

Université KASDI-MERBAH Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies.

Filière : Industries Pétrochimiques.

Spécialité : Génie du Pétrochimique

Présenté par : Terriche Youcef

Elhadj Ahmed Touahria

Thème :

Eude technico-économique et environnementales des capteurs solaires à différents types isolants thermique

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de

Mr.	MAA	Président	UKM Ouargla.
Mr.	Pr	Examineur	UKM Ouargla.
Mr. LATI Mokhtar	MCA	Rapporteur	UKM Ouargla.

Année universitaire : 2019/2020

DÉDICACES

Je tiens à remercier Dieu. Mon cher père et ma chère mère qui ont été patients avec moi jusqu'au dernier moment du processus d'étude et m'ont apporté tout le soutien. Le mérite revient à Dieu, puis à mon père. Je tiens également à remercier tous les parents et amis qui m'ont offert un coup de main dans les moments critiques, et je remercie également tous mes efforts en génie pétrochimique. Nous oublions les professeurs qui nous ont aidés, et je remercie le grand mentor Latimokhtar

Remerciements

Tous d'abord, nous tenons à remercier Allah clément et miséricordieux de ne pas avoir donné la force et le courage de mener à terme ce modeste travail.

Comme, c'est un plaisir de remercier tous ce qui a marqué à la réalisation de ce mémoire

En premier lieu, nous voudrions exprimer notre remerciement les plus sincères à notre promoteur Latimokhtar

Nous avons été guidés par la réalisation de cette étude et par notre soutien scientifique, moral et matériel.

Nos sincères remerciements aux membres du jury. Et Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participées de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Résumé :

On présente dans ce mémoire, les résultats d'une étude portant sur l'estimation du coût de l'énergie produite par différents types de capteurs solaires plan à air installés dans la région d'Ouargla, située au Sud Est de l'Algérie.

L'analyse économique consiste à la recherche d'un optimum monétaire du coût de chauffage. Il en résulte que le plus faible coût de production d'énergie est obtenu avec le capteur isolé par laine de mouton avec un prix de revient du kilowattheure (kWh) de l'ordre de 1,33 DA/kWh. Le temps de retour de ce capteur est de 1,11 an. Sur le plan environnementale le capteur solaire a permis d'éviter du 518 kg de dioxyde de carbone (CO₂) produit par l'électricité.

Mots clés: Capteur solaire, Isolation thermique, analyse économique, Dioxyde de carbone (CO₂)

Abstract:

This work presents the results of a study on the estimation of the energy cost that is produced by different types of flat air solar collectors installed in the region of Ouargla which is located in the south-east of Algeria.

The economic analysis is based on looking for a monetary optimum for the heating cost. As a result, the lowest energy production cost is obtained with the sheep wool insulated collector with a cost price per kilowatt hour (kWh) of around 1.33 DA / kWh. The return time for this collector is 1.11 years. From an environmental point of view, the solar collector has avoided 518 kg of carbon dioxide (CO₂) which may be produced by electricity.

Keywords: Solar collector, Thermal insulation, Economic analysis, Carbon dioxide (CO₂)

ملخص:

يقدم هذا العمل نتائج دراسة اجريت من اجل تقدير تكلفة الطاقة التي تنتجها مجموعة من اللواقط الشمسية المسطحة المثبتة بمنطقة ورقلة جنوب شرق الجزائر.

يعتمد التحليل الاقتصادي للبحث عن البحث على التكلفة النقدية المثلى لتسخين. نتيجة لهذا الدراسة تم الحصول على أقل تكلفة لإنتاج الطاقة بواسطة اللاقط المعزول بصوف الأغنام، بسعر تكلفة بحوالي 1.33 دينار جزائري لكل كيلواتساعي، ووقت استرداد يقدر ب 1.11 سنة. من ناحية بيئية، و باستعمال هذا النوع من اللواقط فقد تم تجنب انتاج 518 كلغ من ثاني اكسيد الكربون النتائج على توليد الكهرباء.

الكلمات المفتاحية: اللاقط الشمسي، العازل الحراري، CO₂.

Liste des tableaux

Tableau (III.1) : Caractéristique de vitrage

Tableau (III.2) : Caractéristiques des différents matériaux utilisés pour L'absorbeur

Tableau (III.3) Prix unitaires des matériaux constituant système

Tableau (III.4) Coût du capteur en polystyrène

Tableau (III.5) Coût des cinq prototypes

Tableau (III.6) des mesures relatives au capteur solaire en termes de température, de débit d'air et de capacité thermique spécifique

Tableau (III.7) Quantité d'énergie utile annuelle produite par les quatre prototypes

Tableau (III.8) La production est annuelle

Tableau (III.9) Comptes économiques du polystyrène

Tableau (III.10) Comptes économiques de la laine de mouton

Tableau (III.11) Comptes économiques de la fibre de palme avec de l'argile

Tableau (III.12) Calculs économiques pour le bois de palmier avec plâtre

Tableau (III.13) Le retour sur investissement

Tableau (III.14) Effet de divers paramètres sur prix unitaire de produit

fig. (I.1) Silicium polycristallin (à gauche) et silicium monocristallin (à droite)

fig. (I.2) : Les capteurs plans vitrés

fig. (I.3) : Les capteurs à tube sous vide.

fig. (I.4) : Systèmes à réflecteur parabolique

fig. (I.5) : Systèmes à réflecteur cylindre parabolique

fig. (I.6) : Systèmes de circulation naturelle

fig. (I.7) Systèmes de circulation forcée

fig. (I.8) : Capteur à air.

fig. (I.9) : Composants de capteurs solaires plats.

fig. (I.10) : séchage solaire.

fig (II.1) : Émissions de CO2 attribuables à la production d'électricité et de chaleurs (%)

fig. (III.1) : Situation géographique de la wilaya d'Ouargla

fig. (III.2) : Photo des Capteurs solaires

fig. (III.3) : Vitre

fig. (III.4) : Absorbeur

fig. (III.5) : Cadre.

fig. (III.6) : Schéma de capteur solaire

fig. (III.7) : Photo du bois de palmier dattier

fig. (III.8) : Procédé du broyage du bois de palmier dattier

fig. (III.9) : Préparation de mélange

fig. (III.10) : Préparation de couche isolant.

fig. (III.11) : les fibres végétales de palmier dattier

fig. (III.12) : Argile

fig. (III.13) : Etape de préparation d'isolation Fibre/Argile

Liste des Nomenclatures

CAT : Coût annuel total

CAI : coût d'investissement annuel

CAME : Coût annuel de maintenance et d'exploitation

VAA : Valeur annuelle pour le consommateur

CC : Coût matériel de l'appareil

FRC : Facteur de récupération de l'argent déposé

n : Durée de vie par défaut de l'appareil

r : Taux d'intérêt bancaire

RSI : Retour sur investissement

ΔT : Différence de température

\dot{m} : Débit massique

C_p : Chaleur spécifique de l'air

ρ : Densité

Q_u : Quantité d'énergie utile

Q_{uA} : Quantité d'énergie utile annuelle

Q_{uJ} : Quantité d'énergie utile quotidienne

N_j : Nombre de jours

S : Valeur d'amortissement du système

C_U : Le coût unitaire d'un kilowatt-heure

mCO_2 : Quantité de CO_2

T_e : Température d'entrée de l'air

Sommaire

Dédicace.....	1
Remerciement.....	2
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	4
Nomenclatures.....	6
Introduction générale.....	11

Chapitre I : Etude bibliographique.

I.1. Introduction	13
I.2. Capteurs solaires	13
I.3 Les type Capteurs solaires.....	13
I.3.1. Les capteurs solaires photovoltaïques.....	13
I.3.2 les capteurs solaires thermiques	14
I.4 Type des capteurs solaires thermiques.....	14
I.4.1 Selon le fluide de travail.....	14
I.4.2 Selon la Forme.....	15
I.4.2.1 Les capteurs solaires plans.....	15
I.4.2.2 les Capteurs solaires à concentration.....	15
I.4.3 Selon le fluide utilisé.....	16
I.4.3.1Systèmes de chauffage à eau.....	16
I.4.3.2 Système de chauffage à air.....	17
I.4.4 Composants du capteur plan.....	17
1.4.4.1Couverture transparente.....	17
1.4.4.2 Absorbeur.....	17

1.4.4.3 Isolation arrière.....	18
1.4.4.4 Coffre ou la cadre.....	18
I.5 Applications des capteurs solaires plans à air.....	18
I.5.1 Chauffages et climatisation des habitations.....	18
I.5.2 Le séchage.....	19

Chapitre II Etude économique et environnementale

II.1. Introduction.....	20
II.2 Coût annuel total	20
II.3 Coût annuel de maintenance.....	20
II.4 Coût annuel de maintenance	20
II.5 Le coût annuel de l'investissement	21
II.6 Valeur annuelle de la consommation	21
II.7 Le retour sur investissement	21
II.8 Prix de la Production de même quantité chaleur (kWh) par l'électricité.....	22
II.9 La quantité de flux de chaleur.....	23
II.10 Émissions de CO2 pour production un kilowattheure de l'électricité.....	24

Chapitre III Etude économique et environnementale

III.1. Introduction.....	26
III.2. Objectif.....	26
III.3. Présentation du site	26
III.4 Description du dispositif expérimental.....	24
III.5. Fonctionnement du capteur solaire.....	25
III.6. Principaux éléments de capteur à l'air	25
III.7. Angle d'inclinaison du capteur	28
III.8. Etapes de préparation de capteur.....	29
III.9 Étapes de préparation et d'installation des isolateur.....	29

III.10 Appareillages de mesures.....	33
III.11 Etude financière d'un capteur solaire.....	34
III.12. Calcul de Puissance thermique utile par m du capteur.....	35
III.13 Calcul du prix de production de chaque capteur solaire.....	35
III.14. Calculs économiques pour le capteur solaire.....	36
III.15 Analyse de coût unitaire de l'air chauffé	37
III.16 Les calculs économiques	38
III.17 Retour d'investissement	40
III.18 Etude environnemental.....	41
Conclusion générale.....	42
Références bibliographiques.....	43

Introduction générale

Les effets négatifs des combustibles fossiles sur l'environnement ont poussé les scientifiques à considérer la possibilité d'exploiter les énergies renouvelables pour la production d'énergie.

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contrechoc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 après la signature du protocole de Kyoto qui prévoit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre des pays riches sur la période de 2002-2012 par rapport à 1990 [1].

L'utilisation des énergies renouvelables en Algérie devraient permettre de diminuer la part des combustibles fossiles (gaz naturel et pétrole) qui sont actuellement la principale ressource pour la production d'énergie du pays. Parmi ces nombreuses sources propres, il y a l'énergie solaire, qui a connu un développement très rapide au cours des deux dernières décennies. En effet, de grands progrès technologiques ont été réalisés, ce qui a permis de réduire le coût de production d'énergie d'origine solaire.

La production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire est aujourd'hui une des techniques les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux.

Actuellement il y a plusieurs millions de m² des capteurs et de systèmes solaires installés dans le monde utilisant les technologies les plus récentes.

L'Algérie dispose d'un temps d'ensoleillement important durant la majeure partie de l'année. Elle bénéficie d'une durée annuelle moyenne d'ensoleillement de l'ordre de 2500 heures, et reçoit une énergie solaire moyenne quotidienne de 16.2 à 27 MJ/m² sur le plan horizontal.

Dans le cadre de ce travail, nous allons nous intéresser à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire plan pour la production de l'air chaude.

Pour le solaire thermique, différentes technologies ont été développées. En 2011, par exemple, ces technologies ont produit un total de 195 TWh, ce qui correspond à plus de 20,8 millions tonnes équivalent pétrole (tep) et une économie annuelle de 63,9 millions tonnes d'émissions de CO₂. À la fin de l'année 2011, la surface totale installée est estimée à 280 millions m² répartie entre 90,3 % de capteurs plans et capteurs à tubes sous vide, 9,1 % de capteurs non vitrés et 0,7% de capteurs à air[2],

Les exploitations directes d'énergie solaire mettent en œuvre des capteurs qui convertissent le rayonnement solaire en chaleur. Bien que l'utilisation de capteurs solaires se développe, les producteurs demandent de constantes améliorations de la qualité, la performance et la productivité. Pour cela, notre isolant thermique joue un rôle prépondérant. En évitant les pertes thermiques par l'arrière et les côtés des capteurs, l'isolation optimise l'efficacité de ce dernier, ce qui permet à la quantité maximale de chaleur collectée d'être transférée au fluide en circulation.

Les matériaux tels que la laine de verre, de roche de bois et les mousses polyuréthanes couvrant une variété large de produits d'usage courant dans les capteurs solaires comme des isolants thermiques. Cependant, suite aux problèmes de santé, ou pour des raisons économiques relatives aux quelques fibres, plusieurs axes de recherches sont orientés vers la substitution de celles-ci par les matériaux végétaux en raison de leur disponibilité et leur faible impact environnemental. En effet, l'utilisation des ressources renouvelables devient de plus en plus fréquente de nos jours. Quoique l'Algérie soit parmi les pays qui possèdent une multitude de matériaux végétaux (le palmier dattier, le coton, le chanvre, le liège) de matériaux animaux (le laine de mouton), la valorisation de ces matériaux dans le domaine de l'isolation thermique reste insuffisante.

L'objet de ce travail consiste à apporter une contribution à la valorisation des ressources renouvelables et locales, en l'occurrence le bois de palmier dattier, le plâtre, l'argile et le laine de mouton afin de les intégrer dans le domaine de l'isolation thermique des capteurs solaire.

Dans ce contexte, ce travail s'articule autour de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique sur l'énergie solaire et les types de capteurs solaires.
- -Le deuxième chapitre est consacré à Etude économique et environnementale
- Le dernier chapitre porte sur une étude expérimentale.

Le document se termine par une conclusion générale

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction

L'extraction d'énergie thermique de l'énergie solaire à l'aide des capteurs solaires, est basée autour du principe de capter le rayonnement solaire. Le verre et les autres surfaces sélectives (Aluminium peinte en noir mat) sont utilisés pour atteindre cet objectif. Le verre qui est utilisé comme une couverture transparente dans le capteur solaire, il a l'aptitude de permettre le passage des ondes courtes, tout en empêchant la chaleur du rayonnement d'être rayonnée sous forme de rayonnement à ondes longues. L'absorbeur est captée cette énergie, la température de capteur augmente. Et on trouve une différence de température entre l'entrée, la sortie, et entre l'absorbeur et le vitrage.

La température de l'air intérieur de capteur étant plus chaude, l'air chaud est évacué par l'ouverture supérieure du capteur et renouvelée par l'ouverture inférieure.

L'énergie solaire est écologique, gratuite et rentable. A la condition que l'on possède une installation solaire composée de capteurs hauts performances et de composants adaptés.

I.2. Capteurs solaires

Un capteur solaire ou un panneau solaire est un composant d'un système solaire conçu pour collecter l'énergie solaire afin de la convertir en énergie thermique et de la transférer vers un fluide caloporteur (air ou eau) ou de l'énergie électrique. On distingue principalement deux types de capteurs solaires : le complexe solaire thermique et le capteur solaire photovoltaïque.

Le capteur solaire collecte l'énergie solaire - gratuite et disponible - en énergie utile pour le chauffage, la production d'eau chaude ou l'électricité. [3]

I.3 Les type Capteurs solaires :

Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- ✚ Les capteurs solaires photovoltaïques.
- ✚ Les capteurs solaires thermiques.

I.3.1. Les capteurs solaires photovoltaïques :

Becquerel a découvert l'effet photovoltaïque du sélénium en 1839. L'efficacité de conversion des « nouvelles » cellules au silicium, développées en 1958, était de 11%, bien que le coût était prohibitif (1000 \$ / W). La première application pratique des cellules solaires étaient dans l'espace, où le coût n'était pas une barrière, car aucune autre source de puissance est disponible. La recherche dans les années 1960 a abouti à la découverte d'autres des matériaux photovoltaïques tels que l'arséniure de gallium (GaAs). Ceux-ci pourraient fonctionner à des températures plus élevées que le silicium, mais étaient beaucoup plus chers. Le Global la puissance installée du photovoltaïque fin 2002 était proche de 2 GWc (Lysen, 2003). Les cellules photovoltaïques sont constituées de divers semi-conducteurs, qui sont des matériaux qui ne sont que de bons conducteurs d'électricité. Les matériaux les plus couramment utilisés sont le silicium (Si) et les composés de sulfure de cadmium (Cds), sulfure cuivreux (Cu₂S) et arséniure de gallium (GaAs).[3]

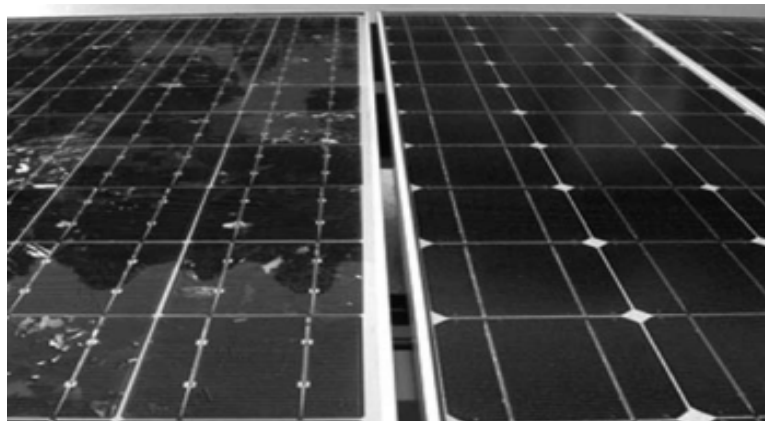


fig (I.1) Silicium polycristallin (à gauche) et silicium monocristallin (à droite)

I.3.2 les capteurs solaires thermiques :

Les capteurs solaires thermiques sont des dispositifs conçus pour convertir l'énergie de rayonnement solaire captée par une surface appelée surface absorbante en énergie thermique. Cette énergie est transférée à travers la paroi de la surface absorbante en un fluide caloporteur (liquide ou gazeux) pour être exploité[1]

I.4 Type des capteurs solaires thermiques [4] :

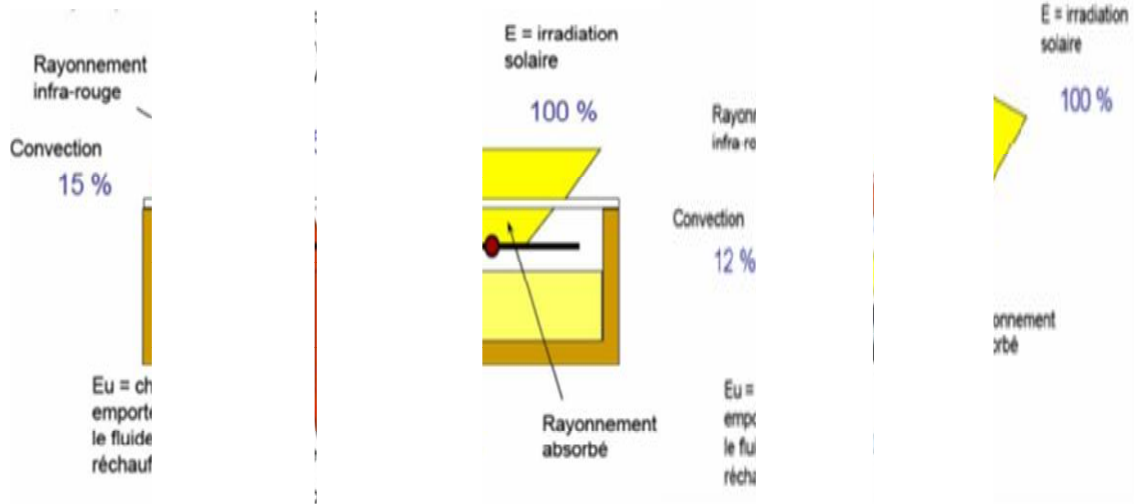
I.4.1 Selon le fluide de travail :

- ✚ capteurs solaires à eau.
- ✚ Les capteurs solaires à air.

I.4.2 Selon la Forme :

I.4.2.1 Les capteurs solaires plans :

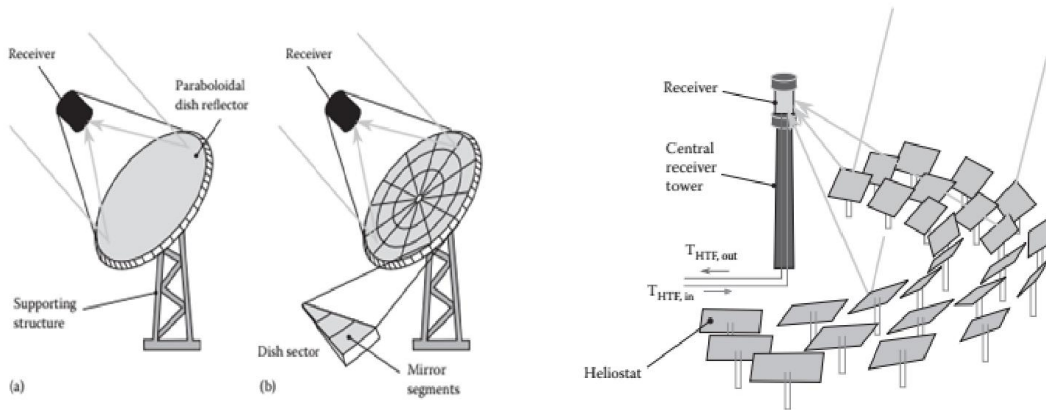
- ✚ Capteurs plans de type vitré
- ✚ Capteurs plans sans vitrage
- ✚ Capteurs à plaque perforée sans vitrage
- ✚ Capteurs solaires à passage retour
- ✚ Capteurs solaires à circulation de liquide
- ✚ Capteurs solaires à air
- ✚ Capteurs solaires intégrés
- ✚ Capteurs sous vide



Fig(I.2) : Les capteurs plans vitrés. Fig(I.3) : Les capteurs à tube sous vide.

I.4.2.2 les Capteurs solaires à concentration :

- ✚ Capteurs solaires fixes à concentration.
- ✚ Systèmes à réflecteur parabolique
- ✚ Systèmes à réflecteur cylindre-parabolique
- ✚ Systèmes de centrale à tour
- ✚ Miroirs de Fresnel



Fig(I.4)

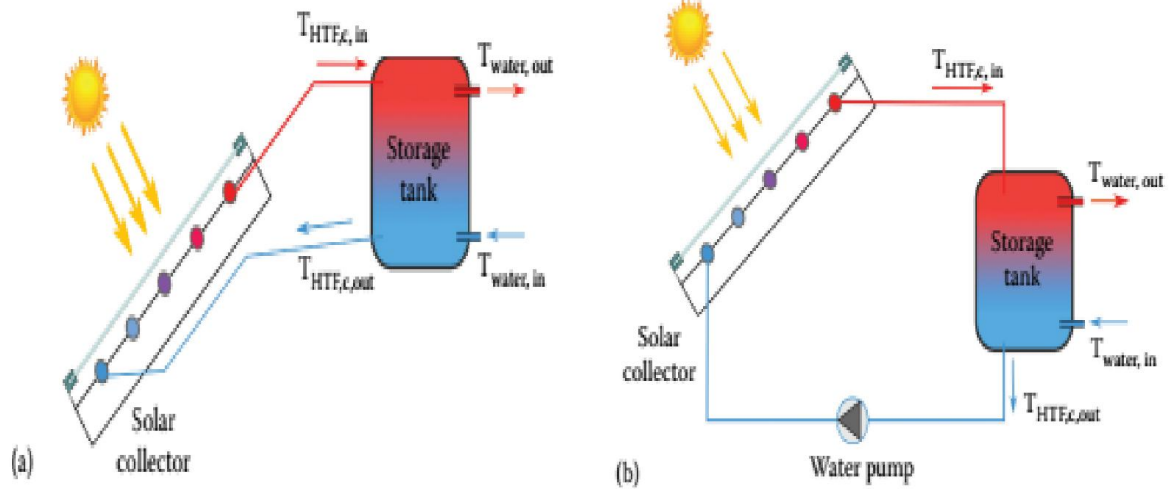
: Systèmes à réflecteur parabolique Fig (I.5) : Systèmes à réflecteur cylindre parabolique

I.4.3 Selon le fluide utilisé :

I.4.3.1 Systèmes de chauffage à eau [3]:

Les systèmes de chauffe-eau solaires pour les applications de construction utilisent des capteurs qui absorbent le rayonnement incident et le transfèrent au HTF qui le traverse pour chauffer l'eau, qui peut ensuite être utilisée directement ou stockée pour une utilisation ultérieure. Ces systèmes peuvent être classés en deux catégories en fonction de la force motrice de la circulation HTF :

- ✚ Systèmes de circulation naturelle
- ✚ Systèmes de circulation forcée



Fig(I.6) : Systèmes de circulation naturelle Fig(I.7) Systèmes de circulation forcée

I.4.3.2 Système de chauffage à air

Sous un vitrage une plaque noire exposée aux rayons solaires s'échauffe d'autant plus qu'un isolant arrête les pertes arrière de chaleur. A cause de la différence de température entre l'ambient et l'intérieur du capteur l'air circule entre le verre et la tôle noire (Absorbeur) et s'échauffe.

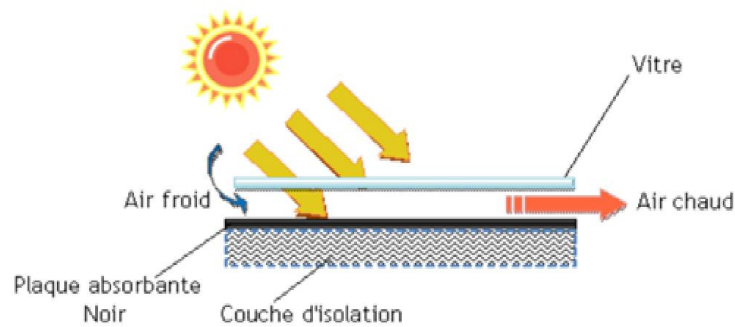


Fig (I.8) : Capteur à air.

I.4.4 Composants du capteur plan

Chaque ensemble capteur est constitué

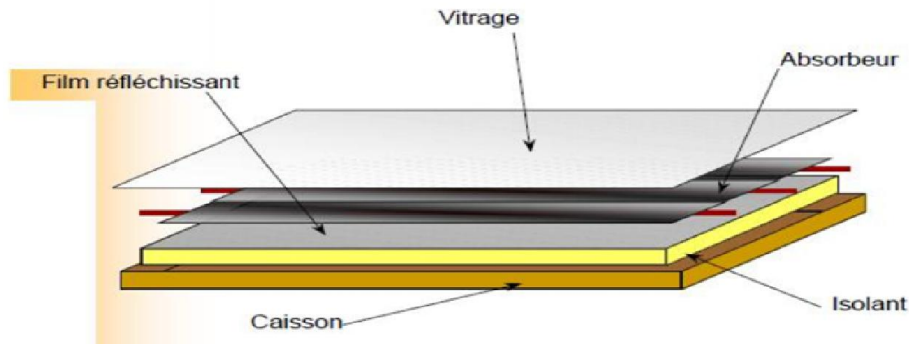


Fig.(I.9) : Composants de capteurs solaires plats.

1.4.4.1 Couverture transparente[4] :

La couverture a une fonction de protection mécanique de l'absorbeur mais elle joue également un rôle important dans le bilan thermique en réduisant de chaleur. Echanges convectifs dont l'importance est fonction de l'épaisseur de la lame d'air ou du gaz situé entre l'espace couverture – absorbeur.

Echanges radiatifs par création de l'effet de serre, c'est-à-dire bonne transparence et faible transmission du rayonnement infrarouge par l'absorbeur. La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées. Elle doit être facile à mettre en oeuvre et présenter un faible coefficient de dilatation et de flexibilité.

1.4.4.2 Absorbeur :

L'absorbeur est un élément essentiel du capteur solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire et transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de perte.

1.4.4.3 Isolation arrière :

Les isolants en face arrière généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses de polyuréthane. L'épaisseur varie de 4 à 8 cm. Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement (maximum de 120°C).

1.4.4.4 Coffre ou la cadre :

Le coffre du capteur renferme les différents actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques. Les coffres de capteurs sont réalisés soit en fine feuille de métal (acier galvanisé, aluminium, inox) avec protection par revêtement stable aux intempéries. Le coffre ou cadre doit permettre d'assurer sa fixation sur la couverture tout en lui permettant de se déplacer librement. Le vitrage est généralement posé avec un joint élastomère insensible aux rayonnements ultraviolets et avec un profil mécanique autorisant des opérations de montage et démontage aisées des celui-ci.

I .5 Applications des capteurs solaires plans à air[4] :

I.5.1 Chauffages et climatisation des habitations :

Le système de capteur solaire à air Il s'intègre dans l'habitat de façon modulaire et complète les systèmes de chauffage existants. Il permet de réaliser des économies substantielles d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments sur la période hivernale et en mi saison en apportant une source complémentaire de chauffage. Une régulation fait circuler l'air des locaux à travers le panneau dès que la température interne du panneau permet d'obtenir un gain significatif.

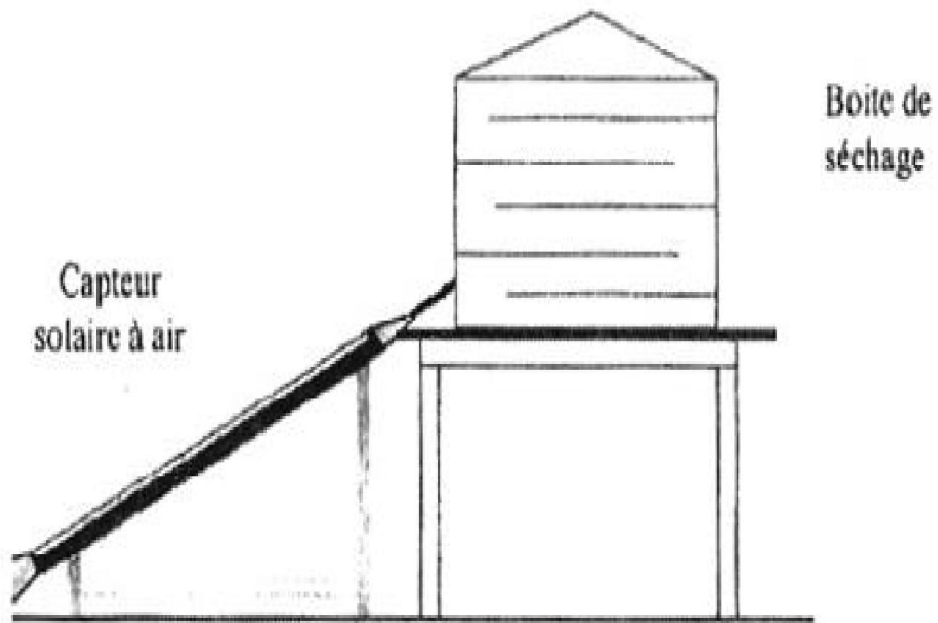
I .5.2 Le séchage [4]

Le séchage thermique convectif est une opération unitaire qui a pour but d'éliminer par Évaporation, dans le cas du séchage thermique, l'eau contenue dans un produit afin de le Transformer en un produit dont la teneur en eau résiduelle est faible.

Il fait appel à deux phénomènes :

- Un transfert de chaleur de l'air vers le produit dû à la différence de température entre le produit et l'air,
- Un transfert de l'eau du sein du produit vers sa surface. Ce transfert est régi par les

Mécanismes de diffusion. L'évolution, au cours du temps, de la teneur en eau du produit est décrite par la courbe de séchage.



Fig(I.10) : : Séchage solaire.

Chapitre II Etude économique et environnementale

II.1. Introduction

L'étude économique consiste à calculer le coût et la production annuels de chaque capteur solaire.

II.2 Coût annuel total (CAT)[5] :

On appelle investissement brut, la sommation des investissements nets, des amortissements et des variations des stocks. Il mesure le total des investissements, qu'ils soient nouveaux ou deremplacement. Quant à l'investissement net, il consiste à la variation effective du stock de capital au cours d'une période donnée (année), c'est-à-dire l'investissement brut moins la dépréciation du capital

$$Coût\ annuel\ total = CAI + CAME - VAA.....(II.1)$$

- ❖ CAI : Le coût d'investissement annuel
- ❖ CAME : Coût annuel de maintenance et d'exploitation
- ❖ VAA : Valeur annuelle pour le consommateur

II.3 Coût annuel de maintenance (CAME) :

Entretien régulier de l'appareil, nécessaire pour garantir que ses composants restent intacts contre les dommages. Tous ses composants doivent être nettoyés des impuretés qui y sont attachées, et remplacés si possible dysfonctionnement.

Et le coût de maintenance et d'exploitation annuelle de l'appareil, il peut être considéré comme 15% du coût matériel de l'appareil. Mais ce n'est pas très élevé. Les taxes annuelles et les frais d'assurance (le cas échéant) sont négligés.

II.4 Le coût annuel de l'investissement (CAI) :

Soit CC le coût matériel de l'appareil, et FRC exprime le facteur de récupération de l'argent déposé, et en conséquence le coût annuel de l'investissement est calculé dans la déclaration suivante [12]

$$CAI = CC \times FRC.....(II.2)$$

$$FRC = \frac{r(r+1)^n}{(1+r)^n - 1}.....(II.3)$$

n Représente la durée de vie par défaut de l'appareil. Et r représente le taux d'intérêt bancaire

II.5 Valeur annuelle de la consommation (VAA) :

Soit S la valeur consommateur de l'appareil. Il peut être considéré comme un pourcentage du coût initial de l'appareil, tandis que la valeur de la consommation annuelle est écrite dans la phrase suivante

$$VAA = S \times FAF \dots\dots\dots (II.3)$$

$$FAF = \frac{r}{[(1+r)^n - 1]} \dots\dots\dots (II.4)$$

II.6 Le retour sur investissement (RSI)[6]:

Le retour sur investissement (RSI), aussi appelé aussi ROI (Return on Investment), est un indicateur financier, il permet de mesurer et de comparer le rendement d'un investissement. Généralement, le retour sur investissement se base sur le calcul du ratio bénéfices Le retour sur investissement est un indicateur essentiel pour choisir entre plusieurs projets et déterminer celui qui rapportera le plus d'argent par rapport aux sommes initiales investies.[13]

$$\frac{(gains - coûts\ de\ l'investissement)}{coûts\ de\ l'investissement} \dots\dots\dots (II.5)$$

II.7 quantité d'énergie utile (Qu)[7] :

Pour pouvoir calculer le coût unitaire de l'air produit, vous devez calculer la quantité totale d'air Q_u en appliquant la formule suivante :

$$Q_u = \rho c_p Q (T_S - T_E) \dots\dots (III.1)$$

Où:

- Q : Débit volumique de l'air,
- C_p : Chaleur massique de l'air $C_p=1005J/kg. K$
- ρ : Masse volumique de l'air, elle est calculée par l'expression suivante:

$$\rho = \frac{35.6}{27.3\rho} \dots\dots (III.2)$$

Où : T_{amb} : température ambiante

La Quantité d'énergie utile annuelle Q_{uA} produite est donnée par

$$Q_{uA} = Q_{JA} \cdot N_J \dots \dots \dots \text{(III.3)}$$

Avec : Q_{JA} Quantité d'énergie utile quotidienne

N_J : Nombre de jours

II.8 Production de l'électricité[8] :

La production d'électricité en Algérie provient majoritairement du gaz naturel à un taux de 99 %.

L'électricité est fournie en Algérie par quatre filiales de la Sonelgaz: la SDA (Alger), la SDC (Centre et Sud), la SDO (Ouest) et la SDE (Est). Le coût de production du kilowattheure est de près 12 DA, et le prix à la consommation est de 4 DA, est pris en charge par l'État.

Le différentiel entre le coût de l'électricité, produite à 12 dinars/KWh, et le prix de vente qui est de 4 dinars, est pris en charge par l'Etat, le seul à pouvoir définir la politique de prix sur le marché énergétique national.

II.9 Émissions de CO₂[10]:

L'Agence Internationale de l'Energie (AIE) estime (L'énergie dans le monde d'ici à 2020 : défis et perspectives) que la demande mondiale d'énergie augmenterait de 65 % et les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) d'au moins 70 %, entre 1995 et 2020, cette augmentation étant due aux deux tiers par la Chine et les autres pays en développement. Cette augmentation serait principalement causée par la demande mondiale d'électricité et d'énergie.

Chapitre III Etude économique et environnementale

III.1 Introduction

Ce chapitre est composé de trois parties, la première partie est dédiée aux matériaux utilisés. La deuxième est consacrée aux préparations les quatre prototypes des capteurs solaires.

Dans la troisième partie on s'intéresse aux :

- ✚ Mesures expérimentales : Les températures de l'air à l'entrée et la sortie du capteur, les températures de l'air ambiant et les débits de l'air à l'intérieure du capteur solaire
- ✚ Calcule énergétique Calcul de la quantité d'énergie utile (Q_u) :
- ✚ Analyse technico-économique : on cherche un minimum de coût ou un maximum de bénéfice
- ✚ Etude environnemental : pollution minimale c'est-à-dire réduire les émissions de CO_2

III.2 Objectif :

L'objectif ici est l'étude économique des isolants ainsi que l'étude environnementale pour choisir le meilleur de ces isolants afin d'économiser de l'énergie et contribuer à réduire la quantité de dioxyde de carbone

III.3 Présentation du site [12]:

La Wilaya d'Ouargla est située au sud-est de l'Algérie, couvrant une superficie de 163230 Km^2 . La ville de Ouargla se trouve à une altitude de 128 mètres et 32, 5° Est de la latitude. Elle est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées en période estivale, une forte évaporation et par une faible vie biologique de l'écosystème. L'insolation solaire moyenne est estimée en tant que 2900 kWh/m^2 annuellement, la ville d'Ouargla change de 2,280 kWh/m^2 en décembre, à 7,620 kWh/m^2 en juillet, sur une surface horizontale. Le rayonnement diffus est évalué à 1,324 kWh/m^2 en janvier, et 1,984 kWh/m^2 en juillet. Les températures mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 37° C à 50° C. Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 9,7 °C à 10,8°C. [13]

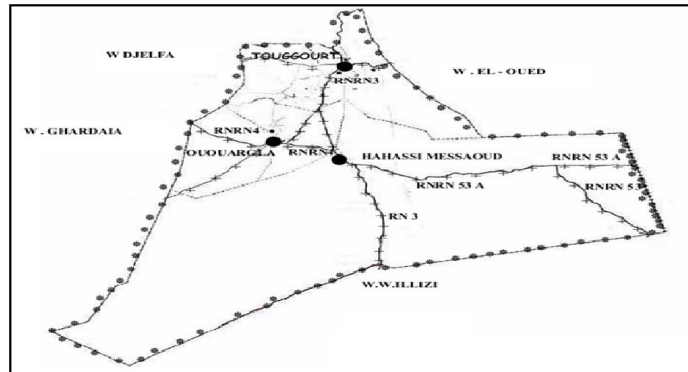


Fig. (III.1) : Situation géographique de la wilaya d'Ouargla

III.4 Description du dispositif expérimental:

Le capteur solaire étudié est conçu et réalisé au laboratoire des énergies nouvelles et renouvelables dans les zones arides (LENREZA). Il s'agit d'un capteur solaire plan à air à simple circulation et à simple vitrage dont la configuration est parallélépipédique (1 m x 0.5m), transforme le rayonnement solaire en énergie thermique.



Fig. (III.2) : Photo des Capteurs solaires.

III.5 Fonctionnement du capteur solaire :

Les capteurs solaires sont des appareils permettant la conversion de l'énergie de rayonnement en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre, s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire alors qu'il est presque opaque au rayonnement infrarouge, un flux solaire traversant une vitre et venant chauffer un corps derrière cette vitre se trouve donc piégé, puisque le rayonnement émis par ce corps ne peut traverser la vitre.

III.6 Principaux éléments de capteur à l'air :

Nous résumons les principaux composants du capteur (figure (III.6)), comme suit

- ✚ Couverture (Vitre) : Une seule couverture transparente de verre d'épaisseur 4 mm, (figure (III.3)).



Fig. (III.3) : Vitre.

Tableau (III.1) : Caractéristique de vitrage [15].

Conductivité thermique :	$\lambda = 1.05 \text{ w/m}^\circ\text{c.}$
Absorption coefficient :	$\alpha = 0.06.$
Emissivité de verre :	$\varepsilon = 0.93.$

✚ Absorbeur :

Une plaque absorbante mince en aluminium peinte en noir mat avec une épaisseur de 2.5 mm, (figure (III.4)).



Fig. (III.4) : Absorbeur.

Tableau (III.2) : Caractéristiques des différents matériaux utilisés pour L'absorbeur. [14]

Matière	λ Conductivité w/m°C	Chaleur massique k cal/kg°C	Masse volumique kg/m ³
Aluminium	230	0,214	2,700
Cuivre	380	0,092	8,930
Zinc	112	0,092	7,130
Acier (galvanisé)	52	0,174	7,900
Inox	52	0,17	7,900
Matièresplastiques	0,2 - 0,4	0,2 – 0,25	1,000 à 1,500

Le matériau le plus utilisé est le cuivre, car il possède une bonne tenue à la corrosion et sa conductivité thermique est élevée (Tableau (III.2)). Dans notre étude nous avons utilisés l'aluminium car il résiste corrosion en milieu humide. Et en raison de sa disponibilité

✚ Cadre :

C'est une fine plaque d'acier qui contient toutes les parties du capteur avec une épaisseur de ($e = 0.04$ cm), (figure (III.5)).



fig. (III.5) : Cadre.

✚ Isolant :

Le but est de limiter les pertes thermiques au maximum au niveau du capteur. Ainsi, on dispose un isolant sur les faces latérales et arrière du capteur. L'isolation arrière et latérale est de 50 mm d'épaisseur.

La veine d'air dynamique d'une hauteur de 25 mm est comprise entre la plaque absorbante (corps noir) et une plaque inférieure en acier galvanisé placée sur l'isolant.

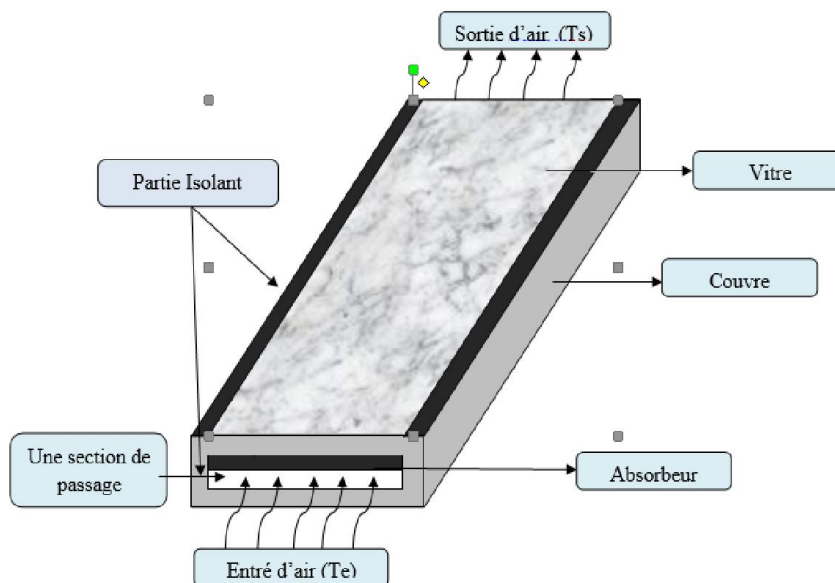


fig. (III.6) : Schéma de capteur solaire.

III.7. Angle d'inclinaison du capteur :

Le rayonnement solaire est variable en fonction du temps, ainsi que la captation par un capteur solaire est variable en fonction de l'inclinaison de ce dernier par rapport à l'horizontale. Ceci nous conduit à dire que si le capteur est fixé pour un seul angle d'inclinaison (31°), on ne peut pas obtenir une grande puissance. Toutefois, nous pouvons opter pour un angle optimal d'inclinaison pour chaque saison de l'année. L'angle optimal pour la saison d'été où a été conduit nos expériences est de 0° c'est à dire le plan horizontal [15].

III.8. Etapes de préparation de capteur :

Tout d'abord, les interrupteurs solaires utilisés sont équipés des étapes suivantes :

- ✚ Démontez toutes les pièces du capteur solaire.
- ✚ Réglage des dimensions du cadre.
- ✚ Nettoyer l'absorbant et repeindre en noir mat.
- ✚ Laver et nettoyer le couvercle en verre.
- ✚ Positionnement et inclinaison du support de capteur solaire.

III.9 Étapes de préparation et d'installation des isolateurs:

- ✚ Le premier isolant (Bois de palmier avec argile):

La partie renouvelable de l'arbre du palmier dattier (pétiole) possède une conductivité thermique plus faible que le tronc du palmier. [16]

- ✚ Le bois de palmier dattier récolté des oasis de Djamaa (Wadsouf- Algérie) a été utilisé comme un renfort dans cette étude. La partie utilisée et le pétiole présenté dans la figure (II.7).



Fig. (III.7) : Photo du bois de palmier dattier.

Le bois de palmier dattier a été séché dans des conditions naturelles, puis soumis à un broyage mécanique à l'aide d'un broyeur (voir la figure (III.8)) afin d'obtenir des petites dimensions. Il a subi deux niveaux de broyage ; le concassage qui permet d'obtenir des particules de taille de quelques centimètres et le broyage grossier pour obtenir des particules de l'ordre du millimètre entre 10 et 1 mm (Coupé manuellement en petits morceaux afin que nous puissions l'utiliser avec une petite machine conventionnelle).



Fig. (III.8) : Procédé du broyage du bois de palmier dattier.

✚ Preparation de mélange

En ce qui concerne les mélanges, il existe différentes techniques pour la mise en œuvre d'un mélange de plâtre en bois de palmier dattier. On a fabriqué des moules métallique 25cm de longueur, 25cm de largeur et 5cm d'épaisseur, puis nous préparons le mélange constitué de bois de palmier dattier et de plâtre ensuite mixage avec l'eau.



Fig. (III.9) : Préparation de mélange



Fig. (III.10) : Préparation de couche isolant.

✚ Mélange d’argile, la fibre et le sable

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres végétales de palmier dattier Les plaquettes des fibres de palmier sont bien lavées à l’eau pour enlever les impuretés, puis que l’on laisse sécher naturellement.



fig. (III.12) : Argile



fig. (III.11) : les fibres végétales de palmier dattier

On pose 38 kg d’argile sec, 10kg de sable avec une quantité d’eau au départ en versant l’eau d’une façon progressive et on malaxe le mélange jusqu’à l’obtention d’une pâte homogène.

D'après la littérature [17], la meilleure configuration de l’utilisation les fibres comme renforts des matrices est sous forme des mèches.

On met l'argile et 2% des mèche des fibres [18,19] de palmier dattier sous forme des couches dans le prototype jusqu'à cinq couches des mèches.

Après, on conserve le prototype à l'air libre, on laisse sécher environs 14 jours (Deux semaines).



A : Couche d'Argile

B : Couche de fibre

C : Isolation après le séchage

fig. (III.13) : Etape de préparation d'isolation Fibre/Argile

✚ Le troisième isolant : laine de mouton

La laine de mouton est bien lavée à l'eau pour enlever les impuretés, puis que l'on laisse sécher naturellement.

On pose 1.586 Kg de laine de mouton dans prototype.



Fig. (III.14) : le capteur réalise avec laine de mouton

✚ Le quatrième isolant polystyrène

Le quatrième prototype des mêmes dimensions que les autres mais l'isolation fabriquée en polystyrène comme indiqué dans la fig. III.15



Fig (III. 15) un prototype réalisé par polystyrène

III.10 Appareillages de mesures :

✚ Mesure du rayonnement global

Le rayonnement global reçu sur le plan du capteur est mesuré en kW/m^2 à l'aide d'un Solarimètre et ceci durant la journée de l'expérience.



Fig(III. 16) : Solarimètre à affichage numérique

✚ Mesures des températures

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K dans deux endroits :
Entrée et sortie du capteur solaire, et les résultats sont affichés par un appareil test .



Fig (III. 17) : Thermomètre

✚ Mesure du débit d'air

Le débit de l'air à l'entrée du capteur solaire est mesuré à l'aide d'une sonde à affichage numérique.



fig (III.18) : Le débit mètre.

III.12 Résultat et discussion :

Effet de rayonnement solaire sur les températures

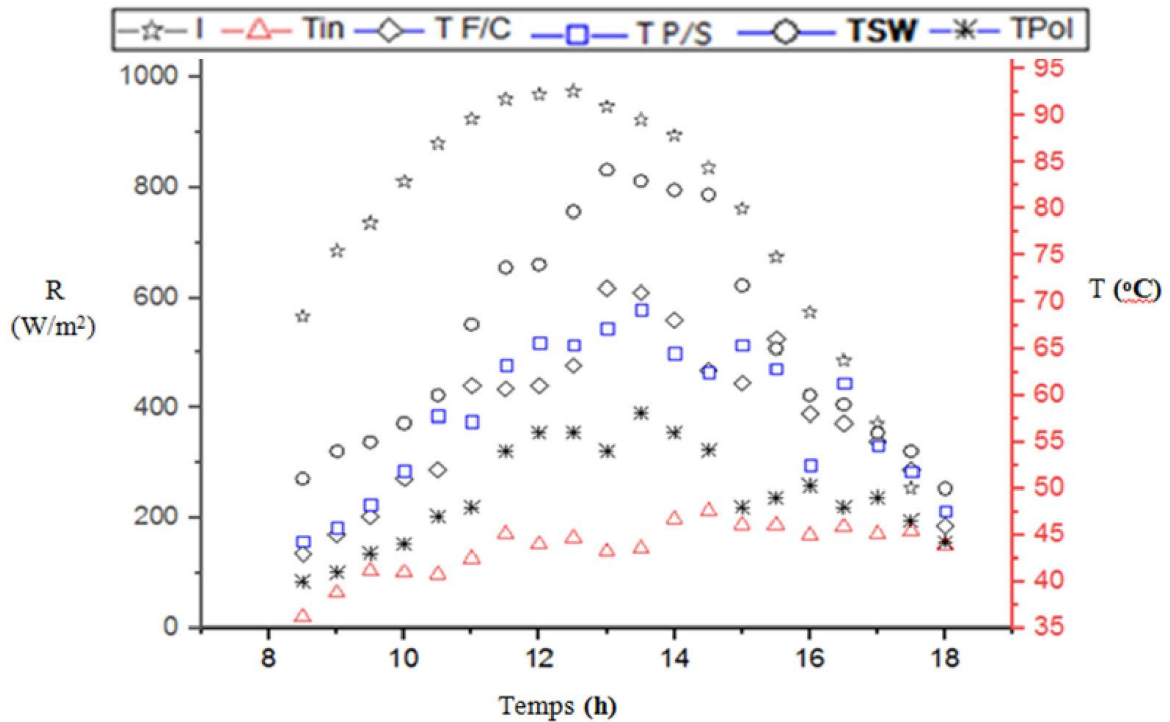


Figure (III.19) : Variation de rayonnement solaire et de température en fonction du temps

La figure (III.19) présente la variation du rayonnement solaire et la température de l'air à l'entrée et à les sorties des capteurs solaires en fonction du temps pour les quatre prototypes. La courbe de distribution des températures présente une similitude dans l'allure avec la courbe de l'éclairement global avec un léger décalage dans le temps. Les valeurs des températures ont atteint les valeurs maximales entre 12 h et 14 h. La valeur de l'éclairement global est de 975W/m^2 avec un pic vers 13h. On remarque sur la figure (III.19) un l'écart important entre les températures de sorties et la température à l'entrée du capteur solaire, il est dû à l'influence du rayonnement solaire sur l'absorbeur qui joue un rôle important pour l'échauffement de l'air sous l'effet de serre à l'intérieure du capteur solaire

III.13 Calcul de la quantité d'énergie utile (Q_u) :

Pour déterminer l'énergie thermique utile (Q_u) par le système, les températures de l'air à l'entrée T_e et à la sortie T_s du capteur sont mesurées pendant toute la journée avec un pas de temps $t = 30$ minutes.

Les valeurs des quantités d'énergies utile quotidienne Q_{uj} et annuelle Q_{uA} , calculés à partir des équations ((II. ...) et(II.....)) Ci-dessus pour les différentes isolations thermiques sont représentées dans le tableau (III.7)

Tableau (III.7) Quantité d'énergie utile annuelle produite par les quatre prototypes

Types d'isolant	Polystyrène	fibres de palmier dattier + Argile	Pétiole + plâtre	laine de mouton
Quantité d'énergie utile quotidienne ' Q_{uj} en kWh '	0,54	1,35	1,34	2,11
Quantité d'énergie utile annuelle ' Q_{uA} en kWh '	197,1	492,75	489,1	770,15

Si on utilisait un chauffage électrique pour chauffer la même quantité d'air, on aurait les résultats suivants :

Tableau (III.....) Dépense énergétique annuelle

Types d'isolant	Polystyrène	fibres de palmier dattier + Argile	Pétiole + plâtre	laine de mouton
Dépense énergétique annuelle 'DZ'	2365,20	5913	5869,2	9241,8

III.14 Etude économique des capteurs solaires utilisés :

Il s'agit de faire une évaluation économique des capteurs solaires expérimentés, cette évaluation consiste à faire une étude de productivité de ces capteurs, on utilisera les résultats d'enquêtes et les calculs économiques

Les différentes composantes de notre système, s'inscrivent dans un environnement économique régi par les lois du marché. La principale caractéristique du système économique, est que la valeur de l'argent n'est pas conservée avec le temps. De plus, les différents coûts fluctuent également avec le temps, notamment en fonction de l'offre et de la demande, mais aussi en relation avec la pénurie ou l'abondance des ressources, ou avec les progrès technologiques. Le modèle économique utilisé dans le cadre de ce travail, permet de tenir compte dans une certaine mesure de ces différents paramètres.

Les informations recherchées sont les données d'ordre économique sur les capteurs solaires

L'estimation de leur coût total passe par le calcul du coût de chaque élément (prix de vente de matériel ; tôle ; verre, isolant ...exc.).

Les tableaux (III. ...) et (III.....) donnent les types des matériaux utilisés et les quantités nécessaires pour la confection du système.

Tableau (III.....) Prix unitaires des matériaux constituant système.

Con:stituant	Matériaux	Prix unitaire
Vitrage	verre	800DZ/m ²
Coffre	Acier galvanisé	1500DZ/m ²
Absorbeur	Aluminium	3200DZ/m ²
isolant	laine de mouton	250DZ/kg
	fibres de palmier +Argile	00DZ
	Bois de palmier +3.5 kg plâtre	21,875 DZ
	Polysterene	100 DZ/m ²

Tableau (III.) Coût du capteur en polystyrène

Constituant	Matériaux	Surface / Poids	Prix (DZ)
Vitrage	verre	0.55m ²	440
Coffre	Acier galvanisé	2m ²	3000
Absorbeur	Aluminium	0.5 m ²	3200
isolant	Polystyrène	0.7m ²	140
Accessoires	Peinture noire mate	1 unité	200
	Silicone liquide	1 unité	250
Prix de construction	/	/	3000
Total			10230

Le coût de fabrication est de 3000 DA. Le coût du capteur en polystyrène est de 10230 DA, ce coût est estimé sur la base des données du marché algérien

Tableau (III.....) Coût des cinq prototypes

Types d'isolant	Prix (DZ)
laine de mouton	39.650 DZ/Kg
fibres de palmier +Argile	00+00
Bois de palmier +39.5 kg plâtre	21,875 DZ
Polystyrène	100 DZ/m ²

III.16 Les calculs économiques :Analyse de coût unitaire de l'énergie produite

Le coût unitaire d'un kilowatt-heure de l'énergie produite est exprimé :

$$C_U = \frac{CAT}{Q_{UA}} \dots\dots (III -8)$$

Où Q_{UA} : Quantité d'énergie utile annuelle produite

Tableau (III.14)Effet de divers paramètres sur prix unitaire de produit

Types d'isolant	CC	FRC	FAF	CAI	VAA	CAME	CAT	$Q_{u,A}$	C_u
Polystyrène	10111.87	0.096	0.046	972.44	116.49	145.86	1001.81	197,1	5.08
fibres de palmier dattier + Argile	10090	0.096	0.046	968.64	116.28	145.29	997.6	492,75	2.02
Pétiole + plâtre	10111.87	0.096	0.046	970.73	116.28	145.60	1000.05	489,1	2.04
laine de mouton	10230	0.096	0.046	982.08	103.84	147.31	1025.55	770,15	1.33

Dans le Tableau(III.14) on représente les valeurs du capital coût du système 'CC', le facteur de recouvrement du capital 'FRC', le facteur d'amortissement de fond 'FAF', le coût annuel d'investissement 'CAI', la valeur de amortissement annuelle 'VAA', le coût annuel de maintenance et d'exploitation 'CAME', le coût annuel total 'CAT', la quantité d'énergie utile annuelle $Q_{u,A}$ et Le

coût unitaire d'un kilowatt-heure de l'énergie produite par différents types de capteurs solaires utilisés.

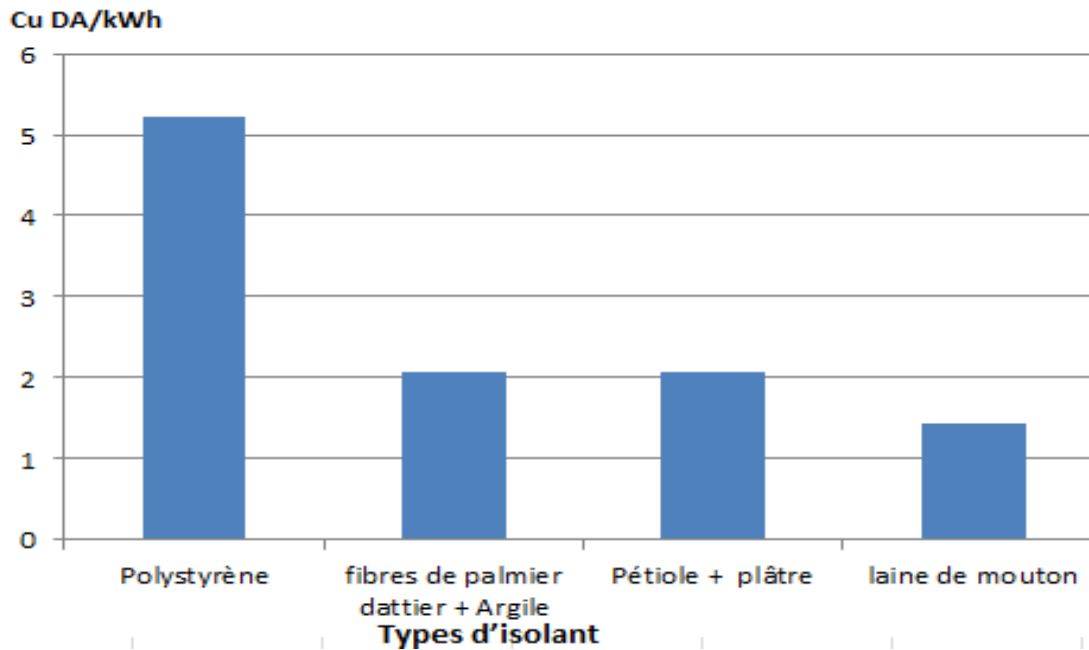


Figure (III.20) Coût unitaire de l'énergie produite par les capteurs solaires

La figure (III.20) montre l'histogramme du coût unitaire d'un kilowatt-heure de l'énergie produite par les différents types de capteurs solaires utilisés.

On se basons sur les résultats du tableau (III.12) et du figure (III.20) nous constatons que le prix unitaire d'un kilowatt-heure de l'énergie produite est varié entre 1.33 à 5.08 dinar algérienne, il est fonction de type isolant utilisé.

Le coût réel de production d'électricité à partir d'énergie fossile l (Gaz naturel) est environ de 12 DA/ kWh. Il est bien clair que le coût unitaire est loin du coût réel de production et le projet est rentable. Dans ces conditions l'utilisation de l'énergie solaire pour la production de l'air chaud est économiquement faisable

III.17 Retour d'investissement :

Le retour de l'investissement c'est le temps nécessaire pour que la somme des bénéfices nets annuels réalisés soit égale au montant de l'investissement initial.

En utilisant les données du tableau on peut déduire le temps de retour de l'investissement d'après la formule (III-) ci-dessous. [21]

$$RI = \frac{\text{Prix du capteur solaire}}{\text{benfinc net annuel}}$$

Tableau (III.13) Retour sur investissement

Type de capteur solaire	La production annuelle du capteur solaire	Prix du capteur solaire	Retour sur investissement
Polystyrène	10230	2356.2	4.34
laine de mouton	10129.65	9001.104	1.125
Pétiole + 3.5kg de plâtre	10111.87	5767.2	1.75
fibres de palmier dattier	10090	5767.2	1.74

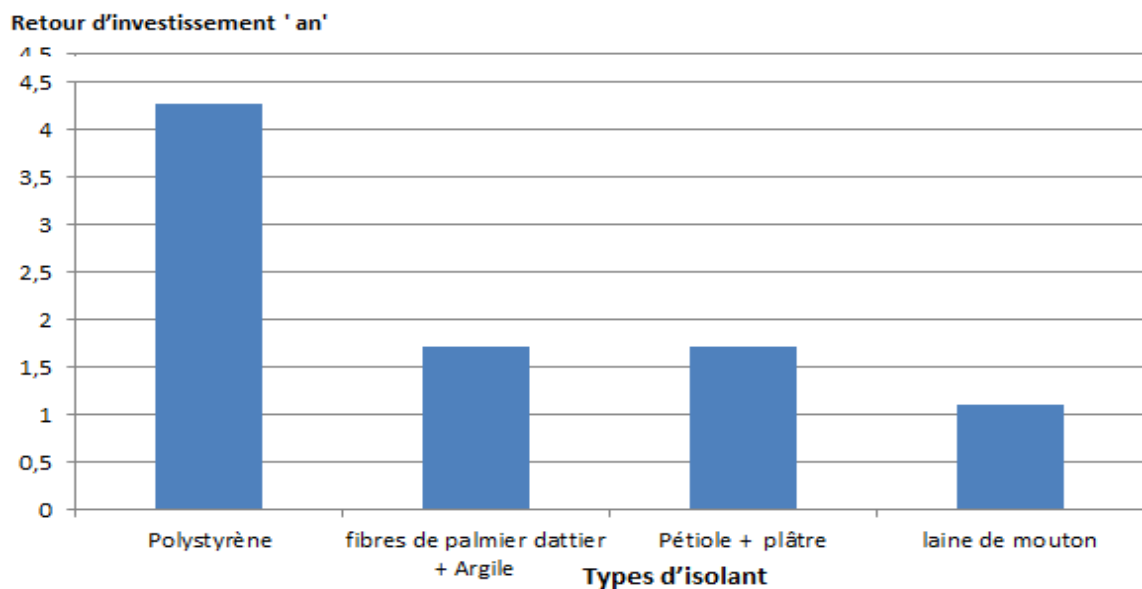


Figure (III.21) Différents temps d'investissements

Dans ce type de cas, les temps de retour de l'investissement (entre 1,11 et 4,27an) sont très court comparativement à la durée de vie du capteur estimé approximativement à 15ans ; d'où l'intérêt d'utilisation de ce genre de capteur.

L'approche de la conception du système de chauffage solaire doit être optimisée du double point de vue technique et économique.

III.18 Etude environnemental :

La méthode est basée sur le principe simple de diviser les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) d'une production électrique donnée. Le contenu CO₂ moyen de la production peut être calculé connaissant les émissions de CO₂ totales de la production électrique et la production nette d'électricité.

Le contenu CO₂ moyen de l'électricité produite en Algérie est de 0.66420926 kgCO₂/kWh.

La quantité de CO₂ (m_{CO2}) est déterminée par l'expression suivante :

$$m_{CO2} = Q_{UA} \times 0,66420926$$

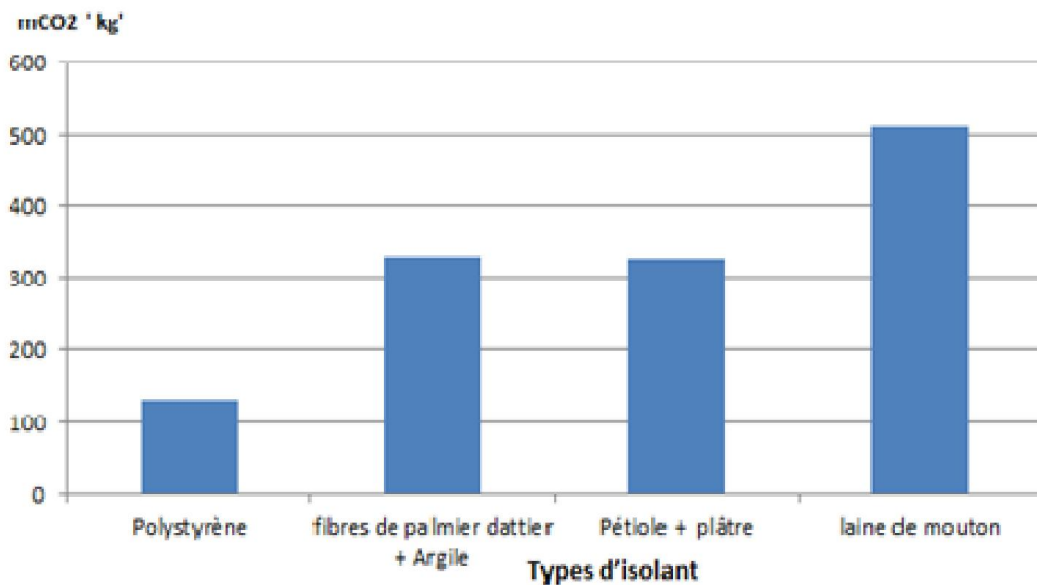


Figure (III.22) Quantité de CO₂ peut être réduite par l'utilisation des capteurs solaires

CONCLUSION

Le présent travail porte sur une étude exploratrice de développement de matériaux isolants thermique des capteurs solaires. Ce matériau de base est disponible sous forme de déchets générés annuellement à des quantités importantes. Outre les valeurs écologiques, l'épuisement des ressources fossiles, l'augmentation de coût et des gravissimes atteintes à la santé, la valorisation des déchets s'avère une nécessité absolue.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le coût de production d'un kilowatt-heure de l'énergie (entre 1.33 à 5.08 DZ) est loin du coût réel de production à partir d'énergie fossile (12DZ).
- Les temps de retour de l'investissement (entre 1.11 et 4.27an) sont très court comparativement à la durée de vie du capteur estimé approximativement à 15ans.
- Une analyse environnementale a été effectuée pour montrer que l'utilisation du capteur solaire réduit considérablement le CO₂ (entre 127.7 et 518 kg CO₂) rejeté contrairement au chauffage électrique.

Cette technique permet de diminuer la part des combustibles fossiles (gaz naturel et pétrole) qui sont actuellement la principale ressource pour la production d'électricité du pays. De plus, l'utilisation des ressources renouvelables comme le solaire, vont permettre de répondre à la demande croissante d'énergie, mais aussi de faire face au tarissement de ces sources fossiles

Comme perspective à ce travail, on doit tester notre prototype tout le long de l'année pour apporter les modifications et les ajustements nécessaires ; afin d'améliorer son efficacité. On souhaite refaire l'expérience en hiver (période la plus favorable pour le chauffage). On souhaite ajouter un système de régulation de vitesse d'air (paramètre qu'on a pas pu réguler lors de nos expériences).

Références bibliographique

- [1] A. T. Ferdjani, Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans, Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 2013
- [2] A. Messaouda, M. Soussi, M. Hazami, F. Mehdaoui, A. A. Guizani, Etude des performances thermiques d'un Chauffe Eau Solaire Cylindro Parabolique CЕСSCP type capteur stockeur, International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET) ISSN: 2356-5608, Vol.3, issue 2 Copyright IPCO-pp.1-112015
- [3] D. Ababsa, Optimisation du Rendement d'un capteur solaire par minimisation des pertes convectives, Mémoire de Magister, Université El-Hadj Lakhdar-Batna, 2010
- [4] A. Labouret, M. Viloz, Solar Photovoltaic Energy, Translated from French by J. Hamand Published by The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2010
- [5] S. A. Kalogirou, Solar Energy Engineering, 2009. Academic Press, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374501-9.X0001-5>
- [6] M. Lati, S. Boughali, D. Bechki, H. Bouguettaia, D. Mennouche, N. Gana and Ghetas. Experimental investigation on effect an absorber plate covered by a layer of sand on the efficiency of passive solar air collector. International journal of green energy, VOL. 16, NO. 6, 413-422, 2019.
- [7] M. Ben Alia, Étude Comparative dans les capteurs solaires plans à air, Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2012.
- [9] F. Touloum, A. Benchabane, A. Kaci, Valorisation des fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. JM'EMP08. Bordj El Bahri, 10-11 Avril, 2012
- [10] https://www.researchgate.net/publication/271853449_Economie_de_l'energie_situation_en_Algerie
- [11] <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codeTheme=10&codeStat=EN.CO2.ETOT.ZS&codePays=DZA&optionsPeriodes=Aucune&codeTheme2=10&codeStat2=x&codePays2=DZA&optionsDetPeriodes=avecNomP&langue=f>

Reference et Bibliographique

- [12]S. Abani ,Caractérisation et durabilité des béton renforcés de fibres végétales de palmier dattier Béton de Fibre de palmier datte. Mémoire de magister, Université de Ouargla. 2003
- [13]A. Kriker, A. Bali, G. Debicki, Caractérisations physiques et mécaniques des fibres végétales de palmier dattier entrant dans le renforcement des bétons.*Séminaire.2006*
- [14]G.Debicki, A.Bali, M.Khenfer., M.Chabannet, Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, pp. 554-564.2005
- [15]N.Benmansour, Etude des performances de produits renouvelables et locaux adaptés aux applications de l'isolation thermique dans le bâtiment. Mémoire de magistère, Energies renouvelables, Université El Hadj Lakhdar Batna. 2011.
- [18]B. Agoudjil, A. Boudenne, Nouveaux matériaux biosourcés à base de bois de palmier dattier pour l'isolation thermique dans l'habitat, Orgagec2015, Champs sur Marne, 19 et 20 nov.2015.
- [19]F. Hafsi, S. Abani,A. kriker, Contribution study to the thermal isulation of the builders in the desert regions of exploiting gypsym fiber reinforced palm,EVRNZA2017
- [20]M. Louazne, Optimisation of global solar radiation of tilt angle for solar panels, location:OURGLA, ALGERIA»,electricalengineering.www.gee .ro
- [21]SYLVA I N DE L ENCLOSS, **LE SOLAIRE THERMIQUE**, France <http://gte.univ-littor1al.fr>