

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté Des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M...../GE/2024

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Département : Génie électrique

Filière : Energies Renouvelables

Spécialité : Energies renouvelables en électrotechnique

Présenté par :

BELHAMITI Ahmed Rami

BERKANE Fethi

Le Chauffe-eau Solaire à Usage Domestique : Analyse Technico – Economiques dans l'agglomération de Mostaganem

President: Mme. GHOMRI

MAA

Université de Mostaganem

Examineur: Mr. BENZIDANE

MCB

Université de Mostaganem

Encadrant: Mr. BENTOUNES H.Adda

MCA

Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Avant tout, je remercie Allah Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la santé et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je voudrais adresser mes plus sincères remerciements à ma directrice de recherche, le professeur Mr. BENTOUNES H.Adda, pour sa guidance, ses conseils précieux et son soutien tout au long de cette étude. Ses expertises et ses encouragements constants ont été une source inestimable d'inspiration et de motivation.

Nous tenons également à remercier le président Mme. GHOMRI et l'examineur Mr. BENZIDANE pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'expertiser notre travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à l'ensemble des membres du Département de Génie électrique pour leur soutien académique et leurs précieux enseignements qui ont grandement enrichi mes connaissances et compétences.

Je n'oublie pas de remercier mes collègues et amis, en particulier toute la famille électromécanique, pour leur camaraderie, et les moments de convivialité partagés qui ont rendu ces années d'études plus agréables et mémorables.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à ma famille pour leur amour, leur patience, et leur soutien inconditionnel. Sans leur encouragement, je n'aurais pas pu accomplir ce travail.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous dis un grand merci.

Dédicace

Je dédie le fruit de mes efforts au secret qui attire le sourire et l'espoir dans ma vie. Aux deux mots les plus doux, Je leur parle.

À l'homme qui m'a appris la patience face à l'adversité, ma précieuse offrande d'Allah, qui doit ma vie, mon succès et tout mon respect

Mon cher père.

À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes demandes et n'a ménagé aucun effort pour faire moi plaisir

Ma chère mère.

Je prie Allah de les guérir et de prolonger leur vie.

À ceux qui sont plus grands et qui doivent compter, aux bougies de ma vie, à ceux qui existent, à ceux qui ont acquis un pouvoir et un amour illimités, à ceux avec qui j'ai connu le sens de la vie, mes frères et sœurs.

À toutes les familles BELHAMITI et BERKAN

À nos frères et sœurs, pour leur soutien et leur présence. Merci de nous avoir encouragés et aidés à continuer, même quand c'était difficile.

À nos amis, pour leur compréhension et leur soutien. Merci d'avoir été là pour nous, de nous avoir fait rire et de nous avoir motivés.

À nos enseignants et encadrants, pour leurs conseils et leur aide. Merci de nous avoir guidés et d'avoir partagé vos connaissances avec nous.

Et spécialement mes amis BENGOUA Nouredine et GOUAL Mohamed.

Enfin, à nous-mêmes, pour avoir travaillé dur et persévéré jusqu'au bout.

Nous sommes fiers de ce que nous avons accompli ensemble.



Résumé Ce mémoire analyse l'utilisation des chauffe-eaux solaires à usage domestique dans l'agglomération de Mostaganem, en mettant en avant leur potentiel technico-économique. L'étude examine les types de chauffe-eaux solaires, leur fonctionnement, et leurs composants, tout en évaluant leur efficacité énergétique en fonction des conditions d'ensoleillement de la région. À partir de données d'irradiation solaire, l'analyse montre que les chauffe-eaux solaires offrent une solution rentable et écologique, avec un fort potentiel entre mai et août. La comparaison des coûts d'installation et des économies d'énergie à long terme démontre la viabilité économique de ces systèmes dans un contexte où l'Algérie cherche à réduire sa dépendance aux énergies fossiles.

Mots-clés : Chauffe-eau solaire, énergie solaire thermique, efficacité énergétique, Thermosiphon.

ملخص:

يتناول هذا البحث تحليل استخدام سخانات المياه الشمسية للاستخدام المنزلي في منطقة مستغانم، مع التركيز على إمكانياتها التقنية والاقتصادية. تدرس الدراسة أنواع سخانات المياه الشمسية، وطريقة عملها، ومكوناتها، مع تقييم كفاءتها الطاقوية بناءً على ظروف الإشعاع الشمسي في المنطقة. من خلال بيانات الإشعاع الشمسي، تظهر التحليلات أن سخانات المياه الشمسية تقدم حلاً فعالاً من حيث التكلفة وصديقاً للبيئة، مع إمكانيات كبيرة بين شهري مايو وأغسطس. كما تُظهر المقارنة بين تكاليف التركيب والوفورات الطاقوية على المدى الطويل الجدوى الاقتصادية لهذه الأنظمة في سياق سعي الجزائر لتقليل اعتمادها على الطاقة الأحفورية.

الكلمات المفتاحية: سخان مياه شمسي، الطاقة الشمسية الحرارية، كفاءة الطاقة، نظام الترموسيفون.

Abstract:

This thesis analyzes the use of solar water heaters for domestic purposes in the Mostaganem area, highlighting their techno-economic potential. The study examines the types of solar water heaters, their operation, and components while assessing their energy efficiency based on the region's solar irradiation conditions. From solar irradiation data, the analysis shows that solar water heaters offer a cost-effective and environmentally friendly solution, with strong potential between May and August. The comparison of installation costs and long-term energy savings demonstrates the economic viability of these systems in a context where Algeria seeks to reduce its dependence on fossil fuels.

Keywords: Solar water heater, solar thermal energy, energy efficiency, thermosiphon.

Table des matières

REMERCIEMENT.....	2
DEDICASE.....	3
RESUME.....	4
LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES TABLEAUX.....	10
INTRODUCTION GENERALE.....	12

CHAPITRE I : Généralités sur l'énergie solaire

I.1 Les énergies renouvelables	17
I.2. L'énergie solaire	17
I.2.1 Le soleil	17
I.2.2 Le rayonnement solaire	18
I.2.3 Le potentiel solaire	19
I.3 Les applications de l'énergie solaire	21
I.3.1 Le solaire passive	20
I.3.2 Le solaire active	20
I.3.3 Le solaire photovoltaïque	21
I.4 L'énergie solaire thermique dans le monde	21
I.5 Conclusion	23

CHAPITRE II : Présentation de chauffe-eau solaire

II.1 Introduction	25
II.2 Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.....	25
II.3 Les types de chauffe-eau solaire.....	25
II.3.1 Monobloc	25
II.3.2 Thermosiphon	26
II.3.3 À circulation forcée	26

II.4 Les principaux composants d'un chauffe-eau solaire	27
II.4.1. Le capteur plan solaire	27
II.4.2 L'unité de stockage	27
II.4.3 Le groupe de transfert.....	27
II.5 Le Capteur	28
II.5.1 Le Principe de fonctionnement	28
II.5.2 Les types de capteurs	28
II.5.2.1 Les capteurs plans vitré	28
II.5.2.2 Les capteurs non vitré	29
II.5.2.3 Les capteurs sous vide	29
II.6 L'appoint énergétique.....	30
II.6.1. L'appoint intégré	31
II.6.2. L'appoint séparé	32
II.6.3. L'appoint en série	32
II.7 Le système solaire collectif	33
II.8 L'impact environnemental	34
II.8.1. L'augmentation des émissions de CO2	34
II.8.2. L'effet d'utilisation des CES	35
II.9 L'énergie solaire en Algérie	36
II.9.2 La consommation du gaz naturel et de l'électricité en Algérie	36
II.10 Avantage des chauffes eau solaire	38
II.11 Les ressources solaires en Algérie	39
II.12 Le solaire thermique en Algérie	40
II.13 Estimation des coûts d'un CES individuel	40
II.13.1 Prix unitaire des équipements	41
II.14 Conclusion	41
CHAPITRE III : Aperçu sur la willaya de MOSTAGENM	
III.1 L'irradiation ou rayonnement solaire au	43
III.1.1 Le rayonnement direct (I)	43

III.1.2	Le rayonnement diffus (D).....	43
III.1.3	Le rayonnement global (G)	43
III.2.	Géographie et géomorphologie de MOSTAGANEM	43
III2.1.	Géographie régionale	43
III.3.	Températures	44
III.4	Irradiation globale horizontale	45
	<ul style="list-style-type: none"> • Cette courbe représente la quantité totale d'énergie solaire reçue sur une surface horizontale, incluant à la fois le rayonnement direct et diffus. • L'irradiation globale suit un profil saisonnier classique. Elle commence à un minimum en hiver (janvier, décembre) et atteint un maximum durant l'été (mai, juin, juillet). • L'irradiation est particulièrement forte entre mai et août, avec un pic en juin-juillet où les valeurs dépassent 230 kWh/m². Ces mois offrent le meilleur potentiel pour l'utilisation de l'énergie solaire à Mostaganem. • En revanche, les mois de décembre et janvier montrent des valeurs beaucoup plus faibles, inférieures à 100 kWh/m², ce qui reflète la faible intensité solaire durant l'hiver. 	
III.4.1	Irradiation directe normale	46
III.4.2	Comparaison entre les deux courbes	46
III.4.3	Applications pour les systèmes solaires à Mostaganem	46
III.5	Les équations thermiques	47
III.5.1	Chaleur absorbée (Q absorbé)	47
III.5.2	Pertes thermiques (Q pertes)	47
A.	Pertes par convection (Q_{conv}).....	47
B.	Pertes par conduction (Q_{cond}).....	47
C.	Pertes par rayonnement (Q_{rad}).....	47
D.	Pertes thermiques totales	48
III.5.3	Efficacité du chauffe-eau solaire.....	48
A.	Énergie utile Qu	48
B.	Pertes thermiques (Q_{perte} cuivre)	48
III.6	Explication des résultats du tableau et du graphe.....	49
III.6.1	Énergie utile Qu	49
III.6.2	Pertes thermiques Q_{perte}	49
III.6.3	Rendement mensuel	50

III.7 Chauffe-eau Solaire Thermosiphon 300L (2 capteurs) Réf : TH1000025	50
III.7.1 Exemple de calcule avec ce chauffe-eau solaire	51
III.7.2 Calcule de mois de aout	52
III.7.4 Interprétation des résultats obtenu.....	52
III.8 Conclusion	53
CONCLUSION GENERALE	54

Liste des figures :

Fig. I.1: Les mouvements de la terre autour du soleil.....	18
Fig. I.2: La répartition spectrale du rayonnement solaire.....	19
Fig. I.3: Les trois composantes du rayonnement incident sur le capteur.....	19
Fig. I.4 : Les ressources solaires dans les pays méditerranéens.....	20
Fig. I.5: Photos prises pour des systèmes thermodynamiques réalisés à travers le monde.....	21
Fig. I.6: Photo prise pour une installation photovoltaïque.....	21
Fig. I.7: La puissance thermique installée dans le monde par les dix pays leaders (fin 2004)	22
Fig. I.8: La capacité en solaire thermique existante dans le monde par type de collecteur (Fin 2004)	23
Fig. II.1 : Le chauffe-eau solaire monobloc.....	26
Fig. II.2 : Le chauffe-eau solaire Thermosiphon.....	26
Fig. II.3 : Le chauffe-eau solaire à circulation forcée.....	27
Fig. II.4 : Capteur plant.....	28
Fig. II.5 : Capteur non vitré.....	29
Fig. II.6 : Capteur sous vide.....	30
Fig. II.7: La moyenne mensuelle de la production d'un chauffe-eau solaire et de l'appoint.....	31
Fig. II.8.a: L'appoint électrique.....	31

Fig. II.8.b: L'appoint chaudière à gaz.....	31
Fig. II.9 : L'appoint séparé.....	32
Fig. II.10: L'appoint en série.....	32
Fig. II.11 : Le schéma d'un chauffe-eau solaire collectif.....	33
Fig. II.12 : Les émissions de CO2 liées à la combustion d'énergie dans le monde.....	35
Fig. II.13: L'impact environnemental d'un chauffe-eau solaire.....	35
Fig. II.14 : La contribution de la puissance installée des capteurs thermiques en 2004 à la réduction du CO2.....	36
Fig. II.15: La consommation du gaz naturel et de l'électricité en Algérie.....	37
Fig. II.16 : Comparaison de la consommation d'un chauffe-eau (sans et avec système solaire)	39
Fig. II.17 : Le potentiel de l'Algérie en énergie solaire.....	39
Fig. II.18 : Exemple de réalisations du solaire thermique en Algérie.....	40
Fig. III.1 : Composantes du rayonnement solaire : extraterrestre, global = direct + diffus + albédo	43
Fig.III.2 : Localisation de la Wilaya de MOSTAGANEM	44
Fig. III.3. Courbe des moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2021.....	45
Fig. III.4 Irradiation solaire mensuelle de Mostaganem en KWh/m ² (PVGIS)	45
Fig III.5 Rendement et Qutile journalier mois par mois.....	49
Fig III.6 : la relation entre l'irradiation avec la température de sortie.....	52

Liste des tableaux :

Tableau. II.1: Comparaison entre l’appoint électrique et l’appoint à gaz naturel.....	33
Tableau. II.2 : Comparaison des différents systèmes de production d’eau chaude.....	38
Tableau. III.1. Moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2021(PVGIS).....	44
Tableau. III.2 Rendement journalier mois par mois pour une année type.....	49
Tableau. III.3 Fiche technique : Chauffe-eau Solaire Thermosiphon300L (2 capteurs) Réf : TH1000025.....	51
Tableau. III.4 Tableau qui montre les paramètres thermique chaque mois.....	53

Liste des équations

(III.1) $Q_{\text{absorbe}} = I \cdot A \cdot \alpha - Q_{\text{pertes}}$	La chaleur absorbée par le capteur
(III.2) $Q_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot (T_{\text{surface}} - T_{\text{air}})$	Les Pertes par convection
(III.3) $Q_{\text{cond}} = [K \cdot A \cdot (T_{\text{surface}} - T_{\text{fluide}})]/L$	Les Pertes par conduction
(III.4) $Q_{\text{rad}} = E \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{surface}}^4 - T_{\text{ambiante}}^4)$	Les Pertes par rayonnement
(III.5) $Q_{\text{pertes}} = Q_{\text{conv}} + Q_{\text{cond}} + Q_{\text{rad}}$	Les Pertes thermiques totales
(III.6) $\eta = (Q_{\text{absorbe}} - Q_{\text{pertes}})/Q_{\text{in}}$	L’efficacité du chauffe-eau solaire
(III.7) $\Delta T = Q_{\text{absorbe}} / m \cdot c$	La température du fluide caloporteur

Introduction générale

Introduction Générale

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humaine. L'expression énergie renouvelable est la forme courte et usuelle des expressions.

Le Soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables : son rayonnement est le vecteur de transport de l'énergie utilisable (directement ou indirectement) lors de la photosynthèse, ou lors du cycle de l'eau (qui permet l'hydroélectricité) et l'énergie des vagues (énergie houlomotrice), la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans (énergie thermique des mers) ou encore la diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau de mer (énergie osmotique). Cette énergie solaire alliée à la rotation de la Terre est à l'origine des vents (énergie éolienne) et des courants marins (énergie hydrolienne). La chaleur interne de la Terre (géothermie) est assimilée à une forme d'énergie renouvelable, et le système Terre-Lune engendre les marées des océans et des mers permettant la mise en valeur de l'énergie marémotrice.

Les combustibles fossiles ou minéraux (matériaux fissiles) ne sont pas des sources d'énergie renouvelables, les ressources étant consommées à une vitesse bien supérieure à la vitesse à laquelle celles-ci sont naturellement créées ou disponibles.

La consommation nationale de gaz est tirée à hauteur de 66%, soit plus de 12,7 millions de tep (tonne équivalent pétrole), par les ménages, le secteur tertiaire (bâtiments administratifs, hôpitaux, hôtels et écoles) et par le secteur agricole.

« Cette quantité de gaz est utilisée pour le chauffage, la cuisson et le chauffage de l'eau sanitaire (chaudière et chauffe-bains) », l'Énergie sur l'année 2022. Le secteur industriel représente pour sa part 33% de la consommation finale de gaz naturel, avec un volume estimé à « un peu plus de 6,4 millions de tep ».

-Le volume global de la consommation de gaz naturel a atteint un niveau de 51,7 millions de tep en 2022. Cette quantité englobe la consommation directe, les besoins d'électricité et le GPL, ce qui représente 54% de la production primaire de gaz naturel, qui avait atteint en 2022 95,8 millions de tep.

La consommation de GNL, qui a affiché une hausse de 5% durant cette année par rapport à 2021, est partagée entre une consommation directe de 27,56 millions de tep (53,31%), une consommation dédiée à la production d'électricité dépassant 21,63 millions de tep (41,84%), et une consommation dédiée à la production de GPL extrait aux champs à hauteur de 2,51 millions de tep (4,85%).

Pour rappel, 76,3% de la consommation finale d'énergie en Algérie est dédiée aux ménages et tertiaires (47,5%) et secteur des transports (28,8%). Le secteur de l'industrie consommait 23,7% de l'énergie disponible en 2022. ;

*Impact sur l'environnement local : L'exploitation du gaz naturel peut avoir un impact sur l'environnement local en Algérie, notamment en perturbant les écosystèmes terrestres et aquatiques, en utilisant des ressources en eau et en entraînant la déforestation ou la fragmentation des habitats.

Pour atténuer ces problèmes, il est essentiel que l'Algérie mette en œuvre des réglementations environnementales strictes pour surveiller et limiter les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que pour promouvoir des pratiques d'extraction et d'utilisation plus durables du gaz naturel. De plus, investir dans des technologies de capture et de stockage du carbone peut aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à l'utilisation du gaz naturel.

-Réduire la consommation de gaz en Algérie peut être une stratégie à double objectif, bénéficiant à la fois à l'économie nationale et à l'environnement. Voici deux objectifs principaux que cela pourrait viser :

*Économique : Réduire la consommation de gaz permettrait de préserver les ressources nationales pour les générations futures et de réduire la dépendance aux importations énergétiques. Cela pourrait également contribuer à stabiliser les prix nationaux de l'énergie et à améliorer la sécurité énergétique du pays à long terme.

*Environnemental : Le gaz naturel est souvent considéré comme une alternative plus propre aux combustibles fossiles tels que le charbon et le pétrole, mais il produit toujours des émissions de CO₂ lorsqu'il est brûlé.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs mesures pourraient être envisagées, telles que la promotion de l'efficacité énergétique dans les industries, les bâtiments et les transports, l'investissement dans les énergies renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne, la mise en place de politiques incitatives pour encourager les comportements économes en énergie, et le développement de technologies de pointe pour une utilisation plus efficace du gaz dans les secteurs où il est indispensable.

-L'utilisation de chauffe-eau solaires présente de nombreux avantages, notamment en Algérie, où le soleil est abondant. Voici quelques-unes des raisons pour lesquelles l'utilisation de chauffe-eau solaires est importante :

*Ressource renouvelable : Le soleil est une ressource renouvelable abondante en Algérie. En utilisant des chauffe-eaux solaires, on exploite une source d'énergie propre et durable, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles et contribuant à la lutte contre le changement climatique.

*Réduction des émissions de gaz à effet de serre : Les chauffe-eau solaires fonctionnent en convertissant directement l'énergie solaire en chaleur, ce qui réduit la nécessité d'utiliser des combustibles fossiles pour chauffer l'eau. En conséquence, cela contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à atténuer les impacts du changement climatique.

*Économies d'énergie et d'argent : Bien que l'investissement initial dans un chauffe-eau solaire puisse être plus élevé que celui d'un chauffe-eau traditionnel, les coûts d'exploitation sont généralement beaucoup plus bas. Avec une source d'énergie gratuite et abondante comme le soleil, les utilisateurs peuvent réaliser des économies significatives sur leur facture d'électricité à long terme.

*Fiabilité : Les systèmes de chauffe-eau solaires sont généralement fiables et ont une durée de vie plus longue que les chauffe-eaux traditionnels. Ils nécessitent peu d'entretien et peuvent fonctionner de manière efficace pendant de nombreuses années avec un entretien minimal.

*Réduction de la pression sur les réseaux électriques : En utilisant des chauffe-eaux solaires, on réduit la demande d'électricité sur les réseaux, ce qui peut contribuer à éviter les pannes de courant et à réduire la pression sur les infrastructures électriques, notamment pendant les périodes de pointe de consommation.

En résumé, l'utilisation de chauffe-eau solaires en Algérie offre une solution durable et économique pour répondre aux besoins en eau chaude, tout en contribuant à la protection de L'environnement et à la réduction de la dépendance aux énergies fossiles.

-La **Tunisie** est considérée comme l'un des pays pionniers dans le domaine du chauffage de l'eau par l'énergie solaire. La première expérience a commencé depuis les années 1980 avec la création d'un noyau de fabrication locale et la mise en place d'un mécanisme de financement.

-Vous pouvez installer un chauffe-eau solaire partout au **Maroc**. Bien sûr, le rayonnement solaire a un impact important sur les performances du système. Vous devez également vous assurer que l'eau est stockée de manière optimale....

-Les chauffe-eau solaires peuvent donc être extrêmement efficaces dans ce pays, fournissant une source d'énergie fiable et abondante pour chauffer l'eau. Les utilisateurs peuvent réaliser des économies significatives sur leurs factures d'énergie à long terme, ce qui peut être particulièrement bénéfique dans un pays où les coûts de l'énergie peuvent représenter une part importante du budget des ménages. En résumé, l'utilisation de chauffe-eau solaires en **Algérie** est essentielle pour exploiter efficacement l'énergie solaire abondante, réduire la dépendance aux combustibles fossiles, atténuer le changement climatique, réaliser des économies d'énergie et stimuler le développement économique. [01]

CHAPITRE I

Généralités sur l'énergie solaire

I.1 Les énergies renouvelables :

Les énergies dites renouvelables sont celles qui proviennent directement ou indirectement du soleil. Elles ne sont pas limitées dans le temps, tant que le soleil brillera

(C'est-à-dire encore pendant 5 milliards d'années environ). Elles sont par contre limitées en puissance disponible. Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par l'homme [02]. Leur relatif, faible impact, sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, il semble néanmoins peu probable que les énergies renouvelables remplacent les autres ressources énergétiques dans un avenir proche.

I.2. L'énergie solaire :

L'énergie solaire présente certains avantages non négligeables sur les autres sources énergétiques, elle est : locale, gratuite, propre, silencieuse et durable. Les premières tentatives d'exploitation de l'énergie solaire utilisaient l'interaction rayonnement matière, c'est-à-dire l'échauffement d'un corps noir au soleil. [03]

L'énergie solaire peut être utilisée sur toute la surface de la terre ou presque, il suffit donc de capter celle-ci et de l'utiliser. Aujourd'hui, nous captons l'énergie solaire pour chauffer les maisons et l'eau, et pour produire de l'électricité, et cela au moyen de trois différentes méthodes et technologies : l'énergie photovoltaïque, l'énergie solaire passive et l'énergie solaire active.

I.2.1. Le soleil :

Le soleil exerce sur notre planète une action vitale, véritable source de vie, bien qu'il soit le centre du système qui porte son nom (système solaire auquel la terre appartient), le soleil n'est qu'une étoile parmi tant d'autres dans notre galaxie, sa lumière met 8mn et 18s pour parvenir sur terre. Le soleil est une énorme sphère incandescente de plasma à la température voisine de 5750K dont le diamètre atteint 1391000km, la puissance émise par ce dernier est estimée à $1,7 \cdot 10^{23} \text{kW}$ dont une partie atteint le globe terrestre, elle est de l'ordre de $8,5 \cdot 10^{13} \text{ kW}$; uniquement 70% (environ $6 \cdot 10^{13} \text{kW}$) de cette puissance pénètre l'atmosphère.

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25jours, le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. (**Fig. I. 1**) C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147millions de km et au solstice d'été (22 juin) qu'elle en est la plus

éloignée : 152 millions de km, la distance moyenne étant de 149,5 millions de km, la terre coupe le plan perpendiculaire au grand axe de son orbite et contenant le soleil aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (21 septembre). [04] Elle tourne sur elle-même avec une période de 24h, son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace, il fait un angle de $23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique.

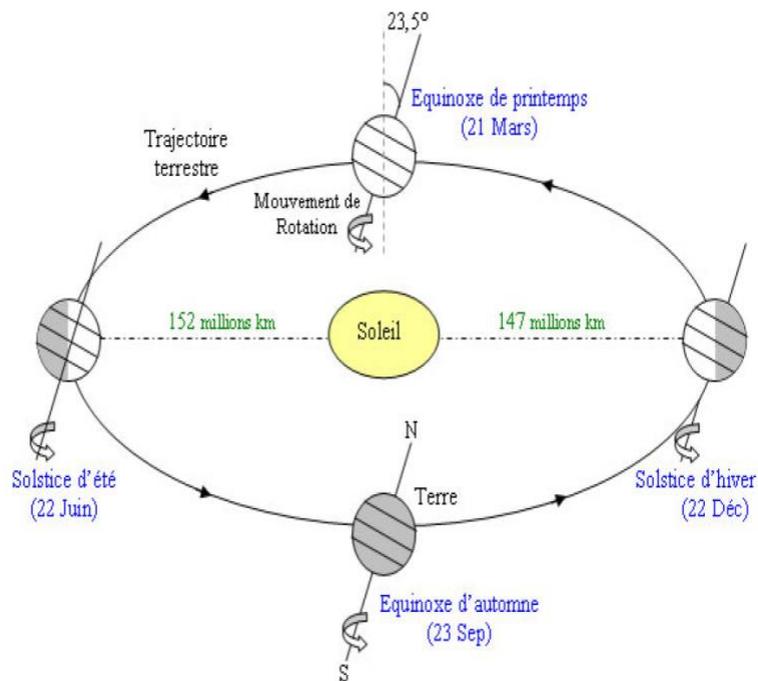


Fig. I.1: Les mouvements de la terre autour du soleil. [05]

I.2.2. Le rayonnement solaire :

Le soleil nous envoie de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde variant de $0,22\mu\text{m}$ à $10\mu\text{m}$, la Fig.2 représente la variation de la répartition spectrale de ce rayonnement. Sur ce graphe on constate que pour $\lambda \leq 0,3$ $0,3\mu\text{m}$ le rayonnement est négligeable alors que pour la partie visible du rayonnement, pour des valeurs entre $0,3$ et $0,7\mu\text{m}$ l'absorption par l'atmosphère est faible. [06]

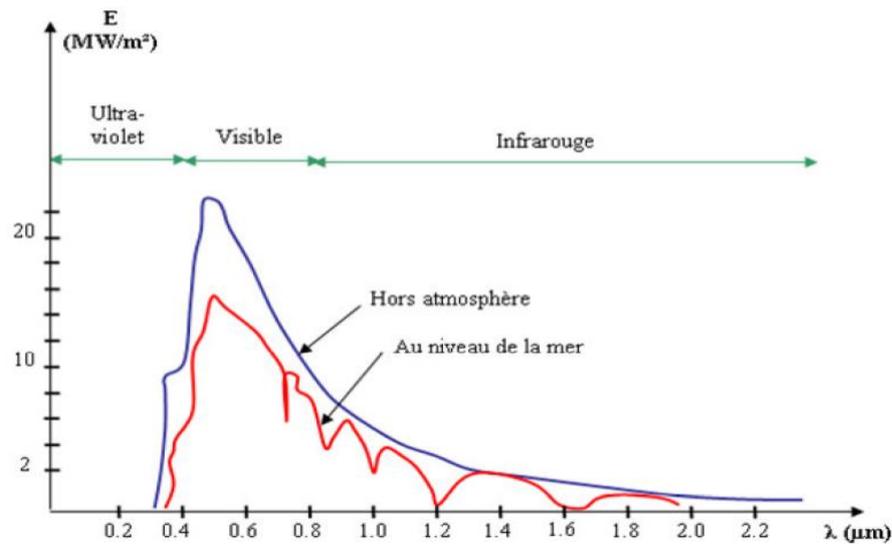


Fig. I.2: La répartition spectrale du rayonnement solaire. [06]

On décompose le rayonnement global (total) terrestre en rayonnement direct (rayonnement provenant directement du soleil) et en rayonnement diffus (rayonnement provenant de l’atmosphère); Un capteur incliné d’un angle donnée sur l’horizontale subit une autre composante du rayonnement : la part renvoyée vers l’atmosphère après réflexion diffuse par le sol ; (**Fig. I.3**)

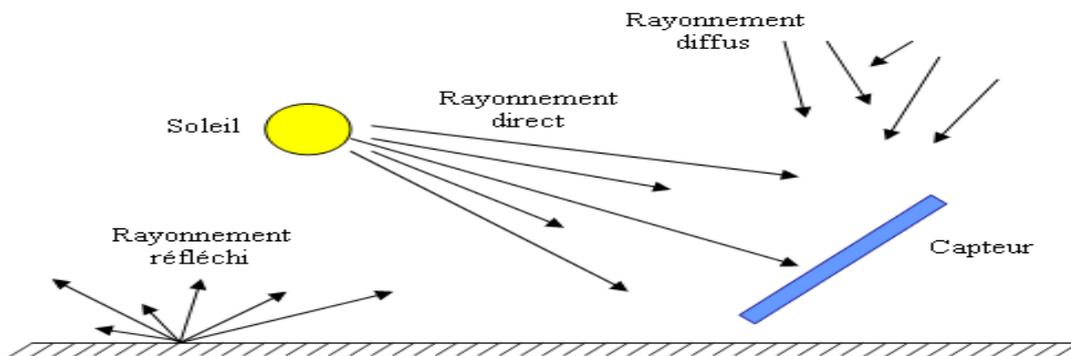


Fig. I.3: Les trois composantes du rayonnement incident sur le capteur. [07]

I.2.3. Le potentiel solaire :

Les sources d’énergie renouvelable dans les pays bord de la méditerranée seulement peuvent faire face à la demande énergétique mondiale croissante. En effet la ressource d’énergie la plus importante dans ces pays est l’irradiation solaire, avec un potentiel qui peut satisfaire la demande en l’électricité du monde entier. Cette ressource peut être employée dans les systèmes photovoltaïques comme dans les systèmes thermiques. [08]

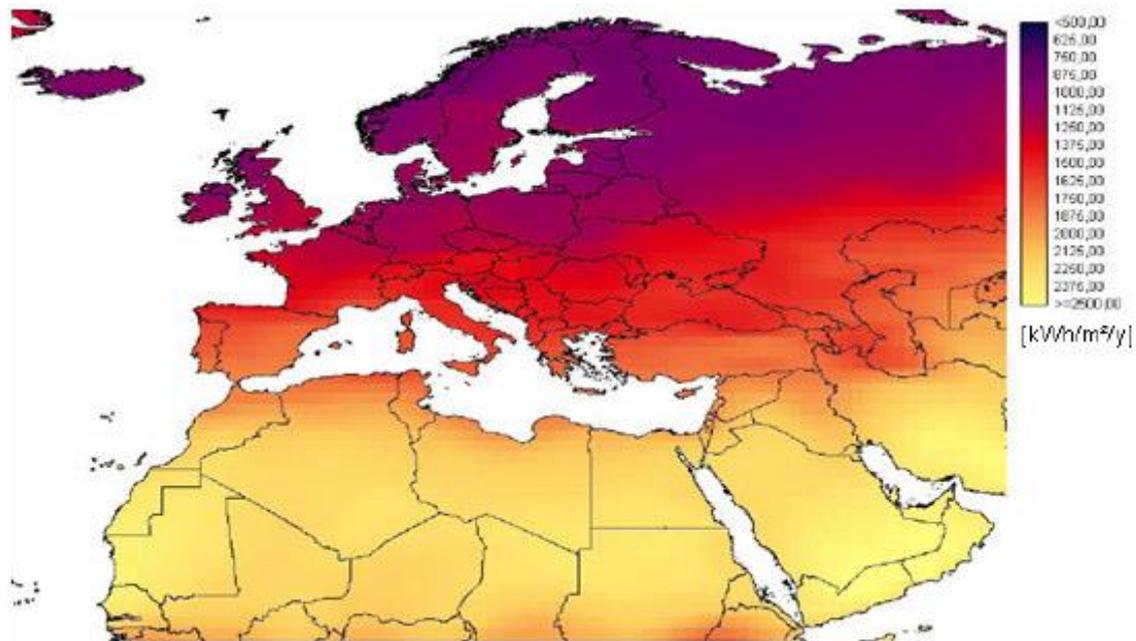


Fig. I.4 : Les ressources solaires dans les pays méditerranéens. [09]

I.3 Les applications de l'énergie solaire :

I.3.1. Le solaire passive :

Le terme passif renvoie aux techniques utilisées pour capter l'énergie, ces techniques misent sur la conception des immeubles et le type de matériaux utilisés pour les construire plutôt que sur de l'équipement mécanique. Aujourd'hui, la conception solaire passive utilise les éléments fondamentaux d'un immeuble (les murs, la toiture et les fenêtres) pour contrôler la quantité d'énergie solaire absorbée ou perdue. La conception solaire passive aide aussi à conserver la fraîcheur en été. [10]

I.3.2. Le solaire active :

Le système d'énergie solaire active utilise des capteurs solaires pour capter l'énergie du soleil et produire de l'électricité afin d'alimenter des pompes et des ventilateurs qui distribuent de l'eau et de l'air chaud, tel que les systèmes à chauffe-eau solaire qui utilisent les capteurs plan vitrés ou non vitrés pour chauffer de l'eau, ou le chauffage des locaux et la ventilation solaire qui utilisent aussi des capteurs vitrés ou un bardage perforé pour chauffer l'air. Un autre exemple est celui qui utilise les centrales électriques solaires.

La concentration du rayonnement solaire sur un foyer permet d'atteindre des températures élevées, ce principe utilise des capteurs cylindro-paraboliques (**Fig. I.5.a**), paraboliques (**Fig. I.5.b**) ou des centrales à tours (**Fig. I.5.c**), pour lesquels une multitude d'héliostats orientables concentrent l'énergie solaire sur le récepteur, il permet le réchauffement de fluides caloporteurs, en général de l'huile ou des sels fondus, dans une gamme de température allant de 250 à 800°C, selon les techniques utilisées, ces fluides viennent ensuite

chauffer de la vapeur d'eau, qui entraîne un alternateur; comme dans les centrales thermiques conventionnelles, pour produire de l'énergie électrique.[11]



Fig. I.5: Photos prises pour des systèmes thermodynamiques réalisés à travers le monde. [12]

A : Les systèmes à collecteur cylindro-paraboliques, B : Le collecteur paraboliques, C : Les centrales à tours.

I.3.3. Le solaire photovoltaïque :

Le processus photovoltaïque transforme l'énergie de rayonnement du soleil en courant électrique continu. Le physicien Edmond Becquerel a décrit l'effet en 1839, mais ce n'est que vers le milieu et la fin des années 1950 que des cellules photovoltaïques pratiques ont été commercialisées. [10]



Fig. I.6: Photo prise pour une installation photovoltaïque.

I.4 L'énergie solaire thermique dans le monde :

Depuis le début des années 90, le marché du solaire thermique a subi un développement favorable, à la fin de l'année 2004, un total de 141 millions de m² de capteurs (98.4 GWth) ont été installés dans le monde entier, Ceci est équivalent à 9,3 milliards de litre de pétrole.[14]

La capacité installée varie d'une manière considérable d'un pays à un autre (**Fig. I.7**), la

Chine et le Taiwan sont leaders (44%) avec une capacité installée de 43,4 GWth et c'est les capteurs sous vide qui prennent l'initiative, en second vient l'Amérique du Nord (les Etats-

Unis et le Canada) où le chauffage des piscines est dominant avec une capacité installée de 18,8 GWth des capteurs non vitrés, tandis que le Japon est classé troisième avec 5,4 GWth des capteurs plan vitré, les pays européens tous rassemblés totalisent une capacité de 10,8 GWth.

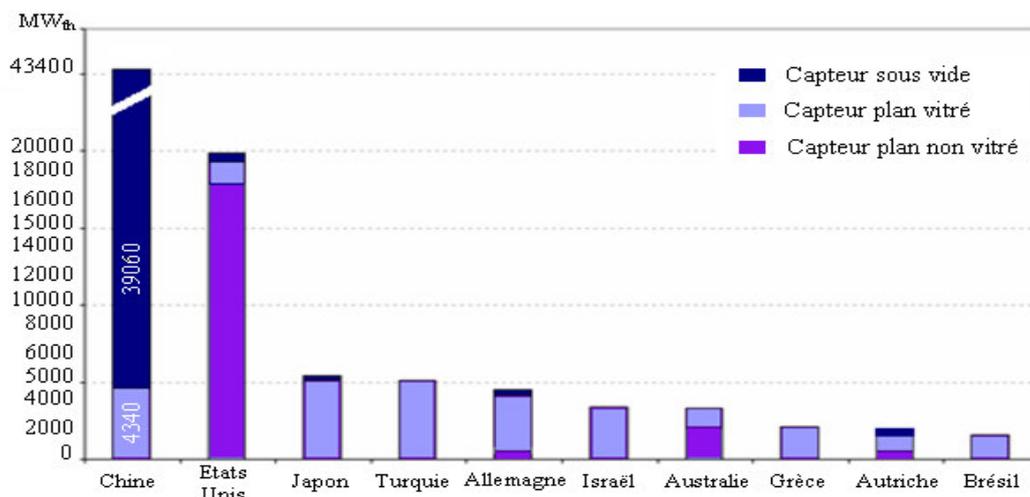


Fig. I.7: La puissance thermique installée dans le monde par les dix pays leaders (fin 2004).

Selon le type de technologie (**Fig. I.8**), le parc mondial de capteurs solaires peut être divisé de la manière suivante : la capacité totale est de 98,4 GWth (141 millions de m²) [14] avec 74,3 GWth pour les capteurs plan vitrés et les capteurs sous vide qui sont utilisés pour produire de l'eau chaude et pour le chauffage des locaux et 23,1 GWth pour les capteurs non vitrés, qui sont utilisés principalement pour le chauffage des piscines. En termes de surfaces

[13], les capteurs sous vide avec 58 millions de m² représentent 41% du marché et les capteurs plans vitrés avec 49 millions de m² (35%), puis les capteurs non vitrés avec 33 millions de m² (33%) et les capteurs à air avec 1 millions de m² (1%).

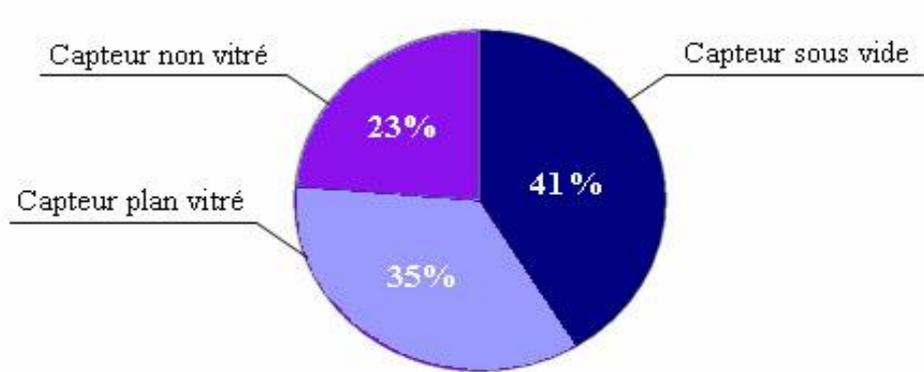


Fig. I.8: La capacité en solaire thermique existante dans le monde par type de collecteur (Fin 2004).

I.5 Conclusion :

L'énergie solaire se distingue comme une source d'énergie particulièrement prometteuse pour l'avenir. Elle est renouvelable, abondante et non polluante, offrant une alternative significative aux sources d'énergie fossiles et contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'évolution rapide des technologies solaires, comme les panneaux photovoltaïques et les chauffe-eaux solaires, a permis de rendre cette source d'énergie de plus en plus accessible et économique.

CHAPITRE II

Présentation de chauffe-eau solaire

II.1 Introduction :

Un chauffe-eau solaire est un système qui utilise l'énergie du soleil pour chauffer de l'eau. Ce dispositif écologique et économique est composé de capteurs solaires, généralement installés sur le toit, qui captent les rayons du soleil et les convertissent en chaleur. Cette chaleur est ensuite transférée à un réservoir d'eau, permettant ainsi de produire de l'eau chaude pour les besoins domestiques comme la douche, la cuisine ou le chauffage. Les chauffe-eaux solaires sont appréciés pour leur capacité à réduire les factures d'énergie et leur impact environnemental, tout en offrant une source d'eau chaude renouvelable et fiable.

II.2 Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

Le chauffe-eau solaire individuel est un équipement robuste et fiable, conçu et fabriqué pour tirer le meilleur parti du moindre rayon de soleil. Un CES permet de couvrir 50 à 70% de la demande annuelle d'eau chaude sanitaire d'une famille (et jusqu'à 99% en période estivale). [15] Il assure un ensemble de fonction:

- Captage de l'énergie solaire et conversion du rayonnement en chaleur par les capteurs solaire thermique;
- Transfert de la chaleur des capteurs vers l'eau chaude sanitaire par une boucle fermée à circulation naturelle ou forcée ;
- Stockage de l'énergie dans le ballon solaire ;
- Distribution de l'eau chaude vers le système d'appoint et les points de puisage.

Le CES doit être préservé des risques de gel et de détérioration par surchauffe, ses différents composants doivent être optimisés pour limités les pertes d'énergie captée et les consommations d'énergie d'appoint. [16]

II.3 Les types de chauffe-eau solaire :

II.3.1 Monobloc :

Relie les capteurs et le ballon dans un seul composant (**Fig. II.1**), son fonctionnement est autonome et son installation très simple. En effet, il suffit de brancher l'alimentation de l'eau froide et connecter le départ de l'eau chaude à un robinet.

C'est le chauffe-eau solaire le moins cher et un grand nombre sont utilisés à travers le monde. Les inconvénients sont dus au ballon qui reste dehors avec les capteurs : Les pertes thermiques peuvent être importantes et son intégration architecturale est plus difficile, il est particulièrement adapté à un usage en été. [13]

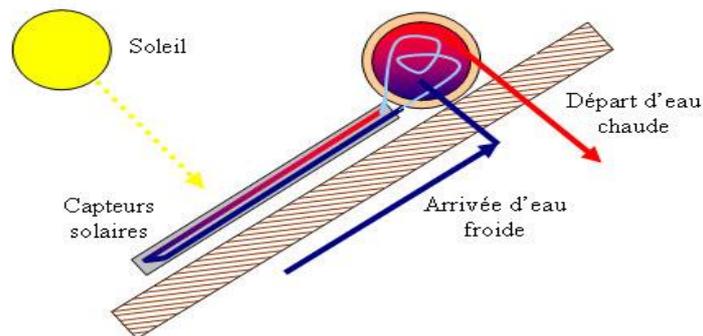


Fig. II.1 : Le chauffe-eau solaire monobloc.

II.3.2 Thermosiphon :

Thermosiphon veut dire que la circulation de la chaleur passe des capteurs au ballon naturellement sans pompe ou autre dispositif, grâce à la différence de température. Pour ce faire, le ballon doit impérativement être placé plus haut que les capteurs. Les capteurs et le ballon sont assemblés en un seul composant, l'installation est simple, le fonctionnement est autonome (**Fig. II.2**), Les inconvénients sont les pertes thermiques importantes et son intégration architecturale difficile.

Ce type de système est utilisé pour la production d'eau chaude pour des maisons individuelles situées souvent en milieu rural. Les risques de pannes sont faibles, les coûts sont restreints et les performances, surtout dans les régions ensoleillées sont excellentes. [13]

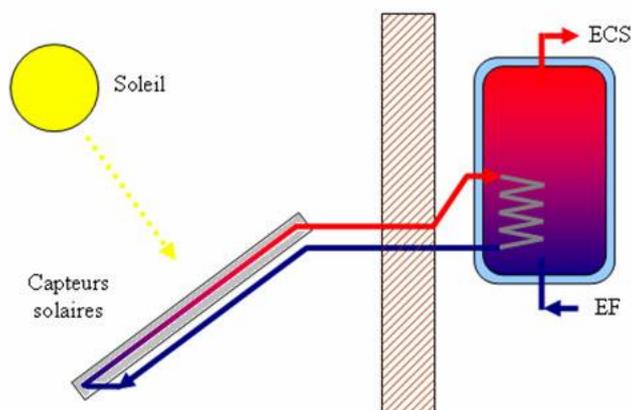


Fig. II.2 : Le chauffe-eau solaire Thermosiphon.

II.3.3 À circulation forcée :

Ce type de chauffe-eau solaire "avec pompe et régulation" (**Fig. II.3**), est adapté à toutes les différentes configurations. Ainsi, le ballon peut être installé dans une cave ou éloigné des capteurs. Le coût de ce

Le système est généralement plus cher que celui des systèmes monobloc à cause des équipements supplémentaires, pompe de circulation et système de régulation. [13]

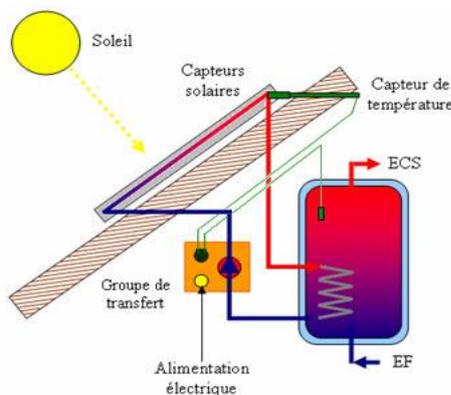


Fig. II.3 : Le chauffe-eau solaire à circulation forcée.

II.4 Les principaux composants d'un chauffe-eau solaire :

Un chauffe-eau solaire est généralement, configuration simple, constitué de trois parties :

II.4.1. Le capteur plan solaire :

Le rôle du capteur solaire est d'absorber un maximum d'énergie solaire avec le moins de pertes par refroidissement possible, puis de faire passer cette chaleur dans l'eau de circulation qui chauffera l'eau sanitaire. La surface des capteurs plans varie selon les besoins en eau des utilisateurs. Elle est de l'ordre de 4m² pour une maison individuelle pour couvrir les besoins en eau sanitaire et de l'ordre de 20m² dans le cas d'une utilisation pour le chauffage de la maison, bien entendu cette surface est aussi fonction du rayonnement solaire. Les capteurs plans peuvent être fixés sur un toit, incliné à afin de recevoir le maximum de rayonnement solaire au mieux.

II.4.2 L'unité de stockage :

Appelé réservoir ou ballon de stockage solaire, ce dernier bien isolé, maintient l'eau en température jusqu'à ce qu'elle soit utilisée. Le transfert de chaleur est réalisé par un échangeur monté à l'intérieur du ballon. Ce dernier est aussi équipé d'un chauffage d'appoint, alimenté par réseau électrique, dans le cas d'une utilisation en zone à faible rayonnement solaire.

II.4.3 Le groupe de transfert

Le groupe de transfert est composé de tous les éléments nécessaires pour transférer la chaleur des capteurs à l'unité de stockage dans les meilleures conditions. Il est composé d'une pompe pour faire circuler le fluide caloporteur, d'un ensemble de capteurs de température et d'un système de régulation pour mettre en marche la pompe quand cela est nécessaire.[17]

II.5 Le Capteur :

De constitution simple. Le capteur est l'élément par l'intermédiaire duquel le rayonnement solaire est piégé. Cette énergie est en unité transmise au fluide caloporteur (ici l'eau).

II.5.1 Le Principe de fonctionnement :

Le capteur solaire est constitué généralement d'un cadre, d'une tôle inférieure peinte en noire mate (absorbeur), d'une tubulaire (serpentin), d'une isolation, d'un couvercle transparent (vitrage).

Le rayonnement solaire est transmis par le vitrage à l'absorbeur qui s'échauffe et rayonne à son tour sous de grandes longueurs d'ondes. Ces dernières émissions emprisonnées par le vitrage contribuent à l'échauffement de l'absorbeur. Ainsi cette chaleur est transmise, par le biais du serpentin, à l'eau qui transporte la chaleur vers le réservoir de stockage. [17]

II.5.2 Les types de capteurs :

Compte tenu des utilisations différentes. Les besoins en eau chaude ont été caractérisés par une température et un volume. Pour répondre à la diversité des demandes. Plusieurs types de capteurs ont été élaborés. Ainsi, on peut les classer selon les plages de température d'utilisation ou selon le fluide utilisé (eau ou air). On peut les répartir en trois groupes : les capteurs plans vitrés, les capteurs non vitrés et les capteurs sous vide.[17]

II.5.2.1 Les capteurs plans vitrés :

Ils sont appropriés pour le chauffage de l'eau et sont indiqués pour les températures de l'eau de 30° à 60° C. Ils peuvent être intégrés dans les façades ou posés sur des toits plats et sur le sol, ces capteurs. Sont très répandus dans les logements et bâtiments. De Service. Ils ont une durée de vie estimée à environ 20 ans. [17]

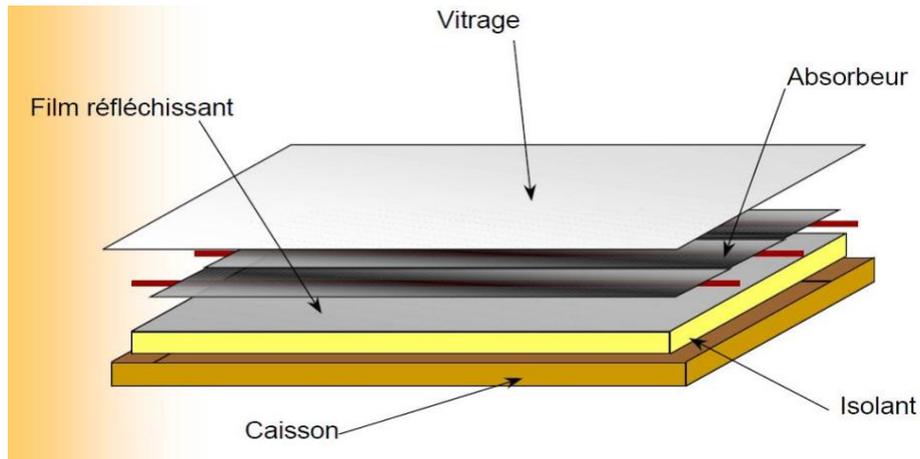


Fig. II.4 : Capteur plant vitré.[18]

II.5.2.2 Les capteurs non vitré :

Dans cette catégorie, on dénote les capteurs métalliques et les capteurs synthétiques.

Capteurs métalliques : Indiqués pour le chauffage des piscines et le préchauffage de l'eau chaude sanitaire, ils sont utilisés pour des températures entre 30°C et 40°C.

Capteurs synthétiques : Ils sont indiqués pour des applications nécessitant de basses températures par exemple le chauffage des piscines. Ils peuvent être installés sur des toits plats ou inclinés, leur durée de vie est estimée à 30 ans.

Il est à noter qu'une protection contre le vent accroît leur efficacité. En effet, les pertes de chaleur sont trop importantes du fait de l'absence de vitrage et d'isolation [17]

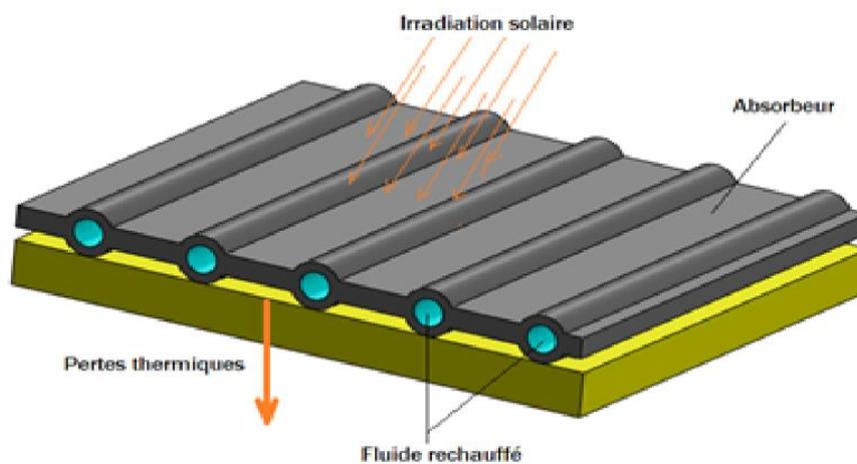


Fig. II.5 : Capteur non vitré.[19]

II.5.2.3 Les capteurs sous vide :

Appropriés aussi bien pour les techniques que pour le chauffage de l'eau et le chauffage d'appoint, ce type de capteur utilise le vide comme isolation thermique pour minimiser les pertes de chaleur et donc permet d'augmenter le rendement (entre 50% et 70%).

Ils comportent au si des réflecteurs en métal ou en verre pour augmenter le facteur de concentration sur l'absorbeur. Il. Peuvent ainsi fournir des températures jusqu'à 150°C.

Cependant, il ne faut pas perdre de vue que ce' capteurs sont très fragile et que la moindre fissure sur le tube élimine on principal avantage. Il existe peu de manufacturiers et de fournisseurs pour ce type de capteur. [17]

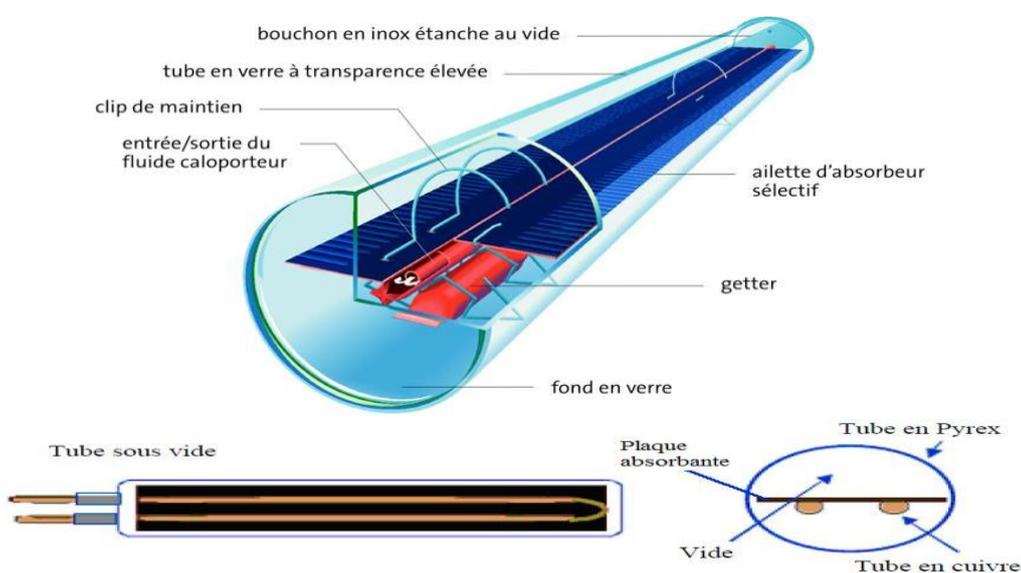


Fig. II.6 : Capteur sous vide.[19]

II.6 L'appoint énergétique

Un chauffe-eau solaire ne peut pas fournir de l'eau chaude en cas de faible ensoleillement, dans ce cas, il faut se servir d'un chauffage d'appoint utilisant une source d'énergie conventionnelle (gaz, fioul, électricité, bois). Cependant :

- Le fonctionnement du chauffage d'appoint ne doit pas réduire le rendement du chauffe-eau solaire et la priorité doit être donnée à l'énergie solaire toujours ;
- Le ballon de stockage aura besoin d'une bonne isolation thermique afin de conserver l'énergie solaire au mieux et réduire le recours au chauffage d'appoint ;

- Un voyant doit montrer que le chauffe-eau solaire marche correctement ; sinon, l'eau chaude pourrait être fournie exclusivement par l'appoint sans que l'utilisateur se rende compte. [13]

Dans une étude les besoins globaux en énergies et ceux de l'apport solaire pour un chauffe-eau, la situation parait favorable, puisque les besoins en eau chaude sont a priori constants tous au long de l'année. [13] la (Fig. II.7) illustre un exemple de l'apport solaire et de l'énergie d'appoint pour une maison de 4 personnes en zone méditerranéenne, avec 4mètres carré de capteurs, et un ballon de 200litres, où la consommation d'énergie peut être réduite jusqu'à la moitié pendant les mois les plus défavorable.

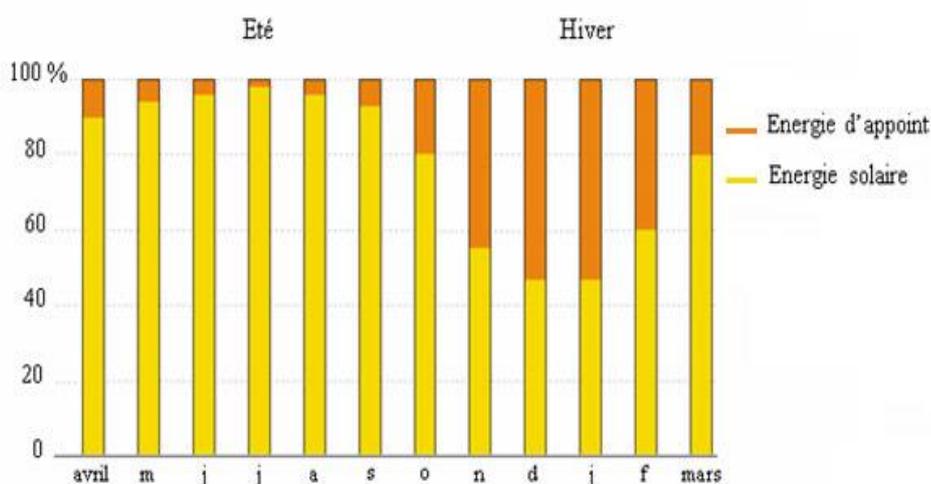


Fig. II.7: La moyenne mensuelle de la production d'un chauffe-eau solaire et de l'appoint.

Il existe plusieurs types de chauffage d'appoint :

II.6.1. L'appoint intégré : Dans ce cas l'installation ne dispose que d'un seul ballon, pourvue de deux échangeurs, l'un récupère l'énergie solaire et chauffe d'abord l'eau située en partie basse du ballon "circuit capteurs". L'autre échangeur ; qui peut être une résistance électrique

(Fig. II.8.a) ou provenant d'une chaudière à gaz (Fig. II.8.b), situé en partie haute, apporte-le complément d'énergie nécessaire à l'obtention du degré recherché.

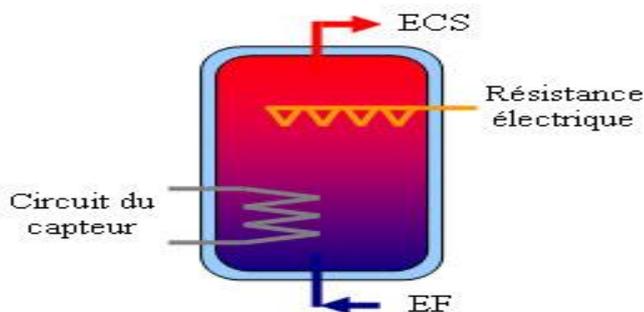


Fig. II.8 a : L'appoint électrique.

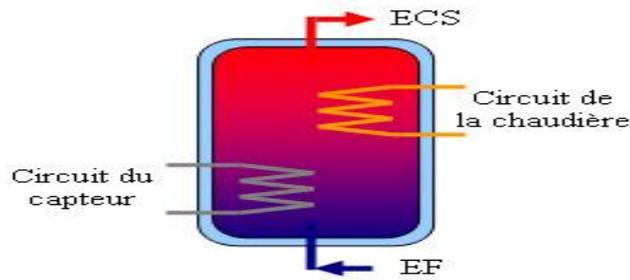


Fig. II.8.b: L'appoint chaudière à gaz.

II.6.2. L'appoint séparé : Le nombre de jours qu'un chauffe-eau solaire puisse fonctionner sans appoint varie surtout avec le climat, mais aussi suivant le dimensionnement de l'installation par rapport aux besoins, l'appoint séparé peut être envisagé dans certains cas, généralement quand un ballon de stockage existe déjà, cette configuration comporte alors deux ballons de stockage et deux échangeurs de chaleurs (**Fig. II.9**).

II.6.3. L'appoint en série : On peut envisager l'installation d'un chauffe-eau solaire en série avec un chauffe-eau électrique conventionnel (existant ou neuf), l'eau chaude solaire pourrait servir directement ou transiter par le chauffe-eau électrique (**Fig. II.10**). Si nécessaire, le chauffe-eau électrique servira comme appoint et pourrait augmenter la température de l'eau préchauffée par le soleil.

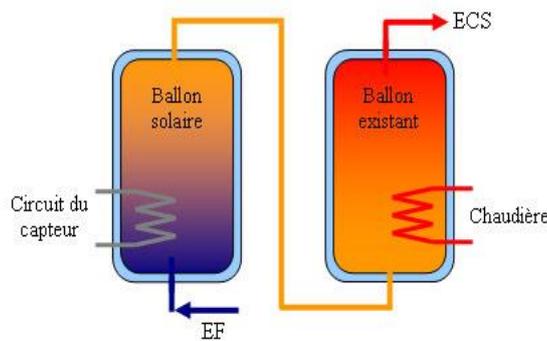


Fig. II.9 : L'appoint séparé.

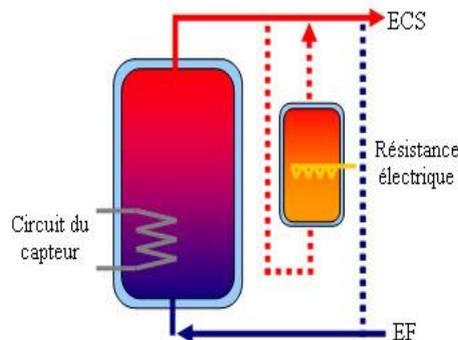


Fig. II.10: L'appoint en série.

Le choix entre l'énergie d'appoint (résistance électrique ou chaudière à gaz) présente toujours un compromis,

(Tableaux. II.1) présente une comparaison entre ces deux vecteurs énergétiques utilisés comme appoint :

Tableaux. II.1: Comparaison entre l'appoint électrique et l'appoint à gaz naturel. [13] :

Solutions mixtes	Economie	Ecologique	Rendement
Solaire et électricité	Economique à l'investissement, l'hybridation à l'électricité coûte en consommation, mais une résistance coûte peu à remplacer.	Le risque lié au stockage des déchets radioactifs	50 à 70%
Solaire et gaz naturel	L'équipement est moins cher, cependant avec le couplage à gaz le brûleur doit être changé assez souvent.	Le gaz naturel rejette du CO2 qui participe à l'effet de serre.	88 à 94%

II.7 Le système solaire collectif :

A l'instar des chauffe eau solaire individuel, l'énergie solaire peut être utilisé pour produire l'eau chaude sanitaire dans des immeubles, ou des hôpitaux, des hôtels ou des résidences de loisirs. Pour des systèmes collectifs, le rendement est meilleur que pour les systèmes individuels, grâce aux possibilités de rationalisation de l'installation solaire et aux besoins réguliers sur toute l'année. La production collective d'eau chaude sanitaire grâce à l'énergie solaire est maintenant bien au point, l'installation est en général dimensionnée pour fournir 40 à 60 % des besoins.

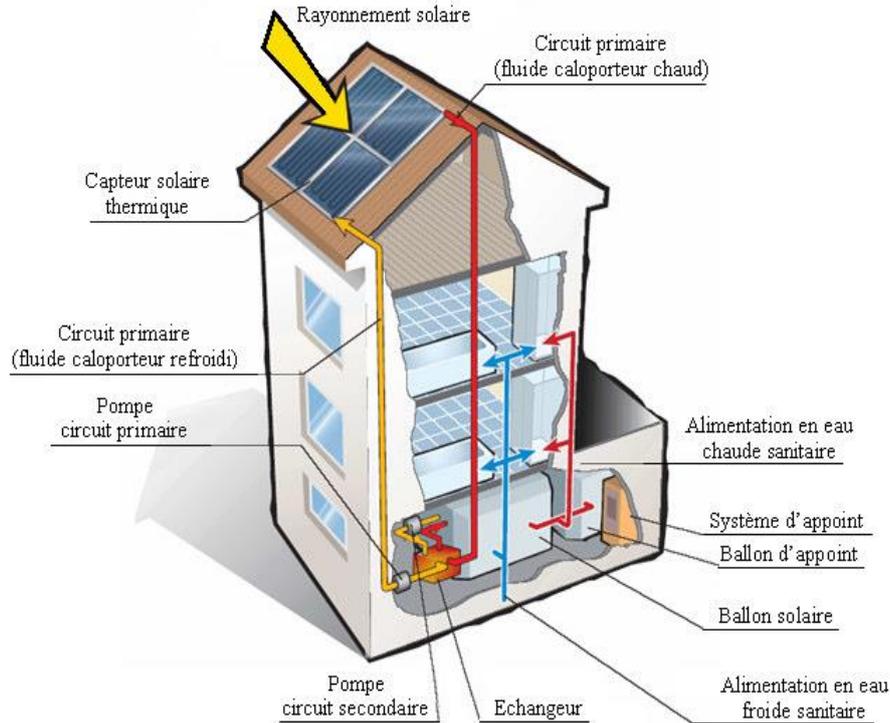


Fig. II.11 : Le schéma d'un chauffe-eau solaire collectif.

Une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire (**Fig. II.11**) comporte en général cinq sous-ensembles (captage, transfert, stockage, appoint et distribution):

Des capteurs solaires convertissent le rayonnement solaire en chaleur et la communiquent au liquide caloporteur circulant dans les tubes des capteurs et le circuit primaire. Ce liquide protège le circuit capteur du gel et transfère la chaleur à l'eau sanitaire par l'intermédiaire d'un échangeur. Cette eau chaude est ensuite stockée dans un ballon solaire, souvent disposé en série avec un ballon d'appoint (ou une installation de production d'eau chaude instantanée). Cet appoint est nécessaire pour garantir la température de consigne et la permanence de la fourniture d'eau chaude. Dans les applications collectives, la circulation du liquide caloporteur est effectuée au moyen d'une pompe électrique. Son fonctionnement est contrôlé par un dispositif de régulation jouant sur les différences de températures : si l'eau des ballons est plus chaude que le liquide des capteurs, le régulateur stoppe le circulateur, si elle est moins chaude, le circulateur se met en marche et le liquide primaire peut transmettre sa chaleur à l'eau stockée. [15]

II.8 L'impact environnemental :

II.8.1. L'augmentation des émissions de CO₂ :

Dans le monde entier, les phénomènes météorologiques extrêmes semblent se multiplier ces dernières années et c'est devenu très inquiétant, les scientifiques ont constaté une augmentation des températures

moyennes sur notre planète depuis un siècle environ. Les activités humaines, qui ont considérablement augmenté depuis le début de l'ère industrielle, ont bouleversé l'équilibre planétaire en augmentant les taux de gaz à effet de serre de l'atmosphère terrestre, le gaz carbonique CO₂ est le principal GES émis par l'activité humaine, 75 % des émissions de

CO₂ provient de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz). De ce fait l'activité humaine modifie le climat de la terre à une vitesse jamais atteinte au cours des derniers milliers d'années et cela devient de plus en plus dangereux, la (Fig. II.12) illustre les émissions de CO₂ liées à la combustion d'énergie dans le monde au cours de ces dernières vingtaine d'années.

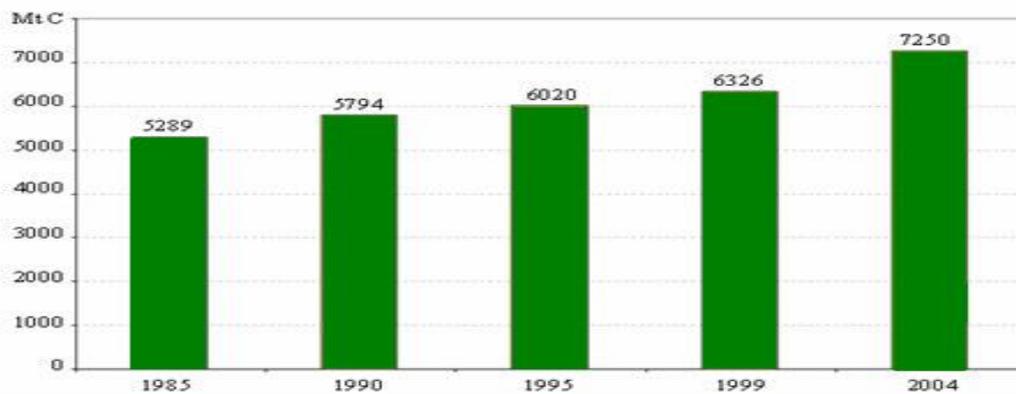


Fig. II.12 : Les émissions de CO₂ liées à la combustion d'énergie dans le monde.

En 2004, les émissions mondiales de CO₂ dues à l'énergie ont atteint 7,2 milliards de tonnes de carbone, principalement du fait de la Chine, qui a vu son niveau plus que doubler, passant de 624 Mt C en 1990 à 1,3 Gt C en 2004. En Europe, la situation est contrastée, avec des records enregistrés en Espagne (+59%), au Portugal (+52%), en Irlande (+37%) et en Grèce (+33%), la croissance économique explique l'essentiel de ces évolutions. A l'inverse, l'Allemagne perd 12,2%, le Royaume-Uni avec -3,7% de réduction, la baisse est significative, du fait de la restructuration de leurs économies. [05]

II.8.2. L'effet d'utilisation des CES :

Une des principales causes de l'utilisation des systèmes solaires thermiques est de jouer un rôle actif vis à vis des problèmes sociaux et environnementaux tels que la modification du climat, les pluies acides et l'insécurité d'approvisionnement énergétique. L'installation d'un système solaire thermique est le moyen pour chacun d'apporter une petite, mais réelle contribution, au règlement de ce type de problèmes. Cette démarche ne sauvera pas le monde du jour au lendemain mais s'inscrit de manière très concrète dans la bonne direction. [04]



Fig. II.13: L'impact environnemental d'un chauffe-eau solaire.

A la fin de l'année 2004 la capacité installée dans le monde des capteurs thermiques vitré et sous vide avait atteint 74,3 GWth, cependant celle des capteurs plans non vitré été de 23,1 GWth.[14] Ceci est équivalent à une réduction annuelle de CO₂ de 25,4 millions de tonnes. (**Fig. II.14**)

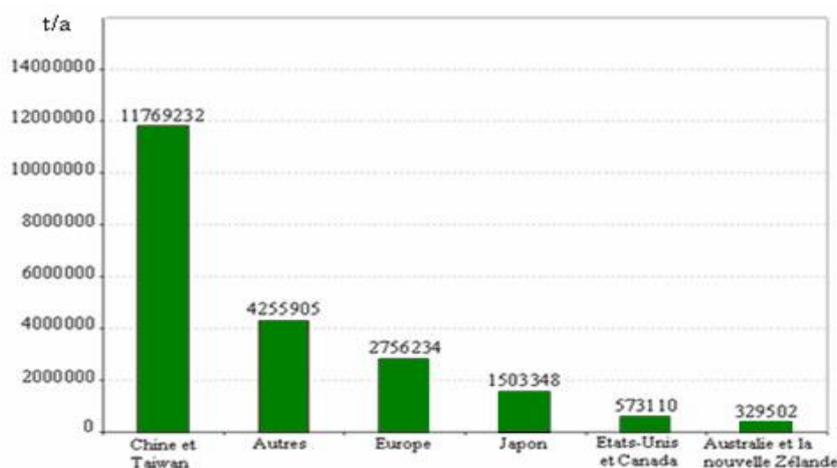


Fig. II.14 : La contribution de la puissance installée des capteurs thermiques en 2004 à la réduction du CO₂.

II.9. L'énergie solaire en Algérie :

II.9.1 La consommation du gaz naturel et de l'électricité en Algérie :

Selon les statistiques de l'année 2005, la consommation de l'Algérie en gaz naturel est de 21.7MTEP, environ 0.9% de la consommation mondiale, soit une augmentation de 9.8% par rapport à 2004, Au début des années 90 l'augmentation annuelle était de 0.96%. La consommation d'électricité en Algérie avait atteint 34TWh à la fin 2005, environ 0.2% de la consommation mondiale, soit une augmentation de 9% par rapport à 2004, de ce fait l'Algérie est devenue le deuxième payé au monde ; après la chine (12.6%), à avoir augmenter sa consommation en électricité avec un tel pourcentage, au début des années 90 on avait une augmentation annuelle de 5.6 % seulement. [20]

Fig. II.15 représente la consommation du gaz naturel et de l'électricité en Algérie depuis l'année 2000.

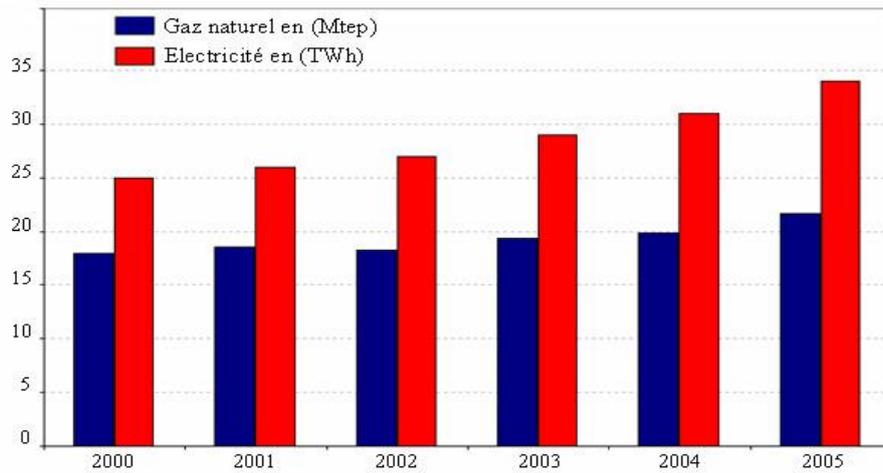


Fig. II.15: La consommation du gaz naturel et de l'électricité en Algérie.

Comparaison des agents énergétique pour la production d'eau chaude

Le choix d'une énergie (**Tableaux. II.2**) ne doit pas se limiter à la seule prise en compte du coût des installations de production d'eau chaude, il doit se faire en ayant connaissance des conséquences à moyen et long terme, il est donc primordial de bien connaître le prix des énergies, leur disponibilité locale, les contraintes matérielles des installations, leurs effets sur l'environnement...etc.

Tableaux. II.2 : Comparaison des différents systèmes de production d'eau chaude. [15] [21] :

Type de chauffe-eau	Avantages	Inconvénients
Le gaz naturel	<ul style="list-style-type: none"> Chauffage rapide de l'eau - Possibilité de raccorder à une cheminée ou à un conduit dans un mur extérieur. - Le prix du kilowattheure permet d'obtenir des coûts de fonctionnement acceptables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le choix de l'emplacement du chauffe-eau est restreint à cause de son raccordement. - L'installation du système est assez coûteux et fait appel à des règles d'installation très strictes. - Le gaz naturel n'est pas disponible à tout endroit. - Le gaz naturel émet des polluants et du CO₂ qui contribue à l'effet de serre.
L'électricité	<ul style="list-style-type: none"> Energie disponible pratiquement sur toute la planète. - Energie facile à utiliser et propre pour l'utilisateur final. - Faciles à installer, le chauffe-eau peut être situés dans de nombreux endroits de la maison. - Ne requièrent aucun dispositif d'évacuation. - Les systèmes électriques de production d'eau chaude sont le moins coûteux à l'installation 	<ul style="list-style-type: none"> L'eau prend plus de temps à chauffer avec un appareil électrique. - Le prix élevé du kilowattheure engendre des coûts de fonctionnement élevés. - La production peut être très polluante.

Le solaire	<p>C'est une énergie renouvelable. L'énergie émanant du soleil est gratuite.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ecologique par excellence, l'énergie solaire ne produit aucune émission de gaz à effet de serre. - La possibilité de combinaison d'un système solaire avec un chauffage classique. 	<p>L'utilisation de l'énergie solaire dépend de l'ensoleillement et varie donc suivant les saisons et le recourt à une énergie d'appoint est nécessaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une installation solaire est plus coûteuse à l'achat qu'une installation de production d'eau chaude classique. Toutefois l'investissement est amorti par les économies de fonctionnement réalisées.
------------	--	--

II.10 Avantage des chauffe eau solaire :

Pour démontrer l'intérêt des chauffe eau solaire nous avons examiné une expérience testant un chauffe-eau solaire, installé dans une zone très fraîche, où le nombre d'heures de soleil par an est de 1750h/an, pour cela un suivi mensuel de la consommation électrique pour la production d'eau chaude a été réaliser avant et après l'insertion du chauffe-eau solaire, la température d'eau froide fournie par le réseau est de 12° en été et entre 2° et 5° en hiver.

L'intérêt du couplage entre le solaire et le chauffe-eau électrique réside dans le fait que le premier augmente la température de l'eau qui entre dans le chauffe-eau électrique, ainsi le travail de la résistance électrique est amoindri voire totalement annulé par le préchauffage solaire et la consommation d'électricité est réduite.

[22]

Les résultats sont représentés sur Fig.II.16, la consommation annuelle entre 97-98 sans chauffe-eau solaire est de 2573kWh, pour la période 98-99 sans le solaire la consommation est de 2621kWh, une fois le chauffe-eau solaire inséré (entre 90-00), la consommation été réduite à 1418 kWh, avec 54%: apport de l'appoint électrique et 46%: apport solaire, pour une installation dans une zone plus tempérée, ce système peut faire réaliser jusqu'à 60% d'économies dans de bonnes conditions, pour le nord de l'Algérie on peut réaliser jusqu'à 80% d'économies.

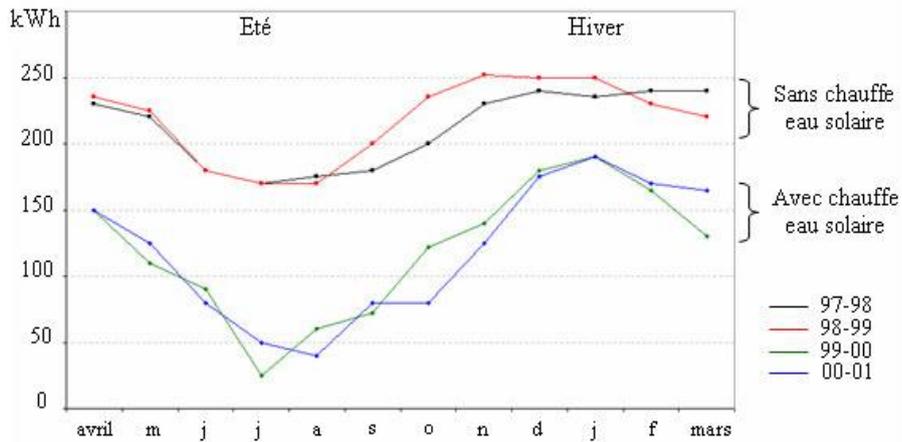


Fig. II.16 : Comparaison de la consommation d'un chauffe-eau (sans et avec système solaire).

II.11 Les ressources solaires en Algérie :

Avec 2381741km² de surface, l'Algérie est le pays le plus vaste du méditerranéen, selon une étude de l'agence aérospatiale allemande, l'Algérie offre de plus grandes possibilités intéressantes ; à long terme, pour investir dans les centrales thermiques solaires. En effet l'Algérie est l'un des pays de la méditerranée qui dispose d'un potentiel solaire énorme, selon les données d'ensoleillement (**Fig. II.17**), l'Algérie est comptée parmi les meilleurs pays ensoleillé au monde.[23] La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000heures annuellement et peut atteindre les 3900heures dans les hauts plateaux et le Sahara, l'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700kWh/m²/an au Nord et 2263kwh/m²/an au Sud du pays, le potentiel des ressources solaires de notre payé est donc optimal pour l'exécution des projets solaires. [24]

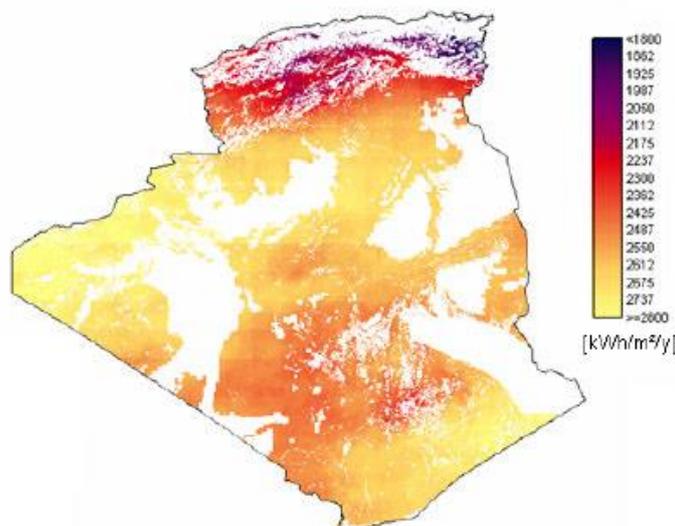


Fig. II.17 : Le potentiel de l'Algérie en énergie solaire

II.12 Le solaire thermique en Algérie :

Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire thermique est aujourd'hui la plus proche de la compétitivité économique avec les énergies fossiles et la plus prometteuse en termes de marché puisque les besoins en eau chaude sont universels et en développement constant, dans le cadre du projet: application de l'énergie solaire thermique dans le bassin méditerranéen avec garantie de résultats solaires (AESTBM-GRS) initié par l'association des agences nationales de maîtrise de l'énergie et soutenu par la commission Européenne, l'Algérie prévoit d'installée une puissance de 12700281m² de capteurs solaire thermique [25] d'ici l'année 2010, réparti sur quatre zones climatiques (**Fig. II.18**): la zone côtière ou littorale (4991606m²), la zone des hauts plateaux (4646366m²) et la zone du Sahara; répartie en deux sous zones climatiques: le nord-sud (2143411m²) et le grand sud (918898m²), cette puissance sera répartie également sur quatre secteurs: la santé, le tourisme, l'habitat collectif, le tertiaire.

Ce projet une fois réalisé devra promouvoir l'émergence d'un marché solaire thermique autonome et durable en Algérie, qui contribuera au développement d'industries au niveau local.

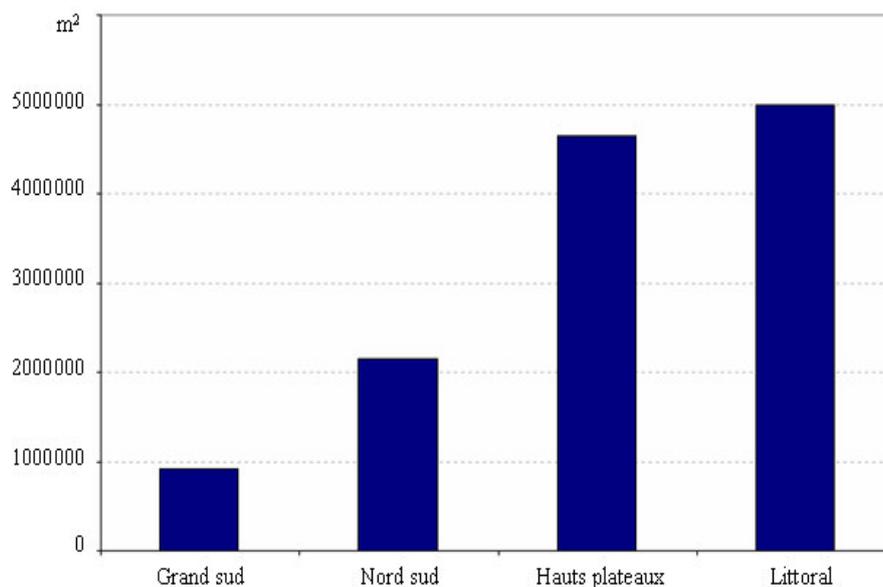


Fig. II.18 : Exemple de réalisations du solaire thermique en Algérie.

II.13 Estimation des coûts d'un CES individuel :

Supposant qu'on va calculer le coût d'un chauffe-eau solaire individuel pour une famille de 4 personnes résidant à Alger, et qui possède une cuve de stockage de 300litres, la température d'eau chaude souhaitée sera à 60°C, le capteur plan choisit est un capteur vitré du type 'Sun System', les prix unitaires relatives aux équipements énergétiques utilisés sont données ci-après :

II.13.1 Prix unitaire des équipements :

Prix du capteur solaire 12458.52 DA/m²

Prix de la cuve de stockage 74.75 DA/L

Prix de la tuyauterie 622.92 DA/m

Prix de la pompe 1211.24 DA/m

Prix de l'échangeur 1384.28 DA/kW

Le prix des capteurs solaire sera de 47996 DA, le réservoir coûtera 22425 DA et le groupe de transfert coûtera 74370 DA, le prix net de l'installation solaire sera alors 144791 DA, Si cette famille utilise comme énergie d'appoint le gaz naturel, elle aura à payer un frais annuel de 507.8 DA, et si cette énergie était de l'électricité le montant du frais annuel s'élèvera à 8185.6 DA. [28]

II.14 Conclusion :

Les chauffe-eaux solaires représentent une solution efficace et durable pour la production d'eau chaude sanitaire, tirant parti de l'énergie gratuite et renouvelable du soleil. Leur principal avantage réside dans leur capacité à réduire les coûts énergétiques à long terme et à diminuer l'empreinte carbone, en diminuant la dépendance aux sources d'énergie fossiles.

CHAPITRE III

Aperçu sur la wilaya de Mostaganem



III.1 L'irradiation ou rayonnement solaire au sol :

C'est l'énergie reçue pendant une certaine durée. On distingue plusieurs composantes qui sont principalement :

III.1.1 Le rayonnement direct (I) :

C'est le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.

III.1.2 Le rayonnement diffus (D) :

C'est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols,). Il n'a pas de direction privilégiée.

III.1.3 Le rayonnement global (G) :

C'est la somme des rayonnements direct et diffus [26].

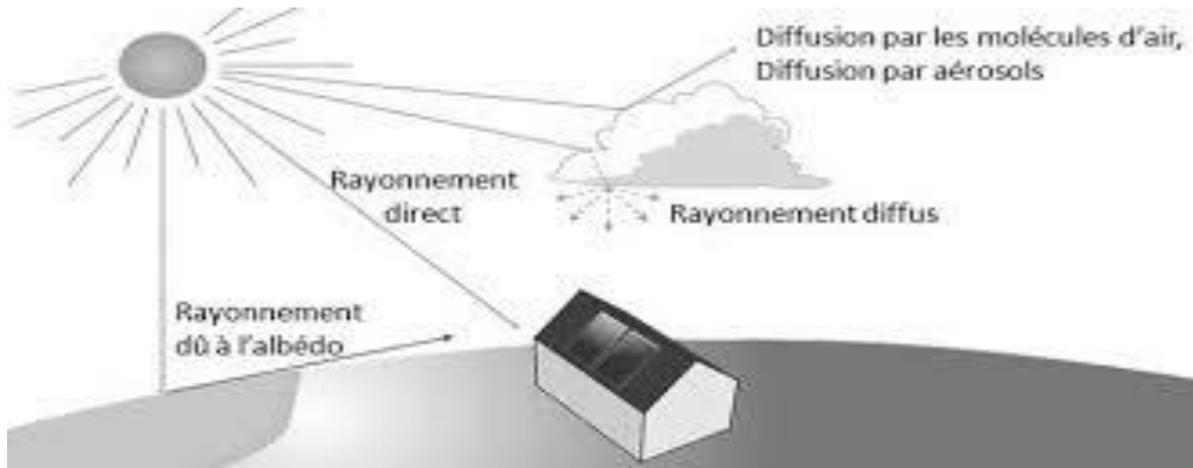


Fig. III.1 : Composantes du rayonnement solaire : extraterrestre, global = direct + diffus + albédo

Nous allons donner dans ce chapitre un aperçu géographique et climatique sur la wilaya de Mostaganem afin de déterminer la meilleure position et orientation des installations solaires dans cette wilaya.

III.2. Géographie et géomorphologie de MOSTAGANEM :

III.2.1. Géographie régionale :

Mostaganem s'étend sur 2269 Km² pour une population de 807.518 d'habitants. Dotée d'un littoral de 124 km, ses plages sont des plus belles d'Algérie offrant un contraste rarement retrouvé dans une même région : rocheuses, sablonneuses, forestières : elles sont chaque été convoitées par des milliers d'estivants leur offrant un menu à choix multiples [27].



Fig.III.2 : Localisation de la Wilaya de MOSTAGANEM.

III.3 Températures :

Les températures maximales atteignent leur pic en juillet et août avec des valeurs de 31,7°C et 32,2°C respectivement, ce qui indique une période estivale très chaude et ensoleillée. Les températures moyennes augmentent également progressivement jusqu'à atteindre 26,9°C en août, suggérant une exposition solaire intense pendant ces mois. En hiver, les températures moyennes oscillent autour de 10 à 15°C, avec des maximales de 15 à 19°C, ce qui reste modéré.

Ces données indiquent que Mostaganem bénéficie d'un bon ensoleillement, surtout en été, ce qui est favorable pour le fonctionnement optimal d'un chauffe-eau solaire. Cependant, même durant les mois plus froids (de novembre à mars), les températures restent suffisamment élevées pour permettre un apport solaire utile, bien que moins intense. Cela suggère que l'installation d'un chauffe-eau solaire serait bénéfique tout au long de l'année, avec un rendement maximal en été et un rendement réduit mais encore viable en hiver.

Tableau. III.1. Moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2021(PVGIS) :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne °C	10.9	11.4	13.6	16.1	19.4	23.5	26.3	26.9	24	20.6	15.1	12.1
Température maximale °C	15	15.7	18.3	20.8	24.1	28.6	31.7	32.2	28.8	25.3	19	16.1

Ainsi les moyennes mensuelles et annuelles des températures de la station de Mostaganem sont représentées dans la figure IV.6 ci-dessous :

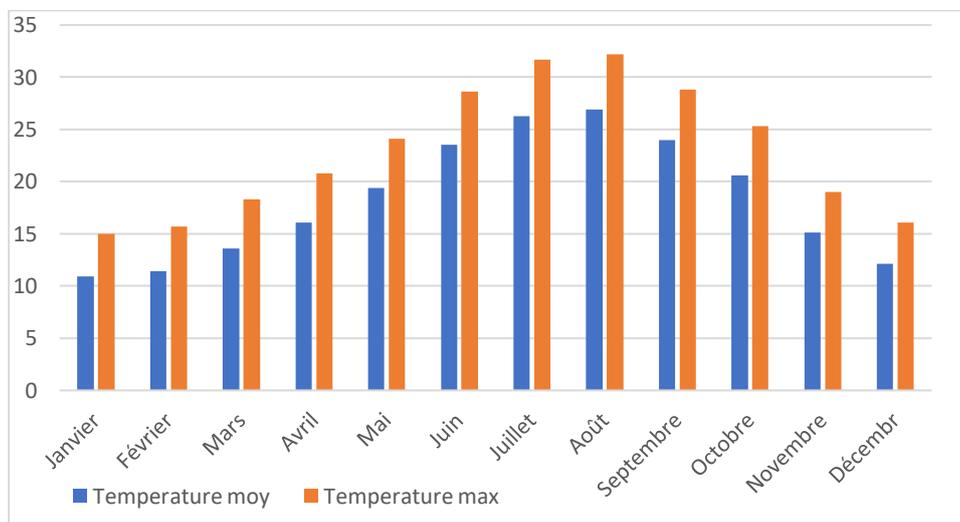


Fig. III.3. Courbe des moyennes mensuelles des températures sur la période 1999-2021.

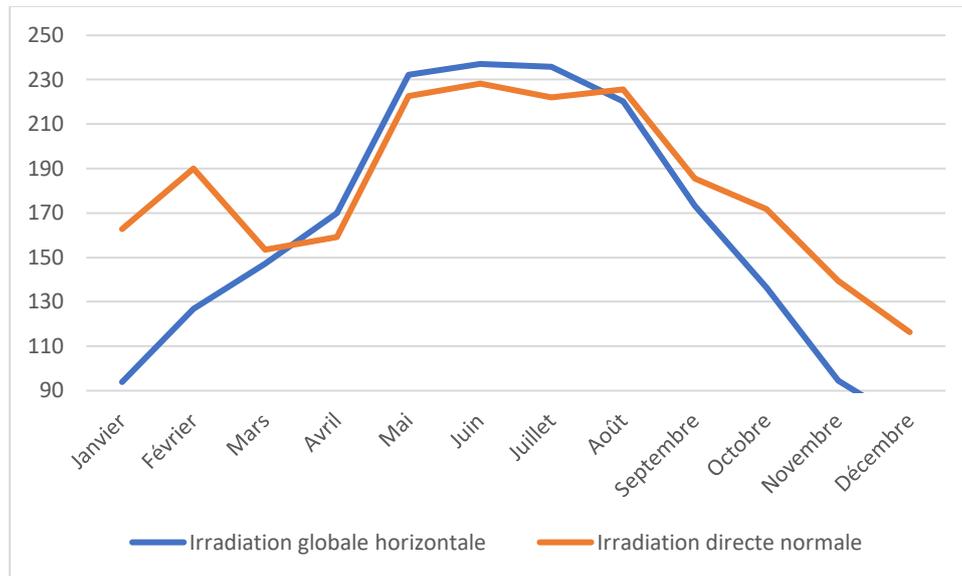


Fig. III.4 Irradiation solaire mensuelle de Mostaganem en KWh/m² (PVGIS)

III.4 Irradiation globale horizontale :

- Cette courbe représente la quantité totale d'énergie solaire reçue sur une surface horizontale, incluant à la fois le rayonnement direct et diffus.
- L'irradiation globale suit un **profil saisonnier classique**. Elle commence à un minimum en hiver (janvier, décembre) et atteint un **maximum durant l'été** (mai, juin, juillet).
- L'irradiation est particulièrement forte entre **mai et août**, avec un **pic en juin-juillet** où les valeurs dépassent 230 kWh/m². Ces mois offrent le **meilleur potentiel** pour l'utilisation de l'énergie solaire à Mostaganem.
- En revanche, les mois de **décembre et janvier** montrent des valeurs beaucoup plus faibles, inférieures à 100 kWh/m², ce qui reflète la **faible intensité solaire** durant l'hiver.

III.4.1 Irradiation directe normale :

- Cette courbe représente uniquement l'énergie provenant du rayonnement direct solaire, mesurée perpendiculairement aux rayons solaires.
- Comparée à l'irradiation globale, l'irradiation directe est **plus variable** et **plus sensible** aux conditions météorologiques (comme la couverture nuageuse).
- Le **pic d'irradiation directe** se produit également pendant l'été (mai à juillet), mais il est légèrement **plus bas** que l'irradiation globale. Cela suggère une **contribution plus importante du rayonnement diffus** durant cette période.

- Durant **l'hiver**, l'irradiation directe est plus faible et présente une forte variation entre février et mars. La courbe orange montre un creux en mars, ce qui pourrait être dû à des conditions météorologiques spécifiques, telles que des journées nuageuses ou des variations dans l'angle d'incidence solaire.

III.4.2 Comparaison entre les deux courbes :

- Les deux courbes suivent une tendance similaire, avec des **valeurs plus élevées durant l'été** et des **valeurs basses durant l'hiver**. Cependant, l'irradiation globale reste **supérieure à l'irradiation directe**, surtout en hiver, où le **rayonnement diffus** joue un rôle plus important.
- La différence notable entre les deux courbes en hiver indique que, même si le rayonnement direct est faible, il reste une quantité importante de rayonnement diffus disponible.
- Cela signifie que, même lors de journées partiellement nuageuses, il y a encore un potentiel pour capter l'énergie solaire, ce qui est un **avantage pour les systèmes solaires**.

III.4.3 Applications pour les systèmes solaires à Mostaganem :

- **Période favorable** : Les **mois d'été** (mai à août) sont les plus favorables pour les systèmes solaires thermiques ou photovoltaïques, car l'irradiation est à son maximum.
- **Période de moindre efficacité** : Les **mois d'hiver** (novembre à février) sont moins favorables pour une exploitation optimale de l'énergie solaire. Cependant, grâce à l'irradiation diffuse, des systèmes comme les chauffe-eaux solaires peuvent encore fonctionner avec une efficacité réduite.
- **Conception des systèmes solaires** : Il est essentiel de **dimensionner les systèmes solaires** en tenant compte de ces variations saisonnières. En hiver, un **système d'appoint** (électrique ou gaz) pourrait être nécessaire pour compenser la baisse d'énergie solaire disponible.

III.5 Les équations thermiques :

III.5.1 Chaleur absorbée (Q absorbé) :

La chaleur absorbée par le capteur solaire est donnée par :

$$Q_{\text{absorbé}} = I \cdot A - \alpha - Q_{\text{pertes}} \quad (\text{III.1})$$

Étapes de calcul :

- I (Irradiance solaire) : Mesurée en watts par mètre carré (W/m²). Vous pouvez obtenir cette valeur à partir de données de rayonnement solaire pour votre emplacement.
- A (Surface du capteur) : Mesurez la surface du capteur solaire en mètres carrés (m²).

- α (Coefficient d'absorption) : Il mesure combien de radiation solaire est absorbée par le matériau du collecteur, typiquement compris entre 0 et 1. La plupart des bons collecteurs ont des valeurs de α proches de 0,9.

III.5.2. Pertes thermiques (Q_{pertes}) :

Les pertes thermiques se produisent en raison de la convection, de la conduction et du rayonnement. Les pertes thermiques totales peuvent être calculées comme suit :

A. Pertes par convection (Q_{conv}) :

$$Q_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot (T_{\text{surface}} - T_{\text{air}}) \quad (\text{III.2})$$

- h : Coefficient de convection ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), qui dépend de la vitesse du vent et de l'orientation du collecteur.
- T_{surface} : Température de la surface du collecteur (K).
- T_{air} : Température ambiante (K).

B. Pertes par conduction (Q_{cond}) :

$$Q_{\text{cond}} = [k \cdot A \cdot (T_{\text{surface}} - T_{\text{fluide}})]/L \quad (\text{III.3})$$

- k : Conductivité du matériau isolant ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$).
- L : Épaisseur de la couche isolante (m).
- T_{fluide} : Température du fluide dans le collecteur (K).

C. Pertes par rayonnement (Q_{rad}) :

$$Q_{\text{rad}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{surface}}^4 - T_{\text{ambiante}}^4) \quad (\text{III.4})$$

- ϵ : Émissivité de la surface du collecteur (généralement entre 0 et 1).
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$).
- T_{ambiante} : Température ambiante (K)

D. Pertes thermiques totales :

$$Q_{\text{pertes}} = Q_{\text{conv}} + Q_{\text{cond}} + Q_{\text{rad}} \quad (\text{III.5})$$

III.5.3 Efficacité du chauffe-eau solaire :

L'efficacité d'un chauffe-eau solaire peut être définie en termes d'efficacité :

$$\eta = (Q_{\text{absorbé}} - Q_{\text{pertes}})/Q_{\text{in}} \quad (\text{III.6})$$

Où :

- η : Efficacité du chauffe-eau solaire (sous forme de fraction ou de pourcentage).
- Q_{in} : Énergie solaire entrante basée sur l'irradiance solaire sur la surface du collecteur, calculée comme $Q_{in} = I \cdot A$

A. Énergie utile Q_u :

- L'énergie utile Q_u représente l'énergie thermique effectivement captée par le capteur solaire et utilisée pour chauffer l'eau. C'est l'énergie que le système de chauffe-eau solaire convertit en chaleur exploitable.
- Q_u dépend de l'irradiation solaire reçue et de l'efficacité de conversion du capteur.

B. Pertes thermiques (Q_{perte} cuivre) :

- Les pertes thermiques Q_{perte} concernent l'énergie dissipée par le système, principalement par le capteur et les conduites. Elles sont souvent causées par des pertes de conduction dans les matériaux, ici probablement dans le cuivre utilisé dans les canalisations ou les échangeurs thermiques.
- Ces pertes peuvent être particulièrement importantes lorsque la différence de température entre le fluide caloporteur et l'environnement est élevée, et dépendent également de la qualité de l'isolation thermique.
- Le tableau suivant montre l'évolution du chauffe-eau solaire en Algérie :

Tableau. III.2 Rendement journalier mois par mois pour une année type[29] :

Mois	I_g MJ/m ²	Q_u MJ	Q_{perte} MJ	Rendement Mensuel
Janv	12.59	6.25	0.26	0.20
Fév	11.25	10.69	0.45	0.39
Mars	16.49	13.34	0.56	0.33
Avril	17.13	21.32	0.89	0.51
Mai	20.11	21.83	0.91	0.46
Juin	21.15	26.26	0.87	0.60
Juil	23.85	24.28	0.71	0.51
Août	20.87	24.62	0.75	0.53
Sept	19.09	25.44	0.79	0.59
Oct	16.46	10.48	0.39	0.27
Nov	13.35	13.85	0.52	0.44
Déc	10.53	2.45	0.09	0.10
Moyen	-	-	-	0.41

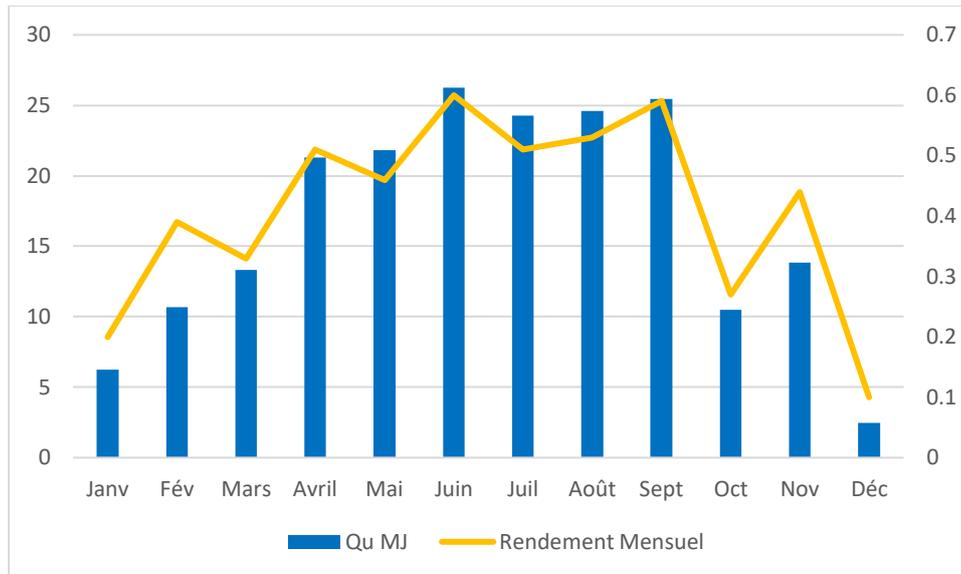


Fig III.5 Rendement et Quile journalier mois par mois

III.6 Explication des résultats du tableau et du graphe

III.6.1 Énergie utile Qu :

L'énergie utile Qu (en MJ) montre la quantité d'énergie solaire captée et transformée en chaleur utilisable par le chauffe-eau. Voici une explication des résultats principaux :

- En **janvier**, Qu est de **6.25 MJ**, ce qui montre une faible production d'énergie utile en raison du faible ensoleillement et des pertes plus importantes dues aux basses températures extérieures.
- En **juin** (période estivale), Qu atteint **26.26 MJ**, grâce à l'augmentation de l'irradiation solaire reçue ($I_g = 23.85 \text{ MJ/m}^2$) et à la réduction des pertes thermiques.
- En moyenne, l'énergie utile captée est plus élevée entre **avril** et **septembre**, atteignant un pic en **mai** (**21.83 MJ**), avec un rendement optimal du système solaire à ce moment de l'année.

III.6.2 Pertes thermiques Qperte :

Les pertes thermiques dans les conduites en cuivre, indiquées par Qperte, varient en fonction des conditions environnementales et du flux de chaleur dans le système.

- Les pertes sont **relativement faibles** au début de l'année (janvier : **0.26 MJ**) et augmentent à mesure que l'irradiation solaire augmente, atteignant **0.89 MJ** en avril.
- Cependant, les pertes thermiques ne suivent pas une corrélation directe avec l'irradiation solaire. Par exemple, en **septembre**, les pertes sont de **0.39 MJ**, alors que l'irradiation solaire est encore relativement forte ($I_g = 16.46 \text{ MJ/m}^2$). Cela peut être lié aux températures ambiantes plus basses à la fin de l'été et au début de l'automne, ce qui augmente la différence de température entre le fluide caloporteur et l'environnement extérieur.

III.6.3 Rendement mensuel :

Le rendement mensuel reflète la **performance globale du capteur solaire** en tenant compte de l'énergie solaire reçue et de l'énergie utile captée.

- Le **rendement maximal** est observé en **mai (60%)**, ce qui coïncide avec une forte irradiation solaire et des conditions thermiques favorables.
- En revanche, en **janvier**, le rendement est beaucoup plus bas (**20%**), en raison de la faible irradiation solaire et des pertes thermiques plus élevées en raison de la différence de température importante entre le fluide caloporteur et l'extérieur.
- Le **rendement annuel moyen** est de **41%**, ce qui indique que, sur l'ensemble de l'année, 41% de l'énergie solaire captée est convertie en chaleur utile. Cela montre une bonne performance du système pour la plupart des mois.

III.7 Chauffe-eau Solaire Thermosiphon 300L (2 capteurs) Réf : TH1000025 :

Tableau. III.3 Fiche technique : Chauffe-eau Solaire Thermosiphon 300L (2 capteurs) Réf : TH1000025 :

Caractéristiques techniques Capteurs	
Surface brute	2.02 m ²
Surface Absorbeur	1.85 m ²
Dimensions L x l x h	1908 x 1058 x 75 mm
Poids	30 kg
Volume	1.1 L
Absorbeur	Aluminium
Absorption / Émission	95 / 5 %
Diamètre Collecteur	18 mm
Rendement	76.2 %
Coefficient a1	3.92 W/m ² .K
Coefficient a1	0.015 W/m ² .K ²
Isolation	30 mm
Force admissible	3 kN/m ² (appel)
Pression max de service	10 bars

Fluide	Polypropylène glycol / eau distillée
Angle installation sur terrasse	35° (autre sur demande)
Caractéristiques techniques ballon	
Masse du ballon	106 kg
Contenance	282 Litres
Isolation thermique réservoir	Mousse PU 40 mm
Pression ECS	3 bars
Pression circuit solaire	6 bars
Caractéristiques techniques ballon	
Raccords ballon	F 3/4
Fluide	caloporteur fournis Mélange glycol - eau
Composition	Acier, peinture laquée
Masse du système complet à vide	175 kg
Masse du système complet rempli	467 kg

III.7.2 Exemple de calcul avec ce chauffe-eau solaire :

Pour analyser l'échange thermique entre la radiation solaire reçue par un chauffe-eau solaire et l'augmentation de la température du capteur, il est essentiel de prendre en compte la puissance solaire incidente, le coefficient d'absorption du capteur, et les pertes thermiques. L'équation de base peut être formulée comme suit :

$$Q_{\text{absorbe}} = I \cdot A \cdot \alpha - Q_{\text{pertes}} \quad (\text{III.1})$$

Q_{absorbe} : est la chaleur absorbée par le capteur.

I : est l'intensité de la radiation solaire.

A : est la surface du capteur.

α : est le coefficient d'absorption.

$Q_{\text{(pertes)}}$: représente les pertes thermiques par convection et conduction.

L'augmentation de température du fluide caloporteur peut ensuite être estimée par :

$$\Delta T = Q_{\text{absorbe}} / m \cdot c \quad (\text{III.7})$$

m : est le débit massique du fluide

c :sa capacité calorifique.

III.7.3 Calcule de moi de aout :

$$I_r=9404.76 \text{ W/ m}^2$$

$$\text{Rendement} = 76.2\%$$

$$\text{Surface} = 1.85 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{loses}} = 140 \text{ W}$$

$$c=4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{asorbe}}=I \cdot A \cdot \alpha - Q_{\text{pertes}}=9404.76 \cdot 1.85 \cdot 0.76 - 140$$

$$Q_{\text{asorbe}}=13082.24$$

$$\Delta T = Q_{\text{asorbe}} / m \cdot c = 13082.24 / 0.1 \cdot 4186$$

$$\Delta T=31.25^\circ\text{C}$$

$$T_f=T_{in} + \Delta T=31+31.25$$

$$T_f=62.25^\circ\text{C}$$

Tableau. III.4 Tableau qui montre les paramètres thermique chaque mois :

MOIS	Ir(kwh/m2)	Ir(w/m2)	T in C°	Q abs	delta T C°	T out C°(final)
Janvier	162,75	6781,25	15	9419,52	22,5	37,5
Février	190,01	7917,08	16,2	10991,41	26,25	42,45
Mars	153,56	6398,33	18	8856,05	21,15	39,15
Avril	159,09	6628,75	19,5	9180,02	21,93	41,43
Mai	222,75	9281,25	24,8	12909,43	30,83	55,63
Juin	228,27	9511,25	28	13232,81	31,61	59,61
Juillet	221,94	9247,5	29,7	12861,98	30,72	60,42
Aout	225,7	9404,16	31	13082,24	31,25	62,25
Septembre	185,5	7729,16	28	10727,19	25,62	53,62
Octobre	171,79	7157,91	22,5	9924,02	23,7	46,2
Novembre	139,47	5811,25	18	8030,61	19,18	37,18

Décembre	116,35	4847,91	13,5	6676,16	15,94	29,44
----------	--------	---------	------	---------	-------	-------

III.7.4 Interprétation des résultats obtenu :

Le graphe présente une relation entre l'irradiation solaire mensuelle (Ir en kWh/m²) et la température de sortie de l'eau (T out en °C) d'un chauffe-eau solaire. L'analyse montre une corrélation positive entre l'irradiation et la température de l'eau chauffée.

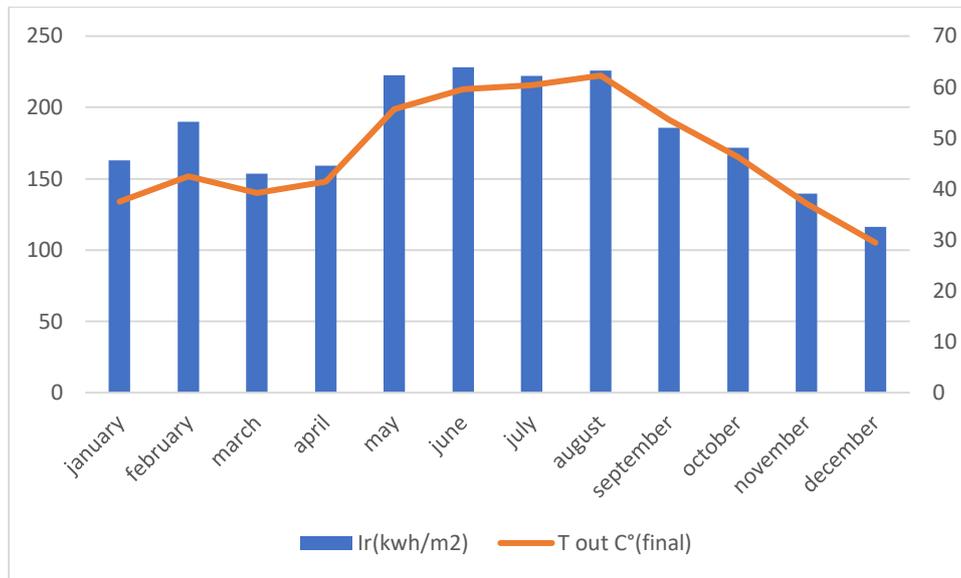


Fig III.6 : la relation entre l'irradiation avec la température de sortie

1. ****Irradiation solaire**** : L'irradiation suit un cycle saisonnier, avec des valeurs plus faibles en hiver et plus élevées en été. Elle atteint un pic entre mai et août, avec une irradiation maximale d'environ 228 kWh/m² en juin.

2. ****Température de sortie**** : La température de sortie de l'eau suit de manière similaire l'évolution de l'irradiation. Elle augmente progressivement à mesure que l'irradiation augmente, avec une température maximale en août (62,25°C). En hiver, les températures sont plus basses, atteignant un minimum de 29,44°C en décembre.

- ****Corrélation directe**** : Il est évident que plus l'irradiation solaire est élevée, plus la température de l'eau chauffée par le chauffe-eau solaire est élevée. Cela est dû au fait que l'énergie solaire absorbée par les capteurs est transformée en chaleur, augmentant ainsi la température de l'eau.

- ****Meilleure performance estivale**** : Entre mai et août, le chauffe-eau solaire atteint ses meilleures performances, car l'irradiation solaire est à son maximum, ce qui permet d'atteindre des températures de sortie d'eau optimales pour un usage domestique.

- ****Diminution en hiver**** : Pendant les mois d'hiver (décembre, janvier), l'irradiation est plus faible, entraînant des températures de sortie de l'eau plus basses. Cela suggère que l'efficacité des chauffe-eaux

solaires dépend grandement des conditions d'ensoleillement, et qu'un système d'appoint pourrait être nécessaire pour maintenir une température adéquate en hiver.

III.8 Conclusion :

Le rendement moyen annuel de 41% indique que le chauffe-eau solaire peut capter et utiliser une part importante de l'énergie solaire reçue.

Les pertes thermiques restent raisonnables mais montrent des variations saisonnières, en particulier lors des périodes où la différence de température entre le fluide et l'air extérieur est plus importante.

L'énergie utile captée par le système (Q_u) est plus significative pendant les mois ensoleillés d'avril à septembre, avec un pic en **juin** et une bonne efficacité globale en **mai**.

La variation saisonnière dans le rendement montre l'importance de bien **dimensionner le système** et éventuellement de prévoir des systèmes d'appoint pour les mois d'hiver, lorsque les performances du capteur solaire sont réduites.

En résumé, la performance des chauffe-eaux solaires est directement liée à l'irradiation solaire, avec une efficacité maximale durant les mois d'été, et des performances réduites en hiver.

Conclusion générale :

Le développement des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, s'impose aujourd'hui comme une nécessité pour répondre aux défis environnementaux et énergétiques. Parmi les solutions proposées, le chauffe-eau solaire domestique se présente comme une technologie mature et efficace, permettant de valoriser le potentiel solaire d'une région pour répondre à un besoin de base : la production d'eau chaude sanitaire.

L'analyse technico-économique menée dans l'agglomération de Mostaganem montre que cette région bénéficie d'un ensoleillement abondant, ce qui en fait une zone particulièrement favorable à l'installation de systèmes solaires thermiques. En effet, les conditions climatiques, notamment l'irradiation solaire et les températures relativement élevées, garantissent un rendement optimal des installations. Les études réalisées sur le potentiel solaire local, ainsi que l'estimation des coûts d'installation et de maintenance des chauffe-eaux solaires, démontrent une rentabilité à moyen terme, tant sur le plan économique qu'écologique.

Du point de vue technique, plusieurs configurations de chauffe-eau solaires sont disponibles, allant des systèmes monoblocs aux systèmes à circulation forcée, chacun présentant des avantages en fonction des besoins spécifiques des utilisateurs et des caractéristiques des sites d'installation. L'étude met également en lumière l'importance de bien dimensionner les systèmes et de choisir les composants adéquats, tels que les capteurs solaires et les unités de stockage, afin de maximiser l'efficacité énergétique.

Sur le plan environnemental, le recours au chauffe-eau solaire contribue à réduire les émissions de CO₂, en diminuant la consommation de gaz naturel et d'électricité, et s'inscrit parfaitement dans la stratégie nationale de transition énergétique de l'Algérie. L'utilisation accrue des systèmes solaires thermiques peut non seulement alléger la pression sur les ressources énergétiques conventionnelles, mais aussi participer à la lutte contre le changement climatique.

En conclusion, le chauffe-eau solaire à usage domestique représente une solution durable et avantageuse pour la région de Mostaganem. Il est essentiel de promouvoir son utilisation à travers des politiques d'incitation financière, une sensibilisation accrue des ménages, et le développement de réseaux de distribution et de maintenance adaptés. Ces actions permettraient non seulement d'améliorer le bien-être des habitants, mais aussi de renforcer l'indépendance énergétique de la région tout en protégeant l'environnement.

L'étude met en évidence l'importance de maximiser l'énergie utile (Q_u) tout en minimisant les pertes thermiques afin d'optimiser le rendement des systèmes solaires dans différentes conditions climatiques et géographiques.

Bibliographie

- [07] « Systèmes photovoltaïques pour les pays en développement », Théodore FOGELMAN, 1983.
- [08] « Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region », by German Aerospace Center (DLR), Institute of Technical Thermodynamics, Section Systems Analysis and Technology Assessment, 2005.
- [09] « Global Initiative For Concentrating Solar Power », F. Morse, 2004.
- [10] Applications de l'énergie solaire thermique dans le bassin méditerranéen, AESTBM, Mars 2004.
- [11] « L'abc des technologies de l'énergie renouvelable », K. Ogilvie, 2003.
- [12] « Captation, transformation et conversion de l'énergie solaire par les technologies à concentration », A. Ferriere, G. Flamant, 2005.

- [16] « Guide pour l'intégration architecturale des capteurs solaire thermique », pays d'AIX, 2005.
- [17] CONCEPTION ET REALISATION D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE Présenté par : Alioune Diop SY 2007
- [18] Capteur plant vitré [https://www.solairethermique.guidenr.fr/I_capteur-solaire-thermique-plan.php]
- [20] « Statistical Review of world Energy », BP, 2005
- [24] Algérie : Ministère de l'Energie et des Mines, Direction des Énergies Nouvelles et Renouvelables, 2006.
- [23] « Report on the SolarPACES START Mission to Algeria », M. Geyer, 2003.
- [26] Salima KARROUT, « Etude théoriques et numériques des systèmes couples : distilla-teur plan-capteur et distillateur HOT BOX – capteur », mémoire Magister, Université de CONSTANTINE, 2009.
- [28] Etude technico-économique pour la conception et la réalisation d'un chauffe-eau solaire de Fatiha Yettou, Fathia Chkired, Nedjma Aouchiche :Conference Paper :April 2007
- [29] L'évolution du chauffe eau solaire en Algérie Hakem Sid-Ali et Kaci Karim 2005.
- [01] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable
- [02] <http://www.notre-planete.info>
- [03] <http://www.wikipedia.org>
- [04] <http://www.tecsol.fr>
- [05] <http://www.industrie.gouv.fr>
- [06] <http://www.Planete-energies.com>
- [13] <http://www.outilssolaires.com>
- [14] <http://www.iea-shc.org>
- [15] <http://www.Ademe.fr>
- [19] [https://www.researchgate.net/figure/Description-dun-capteur-solaire-non-vitre_fig2_333309744]
- [20] <http://www.esttp.org>

[21] <http://oee.nrcan.gc.ca>

[22] <http://basile.chez-alice.fr>

[25] <http://www.aprue.org.dz>

[27] Monographie de Mostaganem, www.anvedet.org.dz/Mostaganem.pdf