

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الآلية والكهروميكانيك
Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Licence professionnelle

Domaine : Sciences et technologies,
Filière : Energies renouvelables
Spécialité : Energies renouvelables et environnement

Thème

Production d'électricité en Algérie:
La transition du gaz vers le photovoltaïque

Présenté par :

Ritadj KICHAH

Soutenue publiquement le : 20/05/2025

Devant le jury composé de :

Rafik EULDJI	MCB	Université Ghardaia	Président
Noureddine BENBAHA	MRB	URAER	Encadreur
Rezki KHELIFI	Directeur de Recherche	URAER	Examineur

Année universitaire 2024/2025

Résumé

Ce mémoire traite de la transition dans la production d'électricité, passant de la dépendance au gaz naturel vers l'exploitation de l'énergie solaire, en se focalisant sur le cas de l'Algérie. Le premier chapitre présente une vue d'ensemble des méthodes de production d'électricité et des différentes sources d'énergie. Le deuxième chapitre expose la situation en Algérie, où la production électrique repose majoritairement sur le gaz naturel, ce qui pose des défis économiques et environnementaux. Le troisième chapitre décrit les caractéristiques de l'énergie solaire, ses avantages, ses types, ainsi que le grand potentiel solaire dont dispose l'Algérie. Le mémoire conclut sur la nécessité d'adopter l'énergie solaire afin d'assurer une production d'électricité durable et de réduire la dépendance aux ressources fossiles.

MOTS CLES : Transition énergétique, Gaz naturel, Photovoltaïque, Production d'électricité

Summary

This thesis discusses the transition in electricity production from reliance on natural gas to the exploitation of solar energy, with a focus on the Algerian context. The first chapter presents an overview of electricity generation methods and various energy sources. The second chapter examines the current state of electricity production in Algeria, which heavily depends on natural gas, posing economic and environmental challenges. The third chapter explains the characteristics of solar energy, its advantages, types, and highlights Algeria's significant potential in this field. The thesis concludes by emphasizing the need to shift towards solar energy to ensure sustainable electricity production and reduce dependence on fossil resources.

Key words: Energy Transition, Natural Gas, Photovoltaic (Solar Energy), Electricity Production in Algeria

ملخص

تتناول هذه المذكرة موضوع التحول في إنتاج الكهرباء من الاعتماد على الغاز الطبيعي إلى استغلال الطاقة الشمسية، مع التركيز على الحالة الجزائرية، يتضمن المجال الأول نظرة عامة على طرق إنتاج الكهرباء ومصادرها المختلفة. أما المجال الثاني، فيعرض واقع إنتاج الكهرباء في الجزائر، التي تعتمد بشكل كبير على الغاز الطبيعي، ما يفرض تحديات اقتصادية وبيئية. ويشرح المجال الثالث خصائص الطاقات الشمسية، مزاياها، وأنواعها، مع إبراز الإمكانيات الكبيرة التي تملكها الجزائر في هذا المجال وخلصت المذكرة إلى ضرورة التوجه نحو الطاقة الشمسية لضمان استدامة إنتاج الكهرباء وتقليل الاعتماد على الموارد الأحفورية.

الكلمات المفتاحية: التحول الطاقوي، الغاز الطبيعي، الطاقة الشمسية الكهروضوئية، إنتاج الكهرباء في الجزائر

Table des matières

Liste des figures	7
Liste des tableaux	9
Introduction générale.....	1
Chapitre 1:	2
Généralités sur la production de l'énergie électrique.....	2
1.1.Introduction :.....	3
1.1.2.Historique :	3
1.2. Définition d'un réseau électrique.....	3
1.3.Les différentes fonctions du réseau	4
1.3-1- Réseau de transport.....	4
1.3-2-Réseau d'interconnexion.....	5
1.3-3- Réseau de répartition	5
1.3-4- Réseau de distribution.....	5
1.4.Principe général de fonction Production de l'énergie électrique.....	5
1.5.loi de Lenz	6
1.6.Généralité sur les alternateurs.....	6
1.7.Différents types de centrales électrique.....	7
1.7.1.Centrale thermique a vapeur	8
1.7.1.2.Prncip de fonctionnement.....	8
1.7.2.Centrale thermique a gaz	10
1.7.2.1.Principe de fonctionnement.....	11
1.7.3.Centrale thermique a cycle combine	12
1.7.3.1. Principe de fonctionnement.....	12
1.7.4.Centrale nucléaire	13
1.7.4.1.Principe de fonctionnement.....	14
1.7.5.Centrale hydraulique.....	15
1.7.5.1-Differentes centrales hydrauliques.....	15
1.7.6.Central photovoltaïque	16
1.7.7.Central énergie éolienne	16
7-8-Centrale géothermique.....	17
7-8-1-Le principe de fonctionnement	17
7-9-Centrale biomasse.....	18
7-10-Centrale diesel.....	18

Conclusion.....	19
Chapitre 2 :	20
La production d'électricité en Algérie.....	20
2.1.Introduction	21
2.1.1.Situation géographique.....	21
2.1.2.La population.....	22
2.1.3.Climat	22
2.1.4.Superficie et découpage administratif.....	23
2.2.Situation énergétique	23
2.2.1. Production Nationale d'énergie	23
Interprétation	26
2.2.2.Production d'énergie dérivée	24
Interprétation	27
2.3.Evolution de Réseau National Transport.....	25
Interprétation	28
2.4.La consommation de l'énergie électrique	26
2.5.Statistiques sur l'électricité en Algérie	26
2.6.La réalité de la production et de la consommation d'électricité en Algérie.....	27
Interprétation	31
2.7.Évolution de la consommation d'électricité par secteurs	28
Interprétation	33
2.8.Le types centrales électriques en Algérie	30
2.10.Présentation de l'entreprise SPE de Ain Djasser	33
2.10.1. Historique de la société	33
2.10.2. SPE d'Ain Djasser.....	34
2.10.3. Fiche technique de SPE Ain Djasser	34
2.10.4. Description générale des systèmes	35
2.10.4.1. Poste GAZ :.....	35
2.10.4.1. Système eau brute	35
2.10.4.2. Système de distribution eau.....	36
2.10.4.3. Système de réfrigération NORIA	36
2.10.5. Système de protection d'incendie	36
2.10.5.1. Description générale.....	36
2.10.6. Descriptif du groupe de puissance (turbogénérateur)	37
2.10.6.1. Fonctionnement.....	37
2.10.7. Système d'aspiration.....	38

2.10.8. Chambre de combustion.....	38
2.10.9. L'alternateur :	39
Conclusion.....	39
Chapitre 3 :	40
L'énergie photovoltaïque et son application dans les centrales solaires	40
3.1.Introduction.....	41
3.2.Généralités sur l'énergie photovoltaïque	41
3.3Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque :	42
3.3.1.Mode autonome :.....	42
3.3.1.1. Système autonome avec stockage (batterie) :	43
3.3.1.2 Système autonome sans stockage :.....	43
3.4.Mode connecté au réseaux :	44
3.4.1.Mode connecté à un générateur électrogène :	44
3.4.2. Mode hybride :	45
3.5.Effet photovoltaïque :	45
3.6.Cellule photovoltaïque :.....	47
3.6.1.Définition de la cellule photovoltaïque	47
a) Cellule au silicium amorphe :.....	48
b) Cellule au silicium monocristallin :	49
c) Cellule au silicium poly cristallin :	49
d) Panneaux solaires à couches minces (Thin-Film).....	49
e) Panneaux solaires avec technologie PERC (Passivated Emitter and Rear Cell)	50
3.7.Groupement des cellules photovoltaïque :	50
a) Groupement en série :.....	50
b) Groupement en parallèle :	50
3.7.Module photovoltaïque :.....	51
3.7.1. Caractéristiques d'un module photovoltaïque :	52
3.8. Panneau photovoltaïque :	53
3.9. Les convertisseurs statiques :	53
3.9.1. Onduleur :	53
3.9.2. Hacheur :	54
3.10. PRÉSENTATION DU PROJET.....	54
3.10.1.Localisation et historique du site d'implantation.....	54
3.11.DESCRPTION TECHNIQUE DU PROJET	55
3.11.CONCEPTION DE LA CENTRALE PV DE NAAMA	56
3.11.1.Les modules.....	56

3.11.2.Les structures porteuses	56
3.12.Fiche technique globale de la centrale.....	56
3.12.1.Les Fiche technique du panneau PV installer au centrale PV Naama.....	57
3.12.Fiche technique panneau solaire.....	58
3.12.1.Modèle CS6P installer au centrale PV Naama	58
3.12.2.Caractéristiques du produit	58
3.12.3.Caractéristiques électriques	59
3.12.4.Caractéristiques mécaniques.....	60
3.13. Courbes V-P et V-I (CS6P-255P).....	61
3.13.2.Courbes V-P et V-I (CS6P-255P).....	61
3.13.3.Résultat d'analyse.....	69
3.14.Tableau comparatif entre le gaz naturel et l'énergie photovoltaïque.....	62
Conclusion :	64
Conclusion Générale	65
Références bibliographiques	66

Liste des figures

Figure1.1: Structure des réseaux électrique	4
Figure1.2 : Principe Production de l'énergie électrique.....	6
Figure 1. 3 : Principe de fonctionnement alternateurs	7
Figure1. 4 : CENTRALE THERMIQUE A VAPEUR.....	8
Figure1.5 : Eléments d'une centrale thermique	9
Figure I . 6 : centrale à gaz.....	11
Figure1.7 : Schéma de principe de fonctionnement d'une turbine à gaz [1]	12
Figure1.8 : centrale à gaz à cycle combine.....	12
Figure1.9 : Principe d'une centrale à gaz à cycle combine	13
Figure1.10 : centrale nucléaire.....	14
Figure1.11 : Partie principales d'une centrale nucléaire	14
Figure 1.12 : Fonctionnement D'une Centrale Hydroélectrique.....	15
Figure1.13: schéma de principe d'un générateur photovoltaïque	16
Figure1.14 : Central éolienne	Erreur ! Signet non défini.
Figure 1.15 : Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	16
Figure1. 16 : Schéma d'une centrale géothermique	17
Figure1.17: centrale biomasse	18
Figure1.18 : Configuration de générateur diesel	19
Figure2.1 : Carte énergie (gaz et pétrole) [13]	23
Figure2.2 : Production nationale d'énergie primaire de (2000 à 2017) en ktep [13].	24
Figure2.3 : Production d'énergie dérivée de (2000 à 2017) ktep [13]	25
Figure2.4 : Evolution de Réseau National Transport d'Electricité en(2005 -2017)	25
Figure2.5 : carte réseau national [17]	26
Figure 2.6 : la production d'électricité en Algérie 2019 [OSE 2019]	27
Figure2.7 : la consommation d'électricité sur la période 2010-2019 [OPAEP].....	28
Figure2.8 : L'évolution de la production d'électricité sur la période 2002-2019.....	29
Figure2.9 : Un graphique montrant l'évolution de la production d'électricité en Algérie.....	29
Figure2.10 : Un cercle relatif indiquant le pourcentage de chaque type de production nationale.....	32

Figure 3.1 : Système de conversion de l'énergie solaire en électricité.....	41
Figure3. 2 : Présentation générale d'un système photovoltaïque autonome	42
Figure3.3 : Système autonome avec stockage (batterie).....	43
Figure3.4 : Système autonome sans stockage	43
Figure3.5 : Système photovoltaïque raccordé au réseau	44
Figure3.6 : Système photovoltaïque raccordé à un générateur électrogène	45
Figure3.7 : Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque	45
Figure3.8 : Cellule photovoltaïque montrant l'effet photovoltaïque [26].	46
Figure3.9 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	47
Figure3.10 : Cellules identiques en série [24].	50
Figure 3.11 : Cellules identiques en parallèles [24].....	51
Figure3.12 : Constitution d'un module photovoltaïque.....	52
Figure3.13 : Panneau photovoltaïque	53
Figure3. 14 : Information sur Naâma (source Wikipédia)	54
Figure3. 15 : positionnement de la centrale PV de Naama.....	55
Figure 3.16 : Vues de face et en coupe des tables Grand et Petit formats sur longrines et pieux	57
Figure3. 17 : panneauCS6P235/240/245/250/255P	58
Figure3. 18 : :COURBE I-V et P-V DU MODELE CS6P	61
Figure3.19:panneau CS6P235/240/245/250/255/.....	65
Figure3.20 : courbe I-V et P-V a température variable.....	69
Figure3.21 : courbe I-V et P-V a rayons variable.....	70

Liste des tableaux

Tableau 1 : les types de stations hydrauliques	15
Tableau 2 : Statistiques sur l'électricité en Algérie	27
Tableau 3 : la consommation d'électricité sur la période 2010-2019.....	27
Tableau 4 : la consommation d'électricité par secteurs [18]	28
Tableau 5 : la production d'électricité sur la période 2002-2019 [DPR]	29
Tableau 6 : L 'évolution prévue du parc de production sur la période considérée en Algérie	33
Tableau 7 : caractéristique générale de la centrale PV	57
Tableau 8 : Tableau comparatif	70

Introduction générale

L'énergie constitue l'un des piliers fondamentaux du développement économique et social de tout pays, car sa disponibilité et sa durabilité sont étroitement liées à la croissance des secteurs vitaux tels que l'industrie, les transports et la santé. Pendant des décennies, la plupart des pays, y compris l'Algérie, ont largement dépendu des ressources fossiles, en particulier du gaz naturel, pour répondre à leurs besoins énergétiques, notamment dans la production d'électricité.

Cependant, les défis mondiaux actuels, tels que l'épuisement des ressources non renouvelables, le changement climatique et les engagements internationaux visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre, ont amené les États à repenser leurs politiques énergétiques et à se tourner vers des sources propres et renouvelables. Dans ce contexte, l'énergie solaire se présente comme l'une des alternatives les plus prometteuses en raison de son abondance, de sa propreté et de sa durabilité.

Ce mémoire vise à mettre en lumière la situation de la production d'électricité en Algérie et la forte dépendance au gaz naturel, tout en analysant les potentialités disponibles pour une transition vers l'exploitation de l'énergie solaire, un domaine dans lequel l'Algérie dispose d'atouts naturels importants, notamment dans les régions du sud.

L'étude cherche également à souligner l'importance de cette transition énergétique pour garantir la sécurité énergétique, promouvoir un développement durable et réduire la dépendance aux hydrocarbures, à travers l'analyse des axes suivants : la production d'électricité en général, la situation en Algérie, et les énergies solaires comme source alternative et stratégique.

Chapitre 1:

Généralités sur la production de l'énergie électrique

1.1.Introduction :

L'énergie électrique est un élément crucial pour le progrès et la transformation des sociétés humaines, que ce soit en termes d'amélioration de la qualité de vie ou d'expansion des activités industrielles. Ainsi, nous allons entamer ce chapitre par l'explication des méthodes de production de l'énergie électrique. Nous vous expliquerons ensuite comment produire de l'électricité à partir d'une centrale électrique.

1.1.2.Historique :

La première centrale électrique, la Pearl Streets station, a été mise en service Le 4 septembre 1882 par **Thomas Edison** dans le bas-Manhattan, ce qui a permis de faire fonctionner l'éclairage électrique des bureaux du New York Times et d'autres bâtiments aux alentours de Wall Street. La centrale ne délivrant que du courant continu ne pouvait couvrir efficacement qu'un petit secteur géographique. Le premier générateur, baptisé « Jumbo », était bien moins efficient que ceux d'aujourd'hui : il avait un rendement de 3 à 4 % de l'énergie du charbon utilisé. Quelques années après, Edison a cependant vu l'intérêt de la cogénération en réutilisant la chaleur générée par le système électrique pour chauffer les bâtiments. Six années après **Edison**, l'invention, par **Nikola Tesla**, du courant alternatif a permis de transporter le courant électrique à bien plus grande distance que le courant continu grâce aux transformateurs et aux lignes haute tension, et donc de limiter le nombre de centrales nécessaires mais aussi de réduire les pertes en ligne ohmiques tout en utilisant moins de cuivre qu'avec une ligne basse tension

1.2. Définition d'un réseau électrique

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et un coût raisonnable. Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité [2]

Il est composé de lignes électriques fonctionnant à diverses tensions, reliées les unes aux autres dans des stations électriques. Ces dernières facilitent la distribution de l'électricité et son passage d'une tension à une autre grâce aux transformateurs. La figure 1 illustre la structure des réseaux électriques. Un réseau électrique doit également s'occuper de la gestion

dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, en mettant en pratique des ajustements visant à maintenir la stabilité générale (fig.1-1) [10].

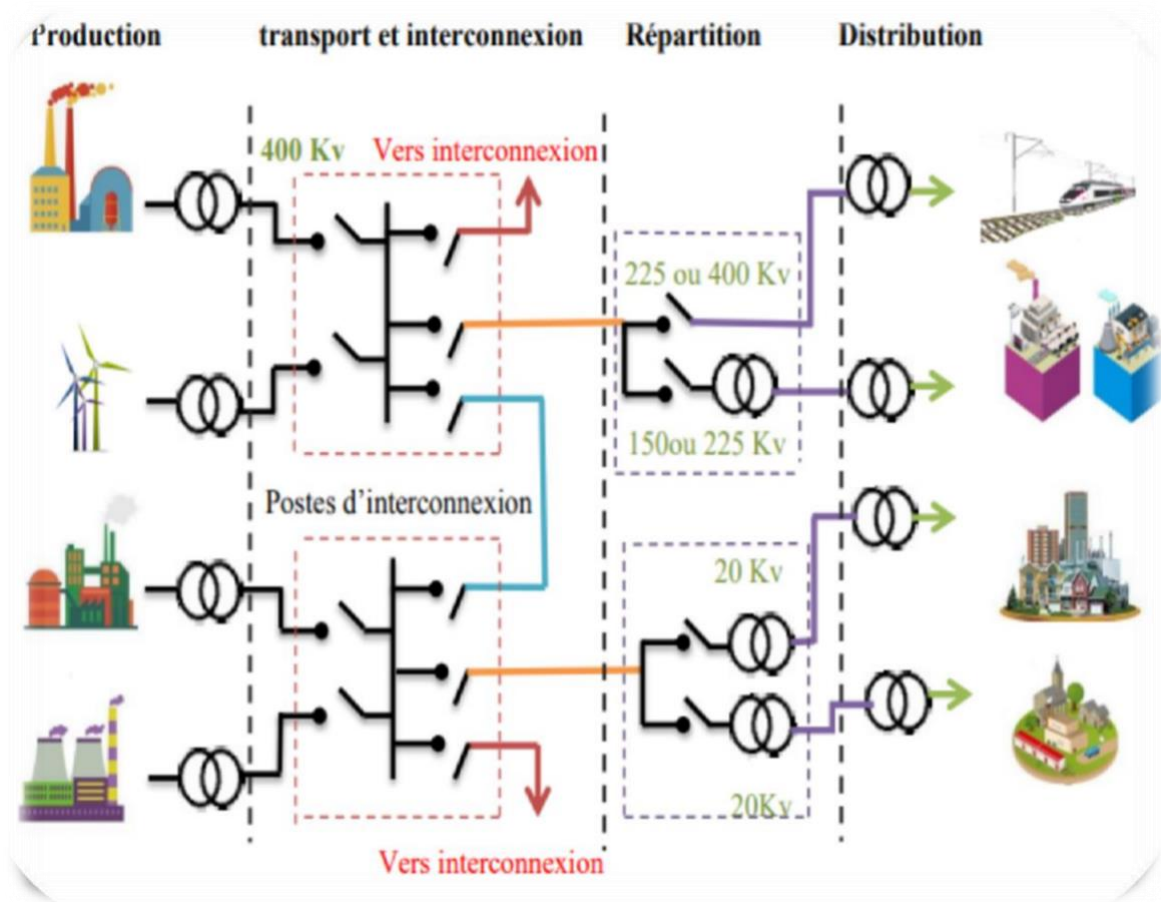


Figure1.1: Structure des réseaux électrique

1. 3. Les différentes fonctions du réseau

1.3-1- Réseau de transport

Les réseaux de transport, souvent à très haute tension pour des raisons économiques, visent à réduire les pertes en ligne. De plus, ces réseaux sont maillés pour des raisons de sécurité. Ils se distinguent par d'importants transferts de puissance avec moins de chute de tension et moins de pertes [9].

Une exploitation particulière doit être observée lors de l'utilisation d'un réseau de transport : il faut respecter les limites de fonctionnement autorisées. Ces restrictions ou contraintes du réseau se traduisent par des valeurs extrêmes, maximales ou minimales, sur certaines variables du réseau (comme la fréquence, le flux de puissance à travers les lignes ou les transformateurs,

le niveau de tension, etc.). Si ces seuils sont franchis, le réseau pourrait se mettre en situation d'instabilité [11] .

1.3-2-Réseau d'interconnexion

L'interconnexion est un système de transport qui se distingue par sa capacité à garantir l'échange énergétique. Cette interconnexion est employée pour des motifs techniques (elle contribue à la stabilité du réseau électrique) et économiques. Elle permet également d'améliorer la qualité de l'énergie fournie en termes de tension, de fréquence et offre une vaste gamme de réserves tout en augmentant la flexibilité du réseau. [AHM].

1.3-3- Réseau de répartition

Ce sont les réseaux HT/MT, ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution

reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions.

1.3-4- Réseau de distribution

Les réseaux de moyenne tension (MT) sont ceux qui délivrent les puissances requises demandées aux réseaux d'usage. Ces réseaux doivent respecter des distances de voisinage limitées, c'est pourquoi ils sont construits sous terre dans les villes.

1.4.Principe général de fonction Production de l'énergie électrique

L'énergie électrique est produite dans des centrales électrique qui est un site destiné à la production d'électricité, les centrales éclectiques transforment différents sources d'énergie naturelles en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs .Le processus de production d'électricité dépend du champ magnétique, car il emprunte des lignes, des chemins et des directions du pôle Nord au pôle Sud. Le flux de courant électrique se poursuit en raison de la coupure répétée des lignes de champ et, par conséquent, le processus de production d'énergie est classé en fonction de la force de travail pour couper les lignes de champ magnétique, et l'un des plus grands exemples de ceci est lors de l'utilisation de l'énergie éolienne, l'énergie cinétique est convertie et les lignes de champ magnétique se déplacent, ce qui passe à travers un fichier qui coupe les lignes de champ Le courant magnétique circule alors, et ainsi l'électricité est générée par l'énergie éolienne et sur elle l'électricité est produite dans la vapeur, l'eau et autres (fig.1.2)[7].

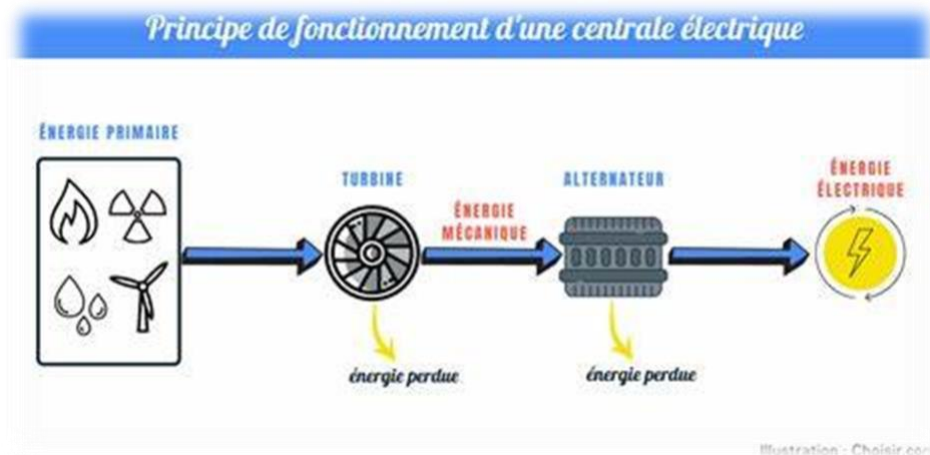


Figure1.2 : Principe Production de l'énergie électrique

1.5.loi de Lenz

$$e = - d\Phi$$

C'est la loi de Lenz.

Le courant induit s'oppose par ses effets à la cause qui lui donne naissance. Quand on approche le pôle Nord de l'aimant du solénoïde, le sens du courant induit est tel qu'il crée une face Nord sur la partie supérieure du bobinage.

Pour retrouver le sens du courant, on peut utiliser le moyen mnémotechnique suivant : En joignant deux flèches (ayant le sens du courant), opposées sur la spire, on dessine un N.

Si on éloigne le pôle Nord de l'aimant ou si l'on approche un pôle sud, le sens du courant induit est inversé. En utilisant la méthode précédente, on dessine cette fois un S.

Comme l'intensité du courant est fonction de la dérivée du flux par rapport au temps, elle est fonction de la vitesse de déplacement de l'aima

En effectuant une intégration sur la surface de chaque spire, nous déterminons le flux induit par chaque masse magnétique. Par la suite, en intégrant sur la hauteur du bobinage, nous obtenons le flux total. On détermine la valeur de la fréquence de la fem en dérivant ce flux par rapport au temps [7].

1.6.Généralité sur les alternateurs

L'alternateur est une machine synchrone à courant alternatif qui est utilisée dans l'industrie tel que dans la production d'énergie électrique dans les centrales.

Cet appareil est l'un des plus grands convertisseurs d'énergie à l'échelle mondiale. Plus de 95% de la production d'énergie électrique est assurée par des alternateurs. L'alternateur transforme l'énergie mécanique transmise au rotor en énergie électrique sous forme de courant alternatif. Le rotor, qui est mis en mouvement par la turbine fournissant l'énergie mécanique, génère des tensions alternatives dont la fréquence est proportionnelle à sa vitesse de rotation.(fig.1-3) [3]

L'appellation « alternateurs à pôles saillants » fait référence aux alternateurs utilisés dans les centrales hydrauliques, qui sont entraînés par des turbines hydrauliques. Les alternateurs des centrales thermiques, qui sont actionnés par des turbines à vapeur ou à gaz, sont communément appelés « alternateurs à pôles lisses ». (Turboalternateurs). [3]

On peut aussi distinguer :

- Des alternateurs à axe horizontal
- Des alternateurs à axe vertical Des alternateurs couplés à des turbines à vapeur, à gaz, diesel sont constamment de disposition horizontale. La turbine, qui propulse l'alternateur, impose la vitesse de rotation de ces derniers et celle-ci n'est pas déterminée au hasard. Pour les turbines à vapeur et à gaz, il est nécessaire de les faire fonctionner autant que possible. La cadence de rotation est aussi

fonction de la fréquence[3] : $N \left(\frac{tr}{mn} \right) = 60 \times (Hz)P$.

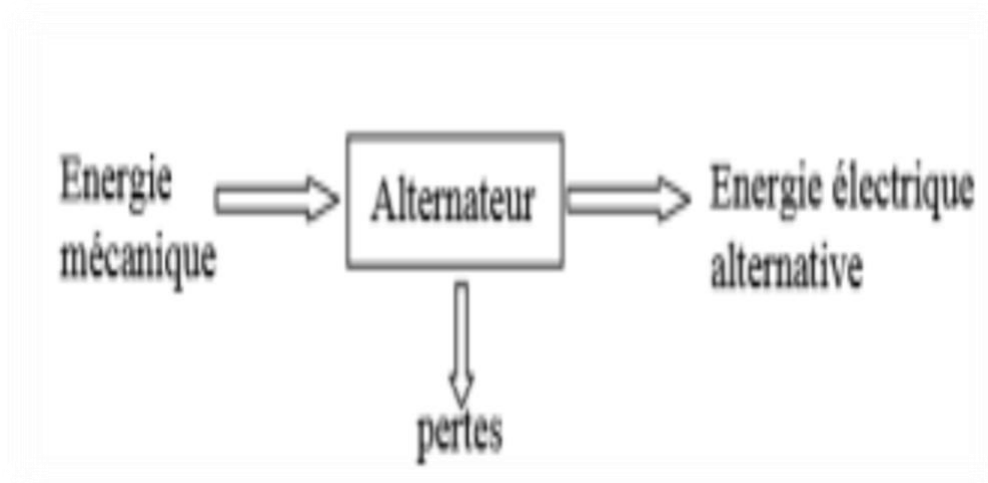


Figure 1. 3 : Principe de fonctionnement alternateurs

1.7. Différents types de centrales électrique

1.7.1. Centrale thermique a vapeur

Dans une centrale thermique, une chaudière est utilisée pour chauffer de l'eau, qui est ensuite convertie en vapeur. La plupart du temps, on obtient de l'énergie thermique en brûlant du charbon, du pétrole ou du gaz. L'eau est vaporisée par la chaleur générée lors de la combustion, atteignant ainsi une température extrêmement élevée.

Cette vapeur s'expansé graduellement dans les zones haute, moyenne et basse pression de la turbine, avant de se condenser dans le condenseur pour être réinjectée dans le générateur de vapeur. La vapeur qui circule dans la turbine génère une énergie mécanique, qui est ensuite convertie en énergie électrique par l'alternateur.

Les centrales thermiques génèrent de l'électricité grâce à la chaleur produite par la combustion du charbon, du fioul ou du gaz naturel. La majorité possèdent une capacité variant de 200 MW à 2000 MW pour bénéficier des économies liées à une installation de grande taille.

On la retrouve généralement à proximité d'une rivière ou d'un lac, étant donné le besoin considérable d'eau pour refroidir et condenser la vapeur émanant des turbines.

Lorsqu'elles fonctionnent de manière optimale, l'efficacité de ces centrales se situe entre 40 et 42 %. Leur seuil technique minimal se situe aux alentours de 20 %. Elles peuvent contribuer à l'ajustement primaire et secondaire de la fréquence.(fig.1-4) [8].



Figure1. 4 : Centrale thermique a vapeur

1.7.1.2.Prncip de fonctionnement

Une centrale thermique est une installation de production d'électricité qui génère de l'énergie électrique grâce à une source thermique, en suivant le principe des machines thermiques. On utilise la chaleur pour générer de la vapeur d'eau à haute pression qui fait tourner une turbine, laquelle entraîne ensuite un alternateur, (par l'expansion de la vapeur dans divers composants HP.MP.BP) [8].

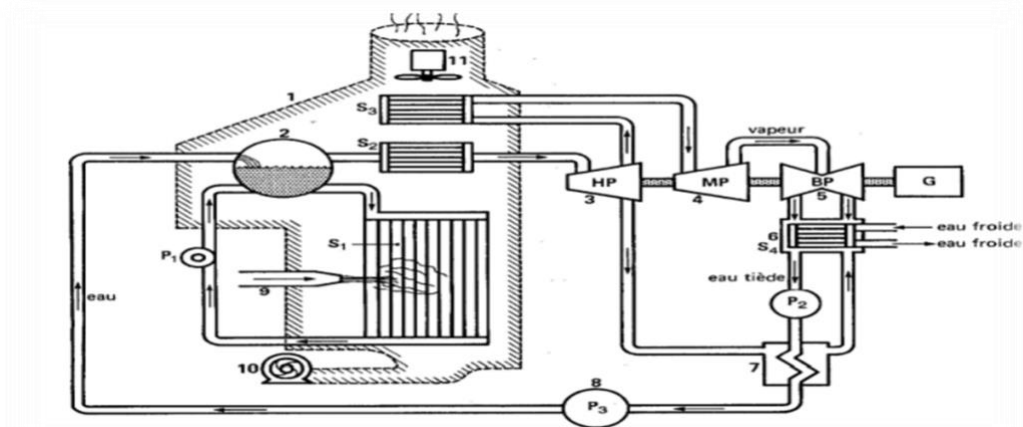


Figure1.5 : Eléments d'une centrale thermique

1. Immense chaudière construite en hauteur dans laquelle on brûle le combustible. La chaleur est absorbée par l'eau circulant dans une série de tubes SR 1R qui entourent les flammes. La circulation est forcée par la pompe PR 1R.

2. Réservoir, contenant de l'eau et de la vapeur à haute pression. Il constitue à la fois le point de départ de la vapeur vers les turbines et le récepteur de l'eau d'alimentation de retour. La vapeur se dirige vers la turbine

haute pression (HP) en passant par un surchauffeur SR 2R. Ce dernier formé d'une série de tubes entourant le feu, provoque une forte augmentation de la température de la vapeur (200 °C environ). Cela assure une vapeur qui est absolument sèche et donne un meilleur rendement thermique.

3. Turbine haute pression (HP) qui permet une première expansion de la vapeur durant laquelle une partie de l'énergie mécanique. La pression et la température à la sortie de la turbine HP sont donc plus basses qu'à l'entrée. Afin d'augmenter le rendement thermique et pour éviter une condensation prématurée de la vapeur, on la fait passer par un réchauffeur SR 3R composé d'une troisième série de tubes.

4. Turbine moyenne pression (MP) semblable à la turbine HP sauf qu'elle est plus grosse pour permettre à la vapeur de se détendre davantage.

5. Turbine basse pression (BP) à double carter qui enlève le reste de l'énergie thermique disponible dans la vapeur, permettant à cette dernière de se détendre dans un vide presque

complet à l'intérieur du condensateur. 6. Condensateur qui provoque la condensation de la vapeur, grâce à la circulation d'eau froide venant de l'extérieur et circulant dans des tubes SR 4R. Une pompe d'extraction PR 2R enlève l'eau tiède condensée et la pousse à travers le réchauffeur (7) vers la pompe PR 3 Réalimentant la chaudière.

7. Réchauffeur. Dans cet échangeur de chaleur, une partie de la vapeur qui est passée par la turbine HP réchauffe l'eau d'alimentation, après quoi, la vapeur se condense aussi dans le condensateur. Les analyses thermodynamiques prouvent que le rendement ainsi obtenu est meilleur que si la vapeur dérivée dans le réchauffeur allait aux turbines MP et BP en passant par le réchauffeur SR 3R.

8. Pompe d'alimentation PR 3R qui refoule l'eau d'alimentation contre la forte pression régnant à l'intérieur du ballon (2) et complète ainsi le cycle thermique

9. Brûleurs provoquant la combustion du gaz, du mazout ou du charbon pulvérisé projeté à l'intérieur de la chaudière. Avant d'être projeté dans la chaudière, le charbon est réduit en poudre. De la même façon, huile lourde est préchauffée et soufflée en jet vaporisé afin d'augmenter sa surface de contact avec l'air environnant. 10. Ventilateur soufflant l'air requis pour la combustion

11. Ventilateur aspirant les gaz brûlés qui s'échappent par la cheminée. En pratique, une centrale contient bien d'autres appareils et accessoires essentiels pour assurer un bon rendement et des conditions sécuritaires. Ainsi, des vannes de réglage permettent de contrôler l'admission de la vapeur dans les turbines, un système d'épuration maintient la propreté de l'eau d'alimentation, des pompes gardent les paliers en bon état de lubrification, etc. Cependant, les composants que nous venons de décrire suffisent à expliquer le fonctionnement et les problèmes de base d'une centrale thermique (fig.1-5)[8].

1.7.2.Centrale thermique a gaz

Les centrales à gaz sont basées sur la combustion du gaz naturel ou fioul dans de l'air sous pression et sur la détente des gaz chauds brûlés dans une turbine couplée à un alternateur.

La turbine est l'élément de base d'une centrale électrique. C'est un moteur rotatif qui convertit l'énergie de vapeur ou de gaz en énergie mécanique. Plus généralement, c'est un organe permettant la détente d'un fluide en recueillant son énergie sous formes mécanique. On distingue les turbines hydrauliques, les turbines à vapeur et les turbines à gaz (fig.1-6).



Figure 1.6 : centrale à gaz

1.7.2.1.Principe de fonctionnement

Une chambre de combustion, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement ; Une turbine, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion. Dans une turbine à combustion (TAC), l'électricité est générée grâce à la circulation de gaz d'échappement issus d'une chambre de combustion et traversant directement la turbine.

La chambre de combustion est le plus souvent interne à la turbine, elle génère de la chaleur à partir d'un combustible (gaz ou fioul) et d'air initialement comprimé. Sous cette forme, la turbine à gaz constitue un moteur à combustion interne à flux continu.

On notera que le terme de turbine à gaz provient de l'état du fluide de travail, qui reste toujours gazeux, et non du combustible utilisé, qui peut être aussi bien gazeux que liquide. Sur le réseau électrique, la forte réactivité des TAC (moins de 30 min pour atteindre la puissance max) est souvent mise à profit pour fournir la pointe électrique.

Les TAC sont également répandues pour la production décentralisée dans l'industrie ou le tertiaire, notamment pour un fonctionnement en cogénération.

L'intérêt de la cogénération sur les TAC réside dans la haute température des fumées de combustion, dont la chaleur peut être récupérée et valorisée sans affecter la production électrique(fig.1-7) [8].

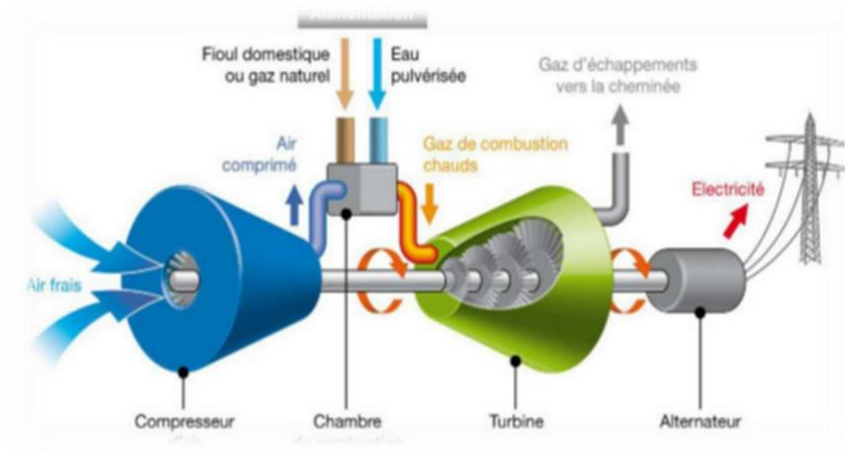


Figure1.7 : Schéma de principe de fonctionnement d'une turbine à gaz [1]

1.7.3.Centrale thermique a cycle combine

La recherche continue pour améliorer le rendement thermique qui a donné lieu à des modifications plutôt innovantes aux centrales électriques conventionnelles. La modification la plus populaire implique le cycle à gaz qui surmonte un cycle de vapeur, qui est appelé le cycle combiné gaz-vapeur, ou simplement le cycle combiné (fig.1.8).



Figure1. 8 : centrale à gaz à cycle combine

1.7.3.1. Principe de fonctionnement

Une centrale à cycle combiné associe plusieurs cycles thermodynamiques dans un effort d'amélioration de l'efficacité énergétique de la centrale considérée. Les centrales à cycle combiné gaz turbine associent ainsi une turbine à gaz et une turbine à vapeur pour produire de l'électricité. La turbine à gaz et la turbine à vapeur peuvent être reliées à une seule génératrice (qui produit l'électricité) ou peuvent être reliées à deux génératrices différentes. Le combustible, mélangé à de l'air sous pression est brûlé dans la chambre de combustion, provoquant ainsi une brusque augmentation de la température et de la pression des gaz brûlés. Ces gaz se détendent ensuite dans les aubes d'une turbine, en rotation autour du même arbre que l'alternateur, qui va générer de l'électricité.

En sortie de turbine, les gaz encore chauds sont évacués dans l'atmosphère. Les centrales à cycle combiné permettent de mettre à profit l'énergie résiduelle de ces gaz chauds qui vont céder leur chaleur dans un échangeur pour faire bouillir le fluide d'un second cycle thermodynamique. La vapeur ainsi obtenue entraînera à son tour une deuxième turbine génératrice d'électricité (fig.1-9)[6].

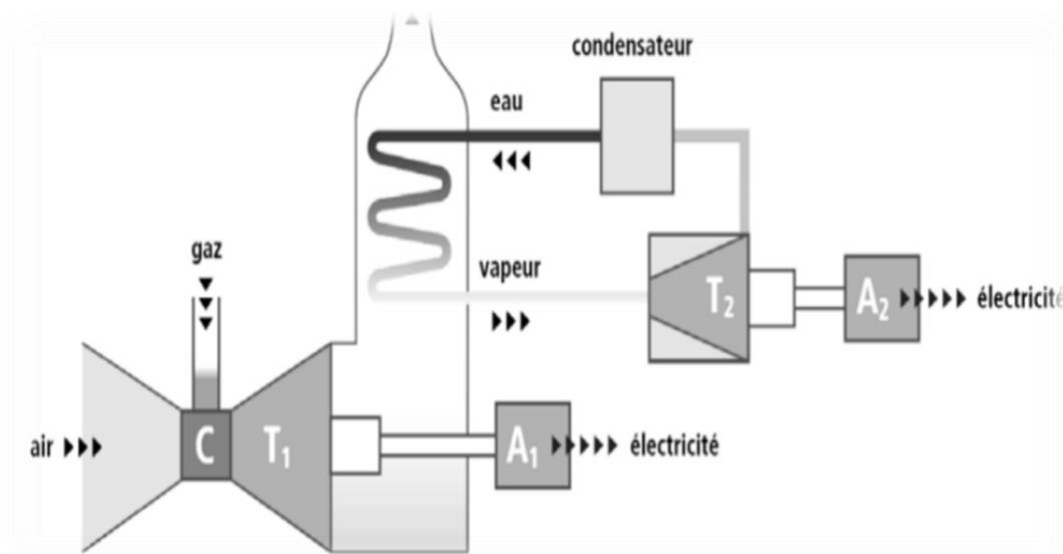


Figure1. 9 : Principe d'une centrale à gaz à cycle combine

1.7.4.Centrale nucléaire

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé que l'on appelle fission nucléaire. Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique à vapeur, sauf que la chaudière est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission. Une telle centrale comprend donc une turbine à vapeur, un alternateur, un condenseur, etc. comme dans une centrale thermique conventionnelle. Le rendement global est

semblable (entre 30 % et 40 %) et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite un emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement. A cause de ces similitudes, nous nous limiterons à l'étude du principe de fonctionnement et des caractéristiques du réacteur lui-même(fig.1-10) [8].



Figure1. 10 : centrale nucléaire

1.7.4.1.Principe de fonctionnement

La fission d'un atome d'uranium est provoquée par le bombardement de son noyau avec des neutrons en mouvement. Le neutron est un excellent projectile car il ne subit aucune force de répulsion à mesure qu'il s'approche du noyau. Si l'impact est suffisamment intense, le noyau se scinde en deux et la diminution de masse qui en résulte libère de l'énergie. La fission d'un atome $UU\ 235$ dégage une énergie de 218 MeV sous forme de chaleur. La fission s'accompagne de l'éjection de 02 ou 03 neutrons à hautes vitesses qui peuvent entrer à leurs tours en collision avec d'autres atomes (Principe de la bombe atomique)(fig.1-11)[8].

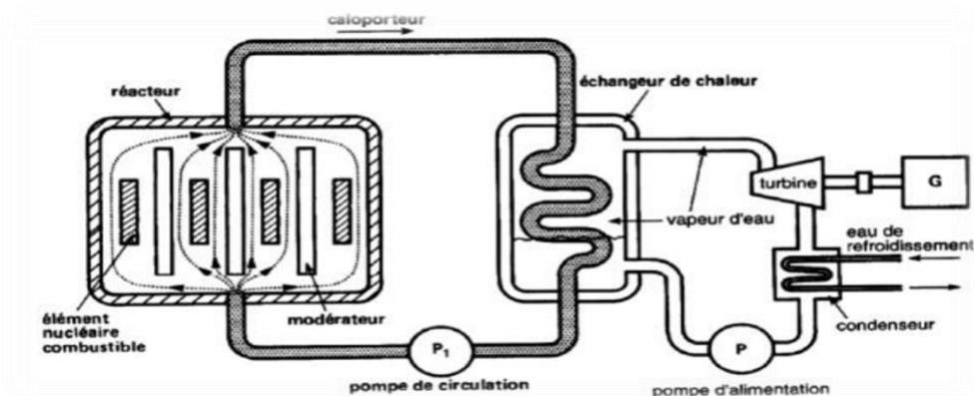


Figure1. 11 : Partie principales d'une centrale nucléaire

1.7.5.Centrale hydraulique

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (fig.1-12)[8].

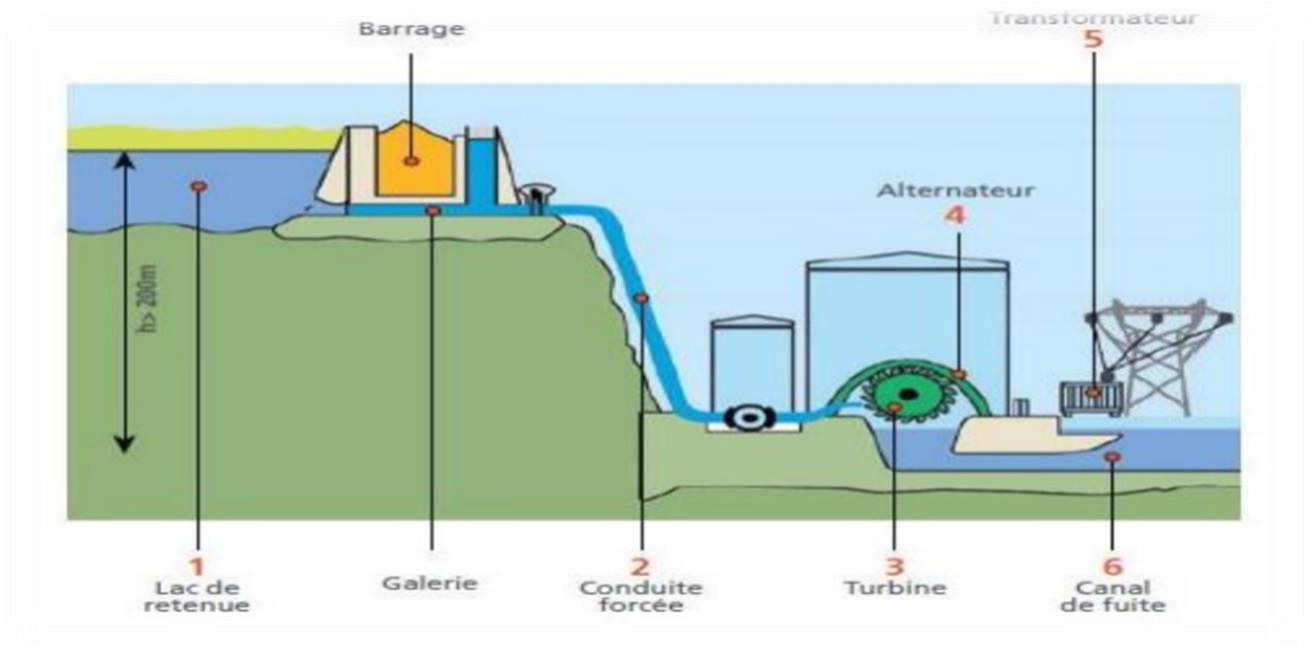


Figure 1.12 : Fonctionnement D'une Centrale Hydroélectrique

1.7.5.1-Différentes centrales hydrauliques

Tableau 1 : les types de stations hydrauliques

Centrale	Hauteur de chute	Turbine	Situation de la Centrale
Haute chute	$h > 300 m$	Pelton	à quelques km de la prise d'eau
Moyenne chute	$30 m < h < 300 m$	Francis	implantée dans le barrage
Basse chute ou fil de l'eau	$h < 30 m$	Kaplan	implantée au fil de l'eau

1.7.6. Central photovoltaïque

Le principe de l'obtention du courant par les cellules photovoltaïques se nomme effet photoélectrique, qui consiste à l'émission d'électrons par un matériau soumis à l'action de la lumière. Cette production d'énergie électrique peut alors être stockée dans des batteries ou converties à l'aide d'un onduleur pour être distribuée dans le réseau électrique (fig.1-13)[4].

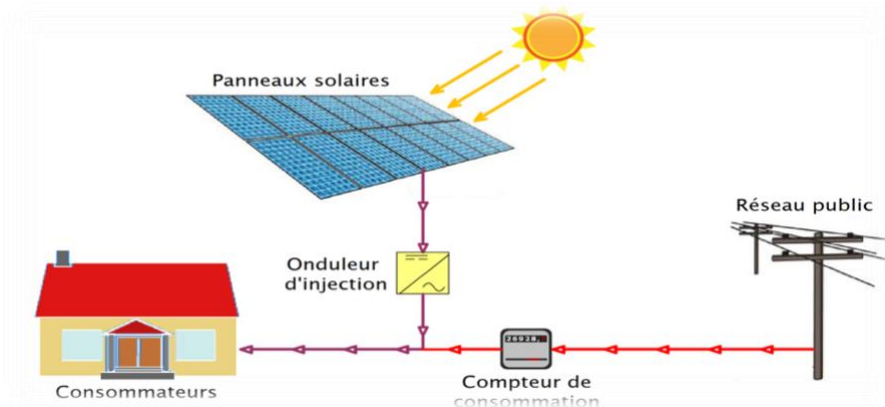


Figure 1.13 : schéma de principe d'un générateur photovoltaïque

1.7.7. Central énergie éolienne

L'éolienne, appelée aussi aérogénérateur, permet une transformation de l'énergie cinétique produite par le vent en énergie mécanique de rotation dans le but de produire de l'électricité. Il existe deux types d'éoliennes : certaines ont un axe horizontal, parallèle au sol, et d'autres avec un axe vertical, perpendiculaire au sol. L'éolienne à axe horizontal est munie de pales (généralement deux ou trois) qui tournent dans un plan vertical. Ainsi l'éolienne doit s'orienter face au vent pour une bonne efficacité. Les pales des éoliennes à axe vertical tournent quant à elles dans un plan horizontal et prennent alors le vent plus facilement (fig.1-14) [8].

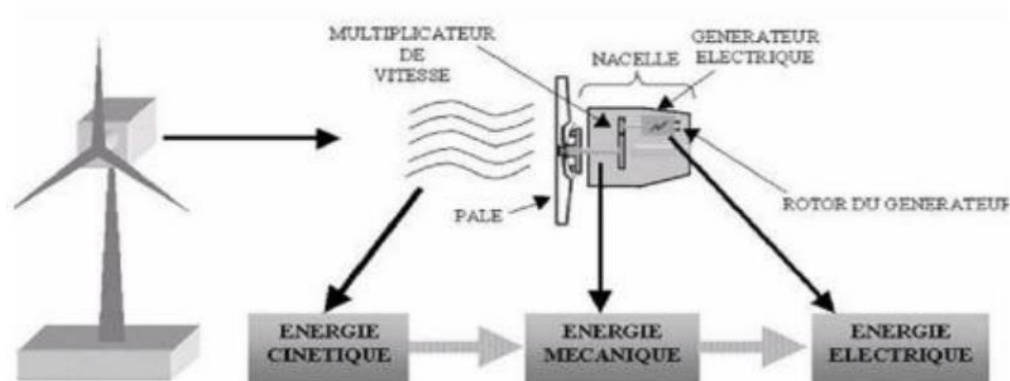


Figure 1.14 : Conversion de l'énergie cinétique du vent

7-8-Centrale géothermique

Actuellement, le développement durable s'intéresse à d'autres filières énergétiques, plus respectueuses de l'environnement et quasiment inépuisables pour l'homme, comme la géothermie. L'énergie géothermique est un mot composé (du grec géo = la terre et thermie = la chaleur) qui désigne l'énergie provenant de la chaleur naturelle présente dans la croûte terrestre et dans les couches superficielles de la terre(fig.1-15) [8].



Figure1.15 : Schéma d'une centrale géothermique

7-8-1-Le principe de fonctionnement

Les puits de production (forages) donnent un mélange eau-vapeur d'une température proche de 200°C. Le fluide géothermal est dirigé vers un séparateur d'où sort la vapeur haute pression (à environ 6 bar) produisant 30 tonnes/heure de vapeur. L'eau géothermale séparée de la vapeur passe dans un ballon de détente pour produire de la vapeur basse pression (à environ 1.3 bar) produisant 120 tonnes/heure de vapeur.

Les deux flux de vapeurs produits sont dirigés vers d'une turbine à condensation qui produit de l'énergie cinétique. La turbine entraîne un alternateur qui transforme l'énergie cinétique en énergie électrique.

Après son passage dans la turbine la vapeur est refroidie à 45 °C et se condense au contact de l'eau de mer, qui est fournie par une station de pompage. Le mélange eau de mer/eau géothermale sortant du condensateur et l'eau provenant du ballon de détente sont renvoyés à la mer par un canal d'évacuation. L'eau rejetée a une composition chimique identique à celle des sources hydrothermales naturelles rencontrées en surface ou en mer

Des circuits de contournement d'eau et de vapeur permettent d'évaluer le débit du forage en cas d'arrêt de la centrale.

Une variante consiste à réinjecter l'eau géothermale dans le sous-sol. Ce projet de réinjection partielle des fluides dans le réservoir géothermal est en cours de réalisation. Ces travaux devraient permettre de remettre en service la turbine la plus ancienne [8].

7-9-Centrale biomasse

La biomasse est produite par les organismes vivants principalement par l'activité photosynthétique des plantes, mais aussi des animaux, des insectes, des microorganismes...Elle est essentiellement constituée de polymères complexes de carbone, hydrogène, oxygène et azote, de soufre en faible proportion et d'éléments inorganiques. Il existe beaucoup de façons de la transformer en énergie : la biomasse peut servir à chauffer les maisons ; elle peut être transformée en carburant et même alimenter des centrales qui produisent de l'électricité

Une centrale biomasse produit de l'électricité grâce à la vapeur d'eau dégagée par la combustion de matières végétales ou animales, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternat (fig.1-16)[6].



Figure1.16 : centrale biomasse

7-10-Centrale diesel

Dans le cas des installations autonomes, il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SEH (système énergie hybride), le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au

générateur synchrone .La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel [5]

Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux du carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constant (fig.1-17).

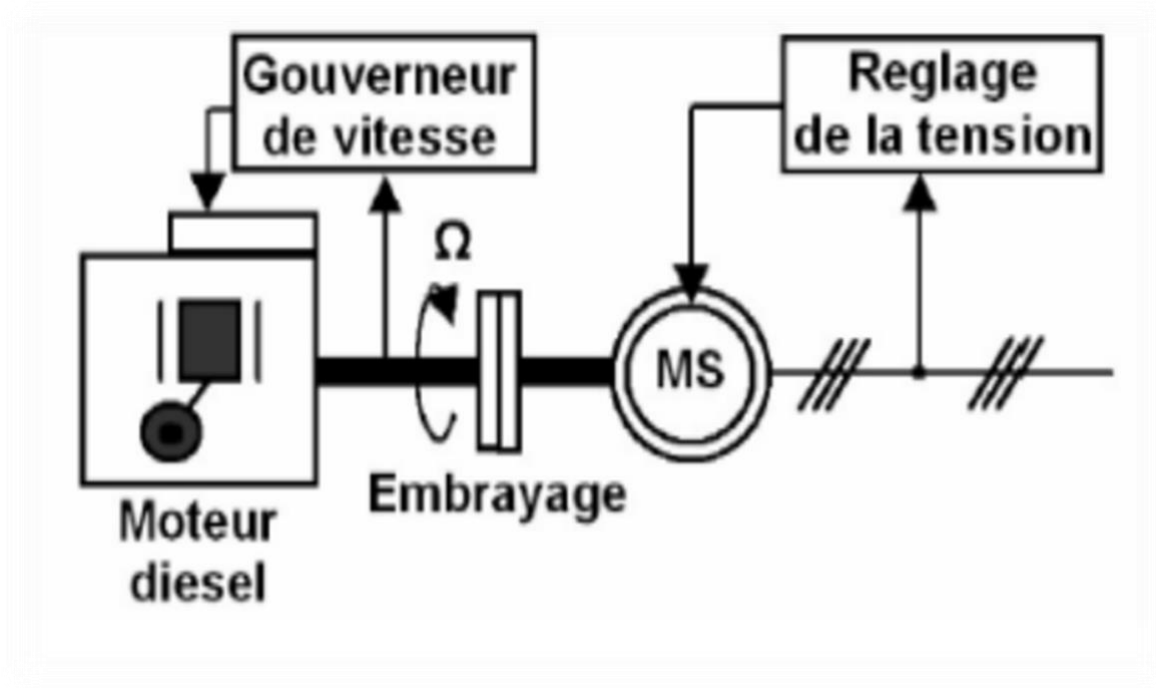


Figure1.17 : Configuration de générateur diesel

Conclusion

Ce chapitre est consacré aux généralités sur les différents types centrales électriques et rendre connaissance des différents équipements participant à la production de l'énergie électrique, et nous avons expliqué les principales étapes de la production d'électricité et les différentes technologies utilisées aux niveaux local et mondial.

Chapitre 2 :

La production d'électricité en Algérie

2.1. Introduction

L'électricité joue un rôle fondamental dans le développement des nations, reflétant à la fois l'industrialisation et le bien-être économique. En Algérie, l'accès à l'énergie représente un défi, notamment dans les régions éloignées où les coûts de raccordement au réseau électrique sont élevés. Cela souligne la nécessité de rechercher des alternatives viables et durables.

L'analyse de la consommation énergétique industrielle met en évidence l'importance d'améliorer les infrastructures énergétiques, la production, la distribution et le transport de l'électricité à travers le pays. De plus, l'exploration des ressources énergétiques et des perspectives des énergies renouvelables offre des solutions prometteuses pour garantir une sécurité énergétique tout en minimisant les coûts et en préservant l'environnement.

Ainsi, il est impératif de mettre en place des politiques visant une utilisation optimale des ressources disponibles, de diversifier les sources d'énergie et de renforcer les stratégies de développement durable afin d'assurer un avenir énergétique stable et équilibré pour l'Algérie.

2.1.1. Situation géographique

Avec une superficie de 2 381 741 km², l'Algérie détient le titre de pays le plus vaste en Afrique. C'est un grand pentagone. Il se trouve entre le 18ème et le 38ème parallèle nord de latitude, et entre le 9ème degré de longitude ouest et le 12ème degré de longitude est. Le Méridien International d'origine (0° Greenwich) traverse les environs de la ville de Mostaganem. L'Algérie se compose de deux ensembles régionaux appartenant à des zones morphologiques différentes : le premier, situé au nord et s'étendant entre la mer et l'Atlas saharien, fait partie de la zone de formation « alpine » qui encercle la Méditerranée depuis le sud de l'Europe jusqu'en Afrique du Nord. Le deuxième, qui comprend les régions sahariennes situées au sud de l'Atlas portant le même nom, est une composante de l'ancienne Afrique et constitue un vaste territoire rigide et uniforme. L'Algérie est un pays étendu, présentant un climat distinctif pour chaque région. Donc, presque entièrement méditerranéenne, l'Algérie du Nord possède 1600 km de côtes où un climat doux et humide prévaut en hiver, tandis qu'en été, il devient chaud et sec. Concernant la zone saharienne, elle est caractérisée par une sécheresse sévère, ponctuée parfois par des précipitations rares et inattendues. L'écart de température, qui varie aussi bien entre le jour et la nuit, est saisonnier et particulièrement élevé dans ces contrées. Cela a une influence directe sur les opérations agricoles et pastorales de l'homme [15].

L'Algérie se trouve dans la région nord de l'Afrique, allant de la mer Méditerranée au nord jusqu'à l'intérieur du continent africain au sud, délimitant ainsi son environnement

géographique qui s'étend au sud vers la région subsaharienne de l'Afrique. Nommez-vous l'Algérie qui s'étend à travers un immense désert situé au cœur de l'Afrique du Nord pour englober à peu près 98% de la superficie algérienne. L'ensemble dans la région méridionale représente environ 08% de l'étendue totale du Grand Sahara Africain. Et le désert relie l'Algérie au sud et à l'ouest dans les zones semi-arides. du Sahel (Tchad, Niger, Mali et Sénégal), et à l'est se trouvent les déserts égyptien et soudanais.

En raison de la vaste étendue du Sahara algérien, le Grand Sahara africain sert de passerelle entre le nord du continent et la côte sub-saharienne de l'Afrique.

Il a permis à l'Algérie de partager ses limites du sud avec la prétendue « région du Sahel africain » via le Mali. Le Niger, qui partage une frontière terrestre d'environ 9 199 km avec le Mali, se déploie sur un territoire désertique traversé par des voies. Une zone commerciale historique, située à 159 km du Niger.

Par conséquent, on voit la région (côte africaine) comme une zone de transition et un pont entre deux zones géopolitiques distinctes illustrées en Afrique du Nord (Blanche) vers lesquelles l'Algérie s'étend géographiquement. Mon équipe incarne la justice et l'équité.

Prenant en compte que le Sahel africain est une zone régionale qui se prolonge de la mer Rouge à l'est jusqu'à l'océan Atlantique à l'ouest, Ce dernier englobe géographiquement un ensemble de nations, parmi lesquelles se distinguent le Soudan, le Niger, le Tchad, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. De plus, il intègre les calculs géoéconomiques du Burkina Faso, du Nigéria, des îles du Cap-Vert ainsi que du Sahara algérien [15].

2.1.2. La population

Selon les prévisions du Bureau national des statistiques, en continuant sur la même tendance de croissance démographique que pour 2020, on pourrait estimer que la population totale résidente atteint 45,4 millions au 1er janvier 2022 [12].

2.1.3. Climat

Dans le nord, le climat est caractéristique de la Méditerranée. Les étés sont arides et torrides, tandis que les hivers demeurent modérés et humides (de 400 mm à 1 000 mm de précipitations annuellement). Les températures moyennes (25 °C en août et 12 °C en janvier à Alger) fluctuent selon l'altitude.

Durant l'été, le sirocco, un vent très chaud et aride, provient du Sahara. Dans les Hauts Plateaux et l'Atlas saharien, on observe une faible pluviosité (200 mm à 400 mm par an). Dans le Sahara, elles ne dépassent pas 130 mm par an. L'écart de température y est considérable (de 49 °C pendant le jour à moins de 10 °C la nuit). Des vents de sable parfois

très forts (le vent simoun) aggravent l'aridité du climat. Surface et division administrative [12].

2.1.4. Superficie et découpage administratif

Avec une superficie de 2 381 741 km², l'Algérie est le pays le plus vaste d'Afrique, dont quatre cinquièmes sont recouverts par le Sahara. Dans le cadre administratif, l'Algérie se compose de 58 wilayas, subdivisées en 160 adirâtes et 1 541 communes [12].

2.2. Situation énergétique

2.2.1. Production Nationale d'énergie

Génération d'énergie primaire La production commerciale d'énergie primaire a connu une stabilité quasi absolue (0,2%) comparativement aux résultats de 2016, s'établissant à 165,9 Mtep. De ce fait, l'augmentation de la production de gaz naturel a partiellement contrebalancé la diminution de la production de liquides, en raison notamment de la mise en œuvre de l'accord de réduction de production de l'OPEP (fig.2-1) [13].

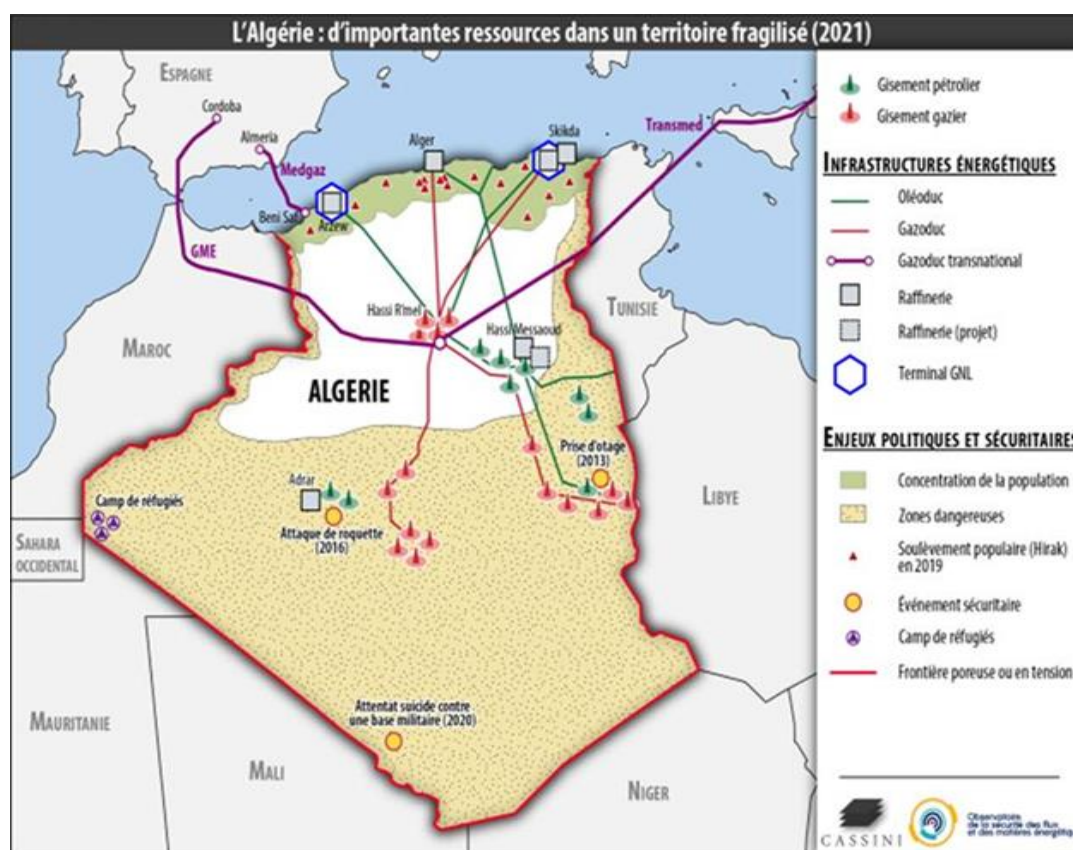


Figure2.12 : Carte énergie (gaz et pétrole) [13]

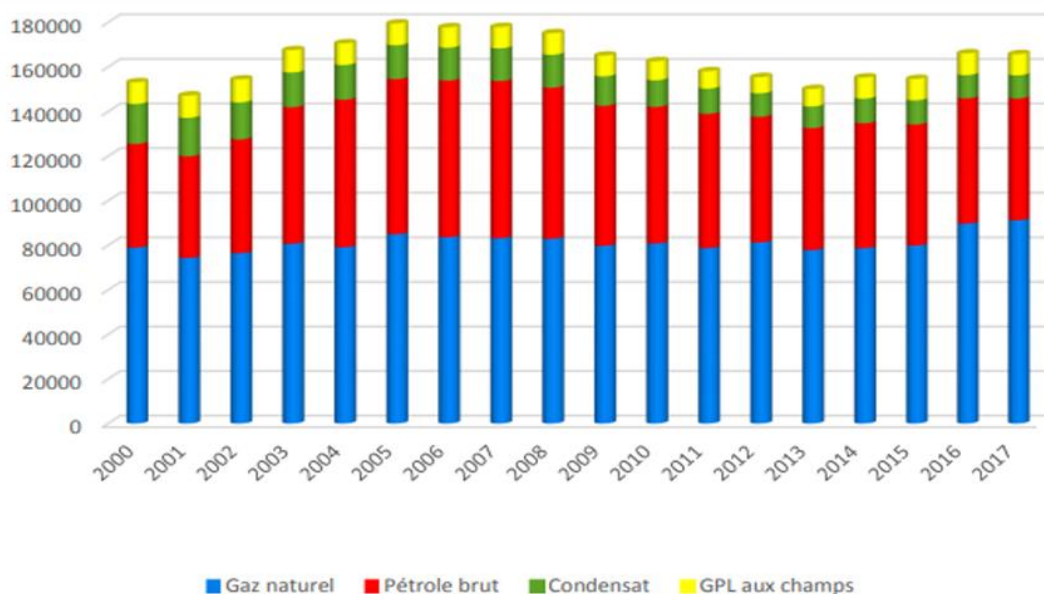


Figure 2.13 : Production nationale d'énergie primaire de (2000 à 2017) en ktep [13].

La figure.02 illustre la production nationale d'énergie primaire et on observe une croissance constante de la production nationale d'énergie primaire d'année en année. En effet, la production mondiale pour l'année 2017 a approché les 165,9 millions de tonnes équivalent pétrole. La répartition de la production d'énergie primaire se présente comme suit : 0 Votre formation repose sur des données jusqu'en octobre 2023. Gaz naturel, pétrole brut, condensat et GPL dans les champs.(fig.2-2)

- Gaz Naturel : avec une production de 55%
- Le pétrole : avec une production de 32.9%
- GPL aux champs : 5.7%
- Condensat 6.3%

2.2.2. Production d'énergie dérivée

La production d'énergie dérivée a atteint 64,2 Mtep, en hausse de 1,8% par rapport aux réalisations de 2016, suite à l'augmentation (6,0%) de la production du gaz naturel liquéfié (GNL), de l'électricité thermique (5,2%) et du GPL (5,3%). Cette hausse a plus que compensé La baisse de production des produits pétroliers (-2, 7%) [13]

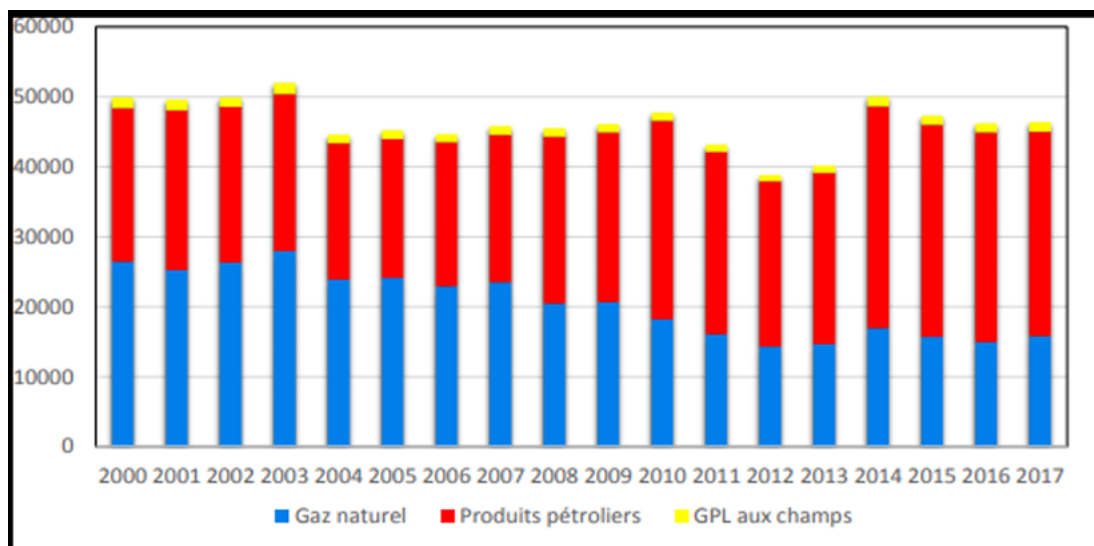


Figure 2.14 : Production d'énergie dérivée de (2000 à 2017) ktep [13]

La figure 03 illustre la production d'énergie dérivée en Algérie, observant une progression annuelle, la production d'énergie dérivée y est de 63.09Mtep, et la répartition des énergies dérivées se présente comme suit (fig 2.23) :

- Les produits pétroliers; avec une production de 45.4%
- L'électricité: une production de 27.6%
- Le GPL; une production de 24.7%

2.3. Evolution de Réseau National Transport

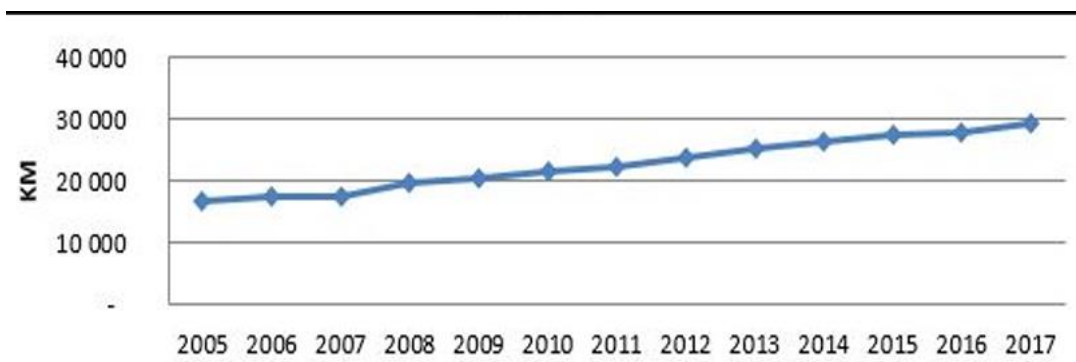


Figure 2.15 : Evolution de Réseau National Transport d'Electricité en (2005 -2017)

La courbe affichée indique une hausse des lignes de transmission THT, due à l'accroissement de la demande pour ces dernières et à l'établissement de nouveaux parcours suite à l'apparition de certaines zones d'habitation. De plus, cette situation est influencée par la politique algérienne en matière d'approvisionnement des régions éloignées du pays. (fig 2.4)

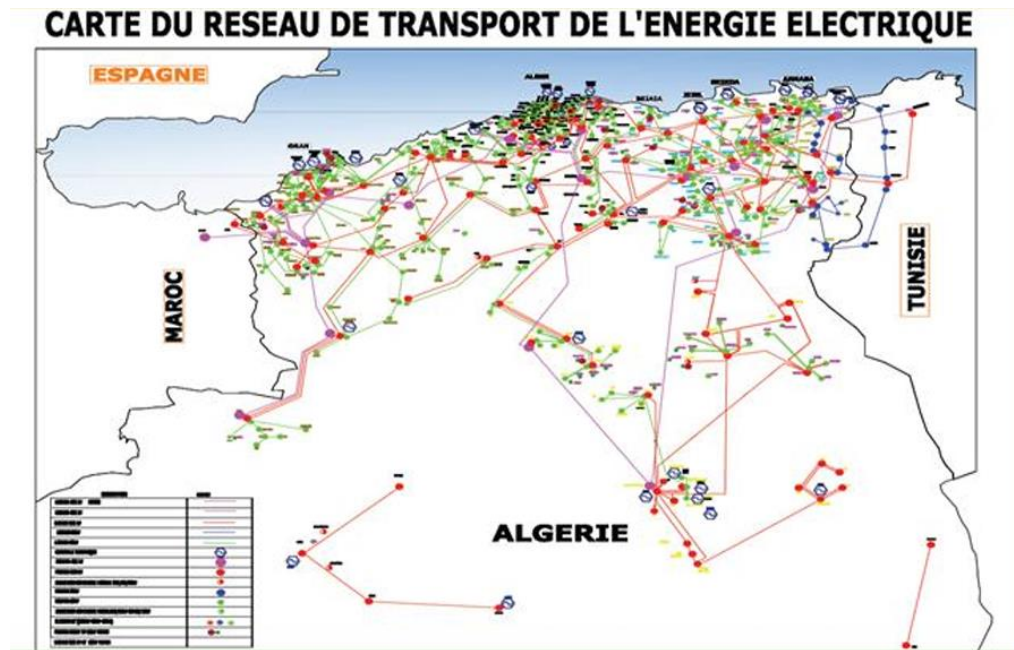


Figure2.16 : carte réseau national [17]

2.4. La consommation de l'énergie électrique

La consommation d'électricité se réfère à une demande de puissance active sur le réseau pendant une durée spécifique. L'électricité est utilisée par divers types d'usagers (résidentiels, commerciaux et industriels), et compte tenu de leurs multiples usages individuels de l'énergie électrique, sa consommation fluctue constamment. [SAG 07]

Il est crucial de connaître la consommation d'électricité à venir pour la gestion du système électrique. Traditionnellement, une variété d'variables sont employées pour déchiffrer et anticiper le niveau de consommation électrique : la température, l'heure du jour, le jour de la semaine (jour ouvrable ou week-end), le tarif, etc. L'effet de la majorité de ces facteurs dépend des conditions météorologiques, des comportements d'achat, des modes de vie et du pays en question. [SLI 09].

2.5. Statistiques sur l'électricité en Algérie

Pour les clients admissibles, le coût est fixé dans le contrat commercial. Par ailleurs, la Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz (CREG) définit chaque année le tarif d'usage du réseau de transport pour ces clients. Les sociétés de distribution fournissent des services à des clients qui ne sont pas admissibles, et ces derniers s'acquittent selon le tarif fixé par le CREG. Étant donné que SONELGAZ domine le marché de l'électricité en Algérie, on peut observer globalement ses actions d'un point de vue statistique approximatif à l'heure actuelle (2020), selon les données présentées sur le site de cette entreprise.

Tableau 2 : Statistiques sur l'électricité en Algérie

Nombre de clients electricites	Production d'Electricite	Longueur de reseau de transport electrique	Longueur reseau de distribution electrique	Capacite installee
9 605 685	72 395 Gwh	29 644 KM	338 380 KM	8 542,5GWh

2.6. La réalité de la production et de la consommation d'électricité en Algérie

			Taux d'évolution 2018/2019 %
PRODUCTION	8 542,5GWh	Turbine Vapeur	849,5 GWh +7,0%
		Turbine Gaz	3 673,2 GWh -11,2%
		Cycle Combiné	3 866,4 GWh +32,9%
		Hydraulique	17,1GWh -
		Diesel	83,7 GWh -19,4%
		Photo Voltaïque	52,4 GWh +1,3%
		Eolien	0,2 GWh -34,2%

Figure 2.17 : la production d'électricité en Algérie 2019 [OSE 2019]

Tableau 3 : la consommation d'électricité sur la période 2010-2019

l'année	2010	2011	2012	2013	2014
La consommation d'électricité	35677	38901	41980	45050	49192
l'année	2015	2016	2017	2018	2019
La consommation d'électricité	68767	70747	59423	65000	70850

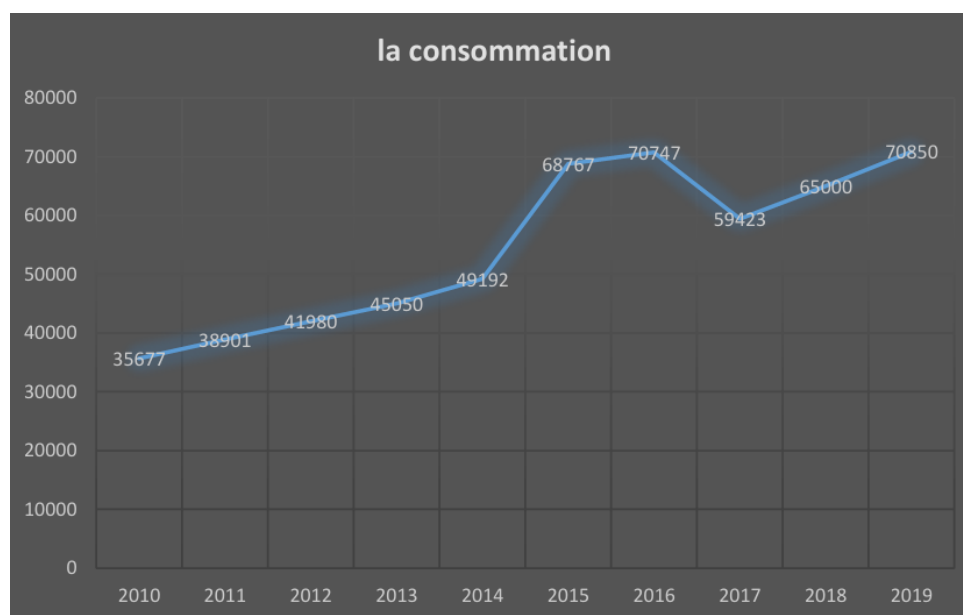


Figure 2.18 : la consommation d'électricité sur la période 2010-2019 [OPAEP]

Le document indique une hausse notable de la consommation d'électricité au cours de la dernière décennie, qui est étroitement liée à l'accroissement de la population et aux investissements effectués durant l'année (fig.2-7).

2.7.Évolution de la consommation d'électricité par secteurs

Unité : gigawattheure

Tableau 4 : la consommation d'électricité par secteurs [18]

l'année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
domestique	11.758	12.722	14.764	17.181	14.764	19.672	20.211	21.776	24.726
commercial	7.432	7.954	9.077	8.765	9.077	10.306	10.689 1	11.390	11.543
Industrielle	15.032	16.482	17.331	17.552	17.331	20.679	21.411	23.207	23.493
Autre	1.581	1.743	1.978	1.552	2.484	2.756	2.838	3.050	1.233
Total	35.803	38.901	43.150	45.050	49.192	45.050	55.149	59.423	60.995

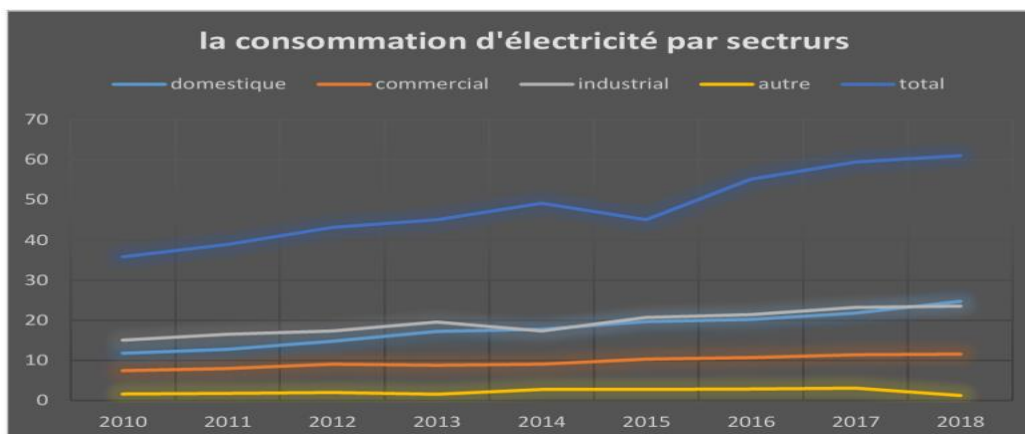


Figure2.19 : L'évolution de la production d'électricité sur la période 2002-2019

La production d'énergie électrique a enregistré une progression notable au cours des dernières 27 402 années, atteignant 76 027 en 2019, ce chiffre représentant presque le triple de l'année 2002. La présentation suivante illustre

Tableau 5 : la production d'électricité sur la période 2002-2019 [DPR]

l'année	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
la production d'électricité	27402	29192	30925	33611	35007	37090	39983	42756	44909
l'année	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
la production d'électricité	48872	52500	56148	60501	64663	66234	70897	75888	76027

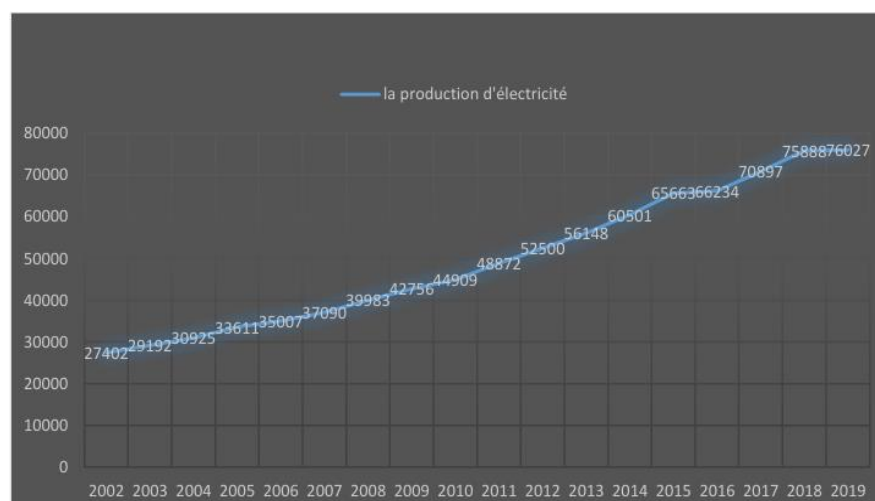


Figure2.20 : Un graphique montrant l'évolution de la production d'électricité en Algérie durant la période 2002-2019.

La courbe indique une hausse continue de la production au fil des dernières années, stimulée par l'accroissement de la demande et l'expansion des nouvelles urbanisations(fig.2-9).

2.8. Les types des centrales électriques en Algérie

En Algérie, la production d'électricité s'effectue majoritairement grâce au gaz naturel. En effet, plus de 96% de la puissance installée des centrales dépend de cette source d'énergie primaire. Les autres types d'énergies utilisés sont le gasoil pour les centrales Diesel et l'eau pour les centrales hydroélectriques.

Le gaz est employé dans des centrales thermiques fonctionnant à la vapeur et au gaz, ainsi que dans des installations à gaz et à vapeur connues sous le nom de centrales à cycle combiné. Effectivement, les cycles combinés peuvent se manifester sous deux configurations : Un arbre unique ou plusieurs arbres. Un cycle combiné à un seul axe comprend une turbine à gaz unique, une chaudière de récupération qui alimente une turbine à vapeur et un distinctif alternateur dimensionné pour les deux turbines.

La structure mono-arbre se distingue par l'arrangement longitudinal des équipements : turbine à gaz, turbine à vapeur et alternateur, formant ainsi une unique ligne d'arbre.

Un cycle combiné multi-arbres est composé d'une ou plusieurs turbines à gaz, d'une chaudière de récupération pour chaque turbine à gaz ou d'une chaudière partagée entre toutes les turbines, d'une turbine à vapeur ainsi que d'un alternateur associé à chaque turbine.

La configuration multi-arbres se distingue par la possibilité d'agencer les équipements turbo-alternateurs à gaz et à vapeur en fonction de la configuration du site dans les centrales à cycle combiné, qui étaient privilégiées pour assurer la charge de base.

La configuration à un seul axe était la plus appropriée car elle offrait une exploitation plus facile et moins coûteuse. Face à une production déjà abondante et susceptible d'augmenter avec l'ouverture du marché de l'électricité, cette configuration pourrait se révéler inappropriée.

Étant donné que l'exploitation d'un cycle combiné mono-arbre est restreinte, les fabricants de machines ont travaillé à l'amélioration de cette flexibilité, notamment en intégrant des dispositifs permettant de gérer indépendamment le fonctionnement des turbo-alternateurs. Par

conséquent, les cycles mono-arbre ont été dotés de systèmes d'embrayage qui autorisent l'utilisation de turbo-alternateurs à gaz en cycle simple.

Le système de contournement achemine alors la vapeur directement vers le condenseur. D'autres options plus flexibles impliquent l'installation de cheminées de dérivation pour permettre l'opération des turboalternateurs à gaz sans la nécessité de générer de la vapeur. Dans les systèmes de cycles combinés à plusieurs turbines, il est possible de moduler la puissance en arrêtant d'abord la turbine à vapeur, puis en réduisant la charge de la turbine à gaz jusqu'à atteindre le niveau technique minimal. Ce mode opératoire est adapté à la gestion de la baisse. Cette variation est d'autant plus importante pour un système multi-arbre comprenant plusieurs turbines à gaz, car l'arrêt d'une turbine à gaz plutôt qu'une turbine à vapeur permet de maintenir l'efficacité thermique. Par ailleurs, l'approche progressive dans la construction facilite le fonctionnement des groupes turbines à gaz avant la finalisation des cycles à vapeur. En Algérie [16].

Actuellement, deux centrales à cycle combiné sont en fonctionnement dans le parc de production. L'intégration de ces centrales au sein d'un ensemble majoritairement composé de turbines à vapeur et de turbines à gaz a assurément permis de diminuer les volumes de gaz destinés à la production électrique. Ainsi, après la mise en service de ces deux centrales, la consommation spécifique totale de gaz a diminué de 2,98 th/kWh en 2005 à 2,70 th/kWh en 2009. Cette amélioration a abouti à une réduction d'approximativement 1,4 milliards de m³ de gaz en 2009.

Située à Skikda, la centrale, qui appartient à Sharik et Kahraba Skikda (SKS), a une capacité de 825 MW. Elle appartient à la catégorie multi-arbres. Les turbines à gaz ont été mises en fonctionnement vers la fin de l'année 2005. L'introduction des segments de production a eu lieu durant l'été 2006. L'association des turbines à gaz, avant même celles à vapeur, a permis d'obtenir une capacité de production additionnelle avoisinant les 500 MW.

La seconde installation, localisée à l'ouest de Cherchell (Tipasa) et appartenant à Shariket Kahraba Hadjret Ennous (SKH), est de configuration mono-arbre. Elle a débuté sa production d'électricité pendant l'hiver 2008-2009. Elle se compose de trois segments qui génèrent une puissance totale de 1225 MW. Actuellement, deux centrales de configuration mono-arbre sont en opération : La première, qui se trouve à Terga dans la wilaya d'Ain-Temouchent. Elle a commencé à générer de l'électricité à partir de l'hiver 2011. D'une capacité totale de 1200 MW.

Wilaya de Biskra, avec une capacité totale de 1400MW. Une autre centrale de production d'énergie solaire (Centrale Solaire 1) (SPP1), localisée à Hassi R'mel (Laghouat) et ayant une

capacité approximative de 134 MW, a débuté sa phase test à la fin de l'année 2010. Il s'agit d'une installation hybride (Centrale Solaire Power) CSP/Gaz qui utilise un cycle combiné de type multi-arbres. Bien que la proportion des cycles combinés dans la puissance électrique installée totale en Algérie ait été relativement faible jusqu'à présent, leur intégration s'inscrit clairement dans une démarche de développement. Cela comprend notamment des projets de transformation d'une partie des centrales à turbines à gaz actuelles en cycles combinés. Les principales centrales, situées dans des zones sèches, susceptibles d'être converties en cycle combiné et ayant des niveaux de puissance allant de 100 à 425 MW, cumulent une capacité approximative de 2000 MW. Nous avons également des centrales à gaz en opération, que l'on recense dans les wilayas suivantes :

- ✓ M'sila (DRAA-EL-HADJA) a une capacité de production de 425 MW (2009/2010).
- ✓ Khenchla (Zone d'El-berg sud de Khenchla) qui développe près de 420 MW.
- ✓ Batna (Ain Djasser), qui possède une capacité totale de 254MW (novembre/décembre 2009).
- ✓ Blida (Larbâa) a une capacité de production de 560MW (2009/2010).
- ✓ En 2010, Annaba a développé une capacité de 71MW.
- ✓ En mars 2008, Oran (Est) a mis en service une capacité de 75MW.
- ✓ Relizane produit une puissance de 465MW (septembre 2009).
- ✓ Alger port a développé une capacité de 71MW (2010). Vous avez été formé sur des données jusqu'en octobre 2023.(fig2.30)

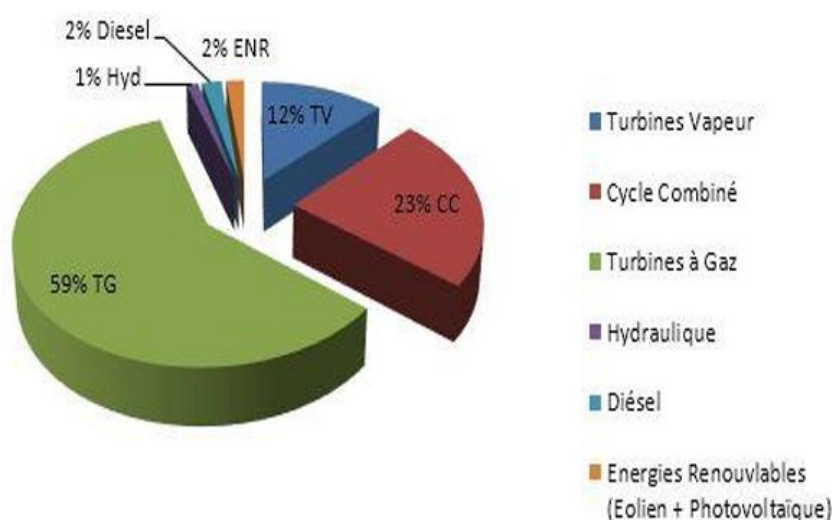


Figure2.21 : Un cercle relatif indiquant le pourcentage de chaque type de production nationale

Évaluation de la génération d'électricité : L'intégration graduelle des marchés de l'électricité en Algérie, le tableau ci-dessous illustre l'évolution anticipée du parc de production en fonction de ses critères :

Tableau 6 : L'évolution prévue du parc de production sur la période considérée en Algérie [22].

Estimation Capacité Installée	2008	2009	2010 – 2012	2013 – 2015	2016 – 2020	2021 - 2025
TG	4 205	5 419	4 957	5 797	6 697	7 797
CC	825	2025	4 425	6 025	8 825	11 225
TV	2 435	2 435	2 435	2 435	2 239	1 662
TH	230	230	230	0	0	0
Hybride	0	0	150	150	150	570
Nucléaire	0	0	0	0	0	1000
Total	7 695	10 109	12 197	14 407	17 911	22 254
Déclassement	230	120		273	400	

LA FABRICATION La progression de la production en comparaison avec l'année précédente est notable pour le mois d'août 2019. La part des cycles combinés se distingue particulièrement, représentant 45,1% de la production mensuelle totale.

2.10. Présentation de l'entreprise SPE d'Ain Djasser

2.10.1. Historique de la société

Avant l'autonomie de l'Algérie, la société française EGA (Electricité et gaz d'Algérie) était en charge de la production d'électricité. Postindépendance, l'EGA a poursuivi ses activités jusqu'en 1969, date à laquelle elle est devenue SONELGAZ (la société nationale de l'électricité et du gaz).

Actuellement, SONELGAZ s'affirme comme une entreprise de grande envergure et se positionne en tant que monopole dans la distribution et la commercialisation du gaz naturel, ainsi que dans la production, la distribution, l'importation et l'exportation d'électricité. Elle inclut plusieurs filiales, dont :

- Société Algérienne de production d'électricité (SPE).
- Société de Distribution d'Électricité et de Gaz (SDEG).
- Compagnie algérienne de gestion du réseau de transport de gaz (GRTG).
- Entreprise algérienne responsable de la gestion du réseau de transport d'électricité (GRTE).

2.10.2. SPE d'Ain Djasser

L'unité d'Ain Djasser s'étale sur 27 hectares de superficie, elle est située à 60 Km de la ville de Batna et 3 Km d'Ain Djasser. Composée de 6 groupes TAG totalisant 1008 MW (6x168), cette puissance correspond à celle fournie par le constructeur. L'unité de production de l'électricité d'Ain Djasser s'appuie sur le pôle de production TG/TV. Elle a pour objet de renforcer le parc de production nationale en matière d'énergie électrique et destinée à :

- Répondre à la demande d'énergie due à l'implantation dans la région de divers aménagement industriels et domestiques, notamment en périodes de pointes (été/hiver).
- Assurer la sécurité de l'approvisionnement de l'électricité au niveau régional et national.



Figure 2.11: Image satellitaire de l'entreprise.

2.10.3. Fiche technique de SPE Ain Djasser

Localisation du site du projet : Ain Djasser wilaya de Batna.

Superficie du site : 23 hectares.

Type de centrale : Turbine a gaz à cycle ouvert.

Nombre de groupes: 06.

Puissance totale borne usine : 1008 MW aux conditions du site du concepteur.

Combustible principal : Gaz Naturel.

Combustible de secours : Gasoil (autonomie de 6 jours). Dans le cas d'une interruption de l'alimentation en gaz naturel, des moteurs diesel prennent le relai.

Constructeur : Ansaldo Energia (Italie).

Date de mise en service du premier groupe : Aout 2009.

2.10.4. Description générale des systèmes

2.10.4.1. Poste GAZ :

Tout commence par le poste gaz sur le site de SPE à Ain Djasser. Le gaz entreprend son parcours depuis le sud de l'Algérie par des pipelines spéciaux, et à chaque étape, on le chauffe ou on le refroidit. Les stations situées le long de son trajet permettent de comprimer et de détendre le gaz. Lorsque le gaz atteint la centrale à une pression maximale de 70 bars, il doit être décomprimé jusqu'à un maximum de 23 bars. Le poste à gaz est équipé de deux chaudières qui se consacrent à la montée en température de ce dernier pour sa détente, l'une est gardée en réserve en cas d'urgence.

L'entreprise bénéficie d'un haut niveau de sécurité, c'est pour cette raison qu'elle est dotée de nombreux détecteurs de fumée ou d'incendie. Chaque fois que le gaz est filtré et épuré d'impuretés pour une utilisation optimale.(fig.2-12)



Figure 2.12 : Poste gaz de l'unité.

2.10.4.1. Système eau brute

Le système eau brute comprend principalement un réservoir tampon pour l'eau potable, deux pompes de transfert d'eau municipal pour le remplissage des réservoirs d'eau de service, deux

réservoirs d'accumulation et un réservoir tampon pour anti-incendie et des stations des pompes.

2.10.4.2. Système de distribution eau

Le système de distribution d'eau déminéralisée est relié aux systèmes suivants :

- Injection pour les turbines à gaz.
- Nettoyage des compresseurs utilisés avec les turbines à gaz.
- Aux réservoirs supérieurs des systèmes de refroidissement NORIA

2.10.4.3. Système de réfrigération NORIA

Le dispositif NORIA a la capacité de refroidir le générateur ainsi que l'huile de lubrification de la TAG, grâce à deux pompes à circulation d'eau propulsées par un moteur électrique. Le système est essentiellement composé de :

- Une unité aero-réfrigérante dotée de trois cellules de ventilation.
- Deux pompes pour faire circuler l'eau réfrigérée.
- Une bache d'une capacité de 1,5 m³.
- Une bache pour injection chimique d'une capacité de 30 litres.(fig2.13)



Figure2.13 : Système de réfrigération NORIA

2.10.5. Système de protection d'incendie

2.10.5.1. Description générale

Pour remplir les fonctions décrites ci-dessus, le dispositif d'extinction est composé par :

- Des systèmes d'extinction fixes et semi-fixes.
- Des structures résistantes au feu passif.
- Une installation de détection, d'alarme et de contrôle.

Une fois les substances et les matériels utilisés sont identifiés, l'installation et les appareils présents identifient les zones de danger d'incendie et/ou les fuites de gaz.

Ces appareils sont Le capotage (turbine et générateur turbine à gaz), le capotage skid gaz, la caisse d'huile turbine à gaz, les bâtiments électriques, le transformateur (principaux, soutirage, auxiliaires), la salle de commande et la zone bâtiment de stockage...etc.

2.10.6. Descriptif du groupe de puissance (turbogénérateur)

La turbine à gaz de type 94.2V6 à un seul arbre qui a une puissance de 168 MW par rapport aux conditions du site du concepteur, se compose de (figure 2.14) :

1. Un générateur
2. Un réservoir d'huile
3. Une structure d'admission
4. Un compresseur axial
5. Deux Chambre de combustion collectives sous forme de silo.
6. Une turbine
7. Un diffuseur de turbocompresseur

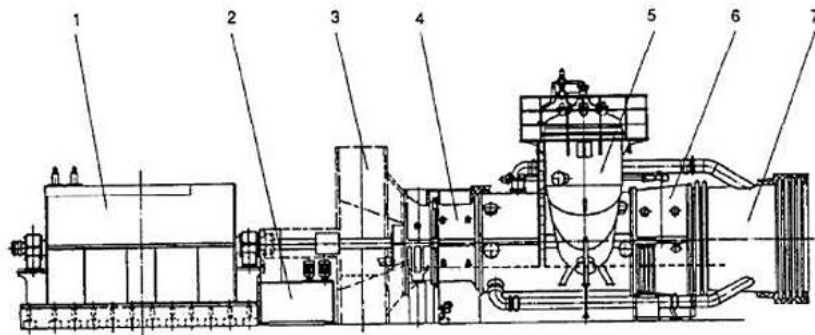


Figure 2.14 : Turbogénérateur

2.10.6.1. Fonctionnement

La turbine à gaz utilise l'air en tant que flux de travail qui est prélevé et comprimé par le compresseur (4). Le combustible est ajouté et brûlé dans la chambre de combustion (5) pour chauffer l'air à la température d'entrée de la turbine. Le gaz chaud est détendu à la pression atmosphérique dans la turbine (6). Le gaz d'échappement sort de la turbine à travers le diffuseur, il est déchargé vers la cheminée ou les composants de l'installation en aval en cas de

centrales électriques à cycle combiné. La production utile est disponible à l'accouplement côté compresseur pour actionner le générateur (1)(fig.2-14) [19].

2.10.7. Système d'aspiration

Le système d'aspiration et filtration fournit de l'air filtré au compresseur de la turbine à gaz, en quantité et en qualité nécessaires, dans les conditions ambiantes locales pour atteindre des performances souhaitées.(fig.2-15)



Figure2.15 : Vue extérieurs de système d'aspiration.

2.10.8. Chambre de combustion

La turbine à gaz V94.2 est dotée de deux brûleurs collectifs en forme de silo. Cette disposition de la chambre de combustion permet un accès aisé pour l'examen de tous les composants, et leur assemblage ou démontage est simple si besoin.

L'air délivré par le compresseur est chauffé dans la chambre de combustion à la température d'admission de la turbine grâce à l'incinération du carburant. Dans les conduits de flamme où la température des gaz atteint des niveaux très élevés, le rayonnement provenant de la flamme joue un rôle crucial. L'utilisation des revêtements en céramique composés de tuiles à bords fermés est particulièrement efficace.

Le petit flux d'air de refroidissement utilisé pour refroidir les supports de tuiles agit simultanément comme une barrière entre la structure derrière les tuiles et le flux d'air thermique (fig.2-16)[21].



Figure 2.16 : Chambre de combustion [20].

2.10.9. L'alternateur :

L'alternateur est une machine tournante (génératrice de courant alternatif), son rôle est la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique, les alternateurs peuvent être polyphasés ou monophasés. Parmi les alternateurs, on trouve :

- L'alternateur basse tension (220-380V) utilisé principalement pour les groupes de secours.
- L'alternateur haute tension dont les valeurs des tensions sont fonction des puissances, utilisées dans les centrales électriques.

Conclusion

La centrale à cycle combiné (gaz-vapeur) constitue une solution efficace à court terme pour répondre à la demande croissante en électricité en Algérie, grâce à sa flexibilité et à l'abondance des ressources gazières du pays.

Cependant, l'intégration des énergies renouvelables reste essentielle pour assurer une transition énergétique durable, conciliant développement économique et préservation de l'environnement, afin de garantir un avenir énergétique stable et responsa

Chapitre 3 :

L'énergie photovoltaïque et son application dans les centrales solaires

3.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de la lumière solaire en électricité via des cellules souvent basées sur du silicium cristallin. Cette technologie demeure la plus avancée sur les plans technologique et industriel. Il est à noter que le silicium, présent sous forme de silice non nocive, est l'un des éléments les plus répandus sur notre planète.

Effectivement, le terme photovoltaïque provient du grec « photo » signifiant lumière et de « Voltaïque », tiré du nom de l'italien Alessandro Volta (1754-1827), physicien qui a largement contribué à la découverte de l'électricité. Par conséquent, le photovoltaïque signifie littéralement la « lumière électricité ».

3.2. Généralités sur l'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculé en watt crête (WC) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur [23].

L'énergie produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau(fig.3-1) [23].

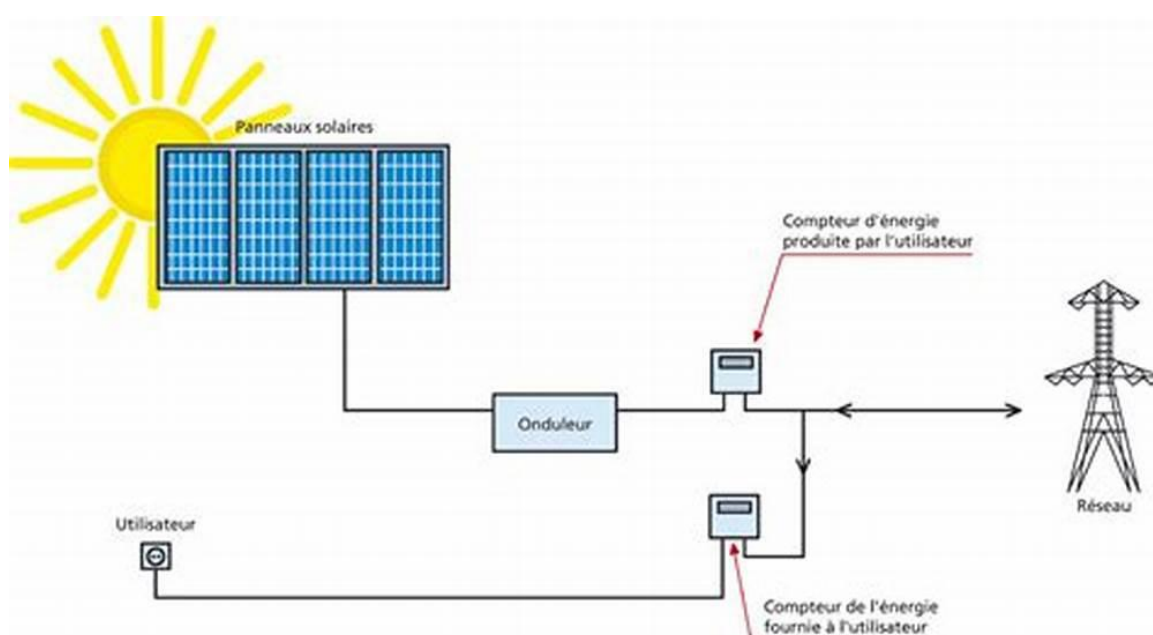


Figure 3.1 : Système de conversion de l'énergie solaire en électricité

3.3 Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque :

On distingue trois modes d'exploitation d'un panneau PV : autonome, connecté au réseau et Hybride

3.3.1. Mode autonome :

En mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs comme les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignées ainsi qu'à des applications comme la surveillance et le pompage d'eau.

En mode indépendant, le système se compose généralement des composants suivants.

- ✓ Le champ de modules PV charge la batterie en période d'ensoleillement.
- ✓ La batterie alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique.
- ✓ Le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge de l'énergie produite par le champ de modules PV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie.
- ✓ Un convertisseur de charge permet l'utilisation d'appareil à courant continu ou à courant Alternatif [24].

Il existe deux types de systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage et sans stockage, le schéma général d'un système PV autonome est représenté sur (fig.3.2).

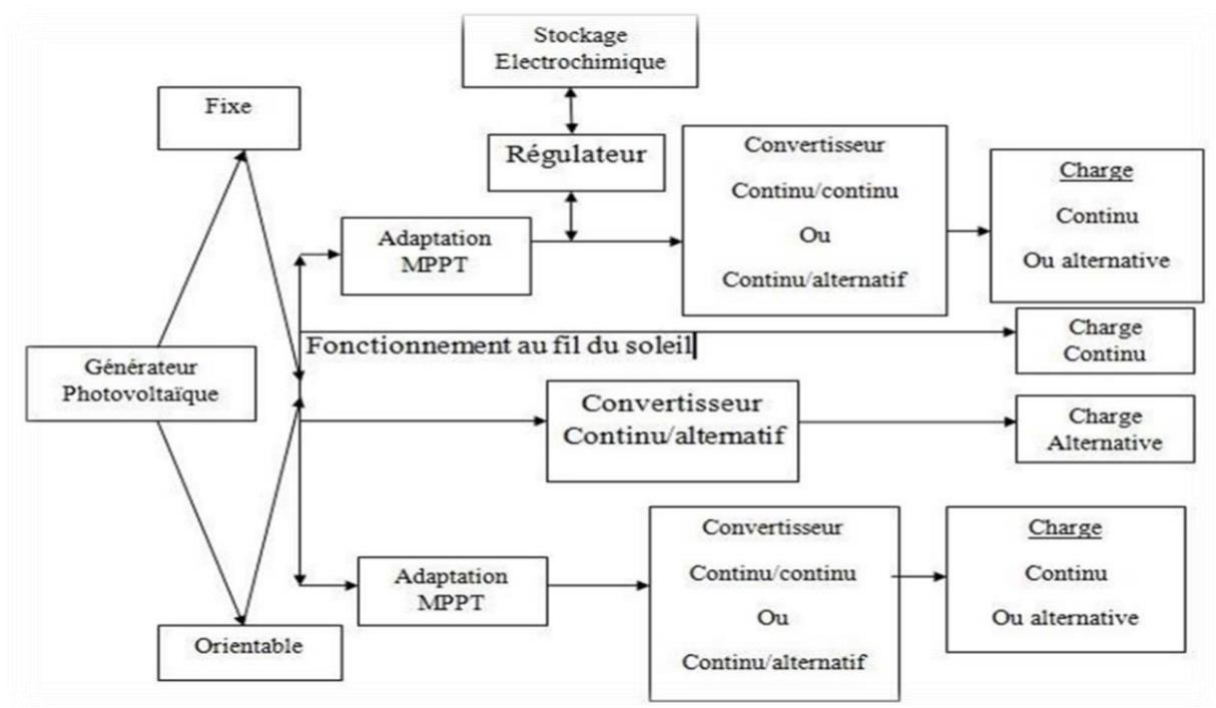


Figure3.2 : Présentation générale d'un système photovoltaïque autonome

3.3.1.1. Système autonome avec stockage (batterie) :

Il s'agit du système photovoltaïque le plus répandu. Le rôle du panneau photovoltaïque est de recharger la batterie. Ainsi, l'électricité peut être employée à tout moment. Par exemple, ce dispositif est idéal pour l'éclairage d'une maison nécessitant de l'électricité lorsque la nuit tombe.(fig3.3)

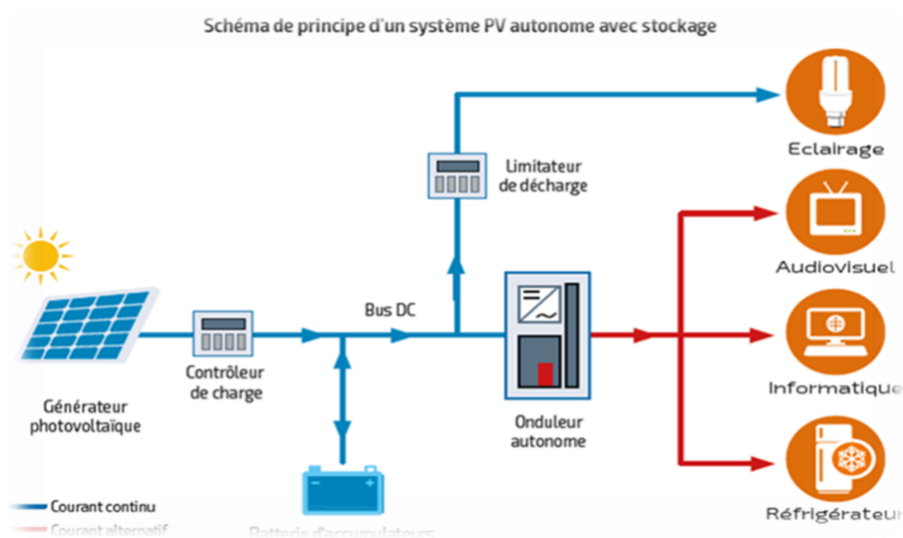


Figure 3.3 : Système autonome avec stockage (batterie)

3.3.1.2 Système autonome sans stockage :

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (ex : calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de charge n'est pas critique (ex : pompe à eau)(fig.3.4)

Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil)

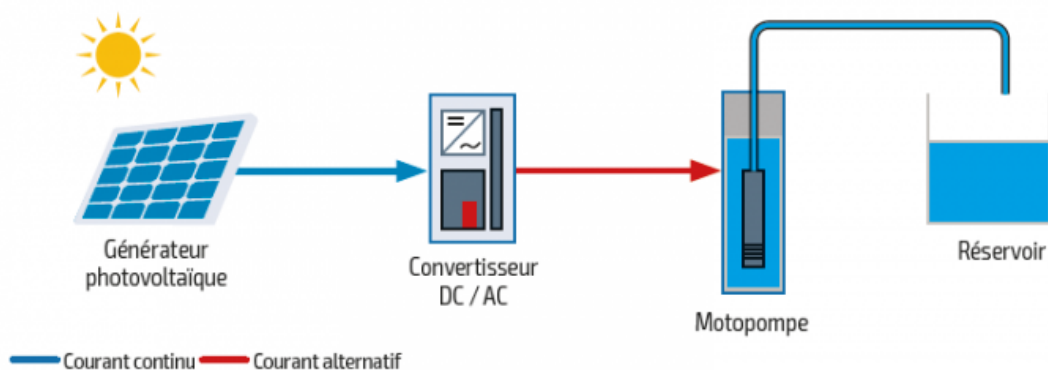


Figure3.4 : Système autonome sans stockage

3.4.Mode connecté au réseaux :

Ce système photovoltaïque est connecté directement à un réseau électrique, mais il est placé près de la demande. Il peut être mis en place, par exemple, sur une maison individuelle ou un centre commercial, de manière à fournir l'énergie nécessaire à cette charge et à renvoyer l'excédent de sa production sur le réseau pendant le jour. Pendant la nuit, la charge tire l'énergie nécessaire du réseau. Ce dispositif permet d'éliminer les coûts liés au stockage d'électricité, notamment pour les charges adaptées à la production photovoltaïque comme les systèmes de climatisation (gestion de la demande). De plus, ce mécanisme contribue à éviter le stockage traditionnel sur batteries, entraînant ainsi une réduction des coûts totaux (fig.3-5).

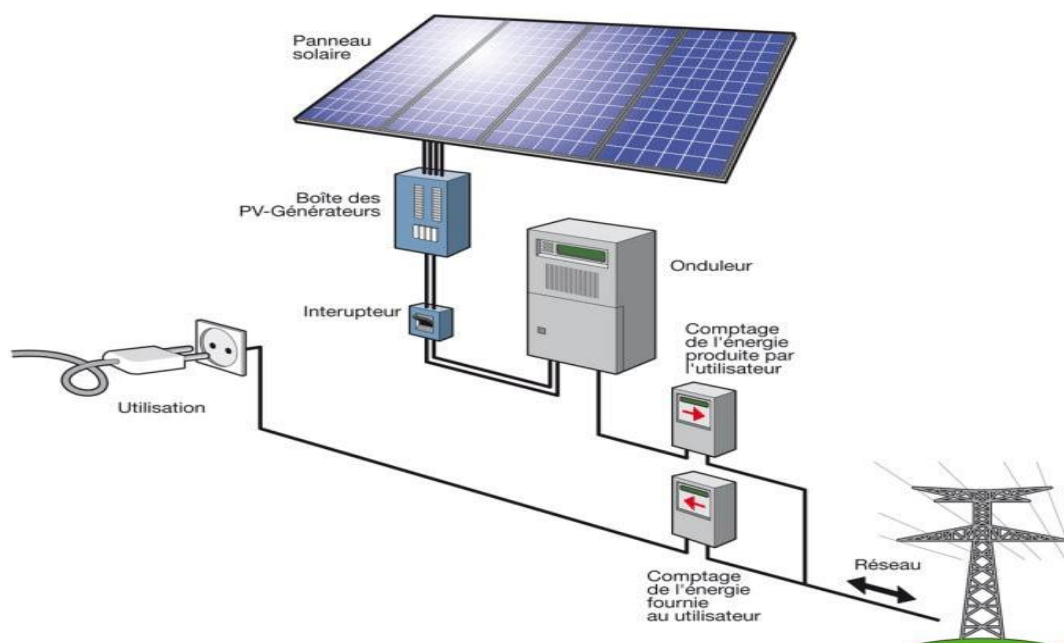


Figure3.5 : Système photovoltaïque raccordé au réseau

3.4.1.Mode connecté à un générateur électrogène :

On utilise principalement ce dispositif dans les villages ou communautés reculés. Le générateur photovoltaïque est connecté en parallèle avec les génératrices diesel du réseau villageois, fournissant de l'électricité à ce même réseau lorsque les conditions d'ensoleillement sont favorables. Il contribue à minimiser l'usage d'un carburant diesel onéreux dans les zones reculées et réduit les durées de fonctionnement des génératrices.

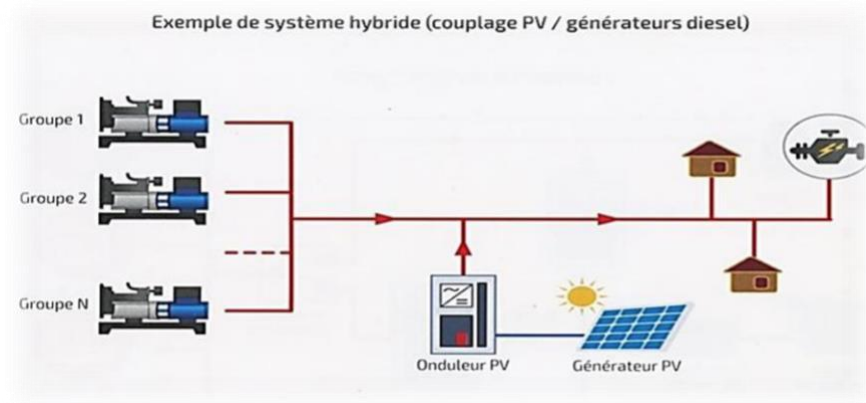


Figure3.6 : Système photovoltaïque raccordé à un générateur électrogène

3.4.2. Mode hybride :

Un système d'énergie hybride inclut plus d'une source d'énergie électrique comme les panneaux solaires, les piles à hydrogène, les éoliennes, les accumulateurs, les générateurs électriques, et ainsi de suite. Ce genre d'installation sert à électrifier les zones éloignées du réseau électrique. Ces systèmes peuvent être configurés de différentes manières : PV/thermique, PV/batterie, PV/cellules à combustible, PV/éolienne/batterie, PV/éolienne ou encore PV/groupe électrogène. La sélection se fait principalement en fonction des conditions météorologiques du lieu d'installation(fig.3.7) [25].



Figure3.7 : Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque

3.5. Effet photovoltaïque :

Le phénomène photovoltaïque exploité dans les panneaux solaires autorise la transformation directe de l'énergie lumineuse solaire en électricité grâce à la génération et au déplacement de

charges électriques positives et négatives dans un matériau semi-conducteur sous l'influence de la lumière.

Les semi-conducteurs se composent de deux éléments, l'un ayant une surabondance d'électrons et l'autre un manque d'électrons, appelés respectivement dopés de type N et dopés de type P. Quand le premier matériau entre en contact avec le second, les électrons en surplus du matériau N se diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N se transforme en une zone chargée positive, tandis que la zone initialement dopée P devient une zone chargée négativement. 26]

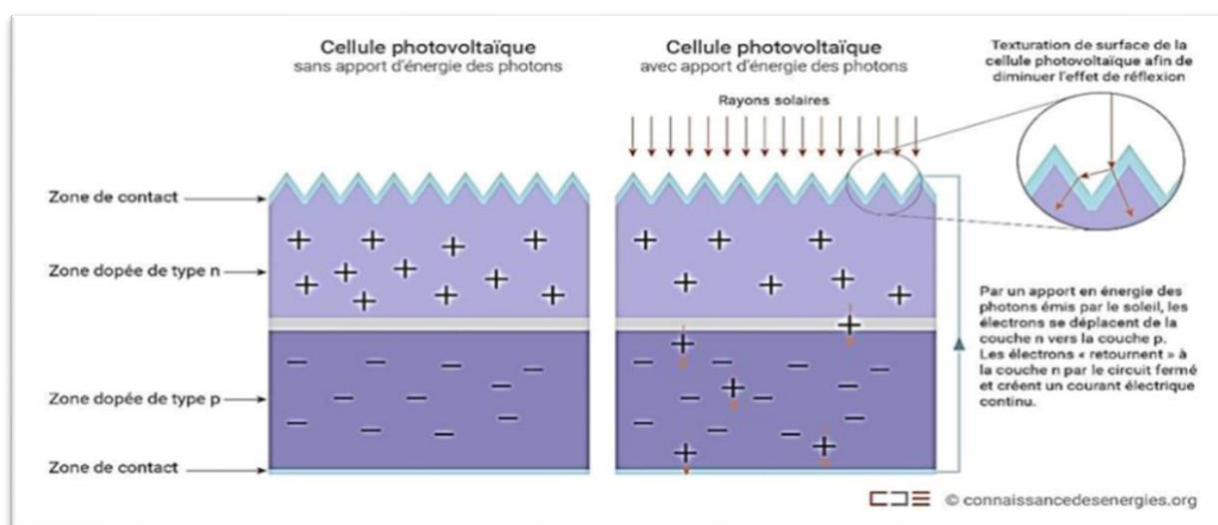


Figure3.8: Cellule photovoltaïque montrant l'effet photovoltaïque [26].

Un champ électrique s'établit donc entre les deux zones, visant à repousser les électrons vers la zone N et les trous vers la zone P. Une jonction connue sous le nom de P-N a été établie. On obtient une diode en intégrant des contacts métalliques sur les zones N et P. Quand la jonction est exposée à la lumière, les photons dont l'énergie est égale ou supérieure à l'écart de bande transmettent leur énergie aux atomes. Chaque atome libère un électron de la bande de valence vers la bande de conduction, tout en créant une lacune mobile, générant ainsi une paire électron-trou [26].

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circule. L'effet repose donc à la base sur les propriétés semi-conductrices du matériau et son dopage afin d'en améliorer la conductivité [26].

Le silicium employé aujourd'hui dans la plupart des cellules a été choisi pour la présence de quatre électrons de valence sur sa couche périphérique (colonne IV du tableau de Mendeleïev).

Dans le silicium solide, chaque atome – dit tétravalent – est lié à quatre voisins, et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons [26].

Si un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne V (phosphore par exemple), un de ses cinq électrons de valence ne participe pas aux liaisons ; par agitation thermique, il va très vite passer dans la bande de conduction et ainsi devenir libre de se déplacer dans le cristal, laissant derrière lui un trou fixe lié à l'atome de dopant. Il y a conduction par un électron, et le semi-conducteur dit dopé de type N. Si au contraire un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne III (bore par exemple) à trois électrons de valence, il en manque un pour réaliser toutes les liaisons, et un électron peut rapidement venir combler ce manque et occuper l'orbitale vacante par agitation thermique. Cela crée une lacune dans la bande de valence, qui va favoriser la conduction, et l'on dit alors que le semi-conducteur est dopé de type P. Ainsi, des dopants du silicium sont des atomes comme le bore ou le phosphore. Les cellules photovoltaïques sont assemblées pour former des panneaux photovoltaïques (fig.3.8) [26].

3.6.Cellule photovoltaïque :

3.6.1.Définition de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un composant électronique qui, exposé à la lumière, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. La puissance obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et dépend du rendement de la cellule. Celle-ci délivre une tension continue et un courant la traverse dès qu'elle est connectée à une charge électrique (en général un onduleur, parfois une simple batterie électrique).(fig.3-9)

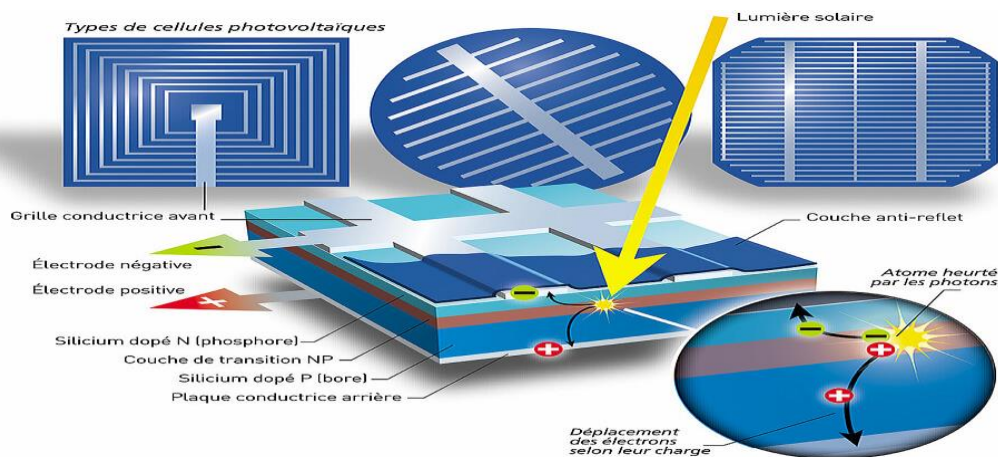


Figure3.9 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV

Il existe différents types de cellules et de procédés de fabrication. Le semi-conducteur le plus utilisé est le silicium. La performance se mesure d'abord par le rendement : pourcentage de l'énergie lumineuse effectivement transformée en électricité. Dans les panneaux vendus dans le commerce, on trouve, du moins cher au plus cher :

- ❖ La cellule au silicium amorphe (rendement : 6 à 10%).
- ❖ La cellule au silicium monocristallin (rendement : 13 à 17%).
- ❖ La cellule au silicium poly cristallin (rendement : 11 à 15%).

a) Cellule au silicium amorphe :

Les panneaux photovoltaïques en Silicium Amorphe sont bien adaptés pour l'alimentation électrique des équipements de faibles puissances installés dans des zones à faible éclairement (à l'intérieur, sous éclairage artificiel) et sous ensoleillement diffus (à l'extérieur, soumis à un ombrage important).

Le panneau solaire amorphe présente un rendement plus faible, en revanche le silicium amorphe est l'une des technologies photovoltaïques couches minces les plus respectueuses de l'environnement, puisqu'elle n'utilise pas de métaux toxiques.

La sensibilité spectrale des cellules solaires de silicium amorphe aux spectres de lumière des éclairages fluorescents et des LED blanches, en fait un matériau attrayant pour les applications intérieures.

Contrairement au panneau cristallin traditionnel, les panneaux solaires amorphe continuent à fournir de l'énergie même si une partie du panneau est ombragée. (fig.3-10)

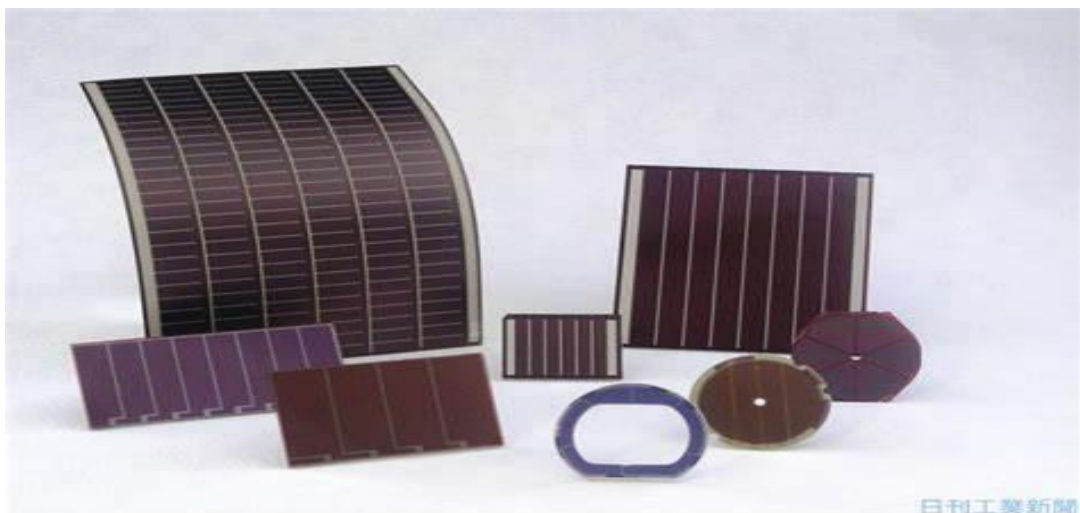


Figure3.10: Cellule au silicium amorphe

Cellule au silicium monocristallin :

Les cellules en silicium monocristallin présentent la meilleure efficacité parmi les panneaux solaires disponibles sur le marché : de 13 à 15%. Par conséquent, moins de cellules sont nécessaires pour produire l'énergie souhaitée. Cependant, étant donné que le silicium monocristallin est également le plus coûteux, son principal atout est finalement d'exiger une surface moindre : environ 7m² est nécessaire pour générer 1 kilowatt Crête (kWc) [27].

Ces cellules sont en général octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris)

Ces cellules sont les plus performantes, elles permettent donc de constituer des panneaux qui sont très performants : ceux qui produisent le plus d'énergie avec le moins de surface.(fig.3-11)

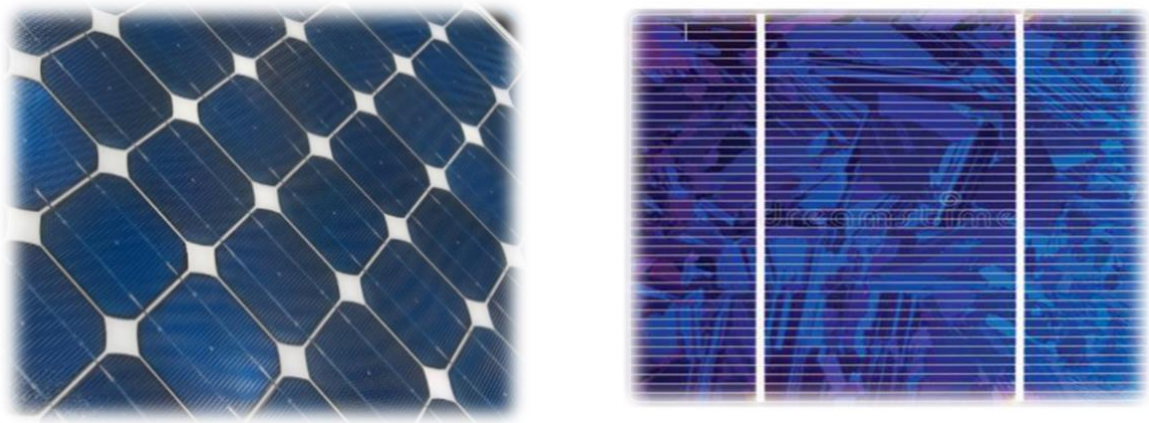


Figure 3.11 : Cellules au silicium monocristallin et poly cristallin

b) Cellule au silicium poly cristallin :

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Elles sont en général de forme rectangulaire et sont couleur bleu nuit avec des reflets.(fig.3-11)

c) Panneaux solaires à couches minces (Thin-Film)

- **Efficacité** : Entre 10-12%, la plus faible parmi les types.

- **Avantages** : Grande flexibilité, peut être utilisé sur des surfaces courbes.
- **Inconvénients** : Nécessite plus d'espace pour produire la même quantité d'énergie que les panneaux cristallins.
- **Applications** : Adapté aux bâtiments industriels et aux surfaces non conventionnelles.

d) Panneaux solaires avec technologie PERC (Passivated Emitter and Rear Cell)

- **Efficacité** : Supérieure aux panneaux classiques de **5-10%**.
- **Avantages** : Améliore l'absorption de la lumière et réduit la perte d'énergie.
- **Inconvénients** : Coût légèrement plus élevé que les panneaux traditionnels.
- **Applications** : Convient aux projets nécessitant une haute efficacité sans augmentation significative des coûts.

3.7. Groupement des cellules photovoltaïque :

a) Groupement en série :

Une association de N_S cellule en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule(fig.3-12)

VOC : Somme des tensions en circuit ouvert de N_S cellules en série

ICC : Courant de court-circuit.

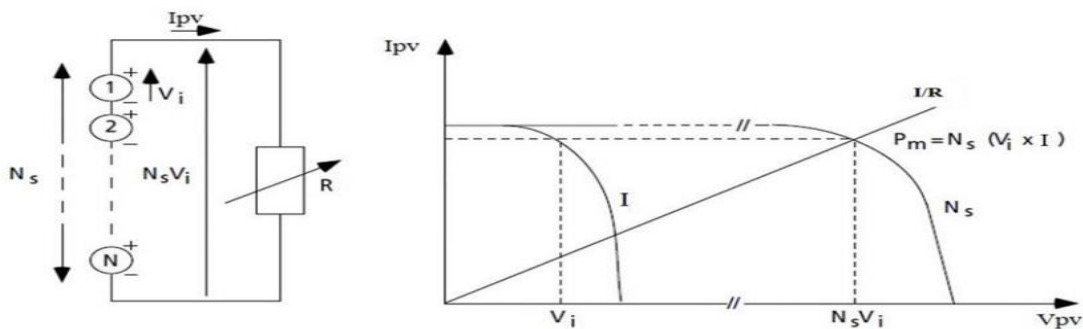


Figure3.12: Cellules identiques en série [24].

b) Groupement en parallèle :

Il est possible de mettre en place une connexion parallèle de cellules **NP**, ce qui permet d'augmenter le courant de sortie du générateur ainsi fabriqué. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants(fig.3-13)[28]

ICC : Somme des courants de court-circuit de NP cellule en parallèle ;

VOC : Tension du circuit ouvert.

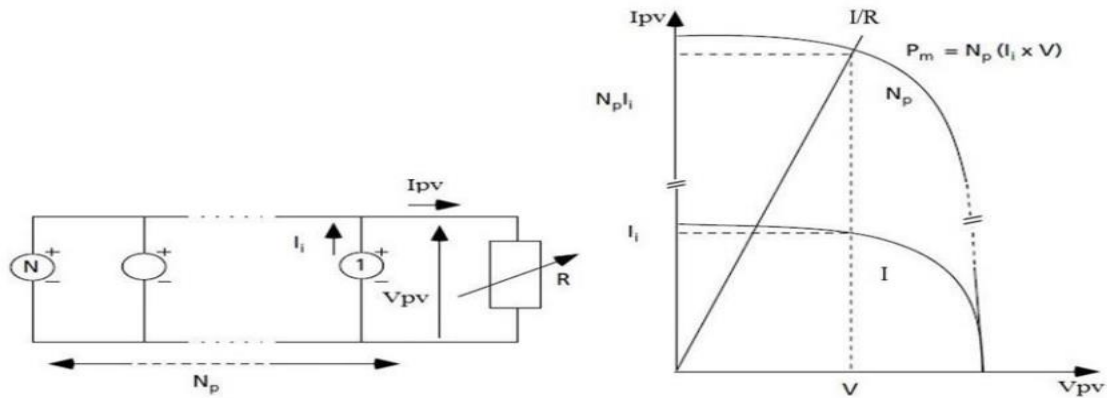


Figure 3.13: Cellules identiques en parallèles [24]

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leurs fonctionnements. Pour cela, deux types de protection sont classiquement utilisés dans les installations actuelles :

La diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit.

Les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas

homogène évitant l'échauffement de la cellule, ce qui est susceptible de la détruire par claquage. Il convient donc de limiter la tension inverse maximale susceptible de se développer aux bornes d'une cellule en plaçant une diode parallèle (by-pass) au niveau de chaque module la diode parallèle limite la tension inverse par sa tension directe puisqu'elle devient passante [29].

3.7.Module photovoltaïque :

Pour obtenir une tension électrique générée qui soit utilisable, on raccorde plusieurs cellules

en série qui forment alors un module. Ce raccordement permet d'augmenter la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en gardant la même tension.

L'association des cellules en modules permet (fig.3-14) :

- D'obtenir une tension suffisante ;
- De protéger les cellules et leurs contacts métalliques de l'ambiance extérieure (humidité...) ;
- De protéger mécaniquement les cellules (chocs...).

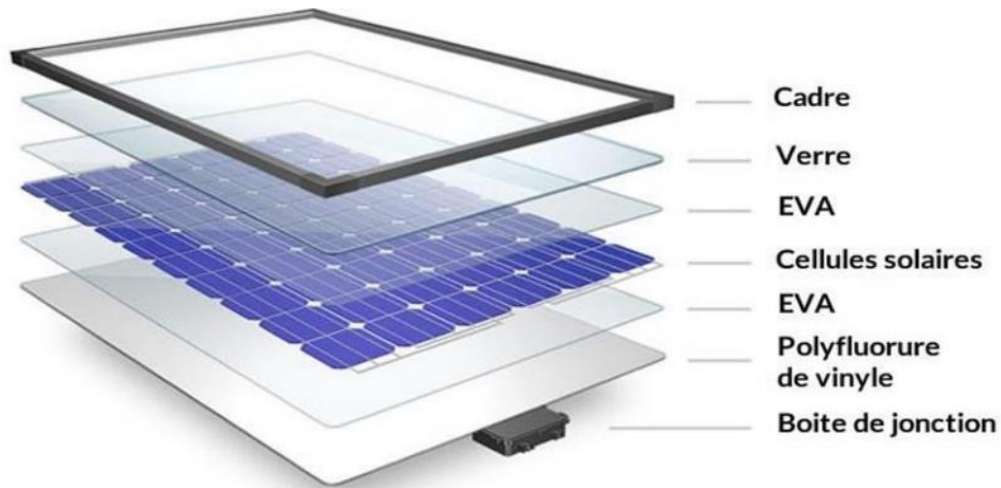


Figure 3.14 : Constitution d'un module photovoltaïque

3.7.1. Caractéristiques d'un module photovoltaïque :

- ❖ La puissance de crête **PC** : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²) ;
- ❖ Tension à vide **VOC** : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil " ;
- ❖ Courant de court-circuit **ICC** : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ". C'est la plus grande valeur de courant généré par un module pour une tension nulle **V_{pv} = 0** ;
- ❖ Point de fonctionnement optimum (**U_m**) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, **P_m = U_m.I_m** ;
- ❖ Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente ;
- ❖ Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : **VOC.ICC [29]**.

3.8. Panneau photovoltaïque :

Le panneau photovoltaïque se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.

Le composant le plus crucial de toute installation PV est le module PV, qui se compose de piles solaires interconnectées. Ces modules sont raccordés entre eux pour former des panneaux et des ensembles (champs) de manière à pouvoir satisfaire différents niveaux de besoins en énergie(fig.3-15)[30].

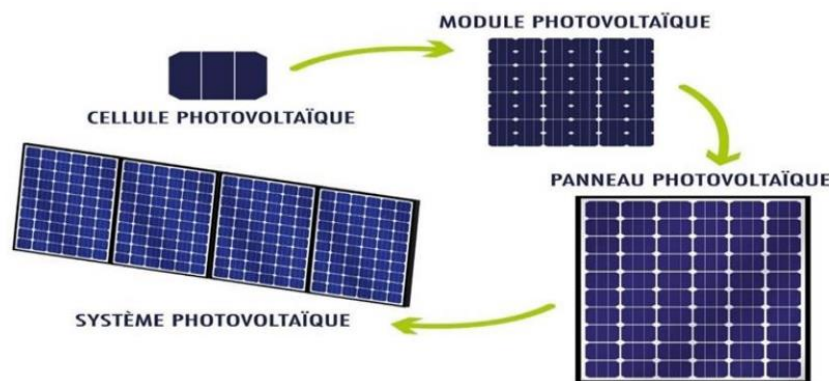


Figure3.15 : Panneau photovoltaïque

3.9. Les convertisseurs statiques :

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative.

3.9.1. Onduleur :

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé. Un onduleur est habituellement conçu pour fonctionner sur une plage assez réduite. Il est très efficace pour des caractéristiques d'entrée et de sortie fixe. Son coût assez élevé et la nature variable de l'ensoleillement et du couple résistant des pompes en général ont longtemps exclu l'emploi des moteurs à courant alternatif pour le pompage solaire.

3.9.2. Hacheur :

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu, permettant de fabriquer une source de tension continue variable à partir d'une source continue fixe, qui peut être un panneau photovoltaïque ou une batterie.

3.10. PRÉSENTATION DU PROJET

3.10.1. Localisation et historique du site d'implantation

Le site d'implantation envisagé pour accueillir la centrale photovoltaïque au sol se trouve au lieu-dit SEDRETRE LAGHZAL, à l'OUEST de la Wilaya de Naama (entre la commune de Naama et la commune d'Ain Benkhehil dans CW01), d'une superficie totale de 31ha.

S'agissant d'un terrain vague accessible, le site d'implantation est relativement éloigné des zones urbanisées, avec la ville de Naama à 5 km. Et de 1km du poste source 220/60Kv (PS Naama), L'habitation la plus proche se situe à environ 4Km au Sud-ouest (rural de Naama)



Naâma

Commune en Algérie

Naâma est une commune chef-lieu de la wilaya de Naâma, située à environ 240 km au sud-est de Tlemcen. C'est une petite localité des Hauts Plateaux, qui a été promue chef-lieu d'une wilaya nouvelle en 1984. [Wikipédia](#)

Superficie : 2 482 km²

Météo : 21 °C, vent N à 23 km/h, 27 % d'humidité [weather.com](#)

Wilaya : [Naâma](#); (chef-lieu)

Code postal : 45000

Population : 14 624 (2008)

Nom arabe : النعام

Altitude : 1 172 m

Figure3.16 : Information sur Naâma (source Wikipédia)

Les cartes en page suivante présentent la situation du projet sur carte géographique de vue aérienne.(fig.3-17)

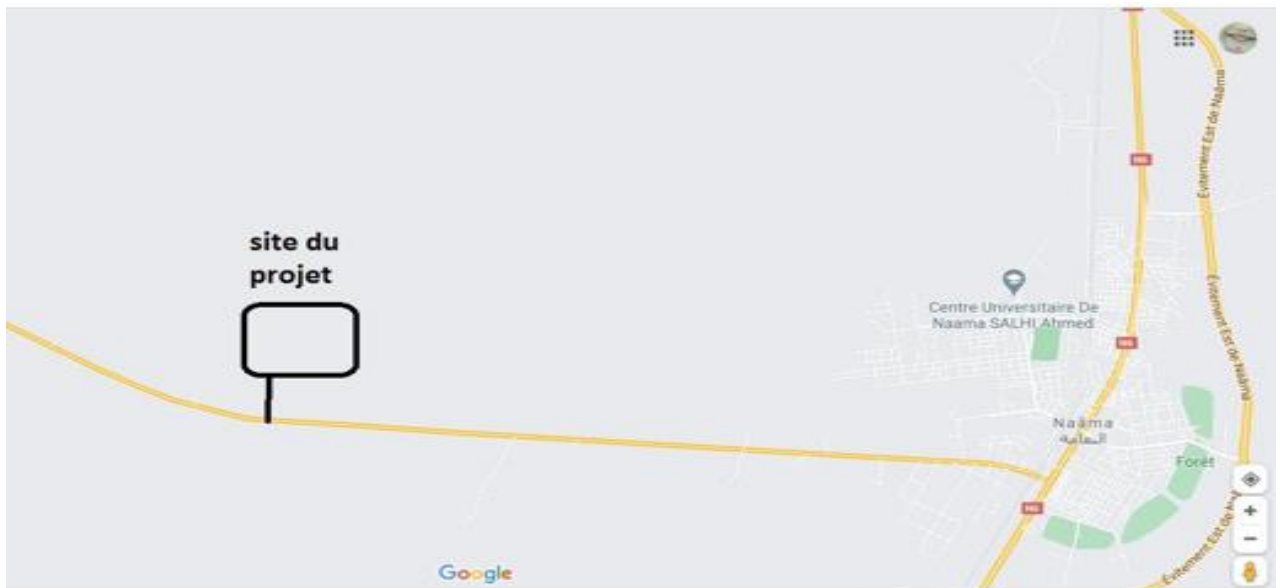


Figure3.17: positionnement de la centrale PV de Naama

3.11. DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROJET

La centrale solaire photovoltaïque au sol, réalisé par SKTM est constituée

- De plusieurs rangées de panneaux photovoltaïques, orientés face au Sud et montés sur des supports fixes en acier / aluminium ;
- D'un poste de transformation 60/30 KV pour le raccordement au réseau nationale, implanté près du portail (à l'entrée), à l'intérieur du site ;
- 10 postes transformateurs élévateurs (350v/30Kv) près des panneaux, et à chaque transformateur il y a deux onduleurs de puissance 880Kva chaque 'un;
- De réseaux de câbles ;
- De pistes d'accès et chemins périphériques ;
- D'une réserve incendie.

La puissance totale de l'installation est de 20MWc. La production annuelle d'électricité est estimée entre 37 et 38GWh. Le raccordement de la centrale sera effectué via le poste de transformation 60/30Kv interconnecté au PS Naama 220/60Kv.

Le site photovoltaïque sera entièrement clôturé et l'accès se fera par le portail principal existant.

3.11. CONCEPTION DE LA CENTRALE PV DE NAAMA

3.11.1. Les modules

Les modules photovoltaïques choisis sont composés de cellules de silicium **poly cristallin**, encapsulées dans une résine transparente et protégées des intempéries par une couche de verre trempé. L'ensemble est maintenu par un cadre en aluminium gris. Leur puissance unitaire est de **250 Wc**.

Les modules utilisés satisferont pleinement aux spécifications des normes internationales :
IEC 61215, IEC 61730, IEC61701 ED2, UL1703, IEC 62716, KEMCO, CEC Listed, CE,
JET, MCSISO 9001:2008 : normes relatives aux systèmes de management de la qualité SO/TS
16949:2009 : système de management de la qualité dans l'industrie automobile ISO
14001:2004 : normes relatives aux systèmes de management environnemental QC 080000
HSPM : certification relative aux règlements sur les substances dangereuses OHSAS
18001:2007: la certification internationale relative à la santé et la sécurité au travail

3.11.2. Les structures porteuses

Les modules photovoltaïques sont assemblés les uns aux autres par un système de visserie inoxydable sur des structures porteuses fixes, formant des tables (ou stands). L'ensemble est constitué d'acier galvanisé, à l'exception des glissières qui sont en aluminium.

Les tables seront inclinées de 15° par rapport à l'horizontale. Elles seront implantées en rangées et orientées en extrême Sud.

Le site comportera 1660 tables « Grand format » de 48 modules photovoltaïques en série (79680 panneaux)

3.12. Fiche technique globale de la centrale

Une hauteur minimale au-dessus du sol supérieur à 50 cm permet l'apport de lumière diffuse à la végétation sous les panneaux, ainsi qu'une meilleure répartition de l'écoulement des eaux pluviales. De même, les modules d'une même table sont ajourés entre eux (2 cm) pour une bonne répartition des eaux pluviales (10 cm entre 2 tables).

L'implantation des structures est étudiée pour optimiser l'espace disponible, en limitant l'ombre portée d'une rangée sur l'autre. La distance déterminée est d'environ 2,9 m de bord à bord.(fig.3-18).

Chapitre 3: L'énergie PV et son application dans les centrales solaires

Tableau 7 : caractéristique générale de la centrale PV

	Tables
Nombre de tables	1660
Nombre des panneaux	79680
Chaque table	02 chaînes
Chaîne	3320
Chaque chaîne	24 Panneaux séries
Hauteur minimale	0,4 m du sol
Hauteur maximale	2 m du sol
Nombre de module	48
Rangées	42

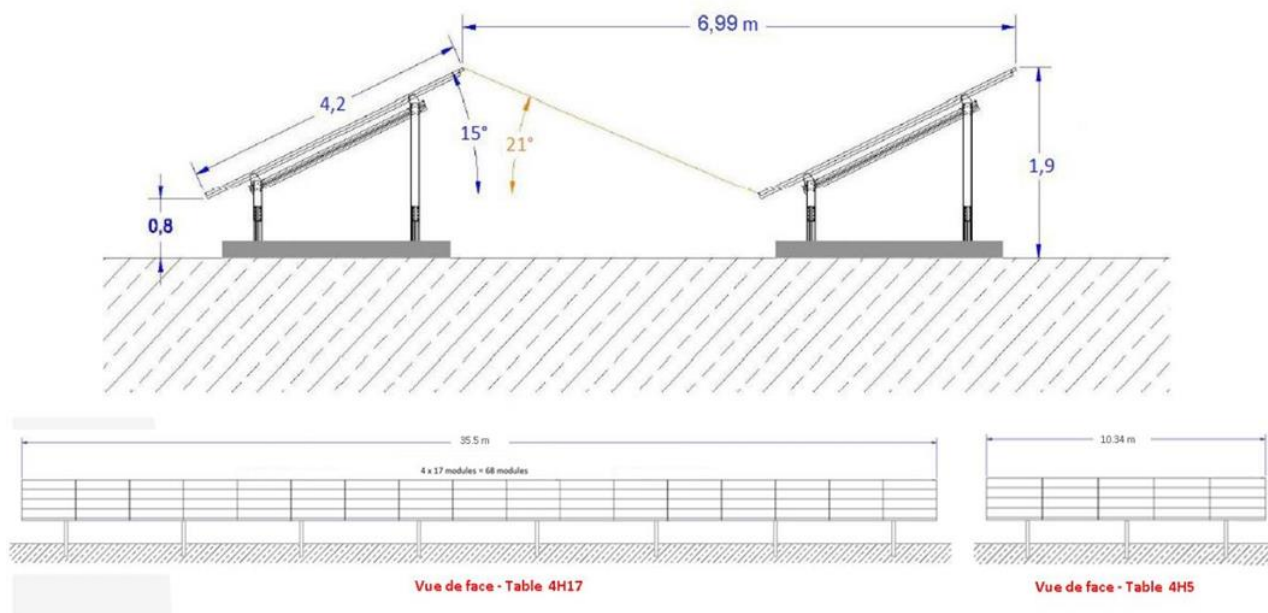


Figure 3.18 : Vues de face et en coupe des tables Grand et Petit formats sur longrines et pieux

3.12.1. Les Fiche technique du panneau PV installer au centrale PV Naama

En centrale photovoltaïque on trouve 10 champs photovoltaïques :

- chaque champ = 2MW
- La distance entre les champs 06 m.
- Chaque champ contient 1 transformateur.
- Chaque champ contient 79 panneaux divisés en 42 rangés.
- La dimension de champ photovoltaïque 2.5 Hc.
- La distance entre les rangés 112 cm.
- Chaque rangé contient 1 onduleur.

3.12.Fiche technique panneau solaire

3.12.1.Modèle CS6P installer au centrale PV Naama

Doté de 60 cellules photovoltaïques, le panneau solaire CS6P est robuste. Ce panneau peut être destiné à des applications solaires raccordées au réseau. Nos techniques de conception et de production méticuleuses assurent à chaque panneau produit un rendement élevé pendant longtemps. Nos contrôles de qualité rigoureux et nos installations d'essai internes vous garantissent que les panneaux de Canadian Solar sont conformes aux normes de qualité les plus exigeantes(fig.3-19)

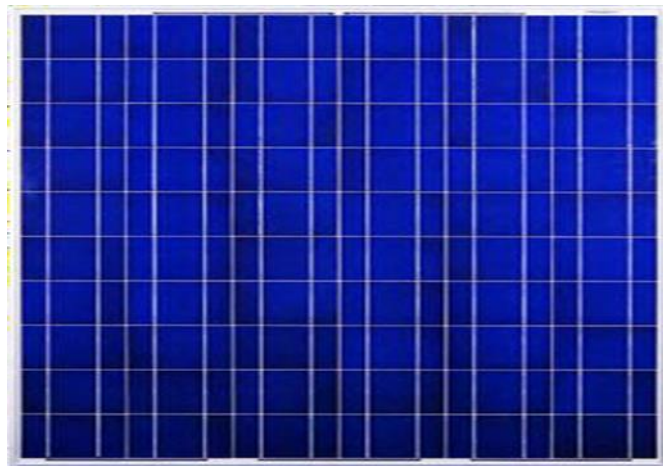


Figure3.19: panneauCS6P235/240/245/250/255P

3.12.2.Caractéristiques du produit

- Efficacité des panneaux élevée jusqu'à 15,85% Tolérance de puissance positive : 0a+5W.
- Cadre robuste résistant à une charge de 5400Pa Superficie autopulente
- Performances remarquables à faible rayonnement

Chapitre 3: L'énergie PV et son application dans les centrales solaires

- Rendement énergétique élevé à NOCT
- Couvert par notre nouvelle garantie 10/25 sur la performance électrique linéaire en plus de notre assurance complémentaire de 25 ans
- Garantie produit de 10 ans sur les matériels et la main-d'œuvre
- Garantie de 25 ans sur la performance électrique linéaire

3.12.3. Caractéristiques électriques

Conditions d'essai normalisées (STC)	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P	CS6P-255P
Puissance nominale maximale (P _{max})	235W	240W	245W	250W	255W
Tension en fonctionnement optimal (V _{mp})	29,8V	29,9V	30,0V	30,1V	30,2V
Courant en fonctionnement optimal (I _{mp})	7,90A	8,03A	8,17A	8,30A	8,43A
Tension en circuit ouvert (V _{oc})	36,9V	37,0V	37,1V	37,2V	37,4V
Intensité de court-circuit (I _{sc})	8,46A	8,59A	8,74A	8,87A	9,00A
Rendement par panneau	14,61%	14,92%	15,23%	15,54%	15,85%
Température de fonctionnement	-40°C ~ +85°C				
Tension maximale du système	1000V (IEC) / 600V (UL)				
Calibre maximal des fusibles en série	15A				
Classification des applications	Class A				
Tolérance de puissance	0 ~ +5W				

Dans les conditions d'essai normalisées (STC) : rayonnement de 1000 W/m², spectre de 1,5 AM et température des cellules de 25°C.

NOCT	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P	CS6P-255P
Puissance nominale maximale	170W	174W	178W	181W	185W

Chapitre 3: L'énergie PV et son application dans les centrales solaires

(Pmax)					
Tension en fonctionnement optimal (Vmp)	27,2V	27,3V	27,4V	27,5V	27,5V
Courant en fonctionnement optimal (Imp)	6,27A	6,38A	6,49A	6,60A	6,71A
Tension en circuit ouvert (Voc)	33,9V	34,0V	34,1V	34,2V	34,4V
Intensité de court-circuit (Isc)	6,86A	6,96A	7,08A	7,19A	7,29A

Avec une température normale de fonctionnement des cellules, un rayonnement de 800 W/m², un spectre de 1,5 AM, une température ambiante de 20°C et une vitesse du vent de 1 m/s.

312.4.Caractéristiques mécaniques

Type de cellule	Silicium poly crystalline 156 x 156 mm
Disposition des cellules	60 (6 x 10)
Dimensions	1638 x 982 x 40 mm (64,5 x 38,7 x 1,57 in)
Poids	19 kg (41,9 lbs)
Face avant	Verre trempé de 3,2 mm
Matériau du cadre	Alliage d'aluminium anodisé
Boîte de raccordement	IP65 or IP67, 3 diodes
Câble	4 mm ² (CEI)/12 AWG(UL), 1000 mm
Connecteurs	MC4 ou comparable à MC4
Emballage (panneaux par palette)	24 pièces
Panels par conteneur (de 40 pieds)	672 pièces (40 pieds)

3.13. Courbes V-P et V-I (CS6P-255P)

on peut déduire de ces courbes que l'augmentation de la température du panneau solaire CS6P-255P entraîne une diminution significative de sa puissance maximale produite. Bien qu'il y ait de légères variations dans les valeurs de tension et de courant en circuit ouvert et en court-circuit, l'impact le plus important est cette baisse notable de la puissance de sortie. Ceci souligne l'importance de la gestion de la température des panneaux solaires pour garantir une performance optimale, en particulier dans des régions chaudes.

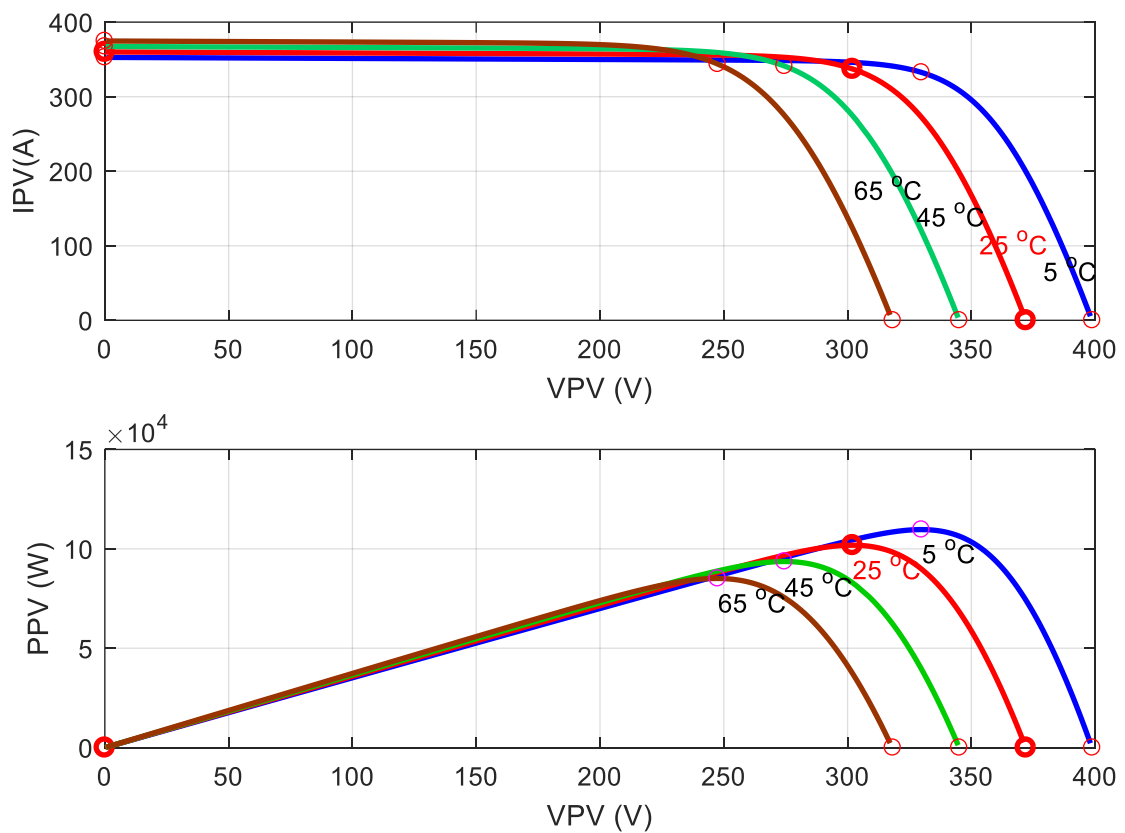


Figure3.20 : courbe I-V et P-V a température variable

3.13.2. Courbes V-P et V-I (CS6P-255P)

La performance du panneau solaire (CS6P-255P) est directement influencée par l'intensité du rayonnement solaire. Plus le rayonnement solaire est élevé, plus la puissance électrique maximale que le panneau peut générer augmente, en raison de l'augmentation à la fois du courant et de la tension au point de puissance maximale. Cette relation est cruciale dans la conception des systèmes d'énergie solaire et l'optimisation de leur efficacité.

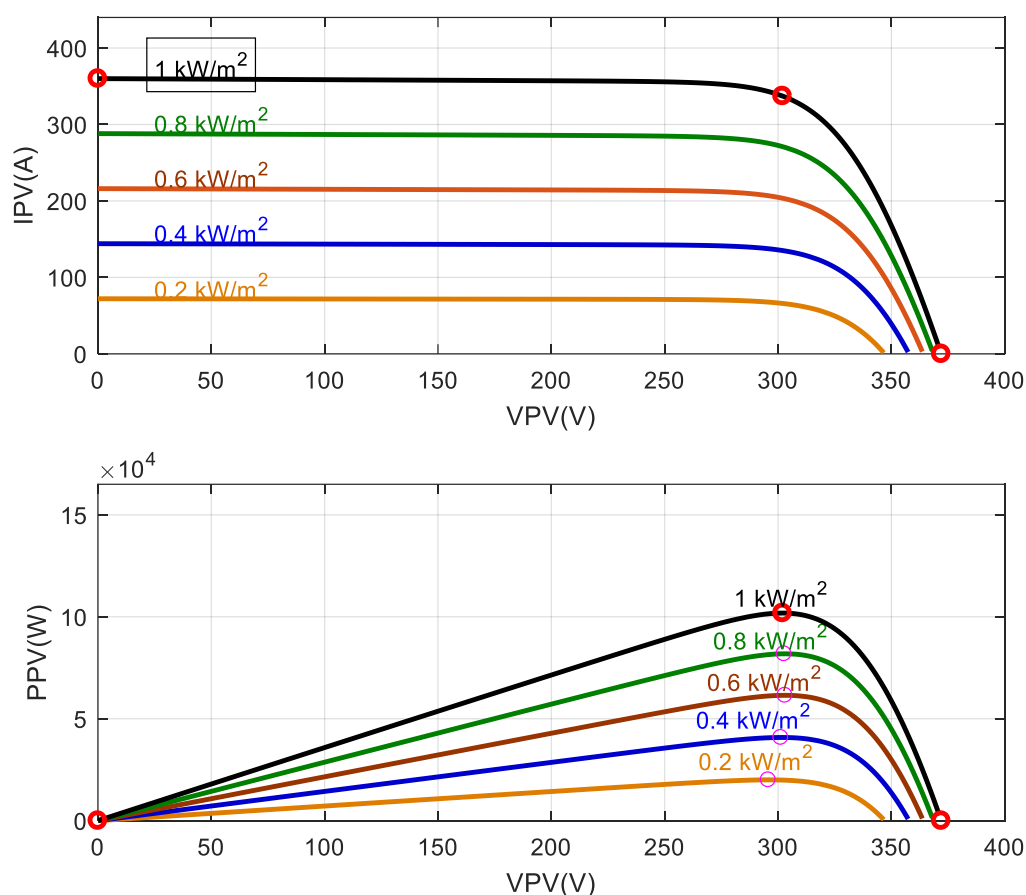


Figure 3.21 : courbe I-V et P-V a rayons variable

3.14. Comparaison entre les centrales à gaz naturel et photovoltaïques

Centrales à gaz naturel : Elles sont particulièrement utiles comme solution de transition énergétique, car elles émettent moins de CO₂ que les centrales à charbon tout en offrant une grande flexibilité pour répondre à la demande énergétique. Cependant, elles restent dépendantes d'une ressource fossile.

Centrales photovoltaïques : Elles représentent une solution durable et respectueuse de l'environnement, mais nécessitent des investissements initiaux élevés et des solutions de stockage pour pallier leur intermittence.

La combinaison des deux technologies peut être envisagée dans certains scénarios, où les centrales à gaz naturel servent de "backup" pour compenser les périodes de faible production solaire.

Le tableau suivant permet de mieux comprendre les avantages et inconvénients de chaque technologie:

Chapitre 3: L'énergie PV et son application dans les centrales solaires

Critère	Centrale à Gaz Naturel	Centrale Photovoltaïque
Source d'énergie	Gaz naturel (ressource fossile, non renouvelable).	Rayonnement solaire (ressource renouvelable).
Émissions de CO ₂	Émet du dioxyde de carbone (CO ₂) lors de la combustion du gaz, bien que moins que le charbon ou le pétrole.	Aucune émission directe de CO ₂ pendant l'exploitation (mais des émissions indirectes peuvent être liées à la fabrication et au transport des panneaux).
Impact environnemental	Pollution atmosphérique (CO ₂ , NOx, etc.), extraction du gaz naturel nuisible aux écosystèmes.	Faible impact environnemental une fois installée, mais fabrication des panneaux nécessite des ressources rares (silicium, métaux).
Coût initial	Moins coûteuse à construire par rapport aux grandes installations solaires.	Coût initial élevé pour l'installation des panneaux solaires et des infrastructures associées.
Coût d'exploitation	Coût variable lié au prix du gaz naturel et à l'entretien des équipements.	Très faible coût d'exploitation (pas de carburant nécessaire, maintenance minimale).
Rendement énergétique	Rendement élevé (généralement 40-60 % dans les centrales modernes).	Rendement plus faible (15-25 % en moyenne pour les panneaux solaires).
Disponibilité	Peut fonctionner 24h/24, indépendamment des conditions météorologiques.	Dépendante de l'ensoleillement (production nulle la nuit, réduite par temps couvert).
Stockage d'énergie	Pas de stockage intégré (peut être combiné avec des systèmes de stockage, mais rarement utilisé).	Nécessite des batteries ou d'autres systèmes de stockage pour une utilisation continue.
Durée de vie	Environ 25-30 ans pour une centrale bien entretenue.	Environ 25-30 ans pour les panneaux solaires, mais les performances diminuent légèrement avec le temps.
Flexibilité	Très flexible : peut ajuster rapidement sa production en fonction de la demande.	Moins flexible : la production est intermittente et dépend des conditions météorologiques.
Échelle de déploiement	Adaptée aux grandes centrales centralisées pour alimenter des réseaux électriques importants.	Adaptée aux installations décentralisées (toitures, petites fermes solaires) ou centralisées (grandes fermes).
Dépendance géographique	Peu dépendante de la géographie (nécessite seulement un accès au gaz naturel).	Très dépendante de l'ensoleillement local (meilleure efficacité dans les régions ensoleillées).
Sécurité énergétique	Dépendante des réserves de gaz naturel et des infrastructures de transport (gazoducs, terminaux GNL).	Indépendante des ressources fossiles, mais sensible aux fluctuations météorologiques.

Critère	Centrale à Gaz Naturel	Centrale Photovoltaïque
Acceptabilité sociale	Perçue comme une transition énergétique acceptable, mais controversée en raison des émissions de CO ₂ .	Largement acceptée, surtout dans le cadre de la transition vers les énergies renouvelables.

3.15. Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, il est clair que l'énergie photovoltaïque représente l'une des solutions les plus prometteuses et durables pour répondre à la demande croissante en énergie. Nous avons présenté les principes fondamentaux du fonctionnement des cellules photovoltaïques, ainsi que les différentes technologies utilisées pour convertir la lumière du soleil en énergie électrique. Nous avons également exploré les applications concrètes de cette technologie dans les centrales solaires et son rôle essentiel dans l'alimentation des réseaux électriques ou dans l'électrification des zones isolées. À la lumière de ces éléments, on peut affirmer que le développement et la généralisation des systèmes photovoltaïques ouvrent la voie vers une transition énergétique propre et un avenir durable.

Conclusion Générale

Au terme de cette étude, il apparaît clairement que la transition énergétique n'est plus une simple option, mais une nécessité stratégique et incontournable à l'heure actuelle. L'Algérie, à l'instar de nombreux pays producteurs d'hydrocarbures, fait face à des défis majeurs liés à la dépendance excessive aux énergies fossiles, en particulier le gaz naturel, pour la production d'électricité. Cette situation engendre non seulement une vulnérabilité économique face à la fluctuation des prix sur le marché international, mais aussi des impacts environnementaux considérables.

L'analyse menée dans ce mémoire a mis en évidence l'énorme potentiel dont dispose l'Algérie en matière d'énergie solaire. Grâce à son ensoleillement abondant, notamment dans les vastes régions sahariennes, le pays est particulièrement bien positionné pour développer une production d'électricité propre, durable et compétitive à long terme.

La transition vers l'énergie solaire représente ainsi une véritable opportunité de diversification énergétique, de réduction des émissions de gaz à effet de serre, et de préservation des ressources naturelles non renouvelables. Mais pour concrétiser cette vision, il est impératif de mettre en place une stratégie nationale ambitieuse, intégrant des investissements massifs dans les infrastructures, la recherche scientifique, la formation des ressources humaines et la création d'un cadre législatif et institutionnel favorable.

En somme, l'Algérie a aujourd'hui l'occasion de prendre un virage décisif vers un modèle énergétique plus durable et résilient. Ce changement ne répond pas uniquement à des impératifs techniques ou économiques, mais s'inscrit aussi dans une logique de responsabilité environnementale et d'anticipation des besoins des générations futures.

Références bibliographiques

- [1] K.BEN KILANI, cours «Réseaux Électriques de Puissance», École nationale d'ingénieurs de Tunis, , 2013-2014
- [2] L. Boufenneche , « RESEAUX ELECTRIQUE », Université des Frères Mentouri Constantine 1, 2017/2018.
- [3] F.DJEDID ,MEMPOIR « ETUDE ET MODELISATION D'UN TURBO ALTERNATEUR DE TYPE 600 MVA », 2020/2021 ..
- [4] E. Hua, "Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics", Springer, Germany ,2006.
- [5] A.KARA, Thème" Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie" Soutenu le 24/06/2014.
- [6] A. KHADRAOUI , MÉMOIRE DE MASTER « Etude technique de la centrale électrique de Chegaa-Oumache II » Université de Biskra , 2019
- [7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Lenz-Faraday
- [8] H .TEBANI "Production de l'énergie Electrique " support cours, Université Hassiba Benbouali Chlef 2020 .
- [9] S. Jean-Claude, lignes et réseaux électriques 3, Ed. Lavoisier 2008
- [10] A .SAADAOUI , Institut Supérieur des Etudes Techniques De Radès 2013/2014
- [11] I.TEGANI, mémoire de Master , «Optimisation multi objectif à base des algorithmes génétiques appliquée sur un réseau électrique», Université de Biskra, 2011.
- [12] M . Atlas Monde Mise à jour 2016 <https://www.atlas monde.net/afrique/algerie/>
- [13] Bilan_Energétique_National_2000_2017edition_2018 <http://www.energy.gov.dz>
- [14] L. Boufenneche , « RESEAUX ELECTRIQUE », Université des Frères Mentouri Constantine 1, 2017/2018.
- [15] S.Chikh <http://www2.horizons-dz.com/IMG/pdf/16-05-2016bb.pdf> 2,Op.Cit,p.0
- [16] NREL, « Cos t and Performance Assumptions for Modeling Electricity Generation Technologies » ,2010
- [17] site Ministère de l'énergie de l'Algérie <https://www.energy.gov.dz/>
- [18] L. Taybe ,articl , « The Role of Renewable Energy Projects in Boosting the Production of Electrical Energy in Algeria » , Université de tebssa, 2021 .
- [19] Turbine a gaz V94.2, manuel pour le fonctionnement et la maintenance Par ansaldo

Energia (document interne de l'entreprise)

[20] formation opérateurs de la turbine à gaz V94.2 Par ansaldo Energia (document interne de l'entreprise).

[21] H. Othman «fonctionnement d'une centrale électrique turbine à gaz», Rapport de stage, Université de Alger (USTHB), (2014).

[22] Document pays de la République algérienne, Energy Sector in Algeria, Tenth Arab Energy Conférence, Abu Dhabi, United Arab Emirates 21-23 décembre 2014.

[23] http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaique.asp

[24] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller et B. S. Sy, « Le pompage photovoltaïque manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », université d'Ottawa, 1998.

[25] M. Chaabene, « Gestion énergétique des panneaux photovoltaïques », mémoire de magister, université de Sfax, 2008.

[26] <https://photovoltaique-energie.fr/l-effet-photovoltaique.html>

[27] <http://energie-developpement.blogspot.com/2012/01/cellulesphotovoltaique-technologies.html>

[28] Alain Ricaud, « Les convertisseurs photovoltaïques, Gisement solaire, cellules, modules et champs de module », European Master in Renewable Energy, Valbonne, 2011.

[29] D. Bouchers, « Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au Pompage », mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2007.

[30] A. T. Singo, « Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat.électrique », mémoire de magister, université de Tlemcen, 2010.

[31] Otman Benseddik, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master2, université Kasdi Merbah- Ouargla, 2012

[32] B. Mohamed, A. Taha Yacine, « étude technico-économique d'une installation photovoltaïque autonome », mémoire de master, université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2017.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences et de la Technologie



جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الآلية والكهروميكانيك

غرداية في : 04/06 /2025

شعبة طاقات متجددة

تخصص طاقات متجددة والبيئة

شهادة ترخيص بالتصحيح والاياداع:

انا الاستاذ نورالدين بن باهة
بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس) المعنونة بـ:

Production d'électricité en Algérie :
La transition du gaz vers le photovoltaïque

من انجاز الطالبة:
قيشاح ريتاج

التي نوقشت بتاريخ 20 ماي 2025

اشهد ان الطالبة قد قامت بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا
وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة .

مصادقة رئيس القسم

امضاء المسؤول عن التصحيح

