

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 :

BOUCHENNE Abdelaziz

AMMARI Khaled

Thème:

Effet de taux d'intégrations des sources renouvelables sur l'optimisation d'un réseau électrique

Devant les membres de composé de :

M^rBOUDJELLA HOUARI

MCA

Président

UKM Ouargla

M^rBOUHADOUZA BOUBEKEUR

MCB

Encadreur

UKM Ouargla

M^rBENAOUADJ MAHDI

MCB

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire

2022/2023

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu pour m'avoir accordé la force et le courage nécessaires pour accomplir cette tâche humble, ainsi que pour m'avoir entouré de nombreuses personnes qui m'ont soutenu tout au long de ma carrière universitaire.

Je souhaite tout particulièrement exprimer ma reconnaissance envers M. (BOUHADOUZA Boubekur) pour sa supervision compétente et enthousiaste de ce travail, ainsi que pour sa disponibilité constante lorsque j'en avais besoin

Je voudrais également remercier les membres du jury, (Boudjella Houari, Benaouadj Mahdi) pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour les précieuses suggestions qu'ils ont apportées, contribuant ainsi à son amélioration.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes, qu'elles soient proches ou éloignées, pour leur aide et leurs encouragements.

Je suis profondément reconnaissant envers chacun d'entre vous et je vous remercie sincèrement pour votre soutien et votre contribution tout au long de ce parcours. Que Allah vous récompense abondamment

A decorative border surrounds the page, featuring a top row of large pearls, a middle row of smaller pearls, and a bottom row of large pearls. On the left side, there are several roses, including a large white one, a smaller white one, and a red one. On the right side, there are more large white roses. The background is white.

Dédicaces

À mes Chère maman,
Mes frères et ma sœur,
Toute ma famille, grande et petite,
Mes professeurs, en particulier mon professeur (BOUHADOUZA
Boubekeur),
Mon ami (Bouchenne abdelaziz) qui a partagé ce travail avec moi,
Mes camarades de promotion 2023,
Et à tous ceux du département du génie électrique à Ouargla,
À tous ceux qui ont eu un impact sur ma vie,
À tous ceux que mon cœur a aimés,
Et à tous ceux que ma plume a oubliés

AMMARIE KHALED

A decorative border surrounds the page, featuring a top row of large pearls, a middle row of smaller pearls, and a bottom row of small floral motifs. On the left side, there are several roses, including a large white one, a smaller white one, and a red one. On the right side, there are more large pearls and a white rose at the bottom.

Dédicaces

À mes chers parents,

Ma femme, ma source de joie et de réconfort,

Mes frères et ma sœur,

Toute ma famille, grande et petite,

Mes professeurs, en particulier mon professeur (BOUHADOUZA
Boubekeur),

Mon ami (Ammari Khalid) qui a partagé ce travail avec moi,

Mon ami (Ben Abdullah Abdelhadi) qui m'a accompagné tout au
long de ma résidence universitaire durant mon parcours
d'études,

Mes camarades de promotion 2023,

Et à tous ceux du département du génie électrique à Ouargla,

À tous ceux qui ont eu un impact sur ma vie,

À tous ceux que mon cœur a aimés,

Et à tous ceux que ma plume a oubliés

BOUCHENNE Abdelaziz

Résumé

Résumé:

L'un des problèmes auxquels est confrontée la production d'électricité à l'aide de méthodes de production traditionnelles est le coût élevé de production, ce qui entraîne des coûts élevés. L'intégration de sources d'énergie renouvelable augmente le taux de production d'électricité et contribue à réduire les coûts de production. Cette étude est dédiée à la réduction de la fonction de coût en utilisant la méthode d'optimisation traditionnelle QCP en présence de sources d'énergie renouvelable. Les résultats mettent clairement en évidence l'avantage de l'impact de l'intégration des énergies renouvelables dans le réseau pour réduire la fonction de coût de production.

Mots clés: méthode d'optimisation conventionnelle, Ecoulement de puissance optimal énergie renouvelable.

ملخص:

من المشاكل التي تواجه توليد الكهرباء باستخدام طرق التوليد التقليدية ارتفاع تكلفة التوليد مما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف. يزيد تكامل مصادر الطاقة المتجددة من معدل توليد الكهرباء ويساعد على خفض تكاليف الإنتاج. هذه الدراسة مخصصة لتقليل دالة التكلفة باستخدام طريقة تحسين QCP التقليدية في وجود مصادر الطاقة المتجددة. تسلط النتائج الضوء بوضوح على فائدة تأثير دمج مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة لتقليل وظيفة تكلفة التوليد.

الكلمات المفتاحية: طريقة التحسين التقليدية ، تدفق الطاقة الامثل ، طاقة المتجددة.

Abstract:

One of the problems facing electricity production through traditional generation methods is the high cost of production, resulting in high expenses. The integration of renewable energy sources increases the electricity production rate and contributes to cost reduction. This study is dedicated to reducing the cost function using the conventional optimization method QCP in the presence of renewable energy sources. The results clearly demonstrate the advantage of integrating renewable energy into the grid to decrease the production cost function.

Keywords: conventional optimization method , optimal Power Flow, renewable energy

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I: Généralités sur les réseaux électriques et énergies renouvelables

1.1	Introduction.....	3
1.2	Production d'électricité.....	3
1.2.1	Centrale thermique classique.....	3
1.2.2	Centrale nucléaire	4
1.2.3	Centrale hydroélectrique	4
1.2.4	Centrale éolienne	5
1.2.5	Centrale solaires.....	6
1.3	Réseaux électriques:	7
1.4	Modélisation des éléments de puissance d'un réseau électrique:	7
1.4.1	Générateur de puissance.....	8
1.4.2	Lignes de transport.....	8
1.4.3	Transformateur de puissance	9
1.4.4	Les charges électriques:	9
1.4.5	Eléments shunts	10
1.5	Ecoulement de puissance dans les réseaux électriques	10
1.6	Méthode de résolution de problème l'écoulement de puissance:	13
1.7	Conclusion:.....	14

CHAPITRE II : OPTIMISATION DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE PAR METHODES QCP

2.1	Introduction:	16
2.2	Problème de l'écoulement de puissance optimal	16
2.3	Comportement des centrales thermiques	17
2.4	Problème de l'écoulement de puissance optimal (OPF):.....	17
2.4.1	Contraintes d'égalités:.....	18
2.4.2	Contraintes d'inégalités:	18
2.4.3	Fonction objective:.....	19
2.5	Formulation de l'écoulement de puissance optimal (OPF)	20
2.6	Méthodes classiques appliquées au problème de l'écoulement de puissance optimal.....	21
2.6.1	Méthode de newton:.....	22
2.6.2	Programmation quadratique QCP:.....	23
2.6.3	Méthode de point intérieur :	24

2.7	Conclusion:.....	24
-----	------------------	----

Chapitre III : OPF en présences des sources renouvelables par QCP

3	Effet de taux d'intégrations des sources renouvelables sur l'OPF	25
3.1	Introduction.....	25
3.2	Présentation de réseau étudié	25
3.2.1	Gestion dynamique des unités de production en présence des sources renouvelables...	26
3.2.1.1	1erscénario : le système de puissance sans énergie renouvelable	27
3.2.1.2	2éme scénario : le système de puissance en présence des sources renouvelables	29
3.2.1.3	3eme scénario : une énergie solaire est injectée au réseau	32
3.2.1.4	4eme scénario : augmentation de taux de production de l'énergie solaire	35
3.3	Conclusion	40
4	Conclusion général.....	42

Liste des figures

Chapitre I: Généralités sur les réseaux électriques et énergies renouvelables

figure1- 1 : centrale thermique	4
figure1- 2 : centrale nucléaire	4
figure1- 3 : centrale hydroélectrique	5
figure1- 4 : Centrale éoliennes.....	5
figure1- 5 : <i>les constituants d'une éoliennes</i>	6
figure1- 6 : centrales solaires photovoltaïques (PV)	6
figure1- 7 : Réseaux électriques	7
figure1- 8 : Model d'un générateur	8
figure1- 9 : Model d'uneligne.....	8
figure1- 10 : Modèle de transformateur de puissance	9
figure1- 11 : Modèle des éléments shunts	10

CHAPITRE II : OPTIMISATION DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE PAR METHODES QCP

figure 2- 1 : Caractéristique entrée-sortie d'une unité de production.....	17
figure 2- 2 : Classification des méthodes d'optimisation	22

Chapitre III : OPF en présences des sources renouvelables par QCP

Figure 3-1 :Evolution optimale de la puissance générée par les unités thermiques.....	28
Figure3-2: évaluation optimal total d'unités de production et la demande	28
Figure 3-3 : Evaluation de l'énergie éolienne pendant 24h.....	30
Figure 3-4 : puissance optimal produites par les sources thermique.....	30
Figure 3-5 : Evolution des puissances générée, consommée et et celle de l'éolienne	31
Figure 3-6 : èvolution optimale de la puissance générée par l'unité renouvelable	33
Figure 3-7 : puissance optimal générée en présence des panneaux solaire	34
Figure 3-8 : Puissances générée par les generateurs synchrones et renouvelables et de la deamnde. ...	34
Figure 3-9 : Evolution de la puissance produite par les fermes solaire après l'extension	36
Figure 3-10 : puissance générée par les unités thermiques avec l'extension des énergies solaire	37
Figure 3-11 : puissances générée, demandée et celle produite par le solaire	37
Figure 3-12 : puissance produite optimal par les fermes renouvelables	39
Figure 3-13 : puissance produite par chaque unité thermique	39

Liste des Tableaux

Chapitre III : OPF en présences des sources renouvelables par QCP

Tableau 3-1 : Coefficients de coût et d'émission de générateur.....	27
Tableau 3-2 : Répartition optimale des unités de production	28
Tableau 3-3 : Puissances optimales avec les sources éoliennes	31
Tableau 3-4 : Puissances optimales générées en présence d'énergie solaire.....	35
Tableau 3-5 : puissance optimales des unités thermiques après l'extension des fermes solaire	38

Liste des abréviations et symboles

GAMS	General Algebraic Modeling System.
QCP	Quadratic Constrained Programming.
OPF	Optimal Power Flow
LP	Linear Programming
PSO	<i>L'optimisation par essais particuliers</i>
RD_g/RU_g	Ramp-up/down limit of generation unit i (MW/h).
OF	Total operating costs (\$/h).
VWC	Value of wind curtailment.
a_i, b_i, c_i, d_i , et e_i	Les coefficients du coût de $i^{ème}$ générateur.
P_{Gi}, Q_{Gi}	les puissances active et réactive générées
P_{Di}, Q_{Di}	les puissances active et réactive demandées
n_g	Nombre de générateur.
L_i	Limite maximale de variable i .
L_t	Demande électrique à l'heure t .
HT	haute tension
THT	très haute tension
MT	moyenne tension
BT	basse tension
P_0 , et Q_0	puissances active et réactive consommées à une tension de référence $V_0=1pu$
n_p , et n_q	constantes dépendant du type de la charge.
I_{Bus}	courant de source extérieur

V_{Bus}	Le vecteur des tensions complexes de chaque jeu de barres
Y_{Bus}	c'est la matrice admittance nodale du système de taille $(N * N)$.
Y_{ii}	L'élément diagonal de la matrice admittance
y_{ik}	L'élément hors diagonal (i, k) .
G_{ik}, B_{ik}	sont respectivement la conductance et la susceptance de \bar{Y}_{ik}
Re_k, Im_k	sont respectivement la partie réel et imaginaire de \bar{V}_k
θ_{ik}	la phase de l'élément ik
θ_k	la phase de la tension au jeu de barres k
ΔP , et ΔQ	respectivement les écarts entre les puissances actives spécifiées et calculées et les écarts entre les puissances réactives spécifiées et calculées
$\Delta\theta$, et ΔV	les écarts entre les angles spécifiés et calculés et les écarts entre les tensions spécifiées et calculées et J c'est la matrice Jacobienne.
$f(x, u)$	la fonction objectif
$g(x, u) = 0$	Contraintes d'égalités ;
$h(x, u) \leq 0$	Contraintes d'inégalités.
x	vecteur des variables d'état
u	vecteur des variables à contrôler.
Q	est une matrice symétrique et définie positive
C	est un vecteur constant.
'A', 'b', 'C' et 'd'	des matrices et des vecteurs constants qui définissent les contraintes

Introduction générale

Introduction générale

L'électricité est une forme d'énergie qui résulte du mouvement des particules chargées, telles que les électrons, à travers un conducteur. Cette énergie peut être générée à partir de différentes sources, notamment l'énergie thermique, l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne, l'énergie solaire, etc.

La production d'électricité peut être réalisée à partir de diverses sources d'énergie de différents sources, qui ont des avantages et des inconvénients en termes de coûts, de fiabilité, d'impact environnemental et de disponibilité. [1]

Une fois produite, l'électricité doit être transportée de la centrale électrique vers les consommateurs à travers des lignes de transport de différents niveaux de tension afin de garantir une puissance nette et fiable aux consommateurs.

Effectivement, l'énergie électrique fait partie dans le développement des pays, notamment le développement de secteur industriel, l'amélioration de mode de vie des biens, etc.... Cela exige aux compagnies énergétiques, aux scientifiques, et aux ingénieurs de trouver et d'assurer une puissance optimale et permanente à travers le développement continues des nouvelles méthodes de recherches d'optimisation de secteur énergétique afin de fournir une puissance adéquates et optimales à la clientèle. [2]

L'informatique et la programmation ont ainsi joué un rôle important dans ce développement en permettant la mise en place de systèmes de gestion de l'énergie plus précis et efficaces. Par exemple, les systèmes de contrôle de l'énergie peuvent être programmés pour optimiser l'utilisation de l'énergie en fonction des besoins de l'utilisateur, réduisant ainsi la consommation d'énergie sans compromettre la qualité de l'approvisionnement en énergie. [3]

De plus, l'essor de l'intelligence artificielle et des technologies de l'information ont permis la mise en place de systèmes de surveillance de la consommation d'énergie, ce qui permet de mieux comprendre les habitudes de consommation d'énergie des utilisateurs et de les sensibiliser à l'importance de la conservation de l'énergie. [4]

L'intégration au réseau des énergies renouvelables peut accroître la flexibilité et la fiabilité du réseau en alignant l'offre à la demande. Les énergies renouvelables telles que

l'énergie solaire et éolienne peuvent être intermittentes, ce qui signifie que leur production peut varier en fonction des conditions météorologiques et d'autres facteurs externes. Pour s'assurer que l'électricité produite par ces sources est disponible lorsque les consommateurs en ont besoin, il est nécessaire de la stocker ou de la distribuer efficacement sur le réseau. [5]

L'intégration de technologies de stockage d'énergie telles que les batteries peut aider à résoudre ce problème en permettant de stocker l'énergie produite lorsque la production est élevée et de la libérer lorsque la demande est élevée. [6] De plus, la combinaison de plusieurs sources d'énergie renouvelable sur le même réseau peut aider à réduire la dépendance à une seule source d'énergie, augmentant ainsi la fiabilité du réseau.

L'objectif de ce travail est d'utiliser une des méthodes conventionnelles pour optimiser une fonction objectif en présence des contraintes d'égalités et d'inégalités d'un système de puissance et l'effet de taux d'intégration des sources renouvelables sur la réduction de la fonction de coût de production des centrales thermiques.

L'outil GAMS doit être utilisé pour valider et exécuter nos programmes, en utilisant la méthode non linéaire d'optimisation QuadraticConstrainedProgramming (QCP).

Le mémoire est structuré comme suit :

Le premier chapitre sera représenté quelques notions générales sur les réseaux électriques et énergies renouvelables.

Le deuxième chapitre sera donner un aperçu sur l'optimisation de l'écoulement de puissance

Le dernier chapitre sera étudié l'Effet de taux d'intégrations des sources renouvelables sur l'OPF en présence des sources renouvelables par l'application de la méthode des QuadraticConstrainedProgramming (QCP) et interpréter les résultats obtenus.

Une conclusion générale avec quelques perspectives seront signalée.

CHAPITRE I

**Généralités sur les réseaux électriques
et énergies renouvelables**

1.1 Introduction

Les réseaux électriques sont des systèmes complexes qui permettent de transporter l'énergie électrique de manière efficace et fiable du point de production au point de consommation.

Cette énergie électrique est produite à partir de différentes sources telles que les centrales thermiques, les centrales hydrauliques, les fermes éoliennes, les stations solaires, etc... L'énergie produite peut se transporter sur de longues distances à travers différents niveaux de tension jusqu'à sa consommation.

1.2 Production d'électricité

La production d'électricité se fait à partir de différentes sources d'énergie primaires. Les premières centrales électriques fonctionnaient au bois. Aujourd'hui, la production se fait à partir du pétrole, du gaz naturel, du charbon, de l'énergie nucléaire, de l'énergie hydraulique, de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne et de l'énergie de la biomasse. Les sources d'énergie fossiles telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon ont longtemps été les principales sources d'énergie utilisées pour produire de l'électricité en raison de leur disponibilité et de leur faible coût. Cependant, leur combustion émet des gaz à effet de serre responsables du changement climatique, et leur utilisation est donc de plus en plus remise en question. [5]

L'énergie nucléaire est également utilisée pour produire de l'électricité, mais elle présente des risques en matière de sécurité et de gestion des déchets radioactifs. [7]

Les énergies renouvelables telles que l'énergie hydraulique, l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie de la biomasse sont des sources d'énergie plus durables et plus respectueuses de l'environnement. Elles sont de plus en plus utilisées dans le monde entier pour produire de l'électricité. [8]

Cependant et leur utilisation peut être limitée par la disponibilité des ressources naturelles, la géographie et la technologie.

1.2.1 Centrale thermique classique

Une centrale thermique est une installation qui produit de l'électricité à partir de la chaleur. Elle utilise un combustible pour générer de la chaleur, qui est ensuite convertie en énergie électrique. Les centrales thermiques peuvent utiliser différentes sources d'énergie, telles que le

charbon, le gaz naturel, le fioul, la biomasse. La plupart des centrales thermiques fonctionnent selon le principe des machines à vapeur, où la chaleur produite par la combustion est utilisée pour faire bouillir de l'eau et produire de la vapeur. Cette vapeur est ensuite dirigée vers une turbine, qui entraîne un alternateur pour produire de l'électricité. Le cycle eau-vapeur est utilisé dans la plupart des centrales thermiques car il est efficace et bien établi. [9]

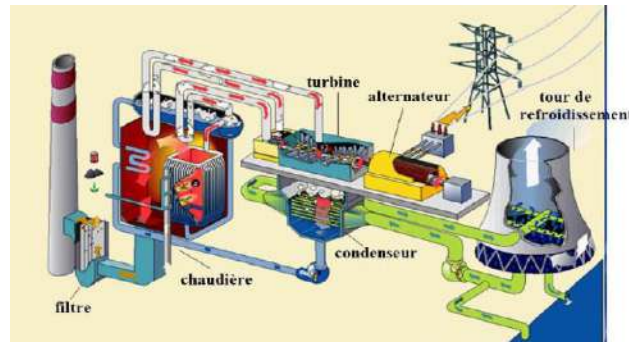


figure1- 1 :centrale thermique

1.2.2 Centrale nucléaire

Les centrales nucléaires sont des installations qui produisent de l'électricité à partir de l'énergie libérée par la fission nucléaire. Elles utilisent un combustible nucléaire, généralement de l'uranium enrichi, qui est placé dans des réacteurs nucléaires pour produire de la chaleur. Cette chaleur est ensuite utilisée pour produire de la vapeur, qui fait tourner des turbines pour produire de l'électricité. [10]

Les centrales nucléaires sont des sources d'énergie importantes dans de nombreux pays et produisent de l'électricité à un coût relativement bas par rapport à d'autres sources d'énergie. Cependant, elles ont également des inconvénients, notamment des risques environnementaux et de sécurité, ainsi que la gestion des déchets nucléaires.

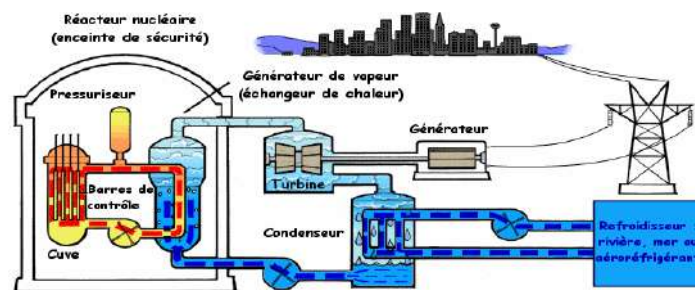


figure1-2 : centralenucléaire

1.2.3 Centrale hydroélectrique

Une centrale hydroélectrique est une installation qui utilise l'énergie de l'eau en mouvement pour produire de l'électricité. Elle consiste généralement en un barrage ou une

digue qui retient l'eau, une conduite forcée qui transporte l'eau du barrage à une turbine, et une génératrice qui convertit l'énergie mécanique de la turbine en électricité. L'eau est ensuite évacuée par une conduite d'évacuation ou un canal. [11]

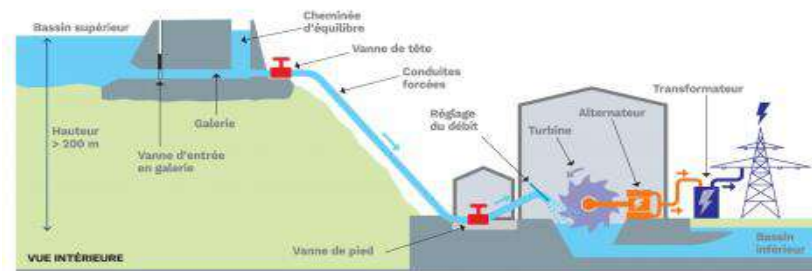


figure1-3 : centrale hydroélectrique

1.2.4 Centrale éolienne

Le vent a été utilisé par l'homme depuis des milliers d'années, que ce soit pour la navigation, la production d'électricité ou simplement pour des activités de loisirs telles que les cerfs-volants. L'énergie éolienne est une source d'énergie renouvelable, car elle est produite par les processus naturels de l'atmosphère et de l'environnement terrestre. Elle est également considérée comme une source d'énergie propre, car contrairement aux combustibles fossiles, elle ne produit pas de pollution atmosphérique ou de déchets radioactifs. Cependant, la production d'énergie éolienne peut être affectée par l'aléa climatique. Le vent n'est pas constant dans toutes les régions et peut varier en fonction des saisons, des conditions météorologiques et des changements de pression atmosphérique. Pour maximiser l'utilisation de l'énergie éolienne, il est donc nécessaire de choisir des sites d'implantation appropriés et de concevoir des technologies de capture de l'énergie éolienne efficaces. [12]



figure1-4 : ferme éoliennes

Les éoliennes convertissent l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, qui est ensuite convertie en énergie électrique grâce à un générateur électrique. Les pales de l'éolienne tournent sous l'effet du vent, ce qui entraîne la rotation de l'arbre de l'éolienne.

L'arbre de l'éolienne est connecté à un générateur, qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Cette énergie électrique peut ensuite être stockée ou utilisée immédiatement pour alimenter des maisons, des entreprises et d'autres infrastructures. [13]

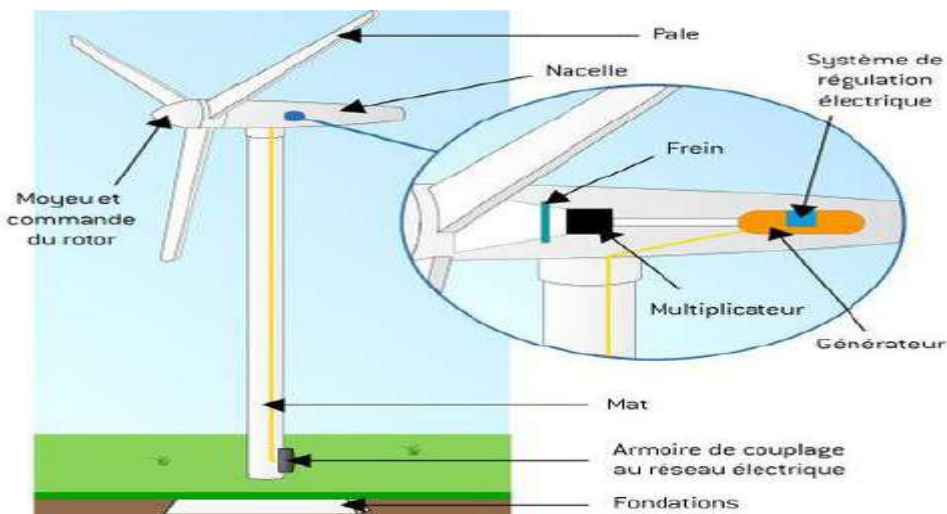


figure1-5 : les constituants d'une éoliennes

1.2.5 Centrale solaires

L'énergie solaire est la deuxième source d'énergie la plus abondante sur la surface terrestre, après l'énergie géothermique. L'énergie solaire est produite par la fusion nucléaire dans le noyau du soleil et se propage à travers l'espace sous forme de rayonnement électromagnétique. Cette énergie peut être exploitée pour produire de l'électricité et de la chaleur grâce à l'utilisation de technologies telles que les panneaux solaires photovoltaïques et les capteurs solaires thermiques. L'ensoleillement est une mesure de l'énergie solaire qui atteint une surface donnée pendant une période de temps spécifique, généralement exprimée en watts par mètre carré (W/m^2). L'ensoleillement varie en fonction de la latitude, de la saison, de l'heure de la journée, des conditions météorologiques et de la présence d'obstacles tels que des nuages, des arbres ou des bâtiments. [14]



figure1-6 : centrales solaires photovoltaïques (PV)

Les centrales solaires sont une source d'énergie renouvelable propre et fiable. Les coûts de production d'énergie solaire ont considérablement diminué au cours des dernières années, ce qui en fait une option économique pour de nombreuses régions du monde.

1.3 Réseaux électriques:

Le modèle d'électrification classiquement utilisé dans les pays industrialisés consiste à développer des réseaux électriques à grande échelle, qui permettent de fournir de l'électricité à un grand nombre de personnes et de répondre à une demande en constante évolution. Les centrales de production d'électricité, qu'elles soient thermiques, nucléaires, hydrauliques ou éoliennes, produisent de l'électricité à haute tension, généralement de l'ordre de plusieurs dizaines ou centaines de kilovolts. Cette électricité est transportée sur des lignes à très haute tension (THT) jusqu'à des postes de transformation, où elle est abaissée en tension pour être injectée dans le réseau à haute tension (HT). [14]

Le réseau à haute tension (HT) transporte ensuite l'électricité vers les gros clients industriels et les zones de consommation importantes, où elle est de nouveau abaissée en tension pour être distribuée sur des réseaux à moyenne tension (MT). Les réseaux à moyenne tension desservent ensuite les zones habitées, les centres commerciaux, les hôpitaux et autres structures similaires. Enfin, les réseaux à basse tension (BT) sont utilisés pour alimenter les habitations individuelles et les petites structures. [10]

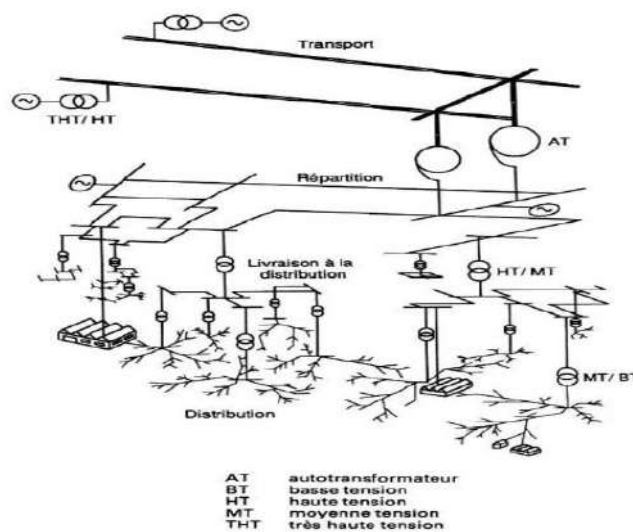


figure1-7 : Réseaux électriques

Cette division en réseaux à haute, moyenne et basse tension permet de garantir une distribution efficace de l'électricité, tout en réduisant les pertes de transport grâce à l'utilisation de tensions élevées.

1.4 Modélisation des éléments de puissance d'un réseau électrique:

Lorsqu'on veut calculer l'écoulement de puissance dans un réseau électrique, il n'est pas nécessaire de modéliser tous les éléments qui constituent ce réseau, mais on ne modélise que

les éléments qui interviennent réellement, tels que les générateurs de puissance, les charges électriques, les lignes de transport, les transformateurs de puissance et les compensateurs statiques.

1.4.1 Générateur de puissance

Les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courant. Un générateur est généralement contrôlé de sorte que la puissance injectée au jeu de barres et la tension aux bornes du générateur soit maintenue constantes. La puissance active délivrée par le générateur est réglée à travers le contrôle de la turbine qui doit être dans les limites de capacité du système turbine-générateur. La tension est liée principalement à l'injection de la puissance réactive au jeu de barres de production.

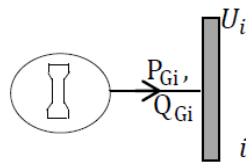


figure1-8 : Model d'un générateur

1.4.2 Lignes de transport

Une ligne électrique entre les jeux de barres i et j sera donc représentée par le schéma équivalent en π , illustré dans la figure (1-9):

Les pertes longitudinales totales par effet joule dans l'ensemble des conducteurs de la ligne sont représentée par la résistance $R(\Omega)$;

L'énergie magnétique emmagasinée dans l'ensemble de conducteurs de la ligne est représentée par la réactance longitudinale total $X(\Omega)$;

La capacité totale de la ligne est répartie équitablement aux deux jeux de barres et les pertes transversales par effet couronne dans le cas des lignes de transport sont négligeables. Dans la plupart des cas la valeur de G est si petite qu'on peut la négliger.

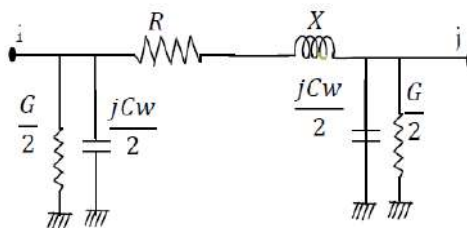


figure1-9 : Model d'uneligne

1.4.3 Transformateur de puissance

Il ya deux types de transformateur à modéliser: le transformateur régulateur de tension à changeur de prises de charges et le transformateur déphaseur. Dans la modélisation des systèmes électriques, les rapports de déviations et les décalages de phase sont typiquement représentés comme des modifications à la matrice admittance. La figure (1-10) présente le schéma unifilaire équivalent d'un transformateur triphasé symétrique à changeur de prises de charge et/déphaseur.

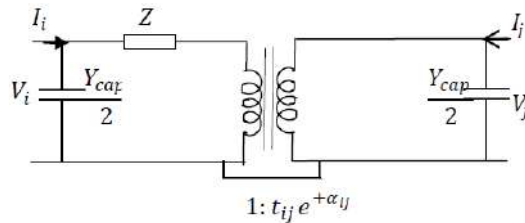


figure1-10 : Modèle de transformateur de puissance

Z : représente les pertes par effet joule et les inductances de fuite de transformateur ramenées au secondaire.

La modélisation retenue suppose que les pertes sont séparées pour moitié au primaire et pour l'autre moitié au secondaire. Le paramètre t_{ij} symbolise la ration de régleur de tension en charge. Le paramètre α_{ij} symbolise le déphasage introduit par le transformateur entre les jeux de barres i et j . Il est important de noter que la matrice admittance du réseau électrique qui prend en considération ces variables va être donc ajustée à chaque itération.

Y : c'est la matrice admittance du transformateur qui s'écrit comme suit:

$$I = Y * V \Rightarrow \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y + \frac{Y_{cap}}{2} & \frac{-e^{-j\alpha_{ij}}}{t_{ij}} y \\ \frac{-e^{+j\alpha_{ij}}}{t_{ij}} y & \frac{1}{t_{ij}^2} y + \frac{Y_{cap}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad 1-1$$

1.4.4 Les charges électriques:

La modélisation de la charge fait partie dans l'étude de l'écoulement de puissances. Ces charges sont souvent des sous-stations qui alimentent les réseaux de distribution, on les modélise statiquement comme des injecteurs négatifs de puissance dans les jeux de barres. La connexion de la charge au réseau est réalisée par l'intermédiaire d'un transformateur à prises de charge qui maintient le niveau de tension constant, cela signifie que les puissances active et réactive de la charge peuvent être représentées par des valeurs constantes. Les équations des

puissances active et réactive de la charge en fonction de la tension de jeu de barres peuvent s'écrire comme suit :

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{np}, Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{nq}$$

Ou P_0 , et Q_0 puissances active et réactive consommées à une tension de référence $V_0=1pu$;

np , et nq constantes dépendant du type de la charge.

1.4.5 Eléments shunts

Dans la plus part des cas, les éléments shunts sont des dispositifs destinés à la compensation de l'énergie réactive et d'ajuster la tension à savoir : les moteurs synchrones, les batteries de condensateur et inductances fixes. La modélisation de ces éléments sera effectuée par une admittance équivalente ou par injection de puissance.

$$\bar{Y}_{i0} = \bar{G}_{i0} + j * \bar{B}_{i0}$$

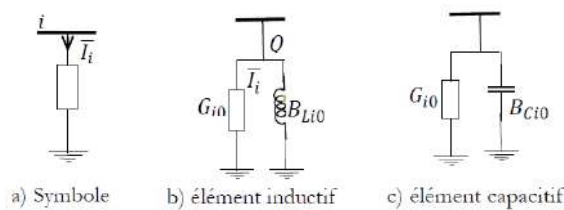


figure1-11 : Modèle des éléments shunts

1.5 Ecoulement de puissance dans les réseaux électriques

L'étude de l'écoulement de puissance consiste à calculer les tensions du réseau électrique pour des extrémités spécifiées, et des conditions données aux jeux de barres, telles que les charges capacitatives ou inductives qui doivent être alimentées, les puissances générées et les modules de tensions dans tous les jeux de barres, qui à partir desquelles les courant dans les lignes de transport, les puissances et les pertes de puissances peuvent être obtenus .Les équations des tensions nodales d'un réseau électrique de N jeux de barres sont écrites sous la forme matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdot & Y_{1m} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdot & Y_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdot & Y_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} \quad 1-2$$

Ou

$$I_{Bus} = Y_{Bus} * B_{Bus} \quad 1-3$$

I_{Bus} , (Courant de source extérieur). Le courant écoulé du jeu de barres i vers le jeu de barres j est positif et négatif dans le sens inverse. V_{Bus} Le vecteur des tensions complexes de chaque jeu de barres et Y_{Bus} c'est la matrice admittance nodale du système de taille $(N * N)$.

Y_{ii} : L'élément diagonal de la matrice admittance. C'est la somme de tous les composants connectés à ce jeu de barres, traduit par l'équation mathématique suivante :

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^k y_{ik} \quad 1-4$$

y_{ik} : L'élément hors diagonal (i, k) . C'est la somme négative de tous les composants connectés entre les jeux de barres i et j , c'est-à-dire :

$$Y_{ik} = - \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^k y_{ik} \quad 1-5$$

D'après l'équation (1-2), le courant injecter à un jeu de barres i est écrit comme suit :

$$Y_i = \sum_{k=1}^n y_{ik} * V_k, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad 1-6$$

Ou

$$\bar{Y}_{ik} = G_{ik} + jB_{ik} = Y_{ik} (\cos \theta_{ik} + j \sin \theta_{ik}) \quad 1-7$$

$$\bar{V}_k = \text{Re}_k + j * \text{Im}_k = V_{ik} (\cos \theta_k + j \sin \theta_k) \quad 1-8$$

G_{ik} , B_{ik} :sont respectivement la conductance et la suceptance de \bar{Y}_{ik} ;

Re_k, Im_k : sont respectivement la partie réel et imaginaire de \bar{V}_k ;

θ_{ik} : la phase de l'élément ik ;

θ_k : la phase de la tension au jeu de barres k .

L'expression de la puissance apparente \bar{S}_i injectée à un jeu de barres peut s'écrire comme suit :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* * I_i = V_i^* * \sum_{k=1}^n \bar{Y}_{ik} * \bar{V}_k \quad 1-9$$

P_i, Q_i : sont respectivement les puissances active et réactive au jeu de barres i .

En remplaçant les équations (1-7) et (1-8) dans l'équation (1-9), on obtient:

$$P_i = \sum_{k=1}^n V_i V_k Y_{ik} \cos(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i) \quad 1-10$$

$$Q_i = -\sum_{k=1}^n V_i V_k Y_{ik} \sin(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i) \quad 1-11$$

Les équations (1-10), et (1-11) représentent les équations de l'écoulement de puissance tels que:

$$P_i = P_{Gi} + P_{Di} \quad 1-12$$

$$Q_i = Q_{Gi} + Q_{Di} \quad 1-13$$

Où

P_{Gi}, Q_{Gi} : sont respectivement les puissances active et réactive générées ;

P_{Di}, Q_{Di} : sont respectivement les puissances active et réactive demandées.

Dans le calcul de l'écoulement de puissance, un jeu de barres est défini par quatre paramètres: module de tension V , angle de tension θ_i , puissance active P_i et puissance réactive Q_i injectée. Pour chaque jeu de barres deux grandeurs sont spécifiées et les deux autres grandeurs restent à calculer. Selon ces grandeurs, on peut classifier trois types de jeux de barres :

- ✓ **jeu de barres de référence:** connu aussi par le jeu de barres générateur, c'est un jeu de barres dont l'angle et l'amplitude de la tension sont spécifiés et les puissances active et réactive

sont inconnues. Le rôle de ce jeu de barres est la couverture du manque de puissance créé par les pertes de transport.

- ✓ **jeu de barres générateur** (ou à tension contrôlée): Ce sont les jeux de barres du système auxquels la puissance active et le module de tension sont spécifiés, la puissance réactive et l'angle de tension sont inconnus. Ils sont désignés par (PV bus).
- ✓ **jeu de barres de charge**: ce sont des jeux de barres où les puissances active et réactive sont spécifiées, le module et l'angle de la tension sont inconnus. Ils sont désignés par (PQ bus).

1.6 Méthode de résolution de problème l'écoulement de puissance:

Généralement la méthode suivie pour résoudre ce problème est de Newton-Raphson à cause de sa rapidité de convergence et le nombre d'itérations réduit par rapport aux autres méthodes (Gauss-Seidel). Le développement en série de Taylor des équations (1-10) et (1-11) est donné par :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad 1-14$$

Telle que

$$J_1 = \frac{\partial P_i}{\partial \theta_k}, J_2 = \frac{\partial P_i}{\partial V_k}, J_3 = \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_k}, J_4 = \frac{\partial Q_i}{\partial V_k}$$

Où ΔP , et ΔQ représentent respectivement les écarts entre les puissances actives spécifiées et calculées et les écarts entre les puissances réactives spécifiées et calculées ;

$\Delta \theta$, et ΔV représentent respectivement les écarts entre les angles spécifiés et calculés et les écarts entre les tensions spécifiées et calculées et J c'est la matrice Jacobienne.

$$\Delta P_i = P_i^{spé} - P_i^{cal} \quad 1-15$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{spé} - Q_i^{cal} \quad 1-16$$

On note pour un réseau de N jeux de barres, avec NG jeux de barres générateurs, il ya $2N-1-NG$ équations à résoudre. En conséquence, il y a $N-1$ équations de puissance active et $N-1-NG$ équations de puissance réactive, d'où la matrice Jacobienne est d'ordre $2N-2-NG * 2N-2-NG$ éléments.[15]

Le calcul des éléments de jacobienne se fait comme suit:

Les éléments diagonaux et hors diagonal de J_1 ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} = \sum_{k \neq i} |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i) \quad 1-17$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \theta_k} = -|V_i| |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i), k \neq i \quad 1-18$$

Les éléments diagonaux et hors diagonal de J_2 ;

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = 2|V_i||Y_{ii}|\cos(\theta_{ii}) + \sum_{k \neq i} |V_i||V_k||Y_{ik}|\cos(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i) \quad 1-19$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_k} = |V_i||Y_{ik}|\cos(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i), \quad k \neq i \quad 1-20$$

Les éléments diagonaux et hors diagonal de J_3 ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} = \sum_{k \neq i} |V_i||V_k||Y_{ik}|\cos(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i) \quad 1-21$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_k} = -|V_i||V_k||Y_{ik}|\sin(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i), \quad k \neq i \quad 1-22$$

Les éléments diagonaux et hors diagonal de J_4 ;

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = -2|V_i||Y_{ii}|\sin(\theta_{ii}) - \sum_{k \neq i} |V_i||V_k||Y_{ik}|\sin(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i) \quad 1-23$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_k} = -|V_i||Y_{ik}|\sin(\theta_{ik} + \theta_k - \theta_i), \quad k \neq i \quad 1-24$$

1.7 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur les centrales de production de l'énergie électriques et aussi sur les énergies renouvelables, les caractéristiques des réseaux électriques et les niveaux de transmission d'énergie électrique de la production à la consommation, la modélisation des éléments principale constituant le système de puissance, les caractéristiques des jeux de barres constituant les réseau électrique notamment les réseaux de transport, finalement une représentation d'une des méthodes de l'écoulement de puissance la plus utilisés dans l'analyses des réseaux électriques notamment la méthode de Newton Raphson car elle est plus rapides qu'autres méthodes d'analyse de l'écoulement de puissance.

CHAPITRE II

**OPTIMISATION DE L'ÉCOULEMENT
DE PUISSANCE PAR METHODES QCP**

2 OPTIMISATION DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE PAR METHODES QCP

2.1 Introduction:

Les méthodes d'optimisation ont un domaine de recherche mathématique qui vise à trouver la meilleure solution possible à un problème d'optimisation donné. Ces problèmes peuvent être très variés, allant de la maximisation des profits d'une entreprise à la minimisation des coûts d'un projet de construction.

Il existe différentes méthodes d'optimisation, chacune étant adaptée à des types de problèmes spécifiques. Parmi ces méthodes, on peut citer :

La programmation linéaire : cette méthode est utilisée pour optimiser des problèmes linéaires, c'est-à-dire des problèmes dans lesquels les fonctions à optimiser et les contraintes sont des fonctions linéaires.

La programmation non linéaire : cette méthode est utilisée pour optimiser des problèmes non linéaires, c'est-à-dire des problèmes dans lesquels les fonctions à optimiser et/ou les contraintes ne sont pas linéaires.

Les méthodes de recherche locale : ces méthodes sont utilisées pour trouver le minimum (ou le maximum) local d'une fonction. Elles sont particulièrement utiles pour les problèmes où l'on cherche à optimiser une fonction dans une région donnée.

Les méthodes d'optimisation globale : ces méthodes sont utilisées pour trouver le minimum (ou le maximum) global d'une fonction. Elles sont particulièrement utiles pour les problèmes où l'on cherche à optimiser une fonction sur tout l'espace des variables.

2.2 Problème de l'écoulement de puissance optimal

La production et le transport d'énergie électrique sont sujets aux lois du marché. En plus des fluctuations des prix des combustibles, l'aspect économique force les opérateurs à la gestion des différentes sources de production et acheminer le plus d'énergie possible à travers leurs réseaux de la manière la plus rentable possible. Gestion de la puissance produite et transmise à travers le réseau n'est pas le seul souci des opérateurs. L'amélioration de la qualité et la réduction des coûts de fonctionnement tout en respectant les contraintes du réseau, sont considérées comme des problèmes majeurs de l'écoulement de puissance optimal.

Le problème de l'écoulement de puissance optimal(OPF) est un problème d'optimisation dont l'objectif consiste à déterminer la contribution de chaque centrale électrique en service pour satisfaire la demande des consommateurs de l'énergie électrique de sorte que le coût de production de l'énergie totale soit le plus faible possible et satisfieraient les différentes contraintes imposées au réseau. Les domaines d'application de l'écoulement de puissance optimal peuvent être classés comme suit : Minimisation du coût de combustible; Minimisation des pertes; Amélioration du profil et la stabilité de la tension; Maximisation de la puissance transmissible etc...

2.3 Comportement des centrales thermiques

La caractéristique d'entrée-sortie d'une centrale thermique est définie comme la relation entre le taux de la chaleur (Btu/h) ou bien le coût total de production en (\$/h) et la puissance électrique nette d'unité de production en (MW). Pour simplifier la représentation de cette caractéristique, on peut modéliser par la courbe convexe de la figure 2-1 connue aussi sous le nom de courbe de coût de combustible de forme non linéaire qui peut approximer par une fonction quadratique du type $F = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i$ où P_{Gi} est la quantité produite par la centrale thermique. La constante c_i est appelée coût de marche à vide, elle représente le coût pour maintenir la marche d'une unité de production à production nulle.[16]

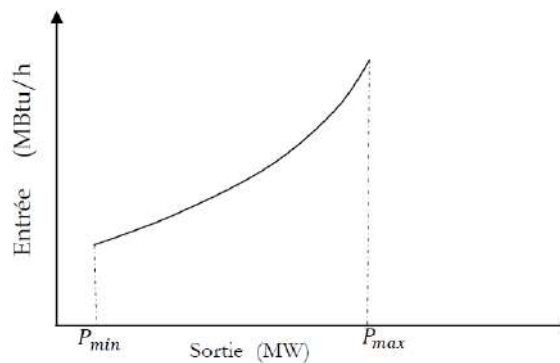


figure 2- 1 : Caractéristique entrée-sortie d'une unité de production

2.4 Problème de l'écoulement de puissance optimal (OPF):

Le problème d'OPF est considéré comme problème de minimisation non-linéaire avec contraintes. Il peut être écrit sous la forme suivante :

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

2-1

$$\text{Pour } g(x, u) = 0 \quad 2-2$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad 2-3$$

Tels que :

$f(x, u)$: est la fonction objectif ;

$g(x, u) = 0$: Contraintes d'égalités ;

$h(x, u) \leq 0$: Contraintes d'inégalités.

x : vecteur des variables d'état;

u : vecteur des variables de contrôle.

✓ *Variables de contrôle*: Les variables de contrôle sont en général les modules des tensions ou les puissances réactives générées aux jeux de barres générateurs, les rapports de transformation des régleurs en charge, les phases des transformateurs déphaseurs, et les puissances réactives générées par les différents compensateurs d'énergie réactive.

✓ *Variables d'état*: Sont les modules des tensions des jeux de barres charges et les angles de toutes les tensions sauf le jeu de barres de référence.

2.4.1 Contraintes d'égalités:

Elles sont représentées par les équations non-linéaires de l'écoulement de puissance qui exigent que la somme de l'injection nette des puissances actives et réactives dans chaque jeu de barres soit nulle.

$$\Delta P_i = 0 = V_i \sum_{k=1}^n [V_k [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]] - P_{Gi} + P_{Di} \quad 2-4$$

$$\Delta Q_i = 0 = V_i \sum_{k=1}^n [V_k [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]] - Q_{Gi} + Q_{Di} \quad 2-5$$

2.4.2 Contraintes d'inégalités:

Les contraintes d'inégalités habituelles peuvent inclure les limites sur les dispositifs physiques dans le système électrique tels que, les générateurs, les transformateurs à prises de charge, et les transformateurs déphaseurs, ainsi que les limites créées pour assurer la sécurité de système.

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad 2-6$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \quad 2-7$$

Les transformateurs à prises de charge ont des commutateurs max et min, du niveau de tension par rapport à la tension nominale pour le réglage des modules de tensions et la régulation des flux de puissances réactives. De même, les transformateurs à angles de phase ont des décalages max, et min. pour le réglage des phases de tensions et la régulation des flux de puissances actives. Les deux types de transformateurs forment les contraintes d'inégalités suivantes:

$$T_{ik}^{\min} \leq T_{ik} \leq T_{ik}^{\max} \quad 2-8$$

$$\alpha_{ik}^{\min} \leq \alpha_{ik} \leq \alpha_{ik}^{\max} \quad 2-9$$

Les batteries, les bobines et les compensateurs statiques de la puissance réactive sont cernés par des valeurs minimales et maximales comme suit:

$$Q_{Ci}^{\min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{\max} \quad 2-10$$

Pour garder la qualité de service électrique et la sécurité du système, il faut limiter les violations sur les contraintes de tension qui doivent être dans leurs limites admissibles.

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad 2-11$$

Les limites sur le transit de puissance apparente au niveau des lignes de transport et des transformateurs de puissance sont créées pour assurer la sécurité de système contre les pertes thermiques dans les conducteurs, et/ou la stabilité du réseau :

$$|S_{ik}|^2 \leq |S_{ik}^{\max}|^2 \quad 2-12$$

2.4.3 Fonction objective:

Généralement l'objectif le plus utilisé dans la formulation de problème d'OPF est minimisation du coût total de puissance active générée par des unités de productions, dont les caractéristiques sont complexes et fortement non-linéaire en satisfaisant les contraintes d'égalités et d'inégalités. La fonction objective totale du système électrique peut alors être écrite comme la somme du modèle quadratique de coût de chaque générateur.

$$\text{Minimiser } F = \sum_{i=1}^{ng} f_i = \sum_{i=1}^{ng} a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i, \quad 2-13$$

(\$/h)

$$\text{Où } P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max}$$

$$P_{Di} = P_{Gi} + P_{Li}$$

Tels que, a_i, b_i, c_i : représentent les coefficients de coût de la $i^{\text{ème}}$ unité de production.

P_{Di}, P_{Li} sont respectivement la puissance demandée et les pertes actives de transport.

2.5 Formulation de l'écoulement de puissance optimal (OPF)

L'écoulement de puissance optimal s'écrit sous la forme suivante :

$$\text{Minimiser } F(x) = \sum_{i=1}^{ng} f_i = \sum_{i=1}^{ng} a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i + \sum_{\text{pénalité}} \mu_i \quad 2-14$$

$$\text{Contraintes d'égalités } \left. \begin{array}{l} \Delta P = 0 \\ \Delta Q = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow g(x) = 0 \quad 2-15$$

$$\text{Contraintes d'inégalités } \left. \begin{array}{l} P_{Gi} - P_{Gi}^{\max} \leq 0 \\ P_{Gi}^{\min} - P_{Gi} \leq 0 \\ Q_{Gi} - Q_{Gi}^{\max} \leq 0 \\ Q_{Gi}^{\min} - Q_{Gi} \leq 0 \\ V_{Gi} - V_{Gi}^{\max} \leq 0 \\ V_{Gi}^{\min} - V_{Gi} \leq 0 \\ |S_{ik}|^2 \leq |S_{ik}^{\max}|^2 \\ t_{ik} - t_{ik}^{\max} \leq 0 \\ t_{ik}^{\min} - t_{ik} \leq 0 \\ \theta_{ik} - \theta_{ik}^{\max} \leq 0 \\ \theta_{ik}^{\min} - \theta_{ik} \leq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow h_k(x) \leq 0 \quad 2-16$$

$$\text{Fonctions des pénalités } \left. \begin{array}{l} \mu_p (P_i - P_i^{\max}) \\ \mu_p (P_i^{\min} - P_i) \\ \mu_v (V_i - V_i^{\max}) \\ \mu_v (V_i^{\min} - V_i) \\ \mu_s (|S_{ik}|^2 - |S_{ik}^{\max}|^2)^2 \end{array} \right\} \quad 2-17$$

La fonction objective augmentée du problème de l'OPF est donnée par:

$$L = F(x) + \mu_p * h(P_G) + \mu_Q * h(Q_G) + \mu_v \sum_{i=1}^{NL} h(V_{Li}) + \mu_s \sum_{i=1}^{NB} h(S_{Li}) \quad 2-18$$

$$L = F(x) + \mu_p * h(P_G - P_{Gi}^{\text{lim}})^2 + \mu_Q * h(Q_G - Q_{Gi}^{\text{lim}})^2 + \mu_v \sum_{i=1}^{NL} h(V_{Li} - V_{Li}^{\text{lim}})^2 + \mu_s \sum_{i=1}^{NB} h(S_{Li} - S_{Li}^{\text{lim}})^2$$

$$x^{\text{lim}} = \begin{cases} (x_i - x_i^{\text{max}})^2 & x_i \text{ f } x_i^{\text{max}} \\ (x_i^{\text{min}} - x_i)^2 & \text{if } x_i \text{ p } x_i^{\text{min}} \\ 0 & x_i^{\text{min}} \text{ p } x_i \text{ p } x_i^{\text{max}} \end{cases} \quad 2-19$$

Les termes représentant les inégalités qui vont être inclus dans le Lagrangien sont seulement ceux qui dépassent leurs limites.[15] , [17]

2.6 Méthodes classiques appliquées au problème de l'OPF

Les méthodes d'optimisation de l'écoulement de puissance sont utilisées pour résoudre le problème d'optimisation de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques. Ce problème consiste à déterminer les valeurs optimales des variables du système, telles que les flux de puissance et les réglages des dispositifs de contrôle, afin de minimiser les pertes, d'améliorer la stabilité et de respecter les contraintes du réseau.

Les travaux pionniers dans ce domaine remontent aux années 1960, où des chercheurs tels que R.P. Schulz et A.G. Stott ont développé des méthodes pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance optimal. Ces premières approches étaient basées sur des méthodes itératives telles que la méthode de Newton-Raphson, qui est toujours largement utilisée aujourd'hui. [18]

La figure 2-2 montre une classification des méthodes d'optimisation.

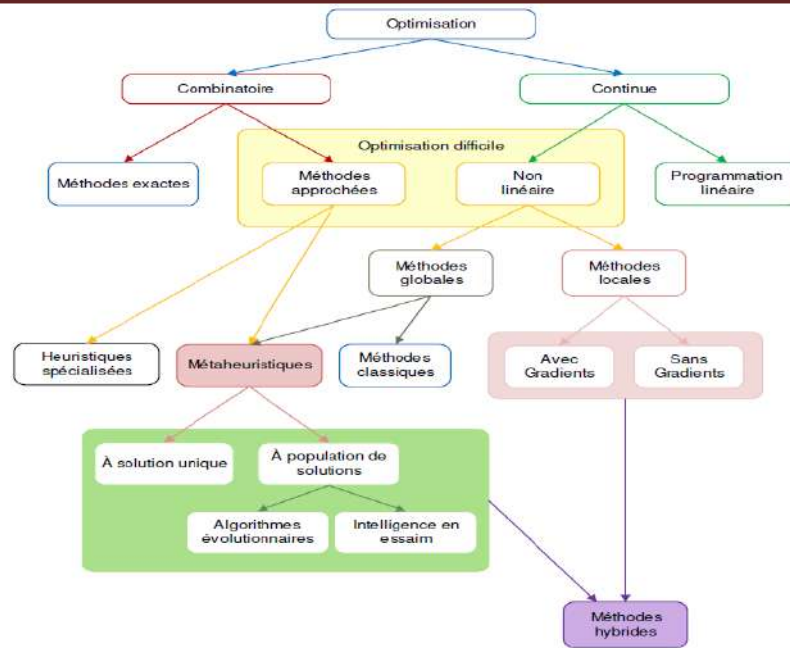


figure 2- 2 : Classification des méthodes d'optimisation

2.6.1 Méthode de Newton:

La répartition économique de puissance peut être résolue pour le but de résoudre le gradient du lagrangien $L_x = 0$, Puisque c'est une fonction vectorielle, le problème peut être formulé pour trouver le chemin qui conduit le gradient vers zéro. La méthode de Newton est utilisée dans ce sens.

La méthode de Newton pour une fonction à plusieurs variables est développée comme suit :

Soit une fonction $g(x)$ à minimiser tel que [19]

$$g(x + \Delta x) = g(x) + [g_0(x)] \text{ et } \Delta x = 0 \tag{2-20}$$

2.6.2 Programmation quadratique QCP:

La méthode de Quadratique Contraigne programmation (QCP) est une technique d'optimisation utilisée pour résoudre des problèmes d'optimisation où la fonction objectif et les contraintes sont toutes deux des fonctions quadratiques. [20]

Dans un problème de Quadratique Contraigne programmation (QCP), au moins une des fonctions f , G et H dans la formulation générale de la PNL est non linéaire mais le non linéarité est de forme quadratique. [21]

Cela signifie que la fonction objectif et/ou les contraintes peuvent contenir des termes quadratiques, mais pas des termes d'ordre supérieur comme des termes cubiques ou quartiques.

Un problème de QCP avec des contraintes linéaires peut être écrit comme suit : [20]

$$\text{Minimiser } f(x) = \left(\frac{1}{2}\right) * (x)^T * Q * x + (c)^T * x \quad 2-21$$

Sous les contraintes:

$$A * x \leq b$$

$$c * x = d$$

- ✓ ' x ' est le vecteur des variables d'optimisation.
- ✓ ' Q ' est une matrice symétrique et définie positive.
- ✓ ' c ' est un vecteur constant.
- ✓ ' A ', ' b ', ' C ' et ' d ' sont des matrices et des vecteurs constants qui définissent les contraintes.

Les méthodes de QCP résolvent ce problème en utilisant des algorithmes d'optimisation numérique pour trouver la valeur de x qui minimise la fonction objectif tout en respectant les contraintes. Ces algorithmes sont souvent basés sur des techniques de programmation quadratique, telles que la méthode du gradient projeté, la méthode du Lagrangien augmenté ou la méthode des points intérieurs. [22]

Les problèmes de QCP sont couramment utilisés dans les domaines de l'ingénierie, de la finance, de la planification de la production et de l'optimisation de la logistique.

La forme quadratique de la non-linéarité dans les problèmes QCP les rend plus faciles à résoudre que les problèmes généraux de PNL, car la structure quadratique permet d'utiliser des algorithmes efficaces pour trouver la solution optimale.

2.6.3 Méthode de point intérieur :

A l'origine, les méthodes de type « Point Intérieur » ont été conçues pour résoudre les problèmes de programmation non linéaire. Des recherches plus approfondies sur ces méthodes ont montré qu'elles donnaient de très bonnes performances en termes de vitesse de convergence pour les problèmes de grande échelle. L'algorithme présenté dans cette section, connu sous le nom d'« algorithme primal-dual » est l'un des plus utilisés. Le principe de cette méthode est de rajouter à la fonction objective une fonction logarithmique « barrière » incluant des contraintes et qui décroît progressivement au fil de l'optimisation pour tendre vers 0. Typiquement, considérons un problème de la forme [1]:

$$\text{Min } f(x) \text{ avec } h(x) \geq 0 \quad 2-22$$

On peut théoriquement transformer ce problème contraint, en incorporant les contraintes d'inégalités dans la fonction objective, en un problème non contraint:

$$\text{min } f_u(x, \mu^k) \text{ avec } f_u(x, \mu^k) = f(x) - \mu^k \sum_i \ln h_i(x) \quad 2-23$$

où μ^k est un paramètre de pénalisation qui tend vers 0 au fil des itérations par remise à jour appropriée. Le choix de la valeur initiale de μ^0 ainsi que sa procédure de remise à jour doivent être choisis de manière judicieuse pour éviter les problèmes de divergence.

2.7 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur l'écoulement de puissance optimal dans les réseaux électriques, les équations correspondent aux analyses de la fonction objectif ses contraintes d'égalités et d'inégalités.

Des méthodes classiques sont aussi présentes dans ce chapitre tel que la méthode de Newton, la méthode de programmation quadratique et la méthode a point intérieur.

La méthode de programmation quadratique contrainte (QCP) est une approche adaptée pour résoudre des problèmes avec optimisation multi-objectif.

La méthode QCP vise à résoudre des problèmes d'optimisation avec des contraintes linéaires et des objectifs quadratiques. Elle repose sur la formulation d'un programme mathématique quadratique contraint, où les objectifs quadratiques et les contraintes linéaires sont pris en compte. Cette formulation permet de trouver une solution qui optimise simultanément plusieurs objectifs, en recherchant un compromis entre eux.

CHAPITRE III :
OPF en présences des sources
renouvelables par QCP

3 Effet de taux d'intégrations des sources renouvelables sur l'OPF

3.1 Introduction

L'intégration croissante des sources renouvelables dans les réseaux électriques a un impact sur la gestion des réseaux électriques. Car ces sources renouvelables sont de type intermittent, ce qui pose des défis en termes de stabilité et d'équilibre entre l'offre et la demande. L'optimisation du réseau doit prendre en compte ces variations et utiliser des modèles mathématiques avancés pour prendre des décisions optimales sur la production, le stockage et la distribution d'électricité. Les technologies de stockage d'énergie peuvent être utilisées pour compenser les fluctuations de la production renouvelable. L'objectif est de maximiser l'utilisation des sources renouvelables, tout en assurant la fiabilité du réseau et en minimisant les coûts.

Dans ce chapitre, nous avons analysé des réseaux électriques en présence des générateurs à charge constante. Notre étude s'est déroulée en plusieurs phases visant à évaluer différentes configurations de la production d'électricité et à identifier les améliorations possibles.

Nous avons amélioré notre approche en utilisant la méthode QCP et exploité les équations associées pour améliorer les fonctions objectifs étudiées. Ensuite, nous avons effectué une analyse approfondie des résultats obtenus à l'aide du logiciel de programmation GAMS (General Algebraic Modeling System),

Cette étude est divisée en quatre scénarios à chaque scénario, nous avons évalué les coûts, la fiabilité et la durabilité du système électrique, tout en recherchant des opportunités d'amélioration. Les résultats obtenus fournissent des informations précieuses pour l'optimisation du réseau en tenant compte de l'intégration croissante des sources d'énergie renouvelable, dans le but de réduire les coûts et d'améliorer les performances globales du

3.2 Présentation de réseau étudié

La base des centrales de production d'énergies électriques est transformer l'énergie à base de carburant, de gaz, de l'uranium ou d'autres sources naturelles en énergie électrique. Ses sources primaires dépendent de différentes dépenses pour en préparer.

Donc le coût de production de chaque centrale i est calculé comme suit :

$$C_i^{th}(P_i^{th}) = a_i^{th}(P_i^{th})^2 + b_i^{th}P_i^{th} + c_i^{th} \quad (i \in \Omega_{th}) \quad 3-1$$

Où a_i^{th} ; b_i^{th} et c_i^{th} sont les coefficients de coût du combustible de chaque unité.

Le coût total du carburant est calculé comme suit :

$$Tc = \sum_{i \in \Omega_{th}} C_i^{th}(P_i^{th}) \quad 3-2$$

Les limites de fonctionnement sont définies comme suit :

$$P_i^{thmin} \leq P_i^{th} \leq P_i^{thmax} \quad i \in \Omega_{th} \quad 3-3$$

Où $P_i^{thmin/max}$ est la puissance maximale/minimale de l'unité thermique i .

La fonction de cout totale optimiser d'un système de puissance est formulée comme suit :

$$\min_{p_{g,t}} TC = \sum_{i \in \Omega_{th}} C_i^{th}(p_i^{th}) \quad 3-4$$

$$\sum_{i \in \Omega_{th}} P_i^{th} = Li \quad 3-5$$

3.2.1 Gestion dynamique des unités de production en présence des sources renouvelables

L'objectif principal de cette optimisation est de minimiser les coûts totaux d'exploitation tout en garantissant la satisfaction des demandes horaires et d'autres contraintes techniques.

La fonction de coût de production pour le générateur i est définie de la manière suivante.

Les coûts de production de l'unité thermique i sont calculés comme suit :

$$C(P_{g,t}) = a_g P_{gt}^2 + b_g P_{gt} + C_g \quad 3-6$$

Où a_g, b_g et C_g sont les coefficients de coût du combustible de la $i^{\text{ème}}$ unité de production

Le coût total du carburant est calculé comme suit :

$$Tc = \sum_{g,t} C(P_{g,t}) \quad 3-7$$

Les limites de fonctionnement sont définies comme suit :

$$P_g^{min} \leq P_{g,t} \leq P_g^{max} \quad 3-8$$

Ou $P_i^{min/max}$ sont les puissances maximales/minimales de la $i^{ème}$ unité thermique.

La fonction économique globale de l'unité thermique en présence des sources renouvelables est formulée comme suit :

$$\min P_{g,t} TC = \sum_{g,t} a_g P_{gt}^2 + b_g P_{gt} + C_g + \sum_t vwc * p_t^{wc} \tag{3-9}$$

$$P_g^{min} \leq P_{g,t} \leq P_g^{max} \tag{3-10}$$

$$P_{g,t} - P_{g,t-1} \leq RU_g \tag{3-11}$$

$$P_{g,t-1} - P_{g,t} \leq RD_g \tag{3-12}$$

$$\sum_g P_{g,t} = L_t \tag{3-13}$$

Sachant que RU_g/RD_g sont lesramps max et min de chaque générateur en (MW/h).

Le tableau présente les facteurs de coût et les émissions associées au gaz par unité de production, ainsi que la production minimale et maximale.

Tableau 3-1 : Coefficients de coût et d'émission de générateur. [21]

Unité	$a_i^{th} (\frac{\$}{MW^2})$	$b_i^{th} (\frac{\$}{MW})$	$C_i^{th} (\$)$	$d_i^{th} (\frac{Kg}{MW^2})$	$e_i^{th} (\frac{Kg}{MW})$	$f_i^{th} (Kg)$	$P_i^{thmin} (MW)$	$P_i^{thmax} (MW)$
g1	0.12	14.80	89	1.2	-5	3	28	200
g2	0.17	16.57	83	2.3	-4.24	6.09	20	290
g3	0.15	15.55	100	1.1	-2.15	5.69	30	190
g4	0.19	16.21	70	1.1	-3.99	6.2	50	260

3.2.1.1 Ierscénario : le système de puissance sans énergie renouvelable

Nous avons considéré le cas sans unités de production renouvelables d'un réseau constituant quatre générateur ses coefficients de cout sont déclarer auparavant (tableau 3-1).

En utilisant la méthode QCP pour optimiser la fonction de cout, après l'exécution de ce programme les résultats obtenus sont représentés comme suit :

Le cout optimal obtenu est $6.4796 * 10^5$ \$/h.

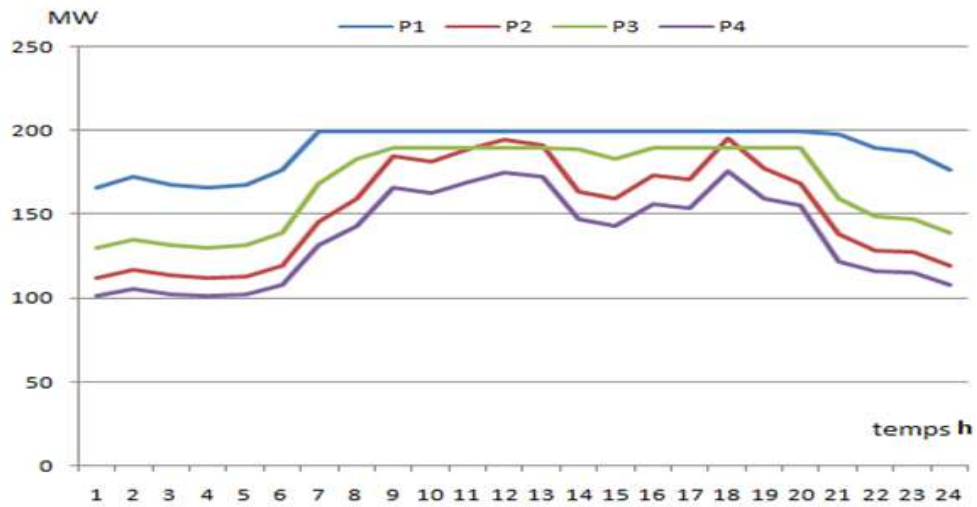


Figure 3-1 : Evolution optimale de la puissance générée par les unités thermiques

La figure 3-1 : montre l'évolution optimale totale des unités de production et de la demande.

L'analyse graphique des courbes peut déterminer s'il existe un équilibre entre la production totale d'unités d'électricité et les variations de la consommation. Si les augmentations et les diminutions des deux courbes concordent simultanément, il peut y avoir un équilibre entre l'offre et la demande. En revanche, si les courbes se séparent, cela peut indiquer un déséquilibre dans le système, tel qu'une surproduction ou une pénurie d'énergie.

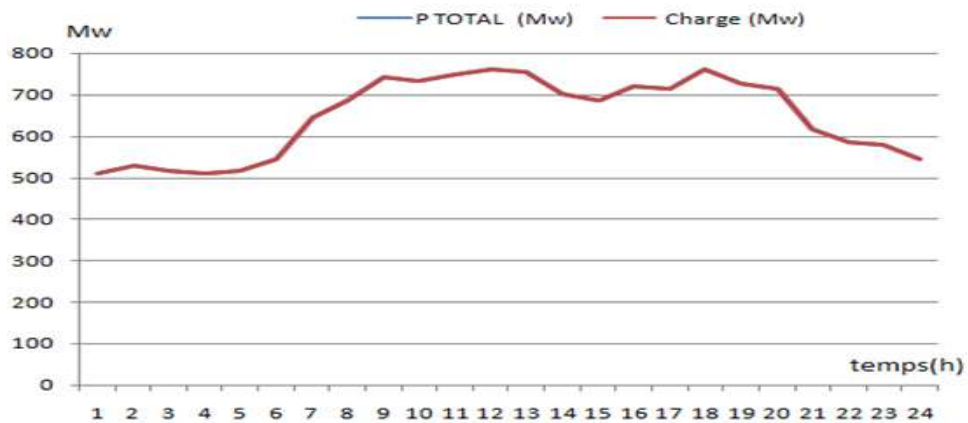


Figure3-2 : évaluation optimal total d'unités de production et la demande

Tableau 3-2 : Répartition optimale des unités de production

Temps(h)	P1 (Mw)	P2 (Mw)	P3 (MW)	P4 (MW)	P _T (MW)	P _{Ch} (MW)
t1	166,191	112,105	130,452	101,252	510	510
t2	172,565	116,605	135,552	105,278	530	530
t3	168,103	113,455	131,982	102,46	516	516

t4	166,191	112,105	130,452	101,252	510	510
t5	167,784	113,23	131,727	102,258	514,999	515
t6	177,027	119,755	139,122	108,096	544	544
t7	200	145,853	168,7	131,447	646	646
t8	200	159,063	183,671	143,267	686,001	686
t9	200	184,75	190	166,25	741	741
t10	200	181,056	190	162,944	734	734
t11	200	188,444	190	169,556	748	748
t12	200	194,778	190	175,222	760	760
t13	200	191,611	190	172,389	754	754
t14	200	163,686	188,911	147,403	700	700
t15	200	159,063	183,671	143,267	686,001	686
t16	200	173,667	190	156,333	720	720
t17	200	170,5	190	153,5	714	714
t18	200	195,306	190	175,694	761	761
t19	200	177,361	190	159,639	727	727
t20	200	168,602	190	155,398	714	714
t21	198,034	138,602	160	121,364	618	618
t22	189,776	128,754	149,321	116,148	583,999	584
t23	187,864	127,404	147,791	114,94	577,999	578
t24	177,027	119,755	139,122	108,096	544	544

3.2.1.2 2^{ème} scénario : le système de puissance en présence des sources renouvelables

Nous avons étudié système de puissance en présence des sources éoliennes d'un réseau de quatre centrales de production thermique. La figure3-2 montre l'évolution de puissance produite par les sources éolienne.

Notre objective est de voir l'influence de taux d'intégration des sources renouvelable sur le la fonction de cout de système étudié.

Il peut y avoir des périodes où la vitesse du vent est élevée, ce qui augmente la capacité de production d'énergie éolienne. En même temps, il peut y avoir d'autres périodes où la vitesse du vent est faible, ce qui réduit la productivité de l'énergie éolienne.

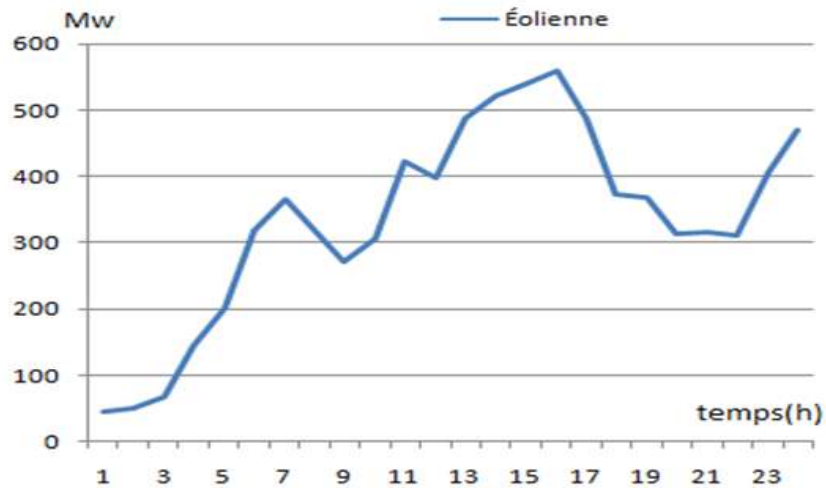


Figure 3-3 : Evaluation de l'énergie éolienne pendant 24h

Les résultats obtenus sont motionnées comme suit :

Le cout $2.2336 * 10^5$ \$/h.

La figure3-3 montrel'évolution optimale de la puissance générée par les unités thermiques avec l'apparition des énergies renouvelables

Lorsque la production d'énergie éolienne augmente, il est possible d'ajuster la production des autres unités de génération dans le réseau. Cela peut se faire en réduisant temporairement leur production ou en la modifiant afin de libérer plus d'espace pour l'intégration de l'énergie éolienne dans le réseau. Ces ajustements sont effectués à l'aide de mécanismes de contrôle du système électrique qui régulent la production de chaque unité en fonction de la demande réelle et de l'équilibre global dans le réseau.

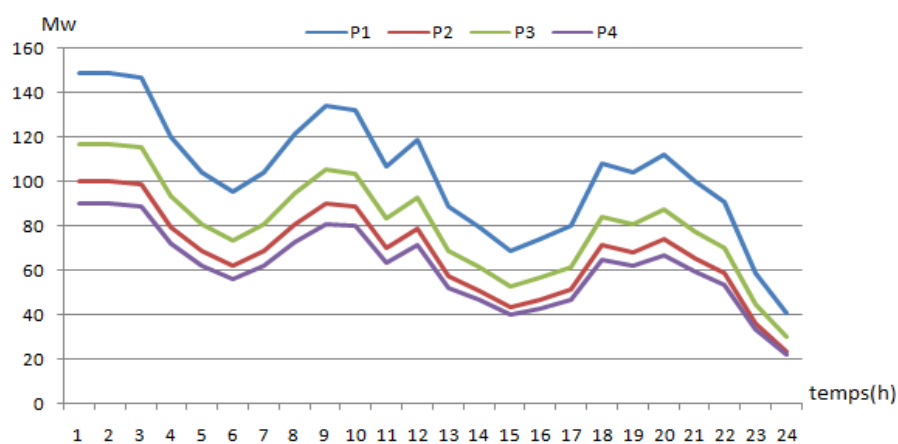


Figure 3-4 : puissance optimal produites par les sources thermique

La figure3-4 montrel' évolution de la demande et la puissance générée par les unités thermiques et la puissance éolienne.

Lorsque la production d'énergie éolienne augmente, il est nécessaire d'équilibrer la production d'électricité des unités de production traditionnelles. Par conséquent, la production d'électricité est intégrée à partir de différentes sources, y compris l'énergie solaire et les unités de production traditionnelles. L'énergie solaire offre une production stable pendant les périodes diurnes lorsque le rayonnement solaire est élevé, tandis que l'énergie éolienne contribue à fournir de l'électricité pendant les périodes de vent. La production des unités de production traditionnelles est ajustée pour compenser les fluctuations de la production d'énergie éolienne et atteindre l'équilibre entre l'offre et la demande dans le réseau électrique.

Cette approche intégrée permet d'atteindre une meilleure durabilité et de réduire notre dépendance aux unités de production traditionnelles qui dépendent des combustibles fossiles. L'intégration de l'énergie solaire et des unités de production traditionnelles renforce la durabilité et la fiabilité du système électrique.

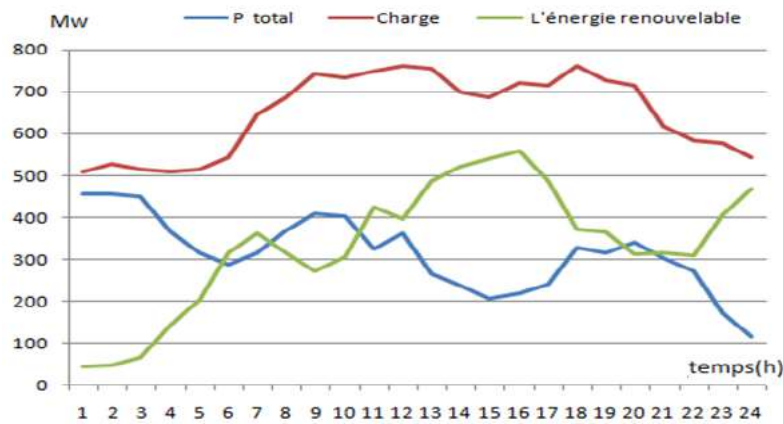


Figure 3-5 : Evolution des puissances générée, consommée et celle de l'éolienne

Tableau 3-3 : Puissances optimales avec les sources éoliennes

t (h)	P1(MW)	P2(MW)	P3(MW)	P4(MW)	PG(MW)	P _{ch} (MW)	P _{wind} (MW)
t1	148,884	99,888	116,607	90,321	455,7	510	44,1
t2	148,884	99,888	116,607	90,321	455,7	530	48,5
t3	147,162	98,673	115,23	89,234	450,299	516	65,7
t4	120,007	79,505	93,505	72,083	365,1	510	144,9
t5	104,272	68,398	80,917	62,145	315,732	515	202,3
t6	95,018	61,866	73,515	56,301	286,7	544	317,3
t7	104,272	68,398	80,917	62,145	315,732	646	364,4
t8	121,154	80,315	94,423	72,808	368,7	686	317,3
t9	134,318	89,607	104,954	81,122	410,001	741	271

t10	132,413	88,262	103,431	79,919	404,025	734	306,9
t11	106,875	70,235	83	63,79	323,9	748	424,1
t12	119,019	78,807	92,715	71,459	362	760	398
t13	88,548	57,299	68,339	52,215	266,401	754	487,6
t14	79,528	50,932	61,122	46,518	238,1	700	521,9
t15	68,883	43,417	52,606	39,794	204,7	686	541,3
t16	73,759	46,859	56,507	42,874	219,999	720	560
t17	80,024	51,282	61,52	46,831	239,657	714	486,8
t18	108,309	71,248	84,147	64,695	328,399	761	372,6
t19	104,054	68,244	80,743	62,008	315,049	727	367,4
t20	111,911	73,79	87,029	66,97	339,7	714	314,3
t21	99,704	65,173	77,263	59,26	301,4	618	316,6
t22	90,524	58,694	69,919	53,463	272,6	584	311,4
t23	58,651	36,195	44,421	33,332	172,599	578	405,4
t24	40,481	23,369	30	21,856	115,706	544	470,4

3.2.1.3 3^{eme} scénario : une énergie solaire est injectée au réseau

Nous avons exploré l'utilisation d'une centrale thermique en conjonction avec l'énergie solaire pendant les heures de 8h à 18h, afin d'exploiter le potentiel de l'énergie solaire pendant les périodes de forte demande et de réduire les coûts.

Les résultats obtenus sont motionnées comme suit :

Le cout minimal est $6.1723 * 10^5$ \$/h.

La figure3-5, montre une courbe de la puissance générée par l'unité solaire.

Nous pouvons constater une augmentation graduelle de la production d'énergie solaire de 7 heures du matin à 19 heures selon la courbe de puissance solaire (figure3-5). Cette augmentation de la production est en corrélation avec les heures de la journée et l'élévation du niveau d'irradiation solaire. L'augmentation de la production d'énergie solaire est associée à une augmentation de la quantité d'énergie solaire captée, ce qui permet de tirer davantage profit de source d'énergie renouvelable et durable.

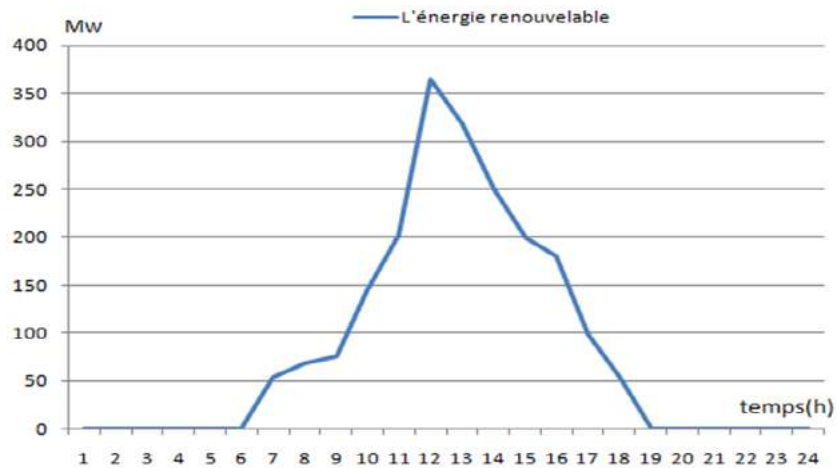


Figure 3-6 : évolution optimale de la puissance générée par l'unité renouvelable

La figure 3-6 montre l'évolution optimale de la puissance générée par les unités thermiques avec l'apparition des énergies solaire.

Ces variations dans les unités de production reflètent le fonctionnement de l'énergie solaire pendant les heures de la journée, où le niveau de rayonnement solaire est le plus élevé pour la production d'électricité. L'énergie solaire est une source propre et renouvelable, et cette augmentation de la production témoigne de la transition vers un équilibre entre la demande d'électricité et la dépendance aux sources d'énergie durables.

Ces changements illustrent la grande capacité de l'énergie solaire à répondre aux besoins en électricité pendant les heures de la journée, réduisant ainsi la dépendance aux sources d'énergie traditionnelles qui reposent sur les combustibles fossiles. Cette transition vers la durabilité et l'accent mis sur une utilisation accrue des sources d'énergie renouvelable est bénéfique pour l'environnement, contribuant ainsi à atteindre les objectifs de préservation de l'environnement et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La figure 3-7 montre la puissance générée optimal totale par les unités thermiques avec la puissance demandée en présence des unités solaire.

L'augmentation de la production d'énergie solaire reflète une dépendance croissante à cette source d'énergie renouvelable et propre dans la production d'électricité.

Les unités de production traditionnelles s'adaptent à la demande d'électricité variable en augmentant ou en réduisant leur production en fonction des besoins réels dans le réseau.

La courbe de variation de la demande reflète l'augmentation de la consommation électrique pendant les heures de pointe et sa diminution pendant les heures de nuit et tôt le matin.

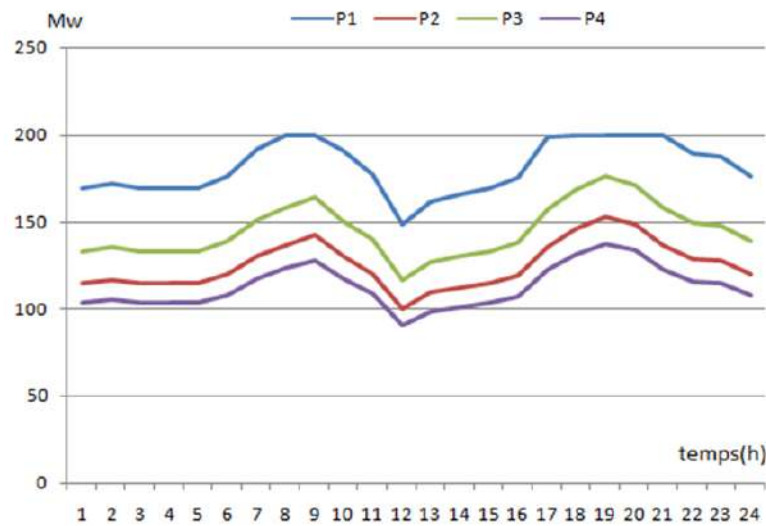


Figure 3-7 : puissance optimal générée en présence des panneaux solaire

L'utilisation de l'énergie solaire contribue à équilibrer la production et la demande dans le système électrique.

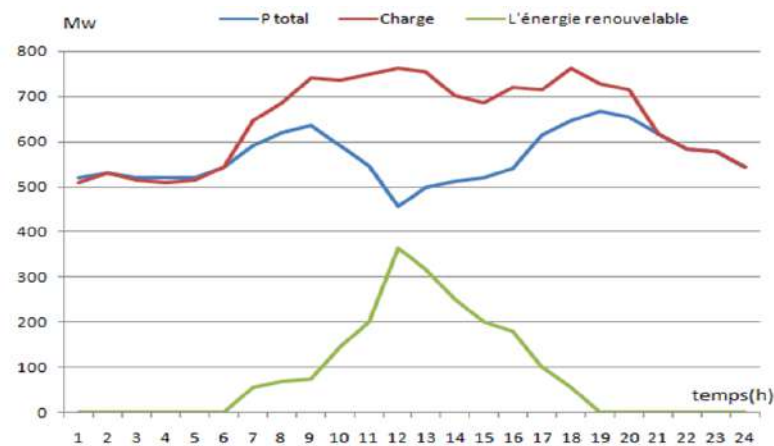


Figure 3-8 : Puissances générée par les generateurs synchrones et renouvelables et de la demande.

Tableau 3-4 : Puissances optimales générées en présence d'énergie solaire

T (h)	P1 (MW)	P2 (MW)	P3(MW)	P4(MW)	P _T (MW)	P _{Ch} (MW)	P _{solaire} (MW)
t1	169,362	114,343	132,989	103,255	519,949	510	1
t2	172,246	116,38	135,297	105,077	529	530	1
t3	169,362	114,343	132,989	103,255	519,949	516	1
t4	169,362	114,343	132,989	103,255	519,949	510	1
t5	169,362	114,343	132,989	103,255	519,949	515	1
t6	176,709	119,53	138,867	107,895	543,001	544	1
t7	191,976	130,306	151,081	117,537	590,9	646	55,1
t8	200	136,441	158,033	123,026	617,5	686	68,5
t9	200	142	164,333	128	634,333	741	75,7
t10	191,402	129,901	150,622	117,175	589,1	734	144,9
t11	177,569	120,137	139,555	108,438	545,699	748	202,3
t12	148,884	99,888	116,607	90,321	455,7	760	364,3
t13	161,92	109,09	127,036	98,554	496,6	754	317,4
t14	166,095	112,038	130,376	101,192	509,701	700	250,3
t15	169,362	114,343	132,989	103,255	519,949	686	200
t16	175,466	118,652	137,872	107,11	539,1	720	180,9
t17	199,306	135,481	156,945	122,167	613,899	714	100,1
t18	200	145,82	168,662	131,418	645,9	761	55,1
t19	200	152,458	176,185	137,357	666	727	1
t20	200	148,165	171,32	133,516	653,001	714	1
t21	200	136,276	157,846	122,878	617	618	1
t22	189,458	128,529	149,066	115,947	583	584	1
t23	187,545	127,179	147,536	114,739	576,999	578	1
t24	176,709	119,53	138,867	107,895	543,001	544	1

3.2.1.4 4^{eme} scénario : augmentation de taux de production de l'énergie solaire

Nous avons évalué l'impact de l'augmentation de la capacité de production d'énergie solaire d'un facteur de deux fois la puissance de 3^{eme} scénarios, pour réduire la puissance demandée par les sources classiques et de réduire les coûts de combustible.

Les résultats obtenus sont motionnées comme suit :

Le cout de production est $4.2000 * 10^5$ \$/h

La figure3-8 montre l'évolution optimale de la puissance générée par l'unité renouvelable après l'extension de la centrale solaire.

À partir de la courbe, nous pouvons observer une augmentation progressive de la production d'énergie solaire de 7 heures du matin jusqu'à 19h00. Cette augmentation de la production est en corrélation avec les heures de la journée et l'élévation du niveau d'irradiation solaire. Suite à l'extension de la centrale solaire, la production d'énergie solaire a été doublée, ce qui a permis de tirer encore plus parti de cette source d'énergie renouvelable et durable.

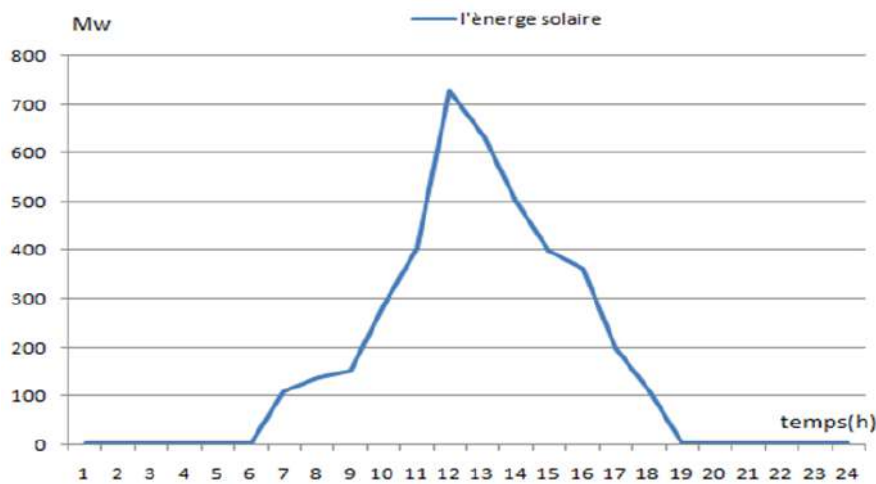


Figure 3-9 : Evolution de la puissance produite par les fermes solaire après l'extension

La figure 3-9 montre l'évolution optimale de la puissance générée par les unités thermiques après l'extension des fermes solaire.

Suite à cette extension, qui nous permet d'avoir une source d'énergie propre et renouvelable pendant les heures de la journée. Cette expansion a non seulement réduit notre dépendance aux combustibles fossiles, mais elle a également été réalisée à moindre coût. En effet, l'énergie solaire présente des coûts de production et de maintenance relativement bas par rapport aux sources d'énergie traditionnelles. Ainsi, en plus de réduire notre impact sur l'environnement, nous sommes en mesure de répondre à la demande croissante en électricité de manière durable et économiquement avantageuse. Cette combinaison de bénéfices

environnementaux et économiques renforce notre engagement envers les énergies renouvelables et favorise une transition énergétique plus durable.

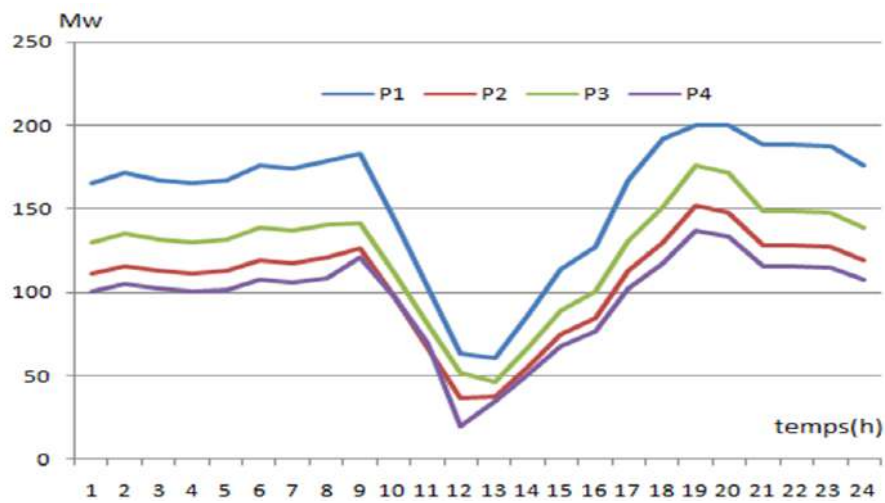


Figure 3-10 : puissance générée par les unités thermiques avec l'extension des énergies solaire

La figure 3-10 montre l'évolution de la demande et la puissance générée par les unités thermiques et la puissance solaire après l'extension

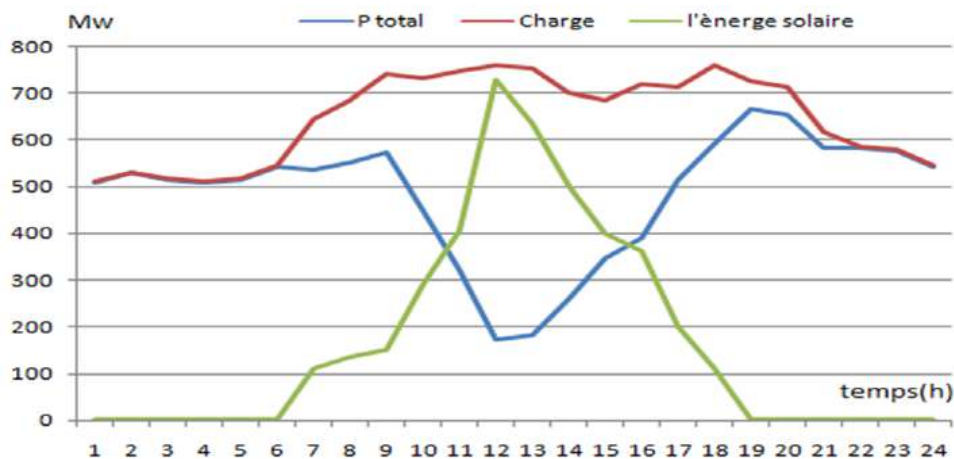


Figure 3-11 : puissances générée, demandée et celle produite par le solaire

Après l'extension de la capacité de production d'énergie solaire, on observe une augmentation significative de la production d'énergie solaire. Cette augmentation témoigne de la dépendance croissante à cette source d'énergie renouvelable et propre dans la production d'électricité. Les unités de production traditionnelles s'adaptent aux fluctuations de la demande électrique en augmentant ou en réduisant leur production en fonction des besoins réels du réseau. La courbe de variation de la demande électrique montre une augmentation pendant les heures de pointe et une diminution pendant les heures de nuit et tôt le matin. Ainsi, avec l'expansion de l'unité de production d'énergie solaire, une plus grande partie de la demande en électricité peut être satisfaite. Cela permet d'atteindre un meilleur équilibre entre

l'offre et la demande dans le système électrique, tout en renforçant la durabilité et en réalisant les objectifs de préservation de l'environnement et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Tableau3-5 : puissance optimales des unités thermiques après l'extension des fermes solaire

T (h)	P _{G1} (MW)	P _{G2} (MW)	P _{G3} (MW)	P _{G4} (MW)	P _{Gtotal} (MW)	P _{Ch} (MW)	P _{solaire} (MW)
t1	165,553	111,655	129,942	100,849	507,999	510	2
t2	171,928	116,155	135,042	104,875	528	530	2
t3	167,465	113,005	131,472	102,057	513,999	516	2
t4	165,553	111,655	129,942	100,849	507,999	510	2
t5	167,147	112,78	131,217	101,856	513	515	2
t6	176,39	119,305	138,612	107,694	542,001	544	2
t7	174,414	117,91	137,031	106,446	535,801	646	110,2
t8	178,621	120,88	140,397	109,103	549,001	686	137
t9	187,619	131,157	145,465	125,336	589,577	741	151,4
t10	143,269	96,807	111,115	97,258	448,449	734	289,8
t11	103,269	66,807	81,115	70	321,191	748	404,6
t12	63,269	36,807	51,115	20	171,191	760	728,6
t13	60,755	37,68	46,104	34,661	179,2	754	634,8
t14	86,317	55,724	66,554	50,806	259,401	700	500,6
t15	113,919	75,208	88,635	68,238	346	686	400
t16	127,469	84,357	100,476	76,425	388,727	720	361,8
t17	167,469	113,424	130,476	102,432	513,801	714	200,2
t18	191,944	130,284	151,055	117,517	590,8	761	110,2
t19	200	152,127	175,811	137,061	664,999	727	2
t20	200	147,834	170,946	133,22	652	714	2
t21	188,82	128,079	148,556	115,544	580,999	618	2
t22	188,82	128,079	148,556	115,544	580,999	584	2
t23	187,227	126,954	147,281	114,538	576	578	2
t24	176,39	119,305	138,612	107,694	542,001	544	2

La figure 3-1 représente une courbe graphique montrant l'évolution de la puissance produite par les fermes renouvelables pour chaque scénario.

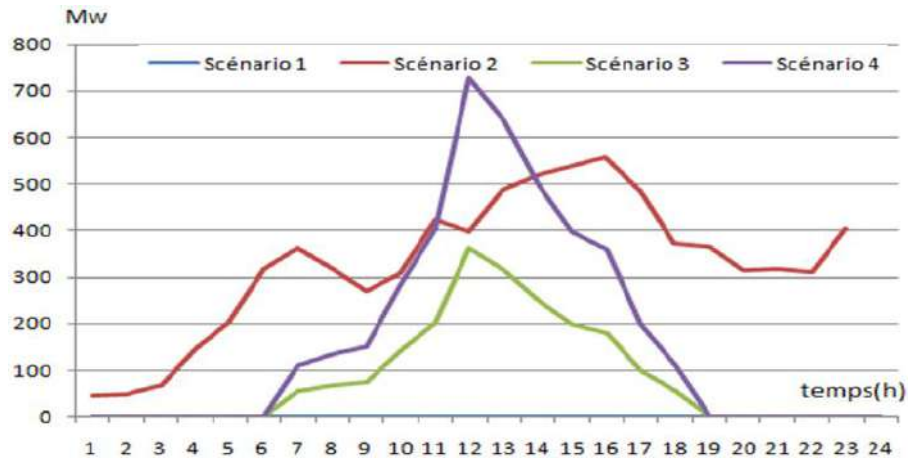


Figure 3-12 : puissance produite optimal par les fermes renouvelables

Il est à noter que la capacité de production d'électricité augmente après chaque extension dans l'unité de production d'énergie renouvelable

Il est à noter que la capacité de production d'électricité augmente après chaque extension dans l'unité de production d'énergie renouvelable, tout en réduisant les coûts de production. Cette augmentation de capacité permet d'accroître la contribution des sources d'énergie renouvelable au mix énergétique global, ce qui conduit à une réduction de la dépendance aux sources d'énergie non renouvelables et aux émissions de gaz à effet de serre. De plus, avec l'avancement des technologies et l'échelle croissante de la production d'énergie renouvelable, les coûts de production diminuent progressivement, rendant cette source d'énergie de plus en plus compétitive sur le marché de l'électricité. Cela favorise une transition vers un système énergétique plus durable et économiquement avantageux.

La figure3-12, montre l'évolution de la puissance produite par chaque unité thermique pour différents scénario.

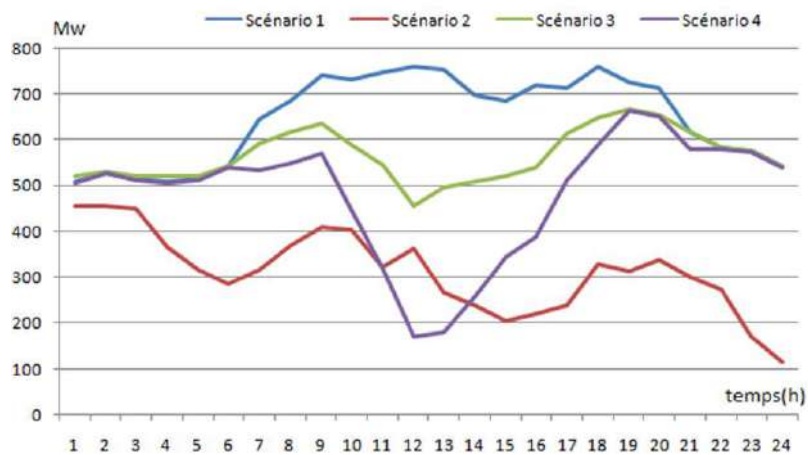


Figure 3-13 : puissance produite par chaque unité thermique

Nous constatons que chaque fois que nous augmentant le taux de production d'énergie renouvelable, la production thermique se réduit.

D'après le figure ci-dessous, que le coût sont réduits une fois intégré à un système d'énergie renouvelable dans un réseau électrique.

3.3 Conclusion

En conclusion, l'augmentation du taux d'intégration des sources renouvelables a un impact significatif sur l'optimisation d'un réseau électrique. L'utilisation croissante des sources renouvelables permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de diminuer la dépendance aux combustibles fossiles et d'obtenir une production d'électricité plus propre et durable. Cependant, cela présente également des défis en termes de gestion de la demande, de l'équilibrage du réseau électrique et de la gestion de l'intermittence de la production.

Pour optimiser l'intégration des sources renouvelables, il est nécessaire de développer des stratégies d'optimisation adaptées. Cela peut inclure des solutions telles que la gestion de l'énergie, le stockage d'énergie, la flexibilité de la demande et les mécanismes de marché. Ces approches permettent de trouver un équilibre entre l'offre et la demande, d'optimiser la planification de la production et de garantir la stabilité du réseau électrique.

Conclusion Générale

4 Conclusion général

L'intégration des sources d'énergie renouvelable, telles que les éoliennes et les panneaux solaires, présente de nombreux avantages en termes d'abaissement de l'énergie produite par les sources classiques, de diminution de l'écoulement de puissance dans les lignes de transport et de réduction des pertes. Ces avantages ont un impact direct sur le coût de production de l'électricité.

De plus, les sources d'énergie renouvelable bénéficient de ressources gratuites et abondantes, telles que le soleil et le vent, ce qui permet de produire de l'électricité à un coût compétitif par rapport aux sources d'énergie classiques. Bien que les coûts initiaux de construction et d'installation des éoliennes et des panneaux solaires puissent être élevés, les coûts d'exploitation et de maintenance sont relativement faibles. Cela contribue à une réduction potentielle des coûts de production d'électricité, ce qui pourrait se traduire par des factures d'électricité plus abordables pour les consommateurs.

En outre, le problème de l'écoulement de puissance optimal dans le réseau électrique a été abordé en utilisant des méthodes conventionnelles telles que le QCP (Quadratic Constrained Programming) pour minimiser les fonctions objectifs, comme la fonction du coût. Cela montre que des approches analytiques et d'optimisation peuvent être utilisées pour trouver des solutions efficaces permettant de maximiser les avantages de l'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le réseau électrique.

Référence

[1] Mohamed Ansoumane CAMARA "Modélisation du stockage de l'énergie photovoltaïque par supercondensateurs " THÈSE Doctoral en Institut Polytechnique de CONAKRY – Université Gamal Abdel NASSER – GUINEE (2011).

[2] Remy Rigo Mariani " Méthodes de conception intégrée "dimensionnement-gestion" par optimisation d'un microréseau avec stockage Energie électrique " THÈSE Doctoral en Institut Nationale Polytechnique de Toulouse – Français (2014).

[3] Ha Duy Long "Un système avancé de gestion d'énergie dans le bâtiment pour coordonner production et consommation " THÈSE Doctoral en Modélisation et simulation. Institut National Polytechnique de Grenoble – INPG – Français (2007).

[4] Mathieu GALLISSOT " Modéliser le concept de confort dans un habitat intelligent: du multisensoriel au comportement " THÈSE Doctoral en Université GRENOBLE– Français (2012).

[5] FEDDAOUI Omar "Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération : Application aux Energies Renouvelables" Mémoire de Magister en Electrotechnique Option : Commande des Machines Electriques Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras (2014).

[6] Xu, X. Modélisation et analyse du fonctionnement d'un système de stockage intégré au réseau électrique [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal] (2013).

[7] SMAIL DJOUHRI the algérien journal of political sciences and international relations 13th issue december 2019 article l'énergie nucléaire .

[8] Mounira, Mekki. *Récupération des déperditions d'énergie dans les complexes industriels et leur conversion en énergie électrique exploitable*. Diss. Thèse de de Doctorat en Sciences, Faculté des sciences de l'ingénieur, Département d'électrotechnique, Université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2014.

[9] Arash FARNOOSH "Analyse de la production d'électricité dans les pays producteurs de Pétrole "THÈSE Doctoral en Université Montpellier (2016).

[10] Khadija BEN KILANI "Réseaux Électriques de Puissance "École nationale d'ingénieurs de Tunis 2013-2014

[11] Mohamed Mladjaou Mouhammad Al Anfaf" Contribution à la modélisation et à l'optimisation de systèmes énergétiques multi-sources et multi-charges" THÈSE Doctoral en Génie des procédés Université de Lorraine– Français (2016).

[12] Hichem AZLI "Contribution A L'intégration Des Algorithmes D'ordonnancement Dans Les Systèmes De Production; Application Aux Systèmes De Production D'Energie Electrique" THÈSE Doctoral en Electrotechnique Université FERHAT ABBAS – SETIF (2020).

-
- [13] ChaimaGhanjati " Contrôle de puissance et optimisation des flux d'énergie au sein des systèmes multi-sources à énergies renouvelables"THÈSE Doctoral en Energie électrique. Université de Poitiers; École nationale d' ingénieurs– Français(2021).
- [14] Lila CROCI " GESTION DE L'ENERGIE DANS UN SYSTÈME MULTI-SOURCES PHOTOVOLTAÏQUE ET ÉOLIEN AVEC STOCKAGE HYBRIDE BATTERIES/SUPERCONDENSATEURS" THÈSE Doctoral en AUTOMATIQUE Université de Poitiers; École nationale d'ingénieurs– Français(2013).
- [15] S.Sayah, "Application de l'intelligence artificiel pour le fonctionnement optimal des systèmes électriques," Université de Sétif Thèse de Doctorat , 2010.
- [16] **BOUDJELLA Houari**"Calcul de la répartition optimale des puissances dans un réseau électrique par les méthodes métaheuristiques" thèse de doctorat, Université des sciences et de Technologies Mohamed Boudiaf USTO-MBOran, Mai 2021, Algérie.
- [17] Slimani Linda " Contribution à l'application de l'optimisation par des méthodes métaheuristiques à l'écoulement de puissance optimal dans un environnement de l'électricité dérégulé"THÈSE Doctoral en Electrotechnique Université EL Hadj Lakhdar- Batna (2009).
- [18] M. JA, E.-H. ME, and A. R, "A review of selected optimal power flow literature to 1993,part i :nonlinear quadratic programming approach," IEEE transPower Sys, pp. 96–104, 1999.
- [19] ZEKKOUR Fateh et BOUDROUAZ Yacine Rétrospective sur les méthodes d'Écoulement de Puissance Optimal Ecole Nationale PolytechniqueDépartement d'ElectrotechniqueLaboratoire de Recherche en Electrotechnique Projet de fin d'études en vue de l'obtention dudiplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique 2015.
- [20]Nick, M.; Cherkaoui, R.; Paolone, M. Optimal Allocation of Dispersed Energy Storage Systems in Active Distribution Networks for Energy Balance and Grid Support. IEEE Trans. Power Syst. 2014, 29, 2300–2310.
- [21] SoroudiAlireza. *Power system optimization modeling in GAMS*. Vol. 78. Cham, Switzerland: Springer, 2017.
- [22] Jorge Nocedal , Stephen J. Wright "Numerical optimization." (2006).

Annexe

Les résultats obtenus par l'outil GMS d'un réseau constituant de centrale de production d'énergie électrique pour minimiser la fonction de cout en présences de sources d'énergie renouvelables

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR cost -INF 4.2000E+5 +INF .

---- VAR power generated by thermal power plant

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

p1.t1	28.000	165.553	200.000	.
p1.t2	28.000	171.928	200.000	EPS
p1.t3	28.000	167.465	200.000	.
p1.t4	28.000	165.553	200.000	.
p1.t5	28.000	167.147	200.000	.
p1.t6	28.000	176.390	200.000	EPS
p1.t7	28.000	174.414	200.000	EPS
p1.t8	28.000	178.621	200.000	EPS
p1.t9	28.000	183.269	200.000	.
p1.t10	28.000	143.269	200.000	.
p1.t11	28.000	103.269	200.000	.
p1.t12	28.000	63.269	200.000	.
p1.t13	28.000	60.755	200.000	.
p1.t14	28.000	86.317	200.000	.
p1.t15	28.000	113.919	200.000	.
p1.t16	28.000	127.469	200.000	.
p1.t17	28.000	167.469	200.000	.
p1.t18	28.000	191.944	200.000	EPS
p1.t19	28.000	200.000	200.000	-5.493
p1.t20	28.000	200.000	200.000	-4.034
p1.t21	28.000	188.820	200.000	EPS
p1.t22	28.000	188.820	200.000	EPS

p1.t23	28.000	187.227	200.000	EPS
p1.t24	28.000	176.390	200.000	EPS
p2.t1	20.000	111.655	290.000	.
p2.t2	20.000	116.155	290.000	.
p2.t3	20.000	113.005	290.000	.
p2.t4	20.000	111.655	290.000	.
p2.t5	20.000	112.780	290.000	.
p2.t6	20.000	119.305	290.000	.
p2.t7	20.000	117.910	290.000	.
p2.t8	20.000	120.880	290.000	.
p2.t9	20.000	126.807	290.000	.
p2.t10	20.000	96.807	290.000	.
p2.t11	20.000	66.807	290.000	.
p2.t12	20.000	36.807	290.000	.
p2.t13	20.000	37.680	290.000	EPS
p2.t14	20.000	55.724	290.000	.
p2.t15	20.000	75.208	290.000	.
p2.t16	20.000	84.357	290.000	.
p2.t17	20.000	113.424	290.000	.
p2.t18	20.000	130.284	290.000	.
p2.t19	20.000	152.127	290.000	.
p2.t20	20.000	147.834	290.000	.
p2.t21	20.000	128.079	290.000	.
p2.t22	20.000	128.079	290.000	.
p2.t23	20.000	126.954	290.000	.
p2.t24	20.000	119.305	290.000	.
p3.t1	30.000	129.942	190.000	.
p3.t2	30.000	135.042	190.000	.
p3.t3	30.000	131.472	190.000	.

p3.t4	30.000	129.942	190.000	.
p3.t5	30.000	131.217	190.000	.
p3.t6	30.000	138.612	190.000	.
p3.t7	30.000	137.031	190.000	.
p3.t8	30.000	140.397	190.000	.
p3.t9	30.000	141.115	190.000	.
p3.t10	30.000	111.115	190.000	.
p3.t11	30.000	81.115	190.000	.
p3.t12	30.000	51.115	190.000	.
p3.t13	30.000	46.104	190.000	EPS
p3.t14	30.000	66.554	190.000	.
p3.t15	30.000	88.635	190.000	.
p3.t16	30.000	100.476	190.000	.
p3.t17	30.000	130.476	190.000	.
p3.t18	30.000	151.055	190.000	.
p3.t19	30.000	175.811	190.000	EPS
p3.t20	30.000	170.946	190.000	EPS
p3.t21	30.000	148.556	190.000	.
p3.t22	30.000	148.556	190.000	.
p3.t23	30.000	147.281	190.000	.
p3.t24	30.000	138.612	190.000	.
p4.t1	20.000	100.849	260.000	.
p4.t2	20.000	104.875	260.000	.
p4.t3	20.000	102.057	260.000	EPS
p4.t4	20.000	100.849	260.000	.
p4.t5	20.000	101.856	260.000	.
p4.t6	20.000	107.694	260.000	.
p4.t7	20.000	106.446	260.000	.
p4.t8	20.000	109.103	260.000	.

p4.t9	20.000	120.986	260.000	.
p4.t10	20.000	97.258	260.000	.
p4.t11	20.000	70.000	260.000	.
p4.t12	20.000	20.000	260.000	4.435
p4.t13	20.000	34.661	260.000	EPS
p4.t14	20.000	50.806	260.000	EPS
p4.t15	20.000	68.238	260.000	.
p4.t16	20.000	76.425	260.000	.
p4.t17	20.000	102.432	260.000	.
p4.t18	20.000	117.517	260.000	.
p4.t19	20.000	137.061	260.000	.
p4.t20	20.000	133.220	260.000	.
p4.t21	20.000	115.544	260.000	.
p4.t22	20.000	115.544	260.000	.
p4.t23	20.000	114.538	260.000	.
p4.t24	20.000	107.694	260.000	.