



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation

Thème

Investigation et analyse expérimentale sur la régulation
des procédés de production de vapeur et réalisation d'un
audit énergétique d'une entreprise agro-alimentaire

Par :

Benrostom Aflah et Belala Abdelheq

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
TITAH Mawloud	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Président
HEMMAMI Zineb	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Examinateur
GHOUARI Adel	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Encadreur

Année 2021/2022

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier, le bon dieu de nous avoir donné le courage et la force pour la réalisation de ce travail.

Nous adressons aussi nos remerciements au **Mr.Ghouari Adel**, pour son encadrement et son aide tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous présentons également nos remerciements aux membres de jury qui nous font l'honneur d'évaluer et de juger notre travail.

Nous devons toute la reconnaissance aux enseignants (es) du département de Maintenance en Instrumentation **d'IMSI de l'université d'Oran 2**, pour leurs efforts et leurs patiences affirmés à nous transmettre leurs savoirs et leurs savoirs faire.

Enfin, nous tenons à remercier nos parents, nos frères, sœurs, amis et compagnons qui nous ont aidé, conseillé et encouragé ; trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

SOMMAIRE

Remerciements	i
Introduction générale :.....	1
Chapitre I.....	2
I.1 Introduction :.....	3
I.2 L'énergie solaire :	3
I.2.1 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire.....	4
I.3 Le rayonnement solaire :.....	4
I.3.1 Rayonnement solaire direct	7
I.3.2 Rayonnement diffus.....	7
I.3.3 Rayonnement réfléchi (albédo)	7
I.4 Le gisement solaire:	7
I.5 Application thermique de l'énergie solaire :	9
I.5.1 Eau chaude solaire	10
I.5.2 Chauffage solaire des habitations	10
I.5.3 Centrales solaires thermodynamiques :	10
I.6 Systèmes solaire thermique :	10
I.6.1 Eléments constitutif d'une installation thermique :.....	11
I.7 Le capteur solaire plan :	14
I.7.1 Principe de fonctionnement :.....	15
I.7.2 Les composants d'un capteur :	15
I.7.3 Rendement d'un capteur plan :	18
I.8 Conclusion :	19
Chapitre II.....	20

II.1	Introduction :	21
II.2	Contexte internationale :	21
II.2.1	Consommation énergétique mondiale :	21
II.3	Contexte nationale :	24
II.3.1	Consommation nationale totale :	24
II.3.2	Les ressources énergétiques nationales :	28
II.4	Stratégie de gouvernement pour le développement de solaire en Algérie :	30
II.5	Programme national en énergie renouvelable et efficacité énergétique :	32
II.5.1	Programme national en énergie renouvelable en Algérie :	32
II.5.2	Programme national d'efficacité énergétique à l'horizon 2030 :	36
II.6	Conclusion :	37
	Conclusion générale :	38
	Références et bibliographiques.....	39

Liste des figures

Figure I-1 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors l'atmosphère	5
Figure I-2 Variation du rayonnement solaire au cours de l'année	6
Figure I-3 Rayonnement direct, diffus et global.	6
Figure I-4 L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu: moyenne annuelle.	9
Figure I-5 Eléments constitutif d'une installation thermique.....	12
Figure I-6 Capteur solaire non concentrés ou stationnaires.	13
Figure I-7 Capteur solaire à concentration.	13
Figure I-8 Une installation des capteurs plans	15
Figure I-9 composants d'un capteur plan.....	16
Figure II-1 approvisionnement énergétique total par source d'énergie.	22
Figure II-2 Nouvel Atlas solaire du monde.....	30
Figure II-3 Phases de réalisation du programme national des énergies renouvelables par filière.....	34
Figure II-4 Part des différentes filières du renouvelable dans le programme à l'horizon 2030.....	35

Liste des tableaux

Tableau II-1 Production et consommation finale d'énergie selon le type d'énergie utilisé.	22
Tableau II-2 Consommation finale d'énergie, après reventilation des consommations d'électricité et de chaleur selon leur source primaire	24
Tableau II-3 Consommation finale d'énergie par secteur	24
Tableau II-4 Consommation nationale par agrégat	25
Tableau II-5 Consommation non énergétique	26
Tableau II-6 Consommation des industries énergétiques	27
Tableau II-7 Consommation nationale par forme d'énergie	28
Tableau II-8 Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique.	31
Tableau II-9 Les phases du programme par filière technologique	33

Nomenclature :

$(\alpha\tau)_{eff}$: La fraction optique efficace de l'énergie absorbée.

I_T : Le rayonnement solaire global incident sur la surface du capteur.

A_c : La surface du capteur.

Q_0 = La perte de chaleur en W.

U_L = Le coefficient de perte de chaleur W/K.m².

T_c = La température moyenne du capteur en °C.

T_a = La température ambiante en °C.

\dot{m} : Le débit massique du fluide en kg/s.

T_s : La température de sortie du capteur.

T_e : La température de d'entrée du capteur.

η : Rendement d'un capteur plan.

Introduction générale :

L'énergie a toujours constitué un enjeu vital pour l'homme et les sociétés humaines. Les comportements humains sont fortement induits par sa disponibilité ou sa non-disponibilité, son abondance ou sa pénurie. De ces comportements vont découler de nouveaux enjeux, en particulier pour l'environnement et les équilibres socio-économiques. La prise de conscience de l'importance de ces enjeux (réchauffement climatique, épuisement des ressources, augmentation des coûts de la santé, ...) devrait, nous l'espérons, permettre de tendre vers une utilisation plus rationnelle de l'énergie, une optimisation des processus énergétiques que nous mettons en œuvre tous les jours. [3]

L'énergie solaire est l'une des énergies renouvelables qui a été et continue d'être l'objectif principal de beaucoup d'ingénieurs et de chercheurs depuis les deux dernières décennies inciter par les perturbations des prix des énergies fossiles et favorisée par les avantages environnementaux ainsi que les multiples domaines d'applications parmi eux les systèmes solaires à chauffage d'eau. [2]

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit de l'électricité, c'est l'énergie solaire photovoltaïque et l'autre produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique. [1]

Chapitre I

***Etat de l'art sur l'énergie solaire et les capteurs
solaires thermiques.***

I.1 Introduction :

C'est devenu une évidence que l'énergie est indispensable dans la vie, et dans tous nos activités, et vu que les ressources primaires d'énergie sont en cours d'épuisement à cause de l'augmentation des besoins de l'homme ce qui a fait l'homme penser de réduire la consommation d'énergie primaire et chercher de autres ressources.

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques généralités sur l'énergie solaire et les différents collecteurs utilisés pour l'exploitation de cette énergie durable importante.

I.2 L'énergie solaire :

Le soleil est une sphère de $1,39 \times 10^9$ m de diamètre, composé d'une matière gazeuse intensément chaude et est, en moyenne, $1,5 \times 10^{11}$ m de la terre, à une température effective du corps noir de 5777 K (5503.85°C). La température à l'intérieur centrales est estimée de 8 106 à 40 106 K.

En effet, le soleil est une fusion continue des gaz constituants, l'hydrogène se combine pour former de l'hélium, la masse de noyau de l'hélium est inférieure à celle des quatre protons, la masse perdue dans la réaction se transforme sous forme de chaleur et d'énergie lumineuse.

Une énergie de plusieurs millions de degrés Celsius se produit à l'intérieur du soleil, Cette énergie se transfère hors de la surface du Soleil vers l'espace sous forme de rayonnements. [4]

L'énergie solaire est la force énergétique qui soutient la vie sur Terre pour toutes les plantes, les animaux et les gens. Elle offre une solution convaincante pour répondre aux besoins de sources propres et abondantes de l'énergie dans le futur.

L'énergie solaire est principalement transmise à la Terre sous forme des ondes électromagnétiques, qui peuvent également être des particules (photons). La Terre est essentiellement un énorme capteur d'énergie solaire, grandes quantités d'énergie solaire qui se manifestent sous diverses formes, comme la lumière solaire directe utilisée pour les plantes, la photosynthèse, les masses d'air chauffées provoquant le vent, et l'évaporation des océans résultant en pluie, qui forme des rivières et fournit de l'hydroélectricité. [5]

I.2.1 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

Les avantages :

Les avantages de l'énergie solaire sont multiples :

- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante.
- L'énergie est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre.
- L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage. L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes.
- Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- Le rendement énergétique est positif : il faut en moyenne entre 3 et 4 ans pour que le panneau produise l'énergie nécessaire à sa fabrication et un panneau solaire produit en moyenne entre 9 à 14 fois l'énergie qu'il a consommé pour sa fabrication.

Inconvénients :

Malgré ses multiples avantages, les énergies solaires présentent quelques limites :

- Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé.
- L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint.
- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil.
- Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes. [6]

I.3 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire, incident à la surface de la terre, est le résultat d'interactions complexes entre l'atmosphère et la surface. Au niveau mondial, les gradients latitudinaux de rayonnement sont causés par la géométrie de la terre et de sa rotation et révolution sur le soleil. Au niveau régional et local, le terrain (relief) est le principal facteur modifiant la distribution du

rayonnement. Variabilité de l'élévation, de l'inclinaison de la surface (pente) et l'orientation (aspect) et les ombres projetées par la caractéristique de terrain crée de fortes pentes locales. L'hétérogénéité spatiale et temporelle de l'énergie solaire de nombreux processus paysagers, p.ex. Température et humidité de l'air et du sol, fonte de la neige, photosynthèse et évapotranspiration, avec impact direct sur la société humaine. Précis et les données de rayonnement solaire distribuées dans l'espace sont souhaités pour diverses applications (sciences de l'environnement, climatologie, écologie, conception de bâtiments, télédétection, photovoltaïque, gestion des terres, etc.) [19].

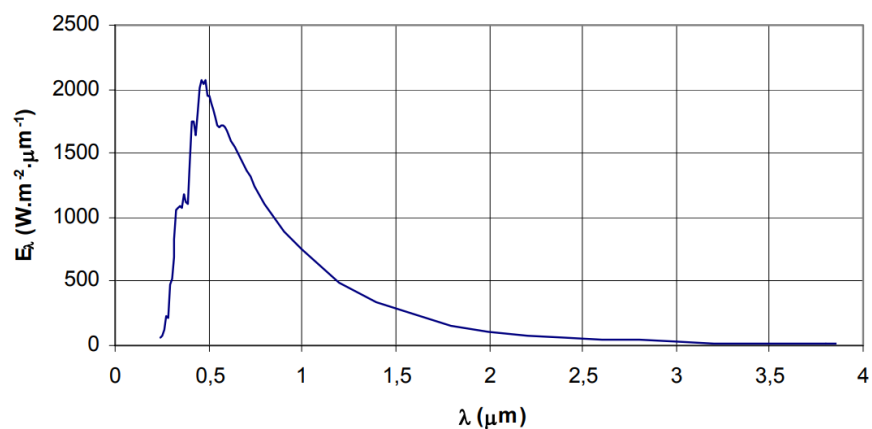


Figure I-1 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors l'atmosphère

D'après la figure, 98% des rayonnements sont émis dans des longueurs d'ondes inférieures à 4 μm .

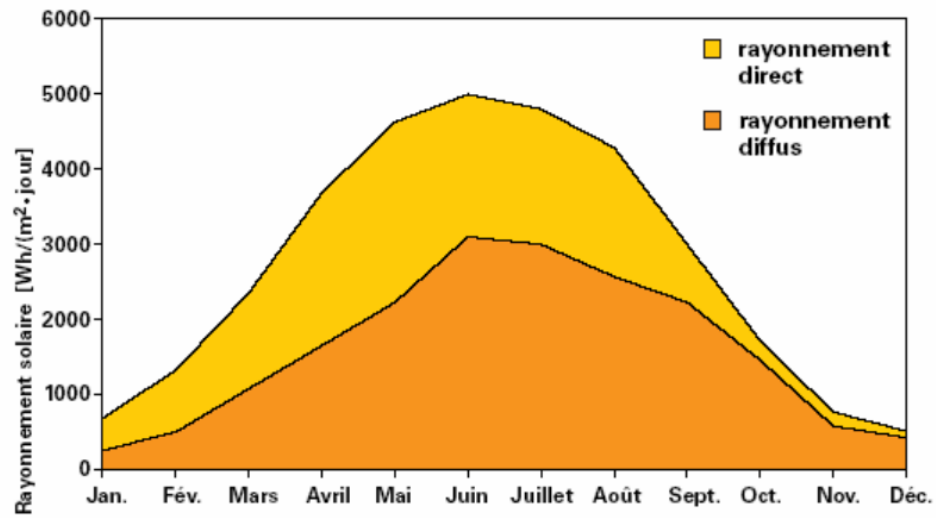


Figure I-2 Variation du rayonnement solaire au cours de l'année

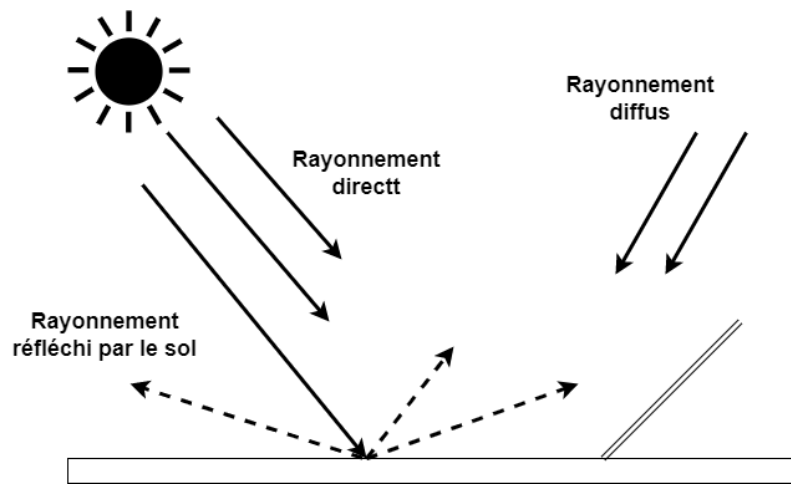


Figure I-3 Rayonnement direct, diffus et global.

Le rayonnement solaire arrive au sol directement et sous forme diffuse, l'ensemble forme le rayonnement global.

I.3.1 Rayonnement solaire direct

Le rayonnement direct est le rayonnement provenant directement du soleil sans la dissipation de l'atmosphère. L'intensité de ce type de rayonnement peut être mesurée par un instrument dite « pyrohéliomètre ».

Lorsque le soleil est complètement couvert par les nuages, le rayonnement direct sera nul.

I.3.2 Rayonnement diffus

Les couches atmosphériques, absorbent, diffusent et modifient la distribution spectrale d'une partie du rayonnement solaire. Il subit une atténuation à cause des phénomènes d'absorption et de diffusion par les poussières et les aérosols. Ce rayonnement est dite diffus, le rayonnement reçu par toute la voûte céleste. Il peut être mesuré par un pyranomètre au moyen d'une bande d'occultation. Ce rayonnement est nul que la nuit.

I.3.3 Rayonnement réfléchi (albédo)

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par une surface (sol, des objets...). Cet albédo peut être important lorsque le sol est plutôt réfléchissant (à cause de l'eau, la neige).

En toute rigueur la notion d'albédo dépend de la longueur d'onde et de la direction du rayonnement incident ainsi que de la température. L'albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

I.4 Le gisement solaire: [7]

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire.

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise:

- Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données .
- Selon le nombre d'années de mesures disponibles.

- Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure).
- Selon la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc...

En Algérie, un Atlas préliminaire a été élaboré, il est constitué d'un ensemble de 72 cartes représentant la distribution mensuelle à grande échelle des différentes irradiances solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires, il s'agit de :

- L'irradiation directe à incidence normale.
- Les irradiances de base, la diffuse et la globale mesurées sur plan horizontal.
- L'irradiation solaire globale reçue sur des plans verticaux orientés Est, Ouest et Sud.

- L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu et orienté Sud.
La distribution à grande échelle de sa moyenne annuelle est donnée par la figure ci-dessous.

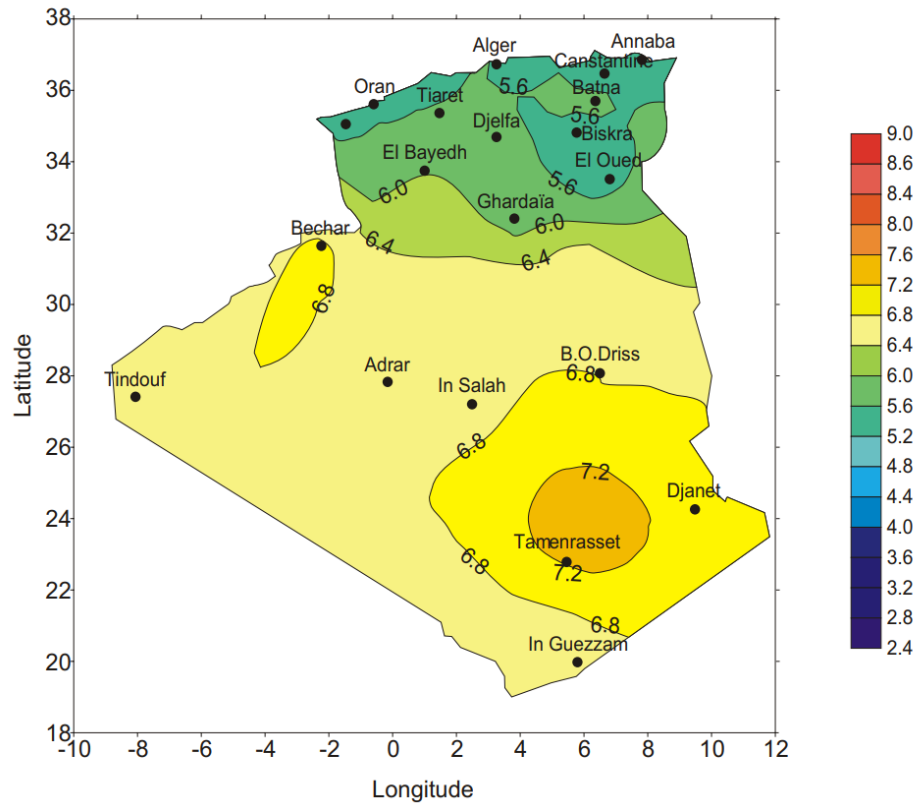


Figure I-4 L'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu: moyenne annuelle. [7]

I.5 Application thermique de l'énergie solaire : [8]-[9]

L'énergie solaire thermique est l'énergie qui est produite par la transformation des rayonnements solaire en énergie thermique. Cette transformation peut être utilisée directement, comme par exemple le chauffage de l'eau sanitaire à l'aide des capteurs solaire, ou indirectement dans le cas de la production de l'électricité dans une centrale thermodynamique solaire. Le solaire thermique est basé sur l'utilisation de la chaleur transmise par rayonnement qui est différente de celle du photovoltaïque où l'électricité est générée par l'énergie des photons. A l'aide des progrès technologiques, les techniques de captation directe d'une partie de l'énergie solaire sont nettement améliorées afin de rendre les systèmes solaires plus fiables, efficaces et rentables.

On peut citer :

I.5.1 Eau chaude solaire

La production d'eau chaude sanitaire est actuellement l'application la plus répandue de l'énergie solaire thermique. L'installation classique comprend essentiellement un groupe de capteurs plans, une capacité de stockage et généralement un dispositif de régulation et une source d'appoint. La température de l'eau chaude sanitaire est en effet relativement réduite et les capteurs solaires plans conviennent bien à ce type de production d'eau chaude.

I.5.2 Chauffage solaire des habitations

Le chauffage solaire du bâtiment fait un appel à des capteurs à air ou à eau, mais avec des surfaces par logement plus grandes. La chaleur peut être distribuée par des radiateurs à eau chaude ou des planchers ou plafonds chauffants. L'utilisation de la chaleur solaire pour le chauffage du bâtiment demande le recours à une forme de stockage. Il est possible de stocker de l'énergie sous forme d'eau chaude dans des réservoirs de plusieurs mètres cubes, ce système permet de s'affranchir en partie du caractère intermittent de l'énergie solaire

I.5.3 Centrales solaires thermodynamiques :

Les centrales solaire thermodynamique produit l'électricité à partir des collecteurs des rayonnements solaire, ces collecteurs permettent de concentrer l'énergie solaire en un point précis afin de chauffer un fluide caloporteur, ce fluide à haute température, qui peut être de l'air, des huiles, de l'eau liquide, transmet sa chaleur à un circuit d'eau qui génère de la vapeur et tourne une turbine pour produire de l'électricité.[20]

I.6 Systèmes solaire thermique :

Les systèmes solaires sont des systèmes qui convertir l'énergie solaire en énergie thermique via des éléments et dispositifs spéciaux.

L'énergie solaire thermique est utilisée depuis des siècles par les peuples anciens pour le chauffage et le séchage. Plus récemment, dans une grande variété de processus thermiques, l'énergie solaire a été développée pour la production d'énergie, le chauffage de l'eau, le séchage mécanique des cultures et la purification de l'eau.

Les applications les plus importantes sont :

- pour moins de 100 °C : chauffage de l'eau à usage domestique et piscines, chauffage des bâtiments et systèmes d'évaporation comme la distillation et les séchoirs;
- pour moins de 150 °C : climatisation, refroidissement et chauffage de l'eau, du mazout ou de l'air pour l'industrie utilisation;
- pour les températures comprises entre 200 °C et 2000 °C : production d'énergie électrique et mécanique; et
- pour moins de 5 000 °C : fours solaires pour le traitement des matériaux.

I.6.1 Eléments constitutif d'une installation thermique :

Tout système solaire thermique constitue les éléments suivants :

- ❖ Un capteur solaire thermique.
- ❖ Un fluide caloporteur.
- ❖ Échangeur de chaleur.
- ❖ Ballon de stockage.

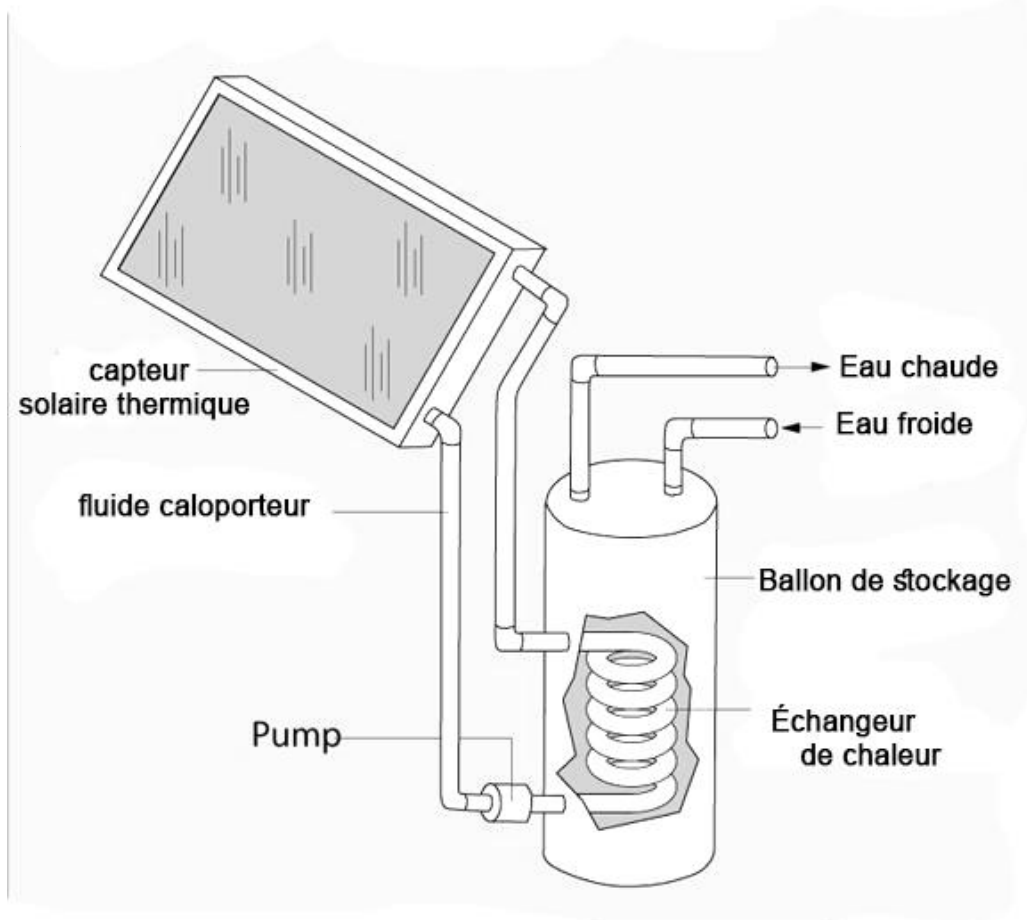


Figure I-5 Eléments constitutif d'une installation thermique

I.6.1.1 Le capteur solaire thermique :

Les capteurs solaires sont des échangeurs de chaleur spéciaux qui transforment l'énergie solaire en énergie du moyen de transport.

Les capteurs solaires est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire entrant, le convertit en chaleur, et transmette cette chaleur vers un fluide (généralement l'air, l'eau ou l'huile) qui traverse le collecteur, ce fluide s'appelle le fluide caloporteur.

L'énergie solaire est transportée par le fluide caloporteur soit directement vers l'eau chaude ou l'équipement de conditionnement de l'espace, ou vers un réservoir de stockage d'énergie thermique.

Il existe essentiellement deux types de capteurs solaires : non concentrés ou stationnaires et concentrés.



Figure I-6 Capteur solaire non concentrés ou stationnaires.



Figure I-7 Capteur solaire à concentration.

Un collecteur non concentré a la même zone pour intercepter et absorber le rayonnement solaire, alors qu'un collecteur solaire de concentration a généralement réfléchissant concave surface pour intercepter et concentrer le rayonnement solaire sur une zone de réception plus petite, ce qui permet d'augmenter le flux de rayonnement. [10]

I.7 Le capteur solaire plan :

Les capteurs solaires plans sont les plus utilisées pour les installations résidentielles de chauffage de l'eau et des locaux. Il se compose d'un absorbeur, feuilles de couverture transparentes et une boîte isolée. L'absorbeur est généralement une feuille de métal à haute conductivité thermique avec des tubes ou des conduits soit intégrés ou attachés. Sa surface est peinte ou enduit pour maximiser l'absorption des rayonnements, et dans certains cas pour minimiser le rayonnement. La boîte isolée fournit la structure et l'étanchéité et réduit les pertes de chaleur de l'arrière ou des côtés du collecteur. Les feuilles de couverture, appelé vitrage, laisse la lumière du soleil pour passer à travers l'absorbeur, mais isoler l'espace au-dessus de l'absorbeur pour empêcher l'air frais de couler dans cet espace. Cependant, le verre reflète également une petite partie de la lumière du soleil, qui n'atteint pas l'absorbeur. [11]



Figure I-8 Une installation des capteurs plans

I.7.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un capteur solaire plan est basé sur le transfert de chaleur. Lorsque le rayonnement solaire incident frappe la surface de la plaque absorbante, une partie de son énergie est convertie en chaleur. Par conséquent, la température du capteur solaire augmente.

Si nous passons un fluide à l'intérieur du collecteur, la température du fluide augmente parce qu'une partie de la chaleur de la plaque absorbante est transférée au liquide selon la première et deuxième loi de la thermodynamique. Cependant, le reste de l'énergie est encore perdu dans le rayonnement de l'environnement extérieur.

Le fluide transporte la chaleur du collecteur aux échangeurs de chaleur pour alimenter le système. [21]

I.7.2 Les composants d'un capteur : [12]-[5]

En générale, un capteur plan se compose d'un coffre, un vitrage, un absorbeur, une isolation et de tubes permettant de circulation de fluide caloporteur.

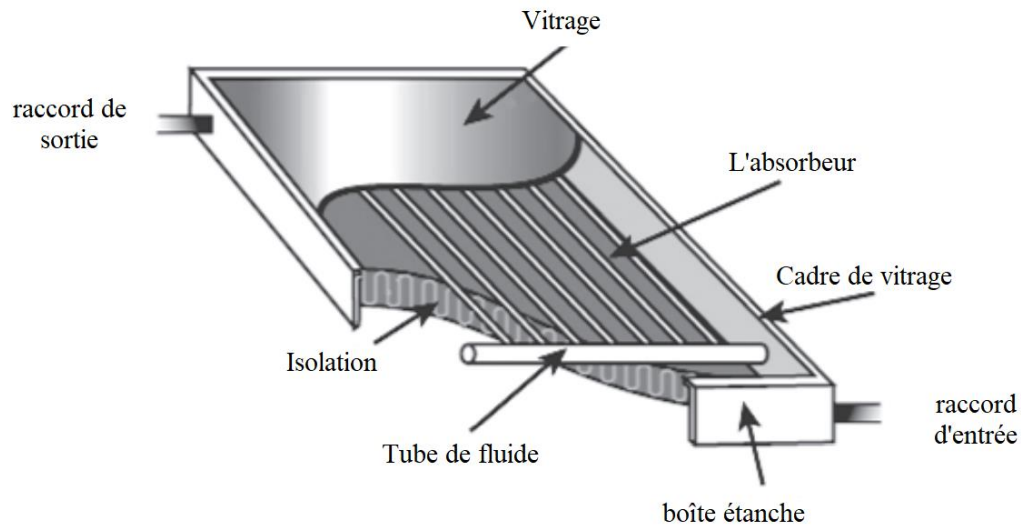


Figure I-9 composants d'un capteur plan

Lorsque de déplacement de rayonnement solaire à travers la couverture, le capteur plan gagne une énergie. Cette énergie est absorbée en une fraction égale à la capacité d'absorption(α) du récepteur-métal noir.

Plus le facteur de transmission (τ) du vitrage n'est élevé, plus le rayonnement atteint la plaque d'absorbeur.

L'énergie gagnée par l'absorbeur donné par la relation suivante :

$$Q_r = (\alpha\tau)_{eff} I_T A_c \quad (I-1)$$

Avec :

$(\alpha\tau)_{eff}$:La fraction optique efficace de l'énergie absorbée.

I_T : Le rayonnement solaire global incident sur la surface du capteur.

A_c : La surface du capteur.

Si I est l'intensité du rayonnement solaire, en W/m^2 , incidente sur le plan d'ouverture du capteur solaire avec une surface du capteur A , en m^2 , alors la quantité de rayonnement solaire reçu par le capteur peut être exprimée par l'équation suivante :

$$Q_i = I_T \times A_c \quad (I-2)$$

La température d'un capteur plan est de plus en plus supérieure à celle de l'énergie thermique environnante, Il est émis dans l'atmosphère par convection et rayonnement. Le taux de perte de chaleur Q_0 dépend du coefficient de transfert thermique global de capteur et de sa température U_L de capteur et de sa température.

Le taux de perte de chaleur peut être exprimé par l'équation suivante :

$$Q_0 = U_L A_c (T_c - T_a) \quad (I-3)$$

Avec :

Q_0 = La perte de chaleur en W.

U_L = Le coefficient de perte de chaleur $W/K.m^2$.

T_c = La température moyenne du capteur en °C.

T_a = La température ambiante en °C.

Ainsi, le capteur extrait un taux d'énergie utile Q_u , exprimée en taux d'extraction dans des conditions d'état stable, est proportionnelle à l'énergie utile absorbée par le capteur moins la quantité perdue par le capteur. C'est exprimé comme suit :

$$Q_u = Q_r - Q_0 = (\alpha\tau)_{eff} I_T A_c - U_L A_c (T_c - T_a) \quad (I-4)$$

Le taux d'extraction Q_u peut être mesuré au moyen de la quantité de chaleur emportée par le fluide qui le traverse et qui peut être exprimée comme suit :

$$Q_u = \dot{m}cp(T_s - T_e) \quad (I-5)$$

Où:

\dot{m} : Le débit massique du fluide en kg/s.

T_s : La température de sortie du capteur.

T_e : La température de d'entrée du capteur.

Il est difficile de mesurer la température moyenne du collecteur, l'équation (II 3) donc se révèle être quelque part inapproprié

Il est facile de définir une grandeur qui concerne le gain en énergie utile réelle d'une surface de collecteur qui est à la température d'entrée du fluide. Cette quantité est connue comme le facteur d'élimination de la chaleur du collecteur, et F_R est signalée par l'équation (II 6) . En effet, les facteurs d'évacuation de la chaleur du collecteur sont de trois types.

$$F_R = \frac{\dot{m}cp(T_s - T_e)}{A_c[(\alpha\tau)_{eff} I_T - U_L(T_e - T_a)]} \quad (I-6)$$

I.7.3 Rendement d'un capteur plan :

Le rendement du capteur est défini comme le rapport de gain d'énergie utile Q_u , sur l'énergie solaire incidente:

$$\eta = \frac{\int Q_u}{\int I_T dt} \quad (I-7)$$

Et le rendement thermique du capteur peut être exprimé comme suit :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (I-8)$$

$$\eta = \frac{F_R A_c [(\alpha\tau)_{eff} I_T - U_L(T_e - T_a)] Q_u}{A_c I_T} \quad (I-9)$$

$$\eta = F_R (\alpha\tau)_{eff} - F_R U_L \left(\frac{T_e - T_a}{I_T} \right) \quad (I-10)$$

I.8 Conclusion :

Les énergies nouvelles ou les énergies renouvelables sont une alternative viable de l'énergie fossile, c'est pour ça les chercheurs ont effectué de nombreuses recherches à cet égard.

Nous avons présenté dans ce chapitre l'importance de l'énergie solaire, surtout en Algérie, et on a présenté aussi les system solaire thermique et ses éléments principaux et quelque caractéristique importante.

Chapitre II

Contextes énergétiques.

II.1 Introduction :

Le monde assiste aujourd'hui à un changement fondamental dans le domaine des énergies. L'approvisionnement fortement centralisé en énergie issue de combustibles fossiles cède le pas à des systèmes de production d'énergies renouvelables de plus en plus décentralisés, adaptés à l'échelle des différents besoins énergétiques.

II.2 Contexte internationale :

II.2.1 Consommation énergétique mondiale :

Actuellement la principale source d'énergie au niveau mondial, provient des combustibles fossiles conventionnels (pétrole, gaz naturel et charbon) qui cumulent deux aspects négatifs importants : ils sont présents sur terre en quantité limitée, et émettent des GES lors de leur combustion. [12]

II.2.1.1 Production et consommation finale d'énergie selon le type d'énergie utilisé (PJ) :

Type d'énergie	Production d'énergie primaire 1990	Consom. finale 1990	Part dans la consom. 1990	Production d'énergie primaire 2019	Consom. finale 2019	Variation consom. 2019/1990	Part dans la consom. 2019
Pétrole	135 720	109 114	42 %	190 442	168 974	+55 %	40,4 %
Gaz naturel	70 653	39 544	15 %	143 639	68 405	+73 %	16,4 %
Charbon	93 038	31 470	12 %	167 549	39 786	+26 %	9,5 %
Nucléaire	22 002	-	-	30 461	-	+38 %	-
Hydroélectricité	7 704	-	-	15 195	-	+97 %	-

Éolien, solaire, géoth.	1 533	144	-	13 417	2 318	x16	0,6 %
Biomasse et déchets	36 658	31 825	12 %	56 539	4 3 415	+36 %	10,4 %
Électricité	-	34 928	13 %	-	8 2 252	+135 %	19,7 %
Chaleur	4	14 072	5 %	95	1 2 823	-9 %	3,1 %
Total	367 313	261 096	100 %	617 338	4 17 973	+60 %	100 %

Tableau II-1 Production et consommation finale d'énergie selon le type d'énergie utilisé. [17]

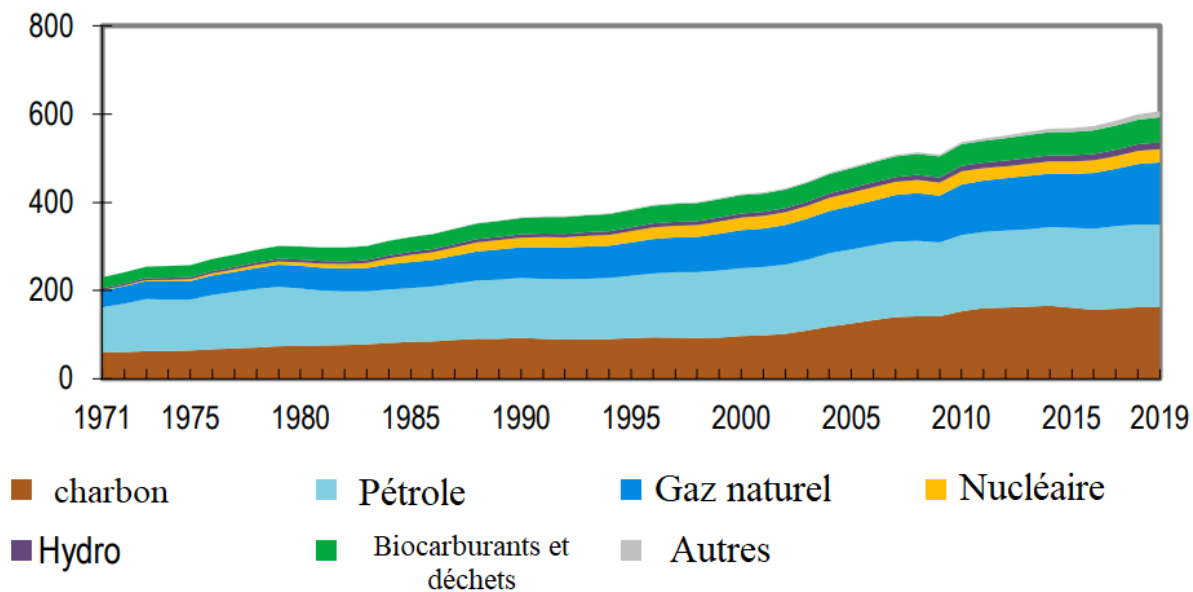


Figure II-1 approvisionnement énergétique total par source d'énergie. [18]

II.2.1.2 Consommation finale d'énergie, après reventilation des consommations d'électricité et de chaleur selon leur source primaire (Pétajoules) :

Type d'énergie	Consom. finale 1990	Part dans la consom.	Consom. finale 2019	Part dans la consom.	Variation consom. 2019/1990
Charbon	48 753	18,7 %	75 620	18,1 %	+55 %
Pétrole	115 259	44,1 %	171 659	41,1 %	+49 %
Gaz naturel	51 847	19,9 %	92 915	22,2 %	+79 %
Total fossiles	215 860	82,7 %	340 195	81,4 %	+58 %
Nucléaire	5 949	2,3 %	8 506	2,0 %	+43 %
Hydroélectricité	6 433	2,5 %	13 166	3,1 %	+105 %
Biomasse et déchets	32 349	12,4 %	45 865	11,0 %	+42 %
Géoth., sol.th.	264	0,1 %	2 633	0,6 %	+897 %
Éolien	11	0,004 %	4 341	1,0 %	x 381
Solaire	2	0,001 %	2 112	0,5 %	x 954
Total EnR	39 061	15,0 %	68 120	16,3 %	+74 %
Autres	141	0,05 %	635	0,2 %	+350 %
Déchets non renouv.	85	0,03 %	515	0,1 %	+503 %

Total	261 096	100 %	417 971	100 %	+60 %
-------	---------	-------	---------	-------	-------

Tableau II-2 Consommation finale d'énergie, après reventilation des consommations d'électricité et de chaleur selon leur source primaire [17]

II.2.1.3 Consommation finale d'énergie par secteur :

Pétajoule	Consommation finale 1990	Part dans la consommation	Consommation finale 2019	Variation consommation 2019/1990	Part dans la consommation
Industrie	75 137	29 %	120 979	+61 %	29 %
Transport	65 967	25 %	120 972	+83 %	29 %
Secteur résidentiel	63 275	24 %	87 780	+39 %	21 %
Secteur tertiaire	18 727	7 %	33 659	+80 %	8 %
Agriculture+pêche	7 138	3 %	9 227	+29 %	2 %
Non spécifié	10 872	4 %	6 653	-39 %	2 %
Usages non énergétiques	19 980	8 %	38 703	+94 %	9 %
Total	261 096	100 %	417 973	+60 %	100 %

Tableau II-3 Consommation finale d'énergie par secteur [17]

II.3 Contexte nationale :

II.3.1 Consommation nationale totale :

II.3.1.1 Evolution des différents agrégats :

La consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) a atteint 66,9 M Tep en 2019, reflétant une hausse de 3,0% par rapport à 2018, tirée par celle de la consommation finale (+4,6%).

A l'inverse, la consommation non énergétique a enregistré une diminution importante de (-10,3%), à la suite de la baisse des enlèvements en gaz naturel de la filière pétrochimique. [14]

Unité : K Tep	2018	2019	quantité	%
Consommation finale	48146	50359	2213	4.6
Consommations non- énergétiques	4999	4487	-512	-10.3
Consommations des industries énergétiques	7278	7395	117	1.6
Pertes	4540	4661	121	2.7
CONSOMMATION NATIONALE	64964	66902	1939	3.0

Tableau II-4 Consommation nationale par agrégat [14]

II.3.1.1.1 Consommation non énergétique :

La consommation non-énergétique indique les quantités consommées comme matière première dans l'industrie pétrochimique et autres. Elle a atteint 4,5 M Tep en 2019 en baisse (-10,3%) par rapport à 2018, suite à la diminution de plus de 500 millions de m³ des enlèvements en gaz naturel des clients de Sonatrach de la filière pétrochimique, essentiellement les unités de fertilisants de Fertial, d'AOA et Sorfert. Aussi, l'utilisation des produits pétroliers à usage non-énergétique a baissé de 2,7% en 2019 à 0,5 M Tep.

Produit	Unités	2018	2019	Evolution	
				Quantité	%
Gaz nature	K Tep	4489	3991	-499	-11.1
	106 m ³	4751	4223		
	K Tep	510	496	-14	-2.7

Produits pétroliers (Bitumes & lubrifiants)	K Tonnes	487	474		
TOTAL	K Tep	4999	4487	-512	-10.3

Tableau II-5 Consommation non énergétique [14]

Cette baisse a induit à un recul de la part des industries non énergétiques dans la consommation nationale, d'un point à 6,7 % contre 7,7% en 2018.

II.3.1.1.2 Consommation des industries énergétiques :

La consommation des industries énergétiques concerne celles des unités de transformation et des infrastructures du transport (raffineries, centrales électriques, unités GNL & GPL, Oléoducs et Gazoducs...). Sa part s'élève à plus de 11% de la consommation nationale. Elle a atteint 7,4 M Tep, en hausse (1,6%) par rapport à 2018, en raison notamment de la croissance des utilisations du gaz naturel (input) dans les unités de liquéfaction (+14,7%), passant de 4,4 milliards de m³ à 4,8 milliards de m³ en 2018. [14]

Produit	Unités	2018	2019	Evolution	
				Quantité	%
Pétrole brut	K Tep	559	431	-129	-23.0
	K Tonnes	507	390		
Gaz nature	K Tep	4202	4561	359	8.6
	106 m ³	4446	4827		
Electricité	K Tep	2039	2139	100	4.9
	GWh	8515	9303		
Gaz de Hauts Fourneaux (GHF)	K Tep	432	256	-176	-40.8
	106 m ³	458	9303		

Autres (GPL)	K Tep	46	8	-37	-82.1
	K Tonnes				
TOTAL	K Tep	7278	7395	117	1.6

Tableau II-6 Consommation des industries énergétiques [14]

II.3.1.2 Evolution par forme d'énergie :

La consommation nationale a augmenté de 3,0% par rapport au niveau de 2018, tirée par celle du gaz naturel et des produits pétroliers (3,9% chacun), comme détaillé ci-dessous.

Produit	Unités	2018	2019	Evolution	
				Quantité	%
Gaz naturel	K Tep	24982	25947	965	3.9
	106 m ³	26436	27458		
Produits pétroliers	K Tep	16105	16730	625	3.9
	K tonnes	14405	16010		
Electricité	K Tep	18337	18714	377	2.1
	GWh	76572	81384		
GPL	K Tep	2638	2860	223	8.4
	K tonnes	2235	2424		
Pétrole brut	K Tep	1151	1070	-81	-7.1
	K tonnes	1044	970		
Condensat	K Tep	28	27	-1	-1.9

	K tonnes	24	24		
Produits solides dont :	K Tep	90	67	-23	-25.9
Coke Sidérurgique	K tec	97	80		
Bois	103 m ³	113	56		
Autres:	K Tep	1633	1486	-1.47	-9.0
GNL	106 m ³	267	295		
GHF	106 m ³	1461	1278		
Total	K Tep	64964	66902	1939	3.0

Tableau II-7 Consommation nationale par forme d'énergie [14]

II.3.2 Les ressources énergétiques nationales :

II.3.2.1 Energie renouvelable :

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

II.3.2.1.1 Energie solaire :

L'Algérie est parmi les pays les mieux dotés en ressources solaires au monde. Vu sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

II.3.2.1.2 Energie éolienne :

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifié. En effet, l'Algérie qui est un vaste

pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen qui est caractérisé, par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.

En Afrique, le développement de l'énergie éolienne reste faible avec 4.53GW. L'Algérie, accuse actuellement un retard dans le développement des énergies renouvelables, cependant, compte tenu de l'important programme gouvernemental en la matière, ce secteur recèle de réelles opportunités d'investissements au même titre que pour le solaire. A ce jour, une première ferme éolienne de 10MW a été installée dans la région de Kaberten dans la wilaya d'Adrar.

II.3.2.1.3 Energie Géothermique :

La géothermie, source d'énergie renouvelable, permet de produire deux formes d'énergie à savoir : l'électricité et la chaleur. Elle peut répondre au concept de cogénération géothermique (production combinée d'électricité et de chaleur). L'exploitation de l'énergie géothermique est en premier lieu locale. En effet, les centrales géothermiques permettent l'alimentation in situ et des régions avoisinantes par l'énergie d'origine géothermique.

Ce type d'installation peut contribuer à la décentralisation de l'énergie et répondre aux besoins en énergie des régions isolées et montagneuses.

II.3.2.2 Energies Fossiles :

II.3.2.2.1 Pétrole :

L'Algérie est un pays membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP). Elle est le 3ème producteur de pétrole (2019) en Afrique derrière le Nigeria et l'Angola et le 11ème exportateur de pétrole (2019) à l'échelle mondiale et occupe la 16ème place mondiale en matière de réserves pétrolières (2019) et 16ème producteur mondial de pétrole (2019).

La géologie du pays et sa proximité aux marchés européens sont propices. La Sonatrach est le groupe pétrolier algérien chargé de la production, du transport, de la transformation et de la commercialisation des hydrocarbures. La Sonatrach a été classée 1ère société en Afrique et 12ème plus grand groupe pétrolier au monde par le Petroleum Intelligence Weekly.

II.3.2.2.2 Gaz :

L'Algérie est classée comme 1er producteur africain de gaz (plus de 50 % de la production de gaz en Afrique) et classée en 2020, comme 10ème producteur de gaz à l'échelle mondiale. L'Algérie est le 3ème fournisseur de gaz naturel de l'Europe.

En matière de réserves prouvées en gaz naturel, l'Algérie dispose, au 1/1/2017, de plus 4500 milliards de m^3 .

II.4 Stratégie de gouvernement pour le développement de solaire en Algérie :

En raison de sa situation géographique, l'Algérie est classée comme étant l'un des pays les mieux dotés en ressources solaires au monde et au bassin méditerranéen (Figure 8) ; soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. [16]

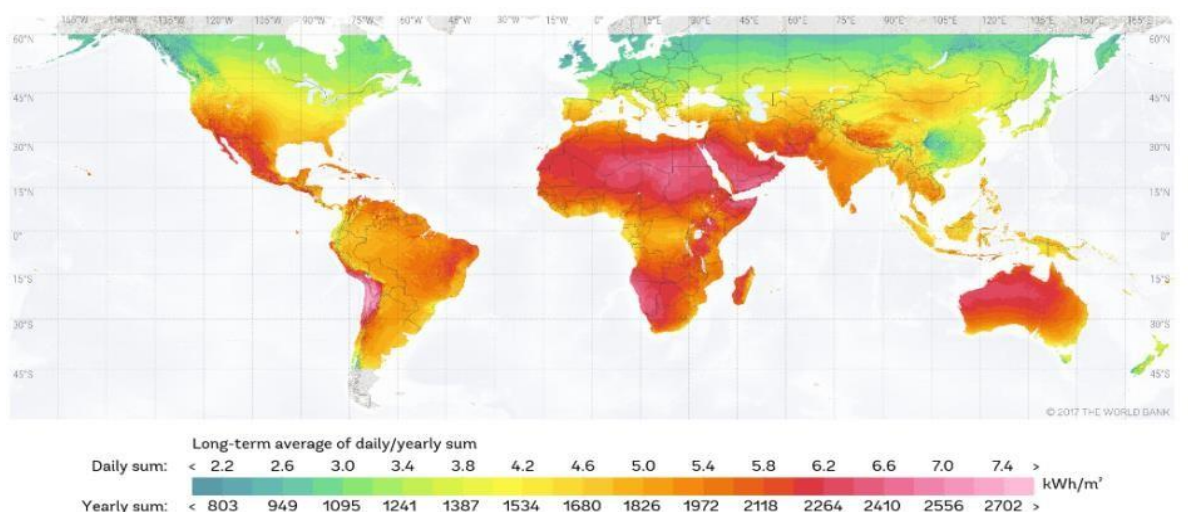


Figure II-2 Nouvel Atlas solaire du monde

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards GW/h par an avec une durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépassant les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et au Sahara.

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m²/an)	1700	1900	2650

Tableau II-8 Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique.

À travers le tableau ci-dessus, on constate que le potentiel solaire le plus important et qui couvre 86 % de la superficie du territoire est situé dans le sud du pays. Des études précédentes ont déjà confirmé la grande capacité du désert à recevoir de l'énergie, notamment l'étude menée par le physicien allemand Gérard Knies qui démontre que six heures d'ensoleillement du Sahara permettraient de stocker de l'électricité pour l'ensemble du genre humain pendant une année entière. Par ailleurs, une autre étude évoquée par un économiste algérien, Bachir Messaitfa, dans son livre Algérie 2030-vision prospective, assure la capacité du Sud algérien à satisfaire la demande mondiale en énergie électrique en moyenne de (4) quatre fois, tout en respectant la norme de la sécurité énergétique).

Ce gigantesque gisement solaire a donc permis à l'Algérie d'y aller en avant vers une transition énergétique qui va assurer, à long terme, une transformation profonde de la consommation énergétique du pays en devenant de moins en moins dépendant des énergies fossiles, et cela en raison du contexte international qui engage les pays à renforcer leurs politiques environnementales et lutter contre le réchauffement climatique. Et aussi pour faire face à la demande énergétique croissante du pays.

Ainsi, le gouvernement a adopté un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables en Algérie en février 2011, il est apparu dans sa phase expérimentale et de veille technologique, des éléments nouveaux et pertinents sur la scène énergétique, aussi bien nationale

qu'internationale, nécessitant la révision du programme de développement des énergies renouvelables. Parmi ces éléments, il convient de citer (Ministère de l'Énergie, 2016) :

- Une meilleure connaissance du potentiel national en énergies renouvelables à travers les études engagées, lors de cette première phase, notamment les potentiels solaires et éoliens ;
- La baisse des coûts des filières photovoltaïque et éolienne qui s'affirment de plus en plus sur le marché pour constituer des filières viables à considérer (maturité technologique, coûts compétitifs) ;
- Les coûts de la filière CSP (solaire thermique) qui restent élevés associés à une technologie non encore mature notamment en termes de stockage avec une croissance très lente du développement de son marché.

Ce programme actualisé en mai 2015, consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent.[16]

II.5 Programme national en énergie renouvelable et efficacité énergétique :

II.5.1 Programme national en énergie renouvelable en Algérie : [15]

L'Algérie a amorcé un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique en 2011 qui a prévu la production de 40% de l'électricité d'origine renouvelable à l'horizon 2030. Le programme a été divisé en trois phases : (2011-2013), (2014-2020), (2021-2030).

Sur la période 2011-2013, le programme a fixé un objectif pour arriver à un taux d'intégration de l'industrie algérienne de 60%. Cet objectif a été fixé parallèlement à la réalisation d'une usine de fabrication de modules photovoltaïques d'une capacité équivalente à 120MW/c/an par le groupe Sonelgaz à travers sa filiale Rouïba –Eclairage.

Sur la période 2014-2020, l'objectif est d'atteindre un taux d'intégration des capacités algériennes de 80%. Sur la période 2015-2020, l'objectif est d'atteindre un taux d'intégration supérieur à 80%.

Il faut rappeler que la période 2011-2014 a vécu un vrai décalage entre les objectifs fixés et les résultats obtenus à cause de l'annulation du contrat avec le partenaire allemand pour la réalisation de l'usine Rouïba-Eclairage. Pour cela, le programme a été rectifié en 2015.

Le nouveau programme prévoit la production de 27% de l'électricité d'origine renouvelable à l'horizon 2030. Le programme est divisé en deux phases :

- **La première phase (2015-2020)** : qui prévoit la production de 4 525 MW des énergies renouvelables, dont le solaire photovoltaïque représentera 3 000 MW.
- **La deuxième phase (2021-2030)** : la production estimée dans cette période est de 17 475 MW, le solaire photovoltaïque représentera 10 575 MW.

Le tableau suivant montre la part de chaque type d'énergies renouvelables dans les deux phases en MW.

	1ère phase 2015- 2020 [MW]	2ème phase 2021- 2030 [MW]	Total [MW]
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
Biomasse	360	640	1000
Cogénération	150	250	400
Géothermie	05	10	15
Total	4525	17475	22000

Tableau II-9 Les phases du programme par filière technologique [22]

Le graphe suivant exprime la part de chaque type d'énergies renouvelables dans chaque phase du programme.

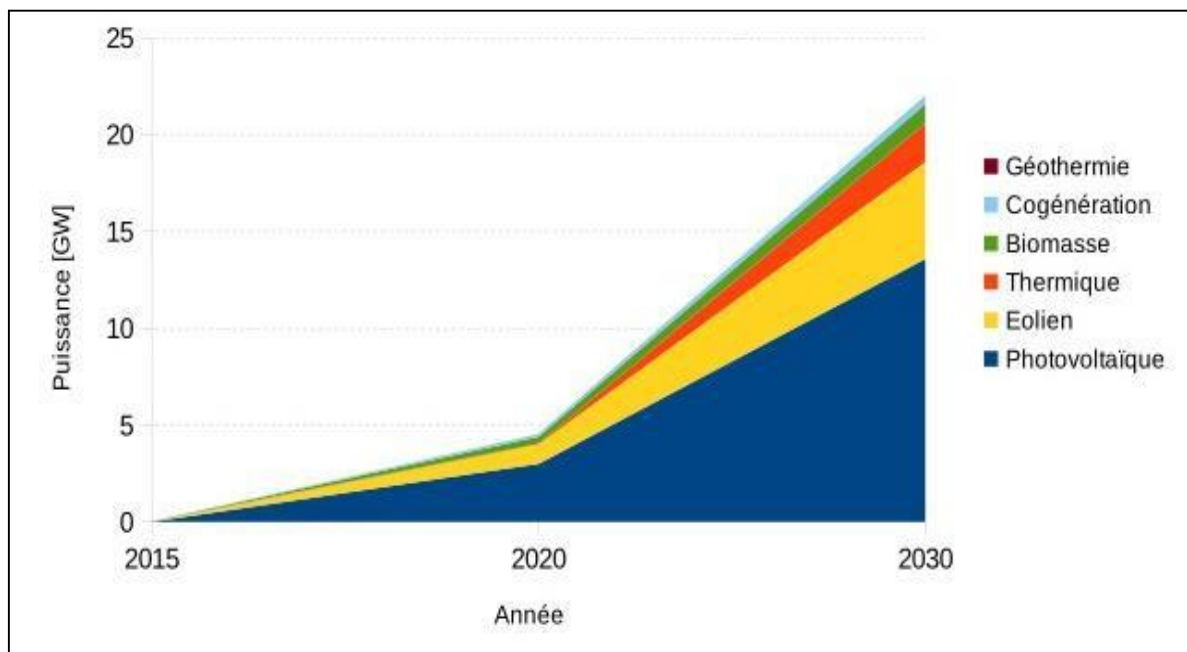


Figure II-3 Phases de réalisation du programme national des énergies renouvelables par filière

Une part significative a été consacrée pour l'énergie solaire PV dans toutes les phases de réalisation du programme. C'est une logique expliquée par l'immense gisement solaire que dispose l'Algérie, ce qui encourage l'investissement dans ce type d'énergie. Aussi, la technologie PV est la technologie la plus dominante au niveau mondial par rapport à la technologie de l'énergie solaire thermique.

L'énergie éolienne occupe la deuxième place dans le programme (dans toutes les phases), grâce aussi au gisement éolien important disponible en Algérie. Ces deux types d'énergies renouvelables (solaire PV et éolien) sont suivis, par ordre, la CSP, la biomasse, la cogénération et la géothermie.

En plus, ce graphe nous montre que l'exploitation de l'énergie solaire PV prendra son vrai déclanchement dans la deuxième phase (2020-2030), avec une puissance de 10 575 MW, soit plus de trois fois plus que la première phase (2015-2020) estimée de 3000 MW. Tout

simplement, parce que la première phase est généralement une phase pour la R&D et la deuxième pour le vrai décollage. Concernant l'énergie éolienne, l'évolution est très significative avec une part de 4000 MW dans la deuxième phase, soit presque quatre fois plus que la première estimée de 1010 MW.

Le graphe ci-dessous montre la part de chaque type d'énergies renouvelables dans le programme pour la période 2015-2030.

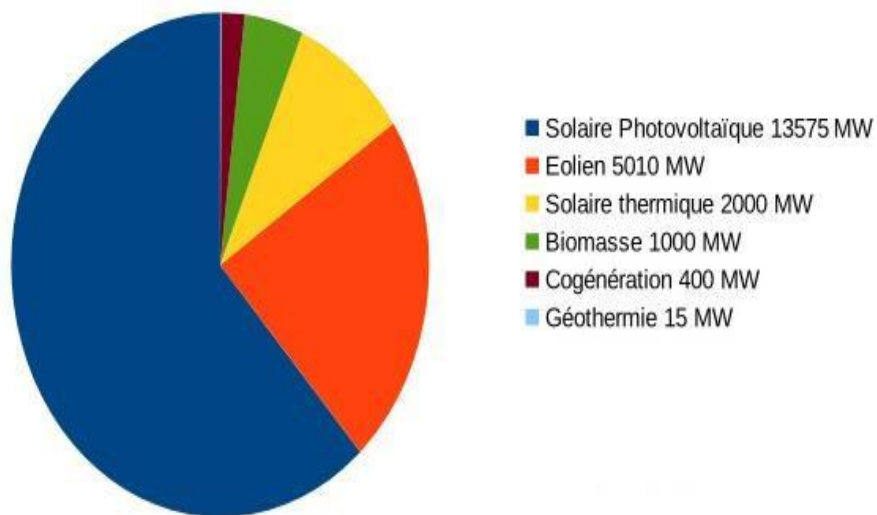


Figure II-4 Part des différentes filières du renouvelable dans le programme à l'horizon 2030

Le graphe a bien défini la part de chaque filière d'énergies renouvelables dans le programme. Le photovoltaïque a pris la part de lion avec 13 575 MW soit 61,7% du total, suivi par l'éolien avec une part de 5010 MW qui représente 22,77%, puis le solaire thermique (CSP) avec une part de 2000 MW, soit 9.09%, la biomasse avec une part de 1000 MW, soit 4.54 % et enfin la géothermie avec seulement 15 MW, soit 0.07%.

C'est pour cette raison, la plupart des projets de deux secteurs publique et privé concernent l'énergie solaire, notamment l'énergie solaire photovoltaïque. Cette logique est exprimée par l'immense en énergie solaire que dispose l'Algérie. Car, la surface encollées représente plus de la moitié de la surface globale du pays. En plus, la technologie photovoltaïque est moins chère en comparant avec d'autres techniques de production des énergies renouvelables. Parce que le marché

chinois a fait baisser considérablement le prix des panneaux solaires photovoltaïques au niveau mondial.

II.5.2 Programme national d'efficacité énergétique à l'horizon 2030 :

Le programme d'efficacité énergétique à l'horizon 2030 s'intéresse à l'ensemble des secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie : il s'agit du bâtiment, du transport et de l'industrie. Il vise globalement la réduction de la consommation de 9% à travers la substitution inter énergétique et l'introduction des équipements et des technologies performantes (APRUE, 2015a). Il a rappelé les objectifs du programme national d'efficacité énergétique qui se résume en quatre points : la réalisation de projets d'isolation thermique de logements, de réhabilitation thermique, l'installation de chauffe-eau solaires individuels et la diffusion de lampes LED pour les ménages et l'éclairage public.

Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment du transport et de l'industrie.

- **Pour le secteur du bâtiment :**

Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements.

Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques : l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie. La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur.

Globalement, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées, d'ici 2030

- **Pour le secteur des transports :**

Le programme vise à promouvoir les carburants les plus disponibles et les moins polluants, en l'occurrence, le GPLc et le GNc : l'objectif étant d'enrichir la structure de l'offre des carburants

et de contribuer à réduire la part du gasoil, en plus des retombées bénéfiques sur la santé et l'environnement. Ceci se traduirait par une économie, d'ici 2030, de plus de 15 millions de TEP.

- **Pour le secteur de l'industrie :**

Le programme vise à amener les industriels à plus de sobriété dans leurs consommations énergétiques. En effet, l'industrie représente un enjeu pour la maîtrise de l'énergie du fait que sa consommation énergétique est appelée à s'accroître à la faveur de la relance de ce secteur. Pour ce secteur, c'est plus de 34 millions de TEP qui seront économisées.

II.6 Conclusion :

Au final, on aboutit à la conclusion qu'en Algérie il y a encore du pétrole et du gaz pour de nombreuses années. À l'horizon 2050, il y aura peut-être de nouvelles technologies, mais les inerties sont très fortes. L'utilisation d'énergies propres et renouvelables telles que l'énergie nucléaire et l'énergie solaire constitue une alternative sérieuse à l'utilisation de combustibles fossile.

Conclusion générale :

Aujourd'hui, l'homme utilise les énergies fossiles qui prennent plusieurs millions d'année pour qu'ils se forment, et vu que cette énergie est non renouvelable, la demande se portant régulièrement vers d'autres sources d'énergie qui sont propres et émettent moins de carbone.

Une des solutions est de diminuer la consommation de ses énergies fossiles en utilisant des sources d'énergie durable comme l'énergie solaire, photovoltaïque et thermique, pour la production d'électricité et d'eau chaude sanitaire.

Nous avons présenté dans ce travail les consommations internationales et nationales des énergies fossiles par type d'énergie et par secteur d'activité, nous avons présenté aussi les différentes énergies renouvelables et le système solaire de l'énergie thermique.

Références et bibliographiques

- [1] AISSAOUI, F., Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra. Thèse doctorat.
- [2] BEKKOUCHE.S, Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires, thèse de doctorat, Université Abou-Bakr Belkaid – Tlemcen, 2008 - 2009.
- [3] ZITANI.B, Etude et Modélisation du Comportement en Régime Transitoire d'un Capteur Solaire Plan, thèse de magister, Université Badji Moukhtar-Annaba, 2007.
- [4] JOHN A. Duffie et William A. Beckman : Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition.
- [5] Robert Foster, Majid Ghassemi et Alma Cota, SOLAR ENERGY: Renewable Energy and the Environment.
- [6] BALLO.Dj, BETTARCHA.N, ETUDE EXPERIMENTALE D'UN RETRO-CONCENTRATEUR SOLAIRE PARABOLIQUE, Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem, 2018/2019.
- [7] A.Mefti; M.Y Bouroubi; H. Mimouni, "Evaluation du potentiel énergétique solaire", Bulletin des Energies Renouvelables, N° 2, P12, décembre 2002.
- [8] Bulletin des Énergies Renouvelables - N° 22 2012 Centre de Développement des Énergies Renouvelables (Dr Abderrahmane HAMIDAT)
- [9] OUDRANE Abdellatif, contribution à la modélisation et au développement des systèmes de cauffage solaire à usage individuel, Thèse de Doctorat, 2018.
- [10] Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, Department of Mechanical Engineering, Higher Technical Institut.
- [11] IORDANOU, GRIGORIOS (2009) Flat-Plate Solar Collectors for Water Heating with Improved Heat Transfer for Application in Climatic Conditions of the Mediterranean Region, Durham theses, Durham University.

[12] TABET.I, Étude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire, UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE, 2016.

[13] Un monde d'énergie, édition 2019.

[14] MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES, Bilan énergétique nationale 2019,

[15] TAGREROUT.M, ATMANIA.H, La transition énergétique en Algérie : comment préparer l'après pétrole à l'horizon 2030 ?, Journal of Economic Sciences Institute.

[16] HADDAD.M, CHERIFI.S, L'énergie solaire : un moteur du développement durable en Algérie, 2019.

[17] IEA, L'agence internationale de l'énergie.

[18] Key World Energy Statistics 2021.

[19] Jaroslav.H, Marcel.S, The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications.

Webographie :

[20] <https://www.planete-energies.com>.

[21] <https://solar-energy.technology>

[22] <http://prtail.cder.dz>