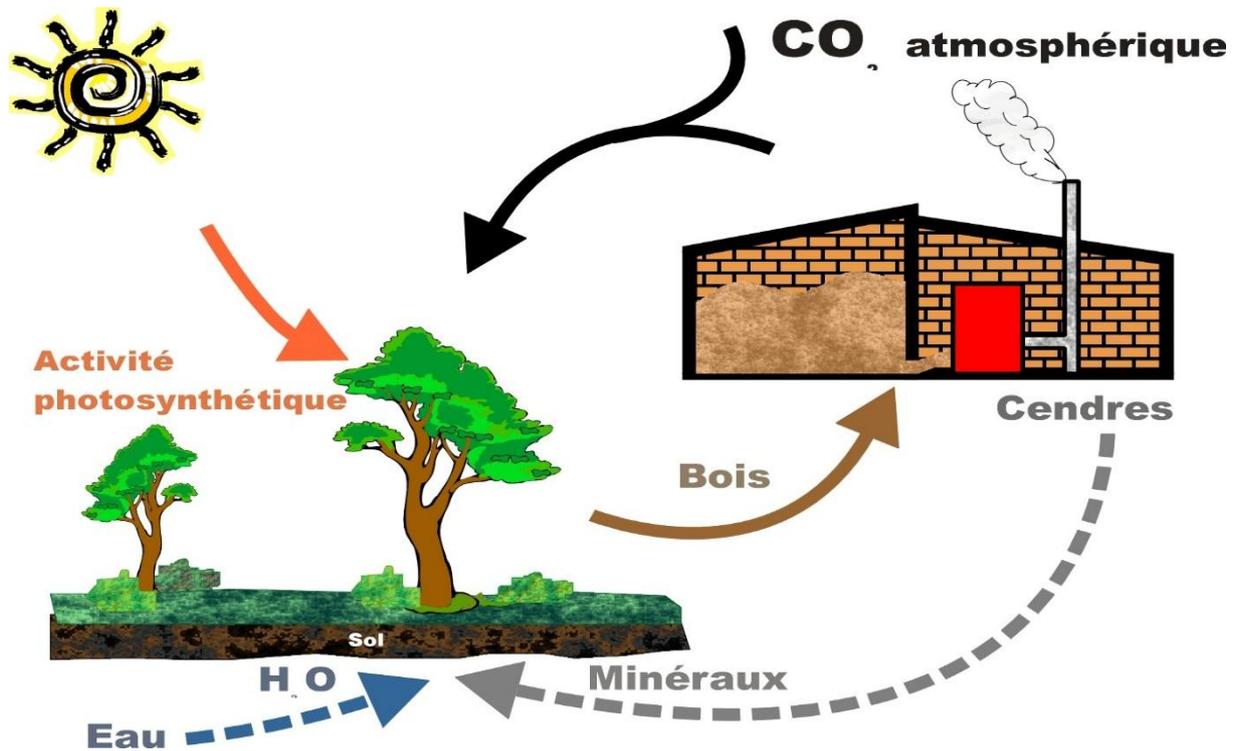


figure I 6. L'énergie biomasse

I.4.6. Des unités de cogénération

Elles produisent simultanément de la chaleur (à titre principal) et de l'électricité (à titre secondaire), dans une même installation et avec un seul combustible. Il s'agit d'un dispositif très économe en énergie. En récupérant l'énergie thermique perdue d'ordinaire lors de la production électrique, ces unités permettent de produire de l'électricité et de la chaleur avec un rendement proche de 90%, ce qui présente un grand intérêt pour les sites industriels.

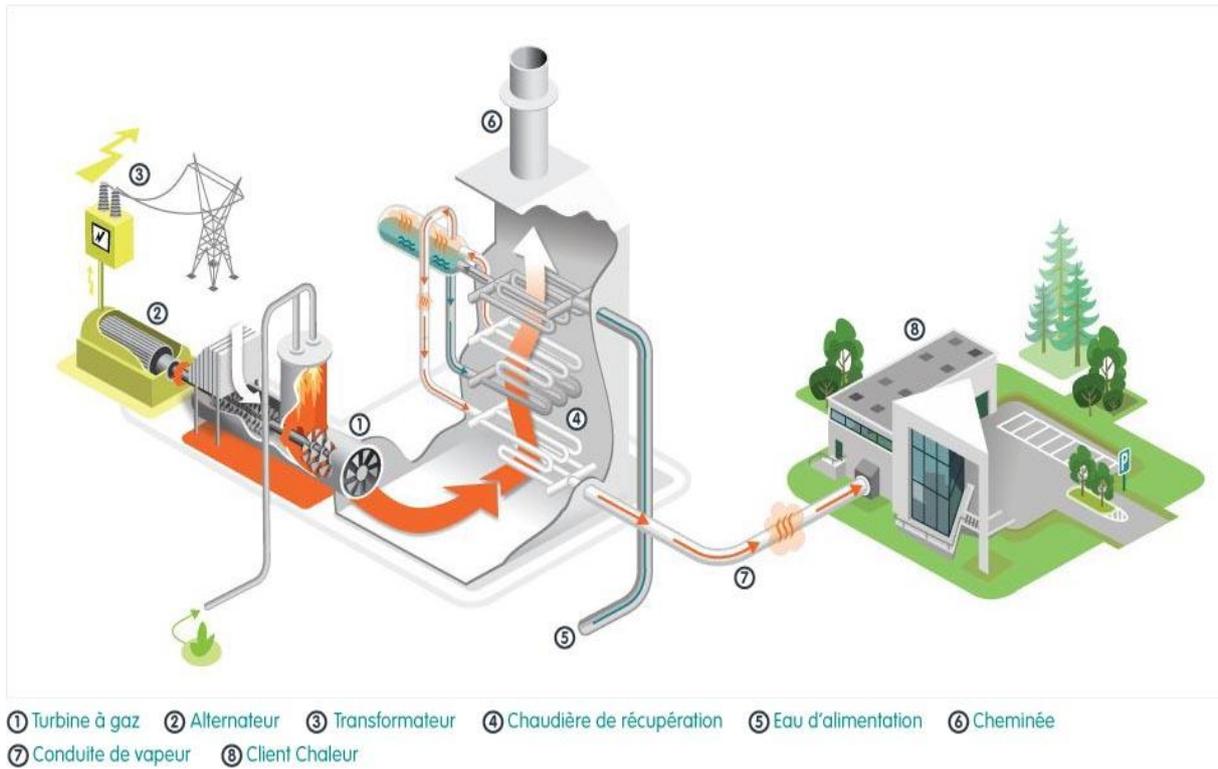


figure I 7.-micro cogénération

I.4.7.avantages

Les avantages d'une production d'énergie décentralisée

La production d'énergie décentralisée concerne pour l'instant surtout l'électricité, mais la chaleur pourrait très vite suivre. Ce mode de production présente plusieurs avantages :

- Il permet de renforcer l'autonomie énergétique d'emplacements isolés.
- Une production "personnelle" d'énergie incite les consommateurs à la modération et à se responsabiliser davantage.
- Il favorise un désengorgement du réseau. Celui-ci est moins sujet aux pannes et aux blocages – lesquels ont, du reste, des conséquences moins importantes lorsqu'ils se produisent et pénalisent de fait moins d'utilisateurs.
- Cela réduit la dépendance énergétique du pays, tout en entraînant la création de nouveaux emplois sur la durée. Il ne suffit en effet pas de construire ces centrales de production, il faut également les faire tourner. [7]

I.4.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un concept général du contexte énergétique mondial.

Nous avons également mentionné les différentes centrales électriques.

Depuis l'apparition des réseaux électriques ceux-ci ont toujours connu des évolutions. Ces évolutions avaient pour but majeur d'améliorer le fonctionnement des réseaux.

L'insertion à grande échelle de la production décentralisée dans les années à venir semble énergétiquement et économiquement intéressante

**Chapitre II : Dispatching
économique et environnemental
des réseaux électriques et
méthodes d'optimisation**

II.1. Introduction

Le dispatching économique environnemental (DEE) est une opération capitale dans les systèmes de transport de l'énergie. À cause de l'accroissement de la population, de l'urbanisation et de l'industrialisation, il en résulte une augmentation de la consommation de l'énergie électrique notamment et pour satisfaire cette demande sans cesse grandissante, il est nécessaire d'augmenter la production. Cependant, la majorité des centrales électriques installées sont des centrales thermiques fonctionnant aux combustibles fossiles. En augmentant la production au niveau de ces centrales, d'un côté, le coût total de production va augmenter du fait du prix élevé des combustibles utilisés et d'un autre côté, l'émission de CO₂ va également augmenter. Or, l'augmentation de ces polluants en grande quantité peut provoquer des dégradations environnementales mortelles comme le réchauffement climatique .

II.2. But du dispatching économique et environnemental des réseaux électriques

Le but du dispatching économique environnemental est de palier à ces problèmes économiques et environnementaux. Le DEE consiste à répartir judicieusement les puissances générées par l'ensemble des centrales électriques de façon à réduire le coût de production totale et les émissions de CO₂ [8]. Ainsi, il représente un outil fondamental et incontournable pour l'exploitation optimale économique et écologique du réseau électrique.

En effet il existe deux catégories du dispatching : le dispatching économique environnemental statique qui consiste à résoudre le problème pour une demande à un instant t donné et le dispatching économique environnemental dynamique qui consiste à résoudre le problème du sur une plage de temps (une journée par exemple).

II.3. Optimisation du dispatching économique et environnemental

Le dispatching économique et environnemental est un problème d'optimisation multi-objectif impliquant des objectifs concurrents que sont la minimisation du coût de production et la minimisation des émissions . Il nécessite donc une formulation mathématique rigoureuse.

II.3.1. Formulation d'un problème d'optimisation

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum (de l'optimum donc) d'une fonction donnée. Ainsi, résoudre un problème d'optimisation comme les problèmes du DEES et du DEED, consiste à rechercher le (les) minimum(s) ou le (les)

maximum(s) de plusieurs fonctions dites fonctions objectifs. Ces fonctions comportent des variables de décisions soumises à des contraintes qui déterminent la complexité du problème.

Des modélisations mathématiques sont parfois utilisées pour représenter les éléments à optimiser. Les méthodes d'optimisation utilisent ensuite ces modélisations pour résoudre les problèmes. Un problème d'optimisation se représente par une ou plusieurs fonctions objectifs et des contraintes [9]. Mathématiquement, un problème d'optimisation se présentera sous la forme suivante [10] :

$$\left| \begin{array}{ll} \text{minimiser} & \vec{f}(\vec{x}) \quad (\text{fonction à optimiser}) \\ \text{avec} & \vec{g}(\vec{x}) \leq 0 \quad (m \text{ contraintes d'inégalité}) \\ \text{et} & \vec{h}(\vec{x}) = 0 \quad (p \text{ contraintes d'égalité}) \end{array} \right.$$

Le nombre, la nature et le type de $f(x)$, $g(x)$, $h(x)$ ou l'espace de recherche permettent de classifier les problèmes d'optimisation [10]. Suivant le nombre d'objectif, nous distinguerons deux catégories de problèmes d'optimisation : les problèmes mono-objectifs ($k = 1$) et les problèmes multi-objectifs ($k > 1$). L'optimisation multi-objectif est également appelée optimisation multi-critères [9].

II.3.2 Les algorithmes d'optimisation

Plusieurs algorithmes ont été utilisés dans la littérature pour résoudre les problèmes d'optimisation du dispatching économique et environnemental. Ces méthodes sont variées et se différencient par leurs principes, leurs stratégies et leurs performances.

En se basant sur ces divergences, on peut regrouper ces méthodes en deux classes principales : les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques.

Une classification générale des méthodes d'optimisation [11] est présentée sur la figure II.1.

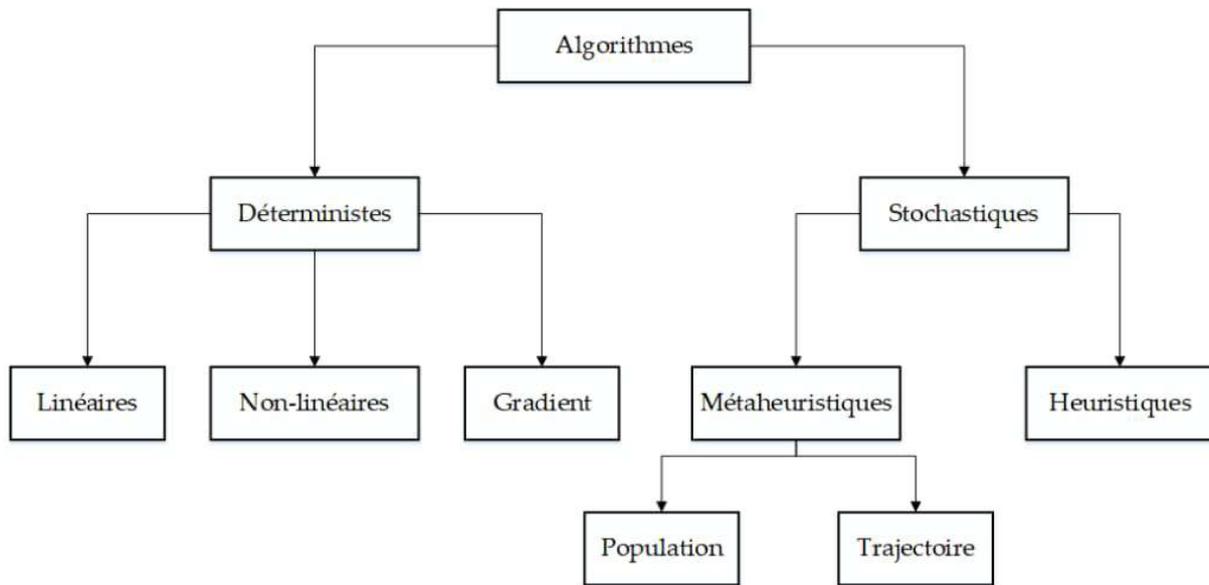


figure II 1.classification des méthodes d'optimisation

II.4. Les Algorithmes Génétiques

Les algorithmes génétiques, initiés dans les années 1970 par John Holland, sont des algorithmes d'optimisation stochastique s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : croisement, mutation, sélection. Ils occupent une place très importante dans le domaine d'optimisation où leur champs d'application est très large par exemple : optimisation des fonctions (coût, émission des gaz toxiques ou pertes de puissance), planification et bien d'autres domaines.[12][13]

Le vocabulaire employé est directement reproduit sur celui de la théorie de l'évolution et de la génétique. Ainsi, chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène. Toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène. 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 (figure 4.2). [14]

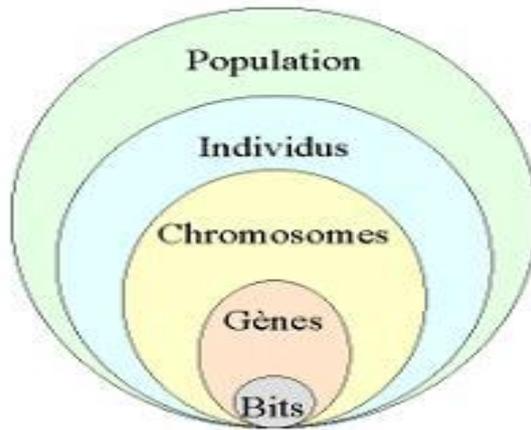


figure II 2. Niveaux d'organisation des AG

II.4.1. Présentation des AG

Les algorithmes génétiques sont définis de la manière suivante:

1. Individu : chromosome, séquence d'une solution potentielle du problème ;
2. Population : un ensemble de chromosomes ou de points de l'espace de recherche ;
3. Environnement: l'espace de recherche ;
4. Fonction de fitness : la fonction objective à optimiser.

Le but d'un algorithme génétique est de trouver l'optimum de la fonction de fitness. Bien évidemment, chaque problème particulier nécessitera ses propres fonctions. Les AG sont alors basés sur les phases suivantes :

1. Initialisation : Tirage aléatoire de N chromosomes de la population initiale.
2. Évaluation : Décodage d'un chromosome, puis son évaluation.
3. Sélection : Création d'une nouvelle population de N chromosomes par l'utilisation d'une méthode de sélection appropriée.
4. Reproduction : Possibilité de croisement et mutation au sein de la nouvelle population.
5. Retour à la phase d'évaluation jusqu'à l'arrêt de l'algorithme.

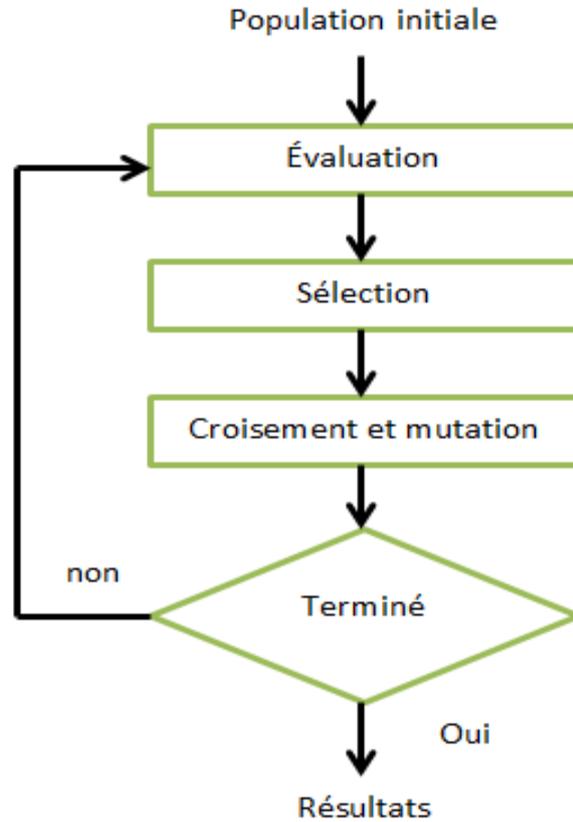


figure II 3.l'organigramme de l'algorithme génétique.

II.4.2 Les Opérateurs

Les opérateurs jouent un rôle prépondérant dans la réussite possible d'un AG. Nous en comptons trois principaux : l'opérateur de sélection, de croisement et de mutation. Si le principe de chacun de ces opérateurs est facilement compréhensible, il est toutefois difficile d'expliquer l'importance isolée de chacun de ces opérateurs dans la réussite de l'AG. Cela tient pour partie au fait que chacun de ces opérateurs agit selon divers critères qui lui sont propres (valeur sélective des individus, probabilité d'activation de l'opérateur, etc.).

II.4.2.1 Opérateur de Sélection

Cet opérateur est peut-être le plus important puisqu'il permet aux individus d'une population de survivre, de se reproduire ou de mourir. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement liée à son efficacité relative au sein de la population.

On trouve essentiellement quatre types de méthodes de sélection différentes :

- La méthode de la loterie biaisée (roulette),
- La méthode élitiste,
- La sélection par tournois,
- La sélection universelle stochastique.

II.4.2.1.1. La Sélection par la méthode de la Roulette

Cette méthode est la plus connue et la plus utilisée. Avec cette méthode chaque individu a

Une chance d'être sélectionné proportionnelle à sa performance, donc plus les individus sont

adaptés au problème, plus ils ont de chances d'être sélectionnés.

Pour utiliser l'image de la "roue du forain", chaque individu se voit attribué un secteur dont

l'angle est proportionnel à son adaptation, sa "fitness". On fait tourner la roue et quand elle cesse de tourner on sélectionne l'individu correspondant au secteur désigné par une sorte de

"curseur", curseur qui pointe sur un secteur particulier de celle-ci après qu'elle se soit arrêté de tourner.

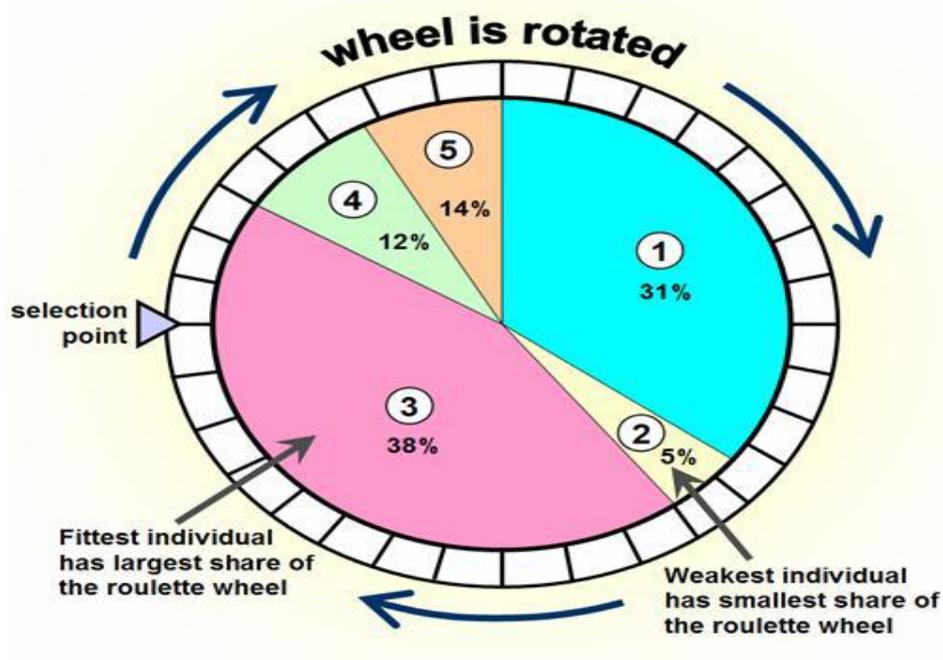


figure II 4. la méthode de sélection de lotr é biaisée.

II.4.2.1.2. La Sélection Elitiste

Cette méthode consiste à sélectionner les N individus dont on a besoin pour la nouvelle génération P' en prenant les N meilleurs individus de la population P après l'avoir triée de manière décroissante selon la fitness de ses individus.

Il est inutile de préciser que cette méthode est encore pire que celle de la loterie biaisée dans le sens où elle amènera à une convergence prématurée encore plus rapidement et surtout

de manière encore plus sûre que la méthode de sélection de la loterie biaisée ; en effet, la pression de la sélection est trop forte, la variance nulle et la diversité inexistante, du moins le

peu de diversité qu'il pourrait y avoir ne résultera pas de la sélection mais plutôt du croisement et des mutations.

II.4.2.1.3. La Sélection Par Tournois

Cette méthode est celle avec laquelle on obtient les résultats les plus satisfaisants.

Le principe de cette méthode est le suivant : on effectue un tirage avec remise de deux individus de P , et on les fait "combattre". Celui qui a la fitness la plus élevée l'emporte avec une probabilité p comprise entre 0.5 et 1. On répète ce processus n fois de manière à obtenir

les N individus de P' qui serviront de parents.

La variance de cette méthode est élevée et le fait d'augmenter ou de diminuer la valeur de p permet respectivement de diminuer ou d'augmenter la pression de la sélection.

II.4.2.1.4. La Sélection Universelle Stochastique

Cette méthode semble être très peu utilisée et qui plus est possède une variance faible, donc introduit peu de diversité, nous n'entrerons donc pas dans les détails, on se contentera d'exposer sa mise en œuvre : on prend l'image d'un segment découpé en autant de sous segments qu'il y a d'individus. Les individus sélectionnés sont désignés par un ensemble de points équidistants.

II.4.2.2 Opérateur de Croisement

a- . L'OPERATEUR DE CROISEMENT (CROSSOVER)

Le crossover utilisé par les algorithmes génétiques est la transposition informatique du mécanisme qui permet, dans la nature, la production de chromosomes qui héritent partiellement des caractéristiques des parents. Son rôle fondamental est de permettre la recombinaison des informations présentes dans le patrimoine génétique de la population. Cet opérateur est appliqué après avoir appliqué l'opérateur de sélection sur la population P ; on se retrouve donc avec une population P' de $n/2$ individus et on doit doubler ce nombre pour que notre nouvelle génération soit complète. On va donc créer de manière aléatoire $n/4$ couples et on les fait se "reproduire".

Les chromosomes (ensembles de paramètres) des parents sont alors copiés et recombinaison

Chapitre II : Dispatching économique et environnemental des réseaux électriques et méthodes d'optimisation

de façon à former deux descendants possédant des caractéristiques issues des deux parents.

Détaillons ce qui se passe pour chaque couple au niveau de chacun de leurs chromosomes :

Un, deux, voire jusqu'à $l_g - 1$ (où l_g est la longueur du chromosome) points de croisements (loci) sont tirés au hasard, chaque chromosome se retrouve donc séparé en "segments". Puis chaque segment du parent 1 est échangé avec son "homologue" du parent 2 selon une probabilité de croisement p_c . De ce processus résulte 2 fils pour chaque couple et notre population P' contient donc bien maintenant n individus.

On peut noter que le nombre de points de croisements ainsi que la probabilité de croisement p_c permettent d'introduire plus ou moins de diversité.

En effet, plus le nombre de points de croisements sera grand et plus la probabilité de croisement sera élevée plus il y aura d'échange de segments, donc d'échange de paramètres, d'information, et plus le nombre de points de croisements sera petit et plus la probabilité de croisement sera faible, moins le croisement apportera de diversité.

b- Le Croisement En Un Point Et En Deux Points De Crossover

Ci-dessous, un schéma illustrant un croisement en un point, un autre pour un croisement en deux points:

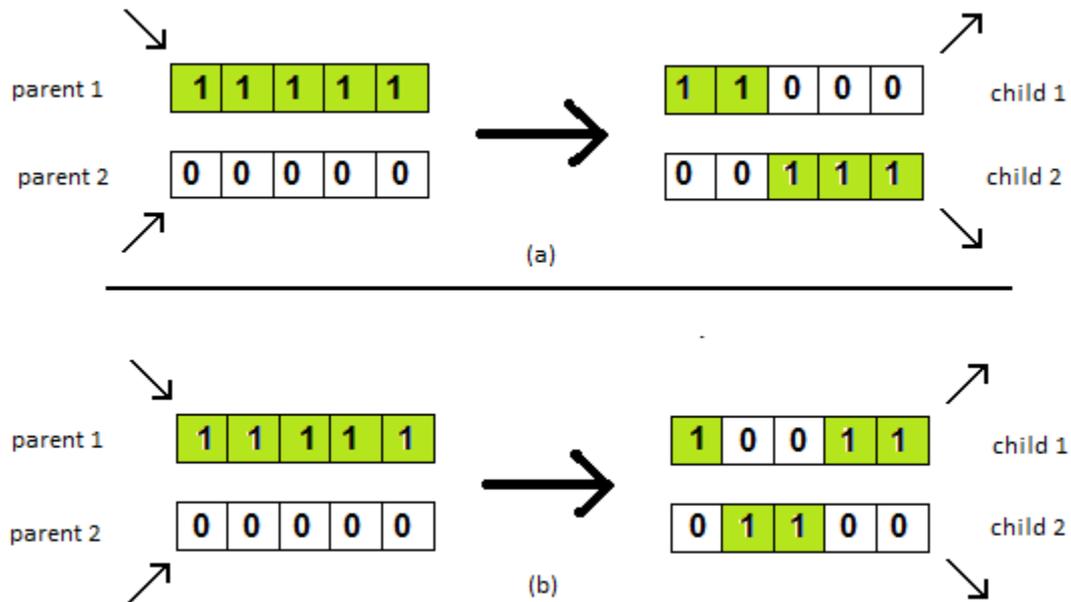


figure II 5.(a) Croisement en un point de crossover, (b) Croisement en deux points de crossover.

c- Le Croisement Uniforme

Pour le croisement uniforme, la mise en oeuvre de ce procédé est fort simple, elle consiste à définir de manière aléatoire un "masque", c'est-à-dire une chaîne de bits de même longueur que les chromosomes des parents sur lesquels il sera appliqué. Ce masque est destiné à savoir,

pour chaque locus, de quel parent le premier fils devra hériter du gène s'y trouvant; si face à un locus le masque présente un 0, le fils héritera le gène s'y trouvant du parent n° 1, s'il présente un 1 il en héritera du parent n° 2. La création du fils n° 2 se fait de manière symétrique : si pour un gène donné le masque indique que le fils n° 1 devra recevoir celui-ci

du parent n° 1 alors le fils n° 2 le recevra du parent n° 2, et si le fils n° 1 le reçoit du parent n° 2 alors le fils 2 le recevra du parent n° 1.

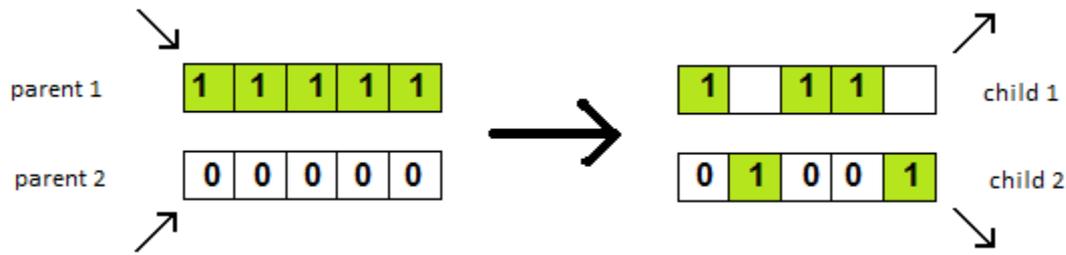


figure II 6.Croisement uniforme.

II.4.2.3 Opérateur de Mutation

Cet opérateur consiste à changer la valeur allélique d'un gène avec une probabilité p_m très

faible, généralement comprise entre 0.01 et 0.001. On peut aussi prendre $p_m = 1 / l_g$ où l_g est

la longueur de la chaîne de bits codant notre chromosome.

Une mutation consiste simplement en l'inversion d'un bit (ou de plusieurs bits, mais vu la probabilité de mutation c'est extrêmement rare) se trouvant en un locus bien particulier et lui

aussi déterminé de manière aléatoire. L'opérateur de mutation modifie donc de manière complètement aléatoire les caractéristiques d'une solution, ce qui permet d'introduire et de maintenir la diversité au sein de notre population de solutions. Cet opérateur joue le rôle d'un "élément perturbateur", il introduit du "bruit" au sein de la population.

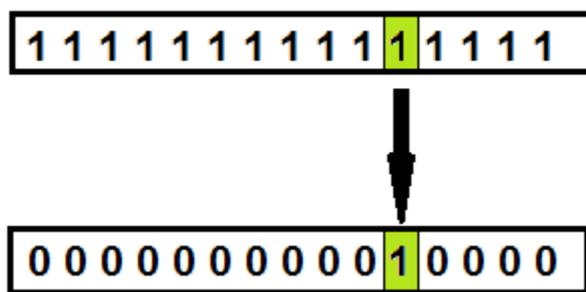


figure II 7.La mutation en codage binaire

II.4.3. Autres Paramètres

Les opérateurs sont guidés par un certain nombre de paramètres fixés à l'avance. La valeur de ces paramètres influence la réussite ou non d'un algorithme génétique. Ces paramètres sont les suivants:

1. La taille de la population N et la longueur du codage de chaque individu. Si N est trop grand, le temps de calcul de l'algorithme peut s'avérer très important, et si N est trop petit, il peut converger trop rapidement vers un mauvais chromosome.
2. La probabilité de croisement p_c : elle dépend de la forme de la fonction de fitness. Son choix est en général heuristique (tout comme pour p_m). Plus elle est élevée, plus la population subit des changements importants. Les valeurs généralement admises sont comprises entre 0,5 et 0,9.
3. La probabilité de mutation p_m : ce taux est généralement faible puisqu'un taux élevé risque de conduire à une solution sous optimale.

II.5. Conclusion

Les algorithmes génétiques sont très bien adaptés au traitement d'un problème d'optimisation multi-objectif. C'est pourquoi beaucoup d'auteurs font recours à eux. Ils ont été utilisés par de nombreux auteurs dans la littérature

Ainsi, il existe une multitude d'AG qui ont été développés pour résoudre les problèmes multi-objectifs et qui se basent sur un codage, un mécanisme de sélection, des opérateurs de crossover et de mutation et/ou une gestion de la diversité dans la population différents.

Le chapitre suivant sera consacré à l'application des AG pour l'optimisation économique environnemental des réseaux électrique en présence d'une production photovoltaïque

Chapitre III : optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

Chapitre III : optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

III.1. Introduction

Les production à énergie renouvelable contribue dans la prDans les systèmes électriques, il est nécessaire de produire à tout moment la puissance électrique nécessaire et une puissance suffisante pour répondre à la demande de la charge, et cette demande varie considérablement le jour et la nuit, ainsi que les saisons et les coûts énergétiques. La production d'une usine à l'autre par type et efficacité. L'étude économique et environnementale c' est la détermination des niveaux de production pour tous les groupes électrogènes qui assurent un équilibre entre production et consommation au moindre coût tout en réduisant les émissions de gaz toxiques

III.2. formulation du problème

III.2.1 Fonction économique

a) Fonction du coût de la production thermique:

Les producteurs d'énergie électrique déterminent expérimentalement les courbes donnant le coût de production de chaque groupe en fonction de la puissance qu'il débite. La fonction associée à ces courbes est un polynôme de degré «n». En pratique, le plus souvent, elle est présentée sous forme d'un polynôme de deuxième degré : [15]

$$F_{thi}(P_{Gi}) = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i (\$/h) \quad i = 1, 2, \dots, n_g \quad (\text{II} - 1)$$

$F_{thi}(P_{Gi})$ est la fonction du coût du combustible, P_{Gi} est la puissance générée, a_i , b_i et c_i sont les coefficients du coût propres à chaque unité de production d'énergie électrique et n_g nombre total de générateurs.

b) Fonction du coût de la production de la mini-centrale photovoltaïque:

La fonction du coût d'une min-centrale photovoltaïque peut être représentée par la fonction linéaire suivante :

$$F_{pvj}(P_{pvj}) = d_j P_{pvj} (\$/h) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{II} - 2)$$

$F_{pvj}(P_{pvj})$ est la fonction du coût de la min-centrale photovoltaïque,

P_{pvj} est la puissance générée par la centrale photovoltaïque au nœud j,

d_j est le coefficient du coût propre à la min-centrale photovoltaïque et n_f nombre total de min-centrale photovoltaïque.

Le coût de la production photovoltaïque peut être obtenu en se basant sur les équations suivantes:

Chapitre III : optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

$$C_{PV} = aI^p \sum_{j=1}^{n_f} (P_{pvj}) + G^E \sum_{j=1}^{n_f} (P_{pvj})$$

$$F_{pvj}(P_{pvj}) = aI^p P_{PV} + G^E P_{PV}$$

$$a = \frac{r}{[1 - (1 + r)^{-N}]}$$

Où P_{PV} est la production de la source d'énergie solaire, a est le coefficient d'annualisation, r est le taux d'intérêt (0,09), N est la durée de vie de l'investissement (20 ans), I^p est le coût d'investissement par unité de puissance installée et G^E est le Coût de fonctionnement et de maintenance. I^p et G^E sont pris comme 5000 \$/kW et 1,6 cents/kW, respectivement pour les sources d'énergie solaire.

$$F_{pvj}(P_{pvj}) = 547.7483 * P_{PV}$$

La minimisation de la fonction du coût total de production thermique et la production photovoltaïque est présentée comme suit :

$$\text{Min} \left\{ F = \sum_{i=1}^{n_g} F_{thi}(P_{Gi}) + \sum_{j=1}^{n_f} F_{pvj}(P_{pvj}) \right\} \quad (\text{II} - 3)$$

Sous les contraintes:

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_{Gi} + \sum_{j=1}^{n_f} P_{pvj} - P_d - P_L = 0 \quad (\text{II} - 4)$$

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad i = 1, \dots, n_g \quad (\text{II} - 5)$$

$$0 \leq P_{pvj} \leq P_{pvj \max} \quad j = 1, \dots, n_f \quad (\text{II} - 6)$$

P_d : Puissance active de charge totale.

P_L : Pertes actives totales dans le réseau.

$P_{Gi \min}$: Puissance minimale active du générateur.

$P_{Gi \max}$: Puissance maximale active du générateur.

III.2.2. Fonction environnemental:

La fonction des émissions des gaz provenant des centrales de production peut être décrite comme suit :

Chapitre III : optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

$$E_i(P_{Gi}) = \alpha_i P_{Gi}^2 + \beta_i P_{Gi} + \delta_i (\text{Ton/h}) \quad (\text{II} - 7)$$

L'étude environnementale consiste à minimiser la fonction des émissions :

$$\text{Min} \{E = \sum_{i=1}^{n_g} E_i(P_{Gi})\} \quad (\text{II} - 8)$$

Sous les contraintes données par les équations (5) à (6).

III.3.Optimisation bi-objective et mono-objective:

L'étude économique-environnemental consistent donc à chercher la minimisation simultanée des deux fonctions décrites par les mêmes variables objets. Le problème d'optimisation représente un problème bi-objectifs ou bi-critères. La difficulté principale d'un tel problème d'optimisation est liée à la présence de conflits entre les deux fonctions. Pour cela, le problème d'optimisation bi-objectifs peut être transformé en un problème d'optimisation mono-objectif, introduisant un facteur pénalité des prix F_p qui représente le rapport entre le maximum coût du carburant et les émissions maximales du générateur correspondant. [16]

$$F_{Pi} = \frac{F_{thi}(P_{Gi\ max})}{E_i(P_{Gi\ max})} (\$/ton) \quad (\text{II} - 9)$$

Les étapes suivantes sont utilisées pour trouver le facteur de pénalité de prix pour une demande de charge particulière.

- 1- Trouver le rapport entre le coût de carburant maximum et le maximum Emission $\frac{F_{thi}(P_{Gi\ max})}{E_i(P_{Gi\ max})}$ de chaque générateur.
- 2- Disposer les valeurs du facteur de pénalité de prix dans l'ordre croissant.
- 3- Ajouter la puissance générée maximale de chaque unité ($P_{Gi\ max}$)une par une, en commençant par la puissance de la centrale ayant le plus petit facteur. Une fois $\sum P_{Gi\ max} \geq P_{ch}$, on arrête le calcul
- 4- A ce stade, F_p lié à la dernière unité dans le processus de sommation est le facteur de pénalité des prix correspondant à la charge donnée.

Le problème d'optimisation mono-objectif se présente de la manière suivante :

$$\text{Min} \left[\Psi = \sum_{j=1}^{n_f} F_{pvj}(P_{pvj}) + \sum_{i=1}^{n_g} F_{thi}(P_{Gi}) + F_p \cdot \sum_{i=1}^{n_g} E_i(P_{Gi}) \right] (\$/h) \quad (\text{II} - 10)$$

L'équation (III-9) peut être réécrite en fonction des coefficients globales et des puissances générées :

Chapitre III : optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

$$\text{Min} \left\{ \Psi = \sum_{j=1}^{n_f} F_{pvj}(P_{pvj}) + \sum_{i=1}^{n_g} A_i P_{Gi}^2 + B_i P_{Gi} + C_i \right\} (\$/h) \quad (\text{II} - 11)$$

Avec $A_i = \alpha_i + F_p \alpha_i$, $B_i = b_i + F_p \beta_i$ et $C_i = c_i + F_p \delta_i$

III 4. Application

Le réseau électrique choisi pour notre étude est un réseau à courant alternatif à 3 nœuds producteurs [17].

Les fonctions des coûts des trois générateurs sont les suivantes :

$$F_1(P_{Gi}) = 0.03546P_{G1}^2 + 38.30553P_{G1} + 1243.5311$$

$$F_2(P_{Gi}) = 0.02111P_{G2}^2 + 36.32782P_{G2} + 1658.5696$$

$$F_3(P_{Gi}) = 0.01799P_{G3}^2 + 38.27041P_{G3} + 1356.6592$$

Les équations des émissions NOx sont:

$$E_1(P_{Gi}) = 0.00683P_{G1}^2 - 0.54551P_{G1} + 40.2669$$

$$E_2(P_{Gi}) = 0.00461P_{G2}^2 - 0.51160P_{G2} + 42.89553$$

$$E_3(P_{Gi}) = 0.00461P_{G3}^2 - 0.51160P_{G3} + 42.89553$$

Sous les contraintes :

$$35 \leq P_{Gi} \leq 210$$

$$130 \leq P_{G2} \leq 325$$

$$125 \leq P_{G3} \leq 315$$

La puissance demandée est de 400 MW. Pour notre étude on considère les pertes de transmission P_L négligeables.

Chapitre III : optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

III 4.1.Optimisation avant l'installation de la production photovoltaïque

1. Les résultats des puissances actives, du taux des émissions et du coût total sont donnés dans le tableau

	Sans PV
P_{G1} (MW)	100.029
P_{G2} (MW)	151.077
P_{G3} (MW)	148.893
$E(P_{Gi})$ (kg/h)	193.7856
$T(P_{Gi})$ (Rs/h)	29190.021

table III 1.Résultats optimaux cas sans PV

La figure II.1 montre clairement la convergence rapide de la fonction du coût vers la solution optimale.

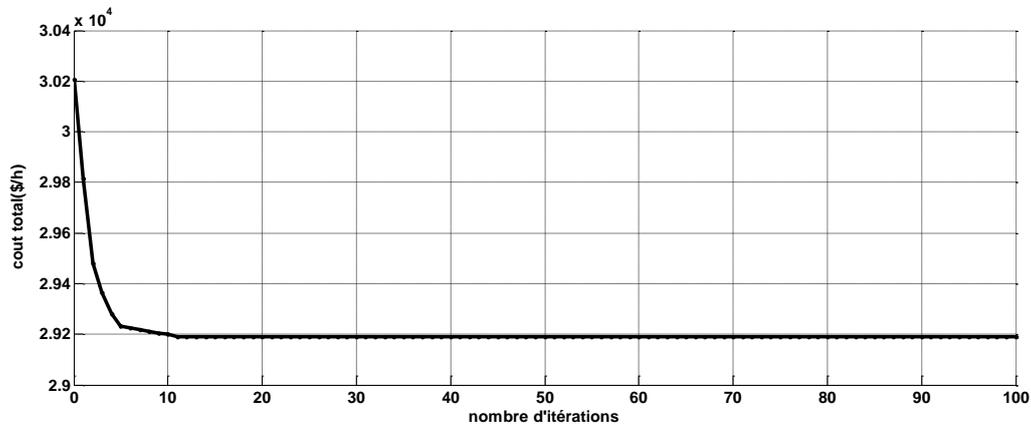


Figure III 1.Variation du coût total en fonction du nombre d'itérations(cas sans PV)

III 4.2.Optimisation après l'installation de la production photovoltaïque

On reprend la simulation en considérant l'ajout d'une production photovoltaïque dans la chaîne de production électrique. La puissance de la mini-centrale photovoltaïque est égale à 100 MW.

2. Les résultats des puissances actives, du taux des émissions et du coût total sont donnés dans le tableau

	Avec PV
P_{G1} (MW)	41.245
P_{G2} (MW)	131.913
P_{G3} (MW)	126.84
$E(P_{Gi})$ (kg/h)	137.1855
$T(P_{Gi})$ (Rs/h)	22400.372

table III 2.Résultats optimaux cas avec PV

La figure III.2 présente la convergence rapide de la fonction du coût vers la solution optimale dans le cas avec PV.

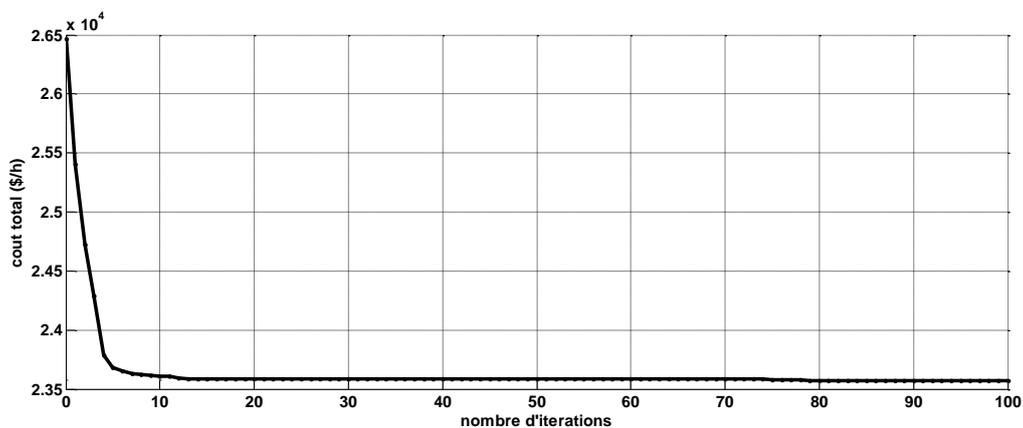


Figure III 2.Variation du coût total en fonction du nombre d'itérations (cas avec PV)

Chapitre III : optimisation économique et environnementale par l'utilisation des Algorithmes Génétiques

Les résultats des deux cas sont regroupés dans le tableaux suivant :

	Sans PV	Avec PV
P_{G1} (MW)	100.029	41.245
P_{G2} (MW)	151.077	131.913
P_{G3} (MW)	148.893	126.84
$E(P_{Gi})$ (kg/h)	193.7856	137.1855
$T(P_{Gi})$ (\$/h)	29190.021	22400.372

table III 3. Résultats optimaux des deux cas (sans PV et avec PV)

Commentaires

A travers les résultats trouvés, on peut dire qu'il y'a un écart entre les valeurs du coût total et des émissions toxiques dans les cas étudiés sans PV et avec PV :

- Le coût total lié à la charge donnée est réduit de **29190.021** \$/h à **22400.372** \$/h, soit une réduction de **7824** \$/h soit **26.8%**
- les émissions de gaz sont réduites de **63,118** Kg/h équivalent de **1358.40** Kg/jour soit 32.57% .

Conclusion

L'analyse économique et environnemental de l'intégration d'une production PV dans le réseau électrique à l'aide de l'algorithme génétique a donné des résultats très acceptables. La comparaison des résultats deux cas avant et après l'ajout de la production PV dans le réseau électrique a montré l'économie bénéficié pour la production de l'énergie électrique et la réduction remarquable des émissions de gaz toxique dans l'atmosphère .

Conclusion générale

Ce travail a porté sur le dispatching économique et environnemental des réseaux électrique sous l'effet de la présence d'une production photovoltaïque dans la chaîne de production électrique .

En premier lieu on a présenté les réseaux électrique et les différentes sources de production de l'énergie électrique classiques et renouvelables.

Après on a donné une idée sur les techniques d'optimisation particulièrement la méthode des algorithmes génétique qu'on a choisi comme application dans le dispatching économique et environnemental des réseaux électrique. Ce dernier consiste à l'optimisation de la fonction du coût de production et de la fonction des émissions des gaz toxiques.

La dernière partie a été consacré à l'optimisation de la fonction du coût et de la fonction des émissions des gaz toxiques en considérant le réseau électrique sans et avec la source photovoltaïque. La simulation a été faite sous l'environnement Matlab pour les deux cas.

Les résultats de simulation obtenus ont montré l'effet et l'importance de l'intégration de l'énergie photovoltaïque dans le réseau électrique du point de vue économique par la baisse intéressante dans le coût de production des centrales thermiques qui peut dépasser 26% et la diminution remarquable de la quantité des émissions des gaz toxique qui peut dépasser 32%..

Finalement, on peut conclure que l'intégration de la filière photovoltaïque dans la production de l'énergie électrique est une idée très intéressante surtout pour les producteurs et les sociétés d'énergie électrique parce qu'elle leur permet un bénéfice économique tout en préservant l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : [https://www.kelwatt.fr/guide/energie //Xavier Pinon//](https://www.kelwatt.fr/guide/energie//Xavier%20Pinon//)
- [2] : <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/les-differents-types-de-centrales-thermiques>
- [3] : <https://www.sfen.org/academie235/comment-une-centrale-nucleaire-produit-elle-de-lelectricite/>
- [4] : Abdenour ABDELLI « Optimisation multicritère d'une chaîne éolienne passive » Thèse de doctorat DE L'INPT 2007.
- [5] : http://www.energies-renouvelables.org/petite_hydraulique.asp
- [6] : H. G. Arantzamendi « étude de structures d'intégration des systèmes de génération décentralisée : application aux micro- réseaux » Thèse de doctorat INPG, 2006
- [7] : <https://www.dhcnews.com/production-energie-decentralisee/>
- [8] : Khaled OKBA. Dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les méthodes méta-heuristiques. Mémoire de Master en réseaux électriques, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.
- [9] : Collette YANN and Patrick SIARRY. Optimisation Multiobjectif. EYROLLES, 2002.
- [10] Sotelle HOUESSOU. Démarche d'étude et d'évaluation environnementale des nouvelles lignes électriques à haute tension au togo et au bénin. Communauté Électrique du Bénin.
- [11] Xin-She YANG. Engineering Optimization : An Introduction with Metaheuristic Applications. John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [12] : Prudence Auriole OMOREMY : Optimisation du dispatching économique environnemental statique et dynamique en présence de STATCOM : application au réseau interconnecté de la CEB. Mémoire d'ingénieur UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI. 2018 – 2019
- [13] : ZEGGAR SEIF-EDDINE : Dispatching Economique D'Energie Electrique Par Essaims De Particules Et Algorithmes Génétiques. Mémoire Master UNIVERSITE CONSTANTINE I 2012/2013
- [14] :L. ABDELHAKEM-KORIDAK , M. RAHLI , F-Z. BENAYED. : Dispatching Economique/Environnemental D'Energie Electrique par un Algorithme Génétique. 2010
- [15] Article " INFLUENCE DE L'EMPLACEMENT D'UNE FERME EOLIENNE SUR LEDISPATCHIING ECONOMIQUE ENVIRONNEMENTAL "Annals. Computer Science Series.11th Tome 2nd Fasc. – 2013
- [16] Comparison and Application of Evolutionary Programming Techniques to Combined

Economic Emission Dispatch With Line Flow ConstraintsP. Venkatesh, R. Gnanadass, and Narayana Prasad Padhy / IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 18, NO. 2, MAY 2003.

[17] M. Sudhakaran, M.R.S. Slochanal, R. Sreeran, and N. Chandrasekhar, “Application of refined genetic algorithm to combined economic and emission dispatch,” IE (I) Journal-EL, Vol. 85, 2004, pp. 115-119.