



UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA
FACULTE DE SCIENCE ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER en Energie renouvelable
Option : Conversion Thermique
Thème :

**Étude expérimentale sur les
performances thermiques d'un chauffe-
eau solaire a stockage intégré**

Par : Chouache Aissa

Soutenu devant le jury composé par :

<i>Mme FERRADJI</i>	<i>MCB</i>	<i>USDB</i>	<i>PRESEDENTE</i>
<i>Mme KHELALFA</i>	<i>MCB</i>	<i>USDB</i>	<i>EXAMINATRISSE</i>
<i>Mme CHAOUCHI</i>	<i>MAA</i>	<i>USDB</i>	<i>EXAMINATRISSE</i>
<i>Mr H. BENDJEBASS</i>	<i>MRA</i>	<i>UDES/CDER</i>	<i>PROMOTEUR</i>
<i>Mr K. KACI</i>	<i>MAA</i>	<i>USDB</i>	<i>CO-PROMOTEUR</i>

ANNEE UNIVERSITAIRE

2022-2023

Remercîment

Je remercie avant tout Allah le tout puissant de m' avoir donné le courage et la motivation pour arriver à ce stade du savoir et de présenter ce modeste travail.

- Je suis très reconnaissant envers Monsieur Bendjebbas Hichem, qui a assuré la supervision de ce travail. Je tiens à le remercier pour le savoir et la méthodologie transmis, ses conseils et son soutien.

- Je suis également reconnaissant envers Monsieur K. Kaci pour son aide précieuse

- Je remercie tous les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce modeste travail.

- Je tiens à remercier tous nos professeurs qui m'ont aidé à acquérir le savoir durant toute la formation de master

A la mémoire de ma très chère mère

A mon cher père

A ma très chère sœur

A mes chers frères.

Je dédie ce mémoire

ملخص

إن أبسط استخدام للطاقة الشمسية وأكثرها مباشرة هو إنتاج الماء الساخن المنزلي عن طريق أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية، والتي تعتبر أيضًا أبسط أنظمة تسخين المياه المنزلية. في هذا العمل قمنا بدراسة تجريبية لتأثير الرسم على الأداء الحراري لسخان ماء شمسي مع تخزين متكامل 90 لترًا. أجريت هذه الدراسة داخل المنصة التجريبية لوحدة تطوير معدات الطاقة الشمسية (UDES) في بو إسماعيل والتي تتكون من قياس درجات الحرارة المختلفة للمجمع بملف تعريف متغير لعدة أيام من خلال تقييم أداء هذا المستشعر، والتطبيق. مخصص للمسكن الفردي. تم صنع هذا النموذج الأولي بالكامل في ورش عمل UDES باستخدام مواد مبتكرة. دراسة الفائدة يتم اختبار تأثير السحب على كفاءة النظام ومعرفة مشكلة التصنيع الخاصة بهم ، ويمكن تقديم مساعدات لاستهلاك الماء الساخن حتى لا يفقد حمل التخزين الحراري وتحديد الكمية والوقت المناسبين للسحب ، والتي يمكن للنظام تعويضها للحمل الحراري الذي تم سحبه. بحيث يحافظ النظام على تخزين حراري كامل لمرحلة الاستهلاك ليلاً عند عدم وجود إشعاع شمسي وهو مصدر الحرارة.

الكلمات الدالة:

الأداء الحراري، السحب، التخزين الحراري

Resume

L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire par les systèmes de chauffe-eau solaire qui est considéré aussi les systèmes le plus simple pour le chauffage de l'eau sanitaire.

Dans ce travaille nous avons étudé expérimentalement l'effet de puisage sur les performances thermiques d'un chauffe- eau solaire à stockage intégré de 90 Litres. Cette étude a été réalisé au sein de la plateforme expérimentale de l'Unité de développement des équipement solaires (UDES) de Bou-Ismaïl qui consiste à mesurer les différentes températures du capteur avec un profil de puisage variable pendant plusieurs jours en évaluant les performances de ce capteur, l'application est destinée pour une habitation individuelle. Ce prototype a été réalisé complètement dans les ateliers de l'UDES en utilisant des matériaux innovants.

L'intérêt d'étude l'effet de puisage est testé l'efficacité de système et découvre leur problème de fabrication, et peut être donne des aides pour la consommation d'eau chaude de manière à ne pas perdre la charge de stockage thermique et déterminant la quantité et le temps appropriés pour le puisage, avec lesquels le système peut compenser la charge thermique qui en a été puisé. Afin que le système maintienne un stockage complet de la chaleur pour la phase de consommation a la nuit où il n'y a pas un rayonnement solaire, qui est la source de chaleur.

Mots-clés : Performances thermique, puisage, stockage thermique

Abstract

The simplest and most direct use of solar energy is the production of domestic hot water by solar water heating systems, which are also considered the simplest systems for heating domestic water.

In this work we have experimentally studied the effect of drawing on the thermal performance of a solar water heater with integrated storage of 90 liters. This study was carried out within the experimental platform of the Solar Equipment Development Unit (UDES) of Bou-Ismaïl which consists in measuring the different temperatures of the collector with a variable drawing profile for several days by evaluating the performance of this sensor, the application is intended for an individual dwelling. This prototype was made entirely in the UDES workshops using innovative materials.

Study interest the drawdown effect is tested system efficiency and find out their manufacturing problem, and can be give aids for hot water consumption so as not to lose thermal storage load and determining the appropriate amount and time for drawing off, with which the system can compensate for the heat load that has been drawn off. So that the system maintains a complete heat storage for the consumption phase at night when there is no solar radiation, which is the heat source.

Key words : Thermal performance, draw-off, thermal storage

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

CHAPITRE 1 :

GENERALITES ET ETAT DE L'ART DES CHAUFFE-EAUX SOLAIRES A STOCKAGE INTEGRE.....	3
.1. Introduction	3
1.1. Production d'eau chaude par énergie solaire	3
1.3.1 Les chauffe-eaux solaires	3
1.3.2 Les chauffe-eau solaires auto-stockeurs (à stockage intégré) :	4
1.3.3 Compositions du chauffe-eau solaire auto-stockeur	5
1.3.4 Les différents types de stockage :	7
1.3.5 Présentation de quelques modèles :	13
1.4 Etat de l'art	17

CHAPITRE 02 :

GISEMENT SOLAIRE :

2.1 Introduction	21
2.2 Généralités sur le Soleil.....	21
2.3 Constante solaire	22
2.3.1. Caractéristiques du Soleil	22
2.3.2. Distribution spectrale de Rayonnement Solaire Hors Atmosphère.....	22
2.4 Rayonnement solaire au sommet de l'atmosphère (Rayonnement extraterrestre) - Constante solaire.....	23
2.5 Définitions clés du rayonnement.....	24
2.6 Rayonnement solaire sur la surface de la Terre – Rayonnement Processus d'extinction dans l'atmosphère	25
2.6.1. Diffusion du rayonnement solaire dans l'atmosphère	26
2.6.2. Masse d'air.....	26
2.6.3. Absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère	27
2.6.4. Rayonnement solaire direct sur la surface plane et horizontale et une surface inclinée	28
2.7 Aspects géométriques du rayonnement solaire direct.....	30

2.7.1.	Distance de la terre au soleil	32
2.7.2.	Correction due à la variation de la distance Terre - Soleil	34
2.7.3.	Repérage de la position du Soleil.....	34
2.7.4.	Coordonnées équatoriales	34
2.7.5.	Temps Solaire Vrai.....	36
2.7.6.	Coordonnées horizontales	36
2.8	Potentiel solaire en Algérie	39

CHAPITRE 03 :

CONCEPTION, MODELISATION ET REALISATION

3.1.	Conception du dispositif	41
3.1.1.	Solide Edge	41
3.1.2.	Conception du capteur stockeur	41
3.1.3.	Conception du caisson	43
3.1.4.	La partie avant du caisson.....	44
3.1.5.	La partie droite/gauche du caisson :	45
3.2.	Modélisation mathématique	46
3.2.1.	Bilan thermique.....	47
3.2.2.	Flux stocké	48
3.2.3.	Flux perdu	48
3.2.4.	Pertes latérales	50
3.2.5.	Rendement instantané	50
3.3.	Etape de réalisation	51
3.3.1.	Le caisson.....	51
3.3.2.	Elément capteur stockeur	53
3.3.3.	Elément d'absorbeur	54
3.4..1.	Assemblage du chauff eau solaire	55
3.4.	Description du banc d'essai	57
3.4.1	Mesure de température.....	58
3.4.2	Mesure du rayonnement solaire global	59
3.4.3	Acquisition des données	59
3.5.	Les étapes d'expérimentation.....	60
3.4.1.	Tests 01 effectués le 20/06/2023	61
3.4.2.	Tests 02 effectués le 21/06/2023	61

3.4.3. Teste 03 effectués le 22/06/2023.....	62
--	----

CHAPITRE 4 :

RESULTAT ET DISCUSSION

4.1 Résultat et discussion	63
4.1.1 Le 20/06/23	63
4.1.2 Le 21/06/23	65
4.1.3 Le 22/06/23	67
4.2 Conclusion.....	69
CONCLUSION GENERALE	70
Conclusion générale	71
Perspective	72
Reference.....	70

LISTE DE FIGURES

Chapitre 1

Figure 1.1 composition d'un capteur solaire plan de type tubes a ailettes	4
Figure 1.2 differents classements de csis.....	5
Figure 1.3 eclairement solaire incident sur l'absorbeur apres transmission du vitrage.....	7
Figure 1.4 schema de principe d'un csis a cuve rectangulaire.	8
Figure 1.5 schema du capteur « sun cache » [4].....	9
Figure 1.6 schema du capteur slo-150 [7]	10
Figure 1.7 schema du capteur a cuve cylindrique.	11
Figure 1.8 schema du solarinox 160.....	11
Figure 1.9 (a) le capteur « copper heart » et (b) le capteur « tct solar ».....	12
Figure 1.10 schema du chauffe-eau solaire capteur-stockeur triangulaire muni d'une paroi interne.	13
Figure 1.11 schema descriptif du capteur-stockeur propose par faiman, [12].....	14
Figure 1.12 photo montrant le prototype du capteur-stockeur ameliore par faiman, [10]	14
Figure 1.13 schemas representant un chauffe-eau solaire capteur-stockeur a reservoir cylindrique horizontal [13].....	15
Figure 1.14 presentation en coupe d'un chauffe-eau solaire capteur-stockeur a reservoir cylindrique dote d'un reflecteur en cpc [13].....	15
Figure 1.15 vue du capteur-stockeur a reflecteur cylindre-parabolique realise en tunisie [14].	16
Figure 1.16 schemas d'un capteur-stockeur a cpc en exposition indirecte, [10].....	16

Chapitre 2

Figure 2.1 vue en coupe partielle du soleil.....	21
Figure 2. 2 representation schematique du systeme soleil – terre - lune.....	22
Figure 2. 3 distribution spectrale de l'eclairement solaire, hors atmosphere (a) et comparaison avec l'emittance du corps noir a 5800 k (b).....	23
Figure 2. 4 le trajet des rayons du soleil a travers l'atmosphere sans considerer la courbure de la surface de la terre et une densite homogene (a) et en considerant la courbure de la terre et une densite non uniforme (b). Adapte d'apres iqbal [30]	26
Figure 2. 5 l'angle d'incidence θ , angle entre la direction de propagation du rayonnement et la normale au plan irradie, est en general non nul, $\theta > 0$	28
Figure 2. 6 la position du soleil dans le ciel affecte directement l'intensité de l'irradiation solaire, i_h , reçue par une surface horizontale sur la terre. Par conséquent, à tout moment de l'année, seuls certains endroits de la terre, situés sur la même ligne de latitude, peuvent recevoir un rayonnement à la bonne intensité.....	32

Figure 2. 7	mouvement orbital de la terre autour du soleil. Adapte d’apres iqbal [29].....	33
Figure 2. 8	rotations de la terre autour du soleil et sur elle meme	35
Figure 2. 9	trajectoire apparente du soleil	36
Figure 2. 10	reperage de la position du soleil en coordonnees equatoriales (a) et horizontales (b).....	38
Figure 2. 11	diagramme solaire	39
Figure 2. 12	carte du monde de l’enseillent moyen annuel [36]	39
Figure 2. 13	echanges thermiques capteur - ambiance.....	47
Figure 2. 14	schema electrique equivalent	47

Chapitre 3

Figure 3. 1	schema de l'element capteur stockeur	42
Figure 3. 2	conception 3d de l’element capteur-stockeur realisee sur solid edge	42
Figure 3. 3	element absorbeur integre avec capteur-stockeur realisee sur solid edge.....	43
Figure 3. 4	schema de l'element absorbeur avec le capteur stockeur	43
Figure 3. 5	schema de la partie arriere du caisson.....	43
Figure 3. 6	conception 3d de la partie arriere du caisson realise sur solid edge avant et apres le pliage.....	44
Figure 3. 7	schema de la partie avant du caisson	44
Figure 3. 8	conception 3d de la partie avant du caisson realisee sur solid edge avant et apres le pliage	45
Figure 3. 9	schema de la partie gauche/droite du caisson	45
Figure 3. 10	conception 3d de la partie gauche/droite du caisson realisee sur solid edge avant et apres le pliage.....	46
Figure 3. 11	operation de pliage realisee avec une plieuse manuelle	51
Figure 3. 12	decoupage de la tole avec une cisaille de guillotine	51
Figure 3. 13	photo de la poinçonneuse utilisee	52
Figure 3. 14	: les parties du caisson apres le pliage	52
Figure 3. 15	photo du caisson realise	52
Figure 3. 16	soudage des tubes de jonction.....	53
Figure 3. 17	photos des tubes en acier utilises pour le capteur-stockeur.....	53
Figure 3. 18	filetage realise sur les tubes d’entree et sortie.....	54
Figure 3. 19	: soudage de tous les elements du capteur-stockeur.....	54
Figure 3. 20	partie plage.....	54
Figure 3. 21	decoupage de l’aluminium	54

Figure 3. 22 la partie collee de l'absorbeur et du capteur stockeur.....	55
Figure 3. 23 isolation de caisson	55
Figure 3. 24 montage du capteur-stockeur a l'interieur du caisson.....	56
Figure 3. 25 : perçage des tubes	56
Figure 3. 26 : pose de la vitre en polycarbonate et du cadre en aluminium	56
Figure 3. 27 image general du banc d'essais	57
Figure 3. 29 : thermocouples utilise	58
Figure 3. 28 emplacement des thermocouples dans les tubes	58
Figure 3. 30 la position du pyranometre dans le systeme experimental.....	59
Figure 3. 31 : keysight 34972a	60
Figure 3. 32 les filles de compensation lie acquisition de donnees.....	60
Figure 3. 33 l'acquisition connectee a un ordinateur pour stockees les mesures.....	60
Figure 3. 34 pose d'une couche isolante en laine de verre sur la face vitree du chauffe-eau solaire	61

Chapitre 4

Figure 4. 1 variation de la temperature a la sortie (tout), de la temperature a l'interieur du caisson (tcaisson) et du flux solaire (g) en fonction du temps local le 20/06/23	63
Figure 4. 2 variation de la temperature a la sortie et du caisson en fonction du temps local la nuit du 20 au 21 juin 2023	64
Figure 4. 3 variation de la temperature a la sortie (tout), de la temperature a l'interieur du caisson (tcaisson) et du flux solaire (g) en fonction du temps local le 21/06/2023	65
Figure 4. 4 variation de la temperature a la sortie et du caisson en fonction du temps local la nuit du 21 au 22 juin 2023	66
Figure 4. 5 variation de la temperature a la sortie (tout), de la temperature a l'interieur du caisson (tcaisson) et du flux solaire (g) en fonction du temps local le 22-06-2023.....	67
Figure 4. 6 variation de la temperature de l'eau a la sortie et du caisson en fonction du temps lors du puisage continu de 25 litres.....	68

LISTE DES TABLEAU

Chapitre 1

Tableau 1 ensoleillement reçu en algerie par regions climatiques	40
---	-----------

Nomenclature

A surface, m^2

C chaleur spécifique, $J/kg^{\circ}C$

Dc largeur de la cuve, m

Eis épaisseur de l'isolant, m

Epb hauteur de la cuve, m

GV rayonnement absorbé par le vitrage, W/m^2

hc coefficient d'échange de chaleur par convection, $W/m^2\ ^{\circ}C$

hr coefficient d'échange de chaleur par rayonnement, $W/m^2\ ^{\circ}C$

hw coefficient d'échange de chaleur par convection dû au vent, $W/m^2^{\circ}C$

Kis conductivité thermique de l'isolant, $W/m\ ^{\circ}C$

Lm longueur de la cuve, m

M masse, kg

Mc masse des parois (latérales + du fond) de la cuve, kg

m débit massique, kg/s

nc nombre de cuves

t temps, s

Ta moyenne arithmétique de la température ambiante maximale et minimale, $^{\circ}C$

T température, $^{\circ}C$

Uarr coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du capteur, $W/m^2\ ^{\circ}C$

Uc coefficient de pertes thermique à travers la couverture d'isolation, $W/m^2^{\circ}C$

W distance entre deux cuves, m

ρ_g albédo du sol

α_V coefficient d'absorption du vitrage

Indices

c capteur

f fond de la cuve, fluide

p plaque d'absorption

V vitre

m1 lame d'air

s ciel

Introduction générale

Introduction générale

Dans le contexte du changement climatique, de nombreux pays orientent leurs politiques énergétiques vers la promotion et le développement des énergies renouvelables en raison de leur abondance, de leurs effets non néfastes pour l'environnement et devant la menace d'épuisement des combustibles fossiles. Parmi ces ressources énergétiques, on trouve l'énergie solaire, l'énergie éolienne ou encore la biomasse.

Les combustibles fossiles (Pétrole et Gaz) représentent la base principale de l'économie en Algérie et ils répondent à 99% de la demande énergétique interne. Toutefois, ces ressources non renouvelables ne peuvent être puisées à l'infini, et leur disponibilité limitée est incompatible avec la croissance illimitée de leur demande, nous nous rapprochons donc à grands pas du jour où leurs stocks seront insuffisants même pour satisfaire les besoins internes.

Afin de préserver les ressources fossiles et contribuer au développement durable, il est primordial d'intégrer les énergies renouvelables dans le mix énergétique. Le gouvernement algérien a donc adopté en février 2011 un programme spécial (2011-2030) réservé au développement des énergies renouvelables.

L'Algérie possède l'un des plus importants gisements solaires dans le monde qui peut assurer 3500 heures/an et 2650 kWh/m²/an, l'utilisation de cette énergie est donc favorisée dans les différents secteurs tels que l'habitat, l'industrie et l'agriculture.

La production d'eau chaude sanitaire par le biais de chauffe-eaux solaires est l'une des applications les plus répandues de l'énergie solaire thermique. Les chauffe-eaux solaires les plus utilisés sont ceux à thermosiphon composés d'éléments séparés : le capteur plan est la cuve de stockage.

Afin de réduire le coût de production assez élevé de ces systèmes classiques de chauffage solaire de l'eau, des systèmes simplifiés qui consistent à assurer la captation et le stockage dans une même enceinte ont été réalisés. Ces systèmes sont dits auto-stockeurs ou à stockage intégré, ils présentent les avantages suivants :

- Un coût de production très bas ;
- Une technologie simple et ne demandant pas de gros moyens ;
- Une robustesse adaptée aux conditions climatiques hostiles.

Notre travail consiste à concevoir, réaliser et tester un prototype de chauffe-eau solaire à stockage intégré à l'Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES).

En plus de cette introduction, ce mémoire est constitué de quatre (4) chapitres et d'une conclusion :

Le premier chapitre est consacré à présenter les généralités sur les chauffe-eaux solaires et plus particulièrement ceux à stockage intégré, puis se termine par un rappel bibliographique.

Le deuxième chapitre présente des généralités sur le gisement solaire

Le troisième chapitre présente les étapes de conception puis la modélisation mathématique et la réalisation de notre prototype finiront par l'étude expérimentale

Le quatrième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats obtenus.

CHAPITRE 1 :

GENERALITES ET ETAT DE L'ART DES CHAUFFE-EAUX SOLAIRES A STOCKAGE INTEGRE

.1. Introduction

La production solaire d'eau chaude sanitaire offre un potentiel d'économie considérable, c'est aujourd'hui la meilleure façon de concilier la haute technologie avec une utilisation propre des ressources naturelles. Les chauffe-eaux solaires exploitent l'énergie produite par les rayons du soleil pour produire de l'eau chaude sanitaire.

Ce chapitre contient des généralités sur les chauffe-eaux solaires et les différents types de ces dernières parties puis se termine par un rappel bibliographique

1.1. Production d'eau chaude par énergie solaire

1.3.1 Les chauffe-eaux solaires

L'énergie solaire est une source d'énergie propre et abondante qui peut nous aider à combler une bonne partie de nos besoins en énergie. L'énergie solaire peut servir au chauffage, notamment au chauffage de l'eau. Les installations solaires servant au chauffage de l'eau sont appelées « chauffe-eau solaires domestiques » [2]

Il existe plusieurs types de chauffe-eau solaire, c'est la surface du capteur solaire, la capacité du ballon et la forme du chauffe-eau en lui-même qui diffèrent.

On distingue trois grandes familles de chauffe-eau solaires :

- Chauffe-eau monoblocs.
- Chauffe-eau à thermosiphon.
- Chauffe-eau à circulation forcée.

Le rayonnement solaire incident sur le capteur est converti en chaleur, une partie de cette dernière est transférée vers la cuve de stockage via un fluide caloporteur qui circule entre le capteur et la cuve de stockage. Dans le cas le plus simple, ce fluide n'est autre que l'eau à chauffer. Le capteur solaire est installé de telle sorte que sa surface de captation soit orientée plein sud avec une inclinaison fixe durant toute l'année. Pour une meilleure captation du rayonnement solaire, généralement cette inclinaison est égale à la latitude du lieu d'installation.

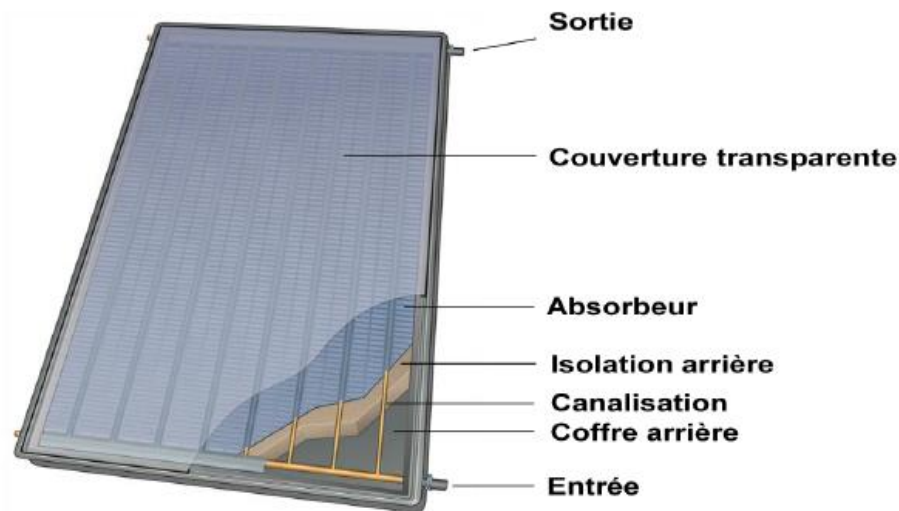


Figure 1.1 Composition d'un capteur solaire plan de type tubes à ailettes

1.3.2 Les chauffe-eau solaires auto-stockeurs (à stockage intégré) :

Le principe du Capteur Solaire Intégrant le Stockage (CSIS) est de positionner le stockage à l'arrière du capteur [3]. Ce système de production d'eau chaude sanitaire (ECS) doit maximiser les transferts de chaleur entre l'absorbeur et le stockage (période de charge), tout en réduisant les pertes thermiques du stockage, notamment pendant les périodes nocturnes plus froides. La solution qui consiste à avoir un contact direct entre la surface de l'absorbeur et le stockage n'est pas satisfaisante vis à-vis des performances énergétiques en raison des pertes thermiques importantes

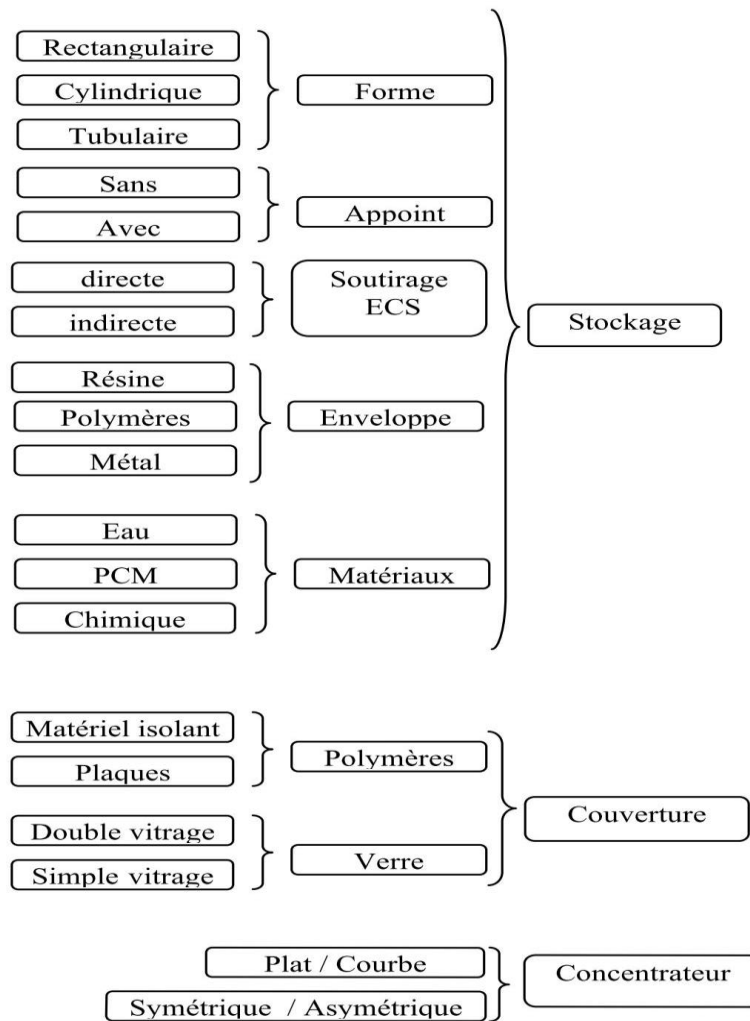


Figure 1.2 Différents classements de CSIS.

1.3.3 Compositions du chauffe-eau solaire auto-stockeur

1.3.3.1 L'élément auto-stockeur

C'est le composant principal du chauffe-eau solaire capteur-stockeur. Il s'agit d'un réservoir de stockage d'eau (ballon d'eau) de forme parallélépipédique ou cylindrique selon le modèle. Il capte le rayonnement solaire par sa surface exposée qui est peinte en noir pour améliorer son absorptivité, puis transforme le rayonnement absorbé en chaleur transférée par conduction et convection vers l'eau qu'il contient. La forme de l'élément capteur –stockeur influe sur les performances du système par son effet sur la stratification de l'eau contenue dans son volume et par son effet sur la captation du rayonnement solaire. Le matériau utilisé (acier, plastique,..)

influe également sur les performances du système en raison des propriétés thermo-physiques. La position et la forme des entrées et sortie d'eau sont aussi importantes pour un meilleur fonctionnement du système. En effet, un orifice permettant l'entrée d'un fort débit d'eau tourbillonnaire perturbe la stratification de l'eau et réduit, par conséquent, les performances du système.

1.3.3.2 Le caisson et l'isolation

Le caisson contient l'élément capteur-stockeur ; Il s'agit d'un boîtier ouvert par une face et isolé sur ses quatre côtés et sur son fond. Par son isolation thermique, le caisson limite les déperditions de chaleur vers le milieu ambiant. Pour la fabrication du caisson, on utilise en général les matériaux localement disponibles en tenant compte des conditions d'exploitation à savoir : l'humidité, la pluviométrie ainsi les moyens d'installation et de fixation.

Lors de la mise en place de l'élément capteur-stockeur à l'intérieur du caisson il y a lieu d'éviter la formation de pont thermique surtout au niveau des entrées et sorties d'eau.

1.3.3.3 La couverture transparente :

L'installation d'une couverture transparente en verre ou en plastique sur la face avant du caisson permet d'augmenter le gain énergétique de l'élément capteur-stockeur en créant l'effet de serre et en limitant les déperditions calorifiques par convection vers le milieu ambiant en créant un espace dans lequel l'air sera confiné, (Figure 1.3). Le vitrage ne doit pas être très fin pour éviter sa fragilité et ne doit pas être très épais pour limiter son inertie thermique.

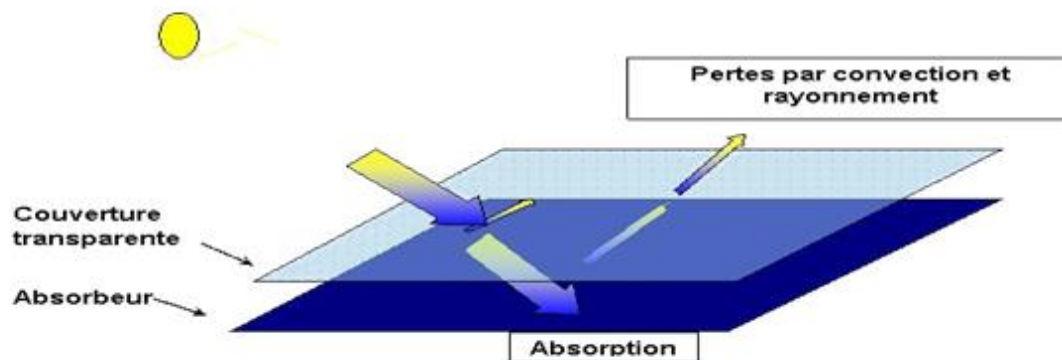


Figure 1.3 Eclairage solaire incident sur l'absorbeur après transmission du vitrage.

1.3.4 Les différents types de stockage :

La forme de la cuve est le paramètre qui impose le plus de contraintes au niveau du CSIS. Nous avons ainsi identifié trois types de cuve : rectangulaire, cylindrique et tubulaire. Nous allons montrer les particularités de différents systèmes de CSIS, en précisant les avantages et inconvénients de ces différentes technologies.

1.3.4.1 Stockage à cuve rectangulaire :

La Figure 1.4 représente le schéma de principe d'un auto-stockeur à cuve rectangulaire. Dans ce cas, l'absorbeur correspond à la face supérieure de la cuve. La couverture permet de réduire les pertes thermiques par rayonnement (principe de l'effet de serre). A l'arrière du stockage et sur les côtés, se trouve l'isolant. Pour cet exemple de CSIS, le puisage de l'ECS se fait par soutirage direct avec une arrivée d'eau en partie basse et la sortie en partie haute. L'utilisation d'un échangeur pour l'ECS permet d'éviter de mettre le stockage sous pression. Un point critique de ce type de système est sa faible compacité (rapport entre la surface d'échange et le volume), qui varie entre 20 et 40, ce qui entraîne une surface déperditive importante. Par conséquent, il est important d'isoler correctement le stockage, notamment sur la face avant.

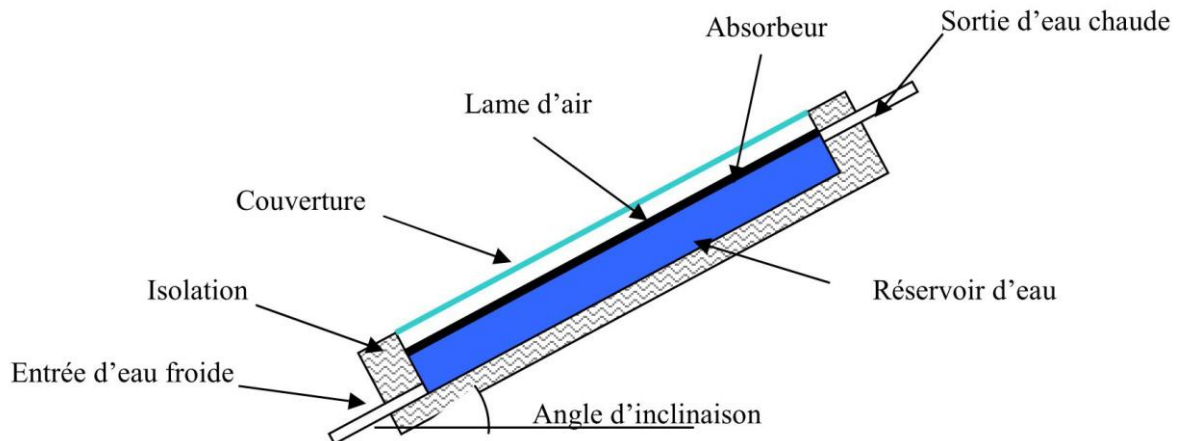


Figure 1.4 Schéma de principe d'un CSIS à cuve rectangulaire.

Plusieurs fabricants proposent des CSIS avec ce type de stockage :

L'entreprise américaine « Harpiris Energy ». [4] fabrique le modèle auto-stockeur qui est actuellement le chauffe-eau solaire certifié le moins cher du marché aux Etats-Unis (1400\$ le CSIS, et entre 1000 à 1500\$ pour l'installation). Du fait de la simplicité de fonctionnement, l'acquéreur a la possibilité de réaliser lui-même l'installation. En raison du faible niveau d'isolation thermique du stockage, la société suggère d'utiliser l'eau en journée et en soirée. Ce capteur possède une couverture en acrylique qui est résistante aux rayons UV, mais qui n'empêche pas d'avoir des pertes thermiques élevées au niveau du stockage. Le réservoir a une forme triangulaire (190 litres) et est fabriqué en polyéthylène, ce qui garantit une légèreté et une résistance à la corrosion. Il intègre un échangeur à serpentin pour le transfert de chaleur entre le réservoir et l'eau chaude sanitaire. Ce chauffe-eau est conçu spécialement pour des climats chauds ; son usage n'est donc pas possible en France métropolitaine à cause des pertes thermiques élevées au niveau du stockage. La figure 1.5 montre un schéma du « Sun Cache » avec ses différents composants.

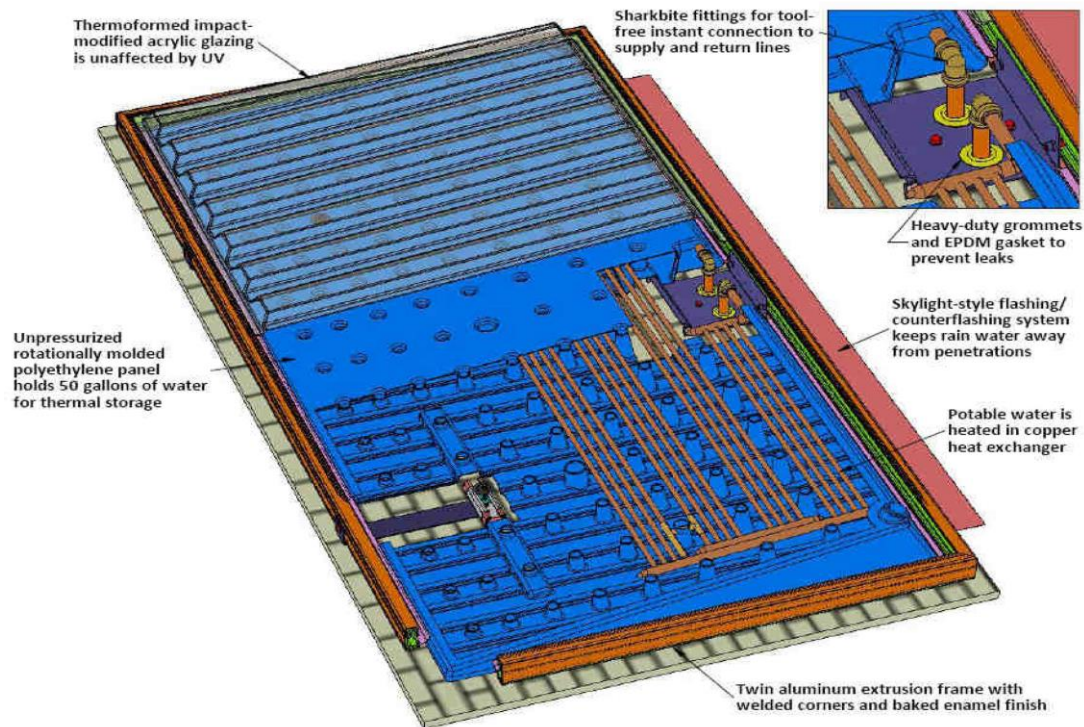


Figure 1.5 Schéma du capteur « Sun Cache » [4].

Le capteur auto-stockeur de l'entreprise « Orkli S. Coomp. » a une capacité de 150 litres et peut être installé sur la toiture, en châssis ou intégré (figure 1.6) [7]. Son réservoir, composé d'une pièce unique en poly sulfone, comporte douze chambres cylindriques communicantes. Le matériau et la forme retenus lui permettent de résister à des pressions qui peuvent atteindre 19 bars selon le fabricant. Le capteur auto-stockeur utilise un échangeur rempli d'eau glycolée (50%) entre l'absorbeur et le réservoir, ainsi qu'un circulateur alimenté par une cellule photovoltaïque. Cet échangeur permet au réservoir d'être complètement isolé, ce qui lui confère une bonne résistance au froid. Si le matériau du réservoir apporte l'avantage, d'un faible poids, son coût demeure très élevé et peut atteindre jusqu'à 5 fois le coût de l'acier inox.

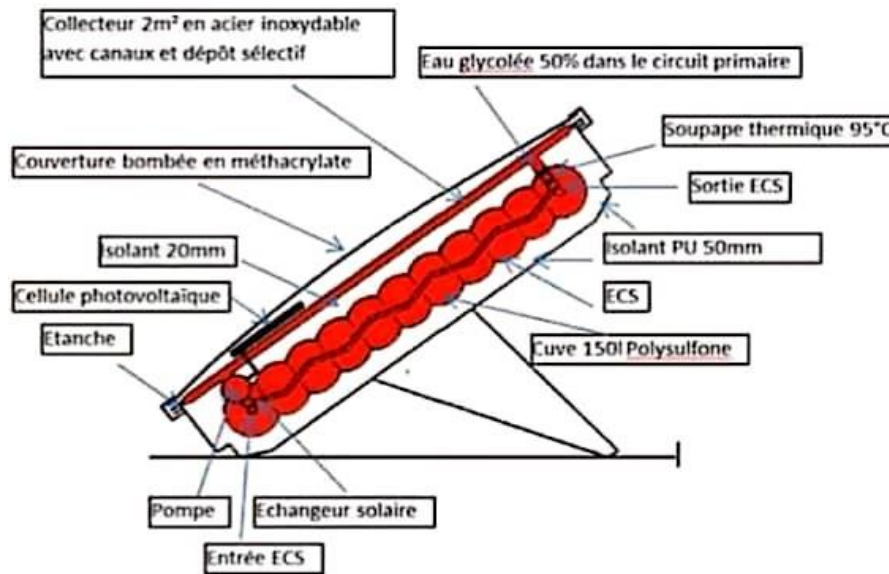


Figure 1.6 Schéma du capteur [7]

1.3.4.2 Les cuves cylindriques :

Le CSIS à cuve cylindrique se présente souvent avec des réflecteurs pour concentrer le flux solaire directement sur la cuve, figure 1.7. Ces systèmes utilisent le soutirage direct, car la forme de la cuve lui confère une bonne résistance à la pression. Malgré la bonne compacité, qui nuit néanmoins à l'intégration architecturale, le système est recommandé pour des utilisations dans des climats chauds car les pertes pendant la nuit sont importantes (cuve non isolée). Le réservoir est généralement positionné à l'horizontale. Il est possible d'avoir un stockage à la verticale pour améliorer la stratification au détriment de l'apport solaire.

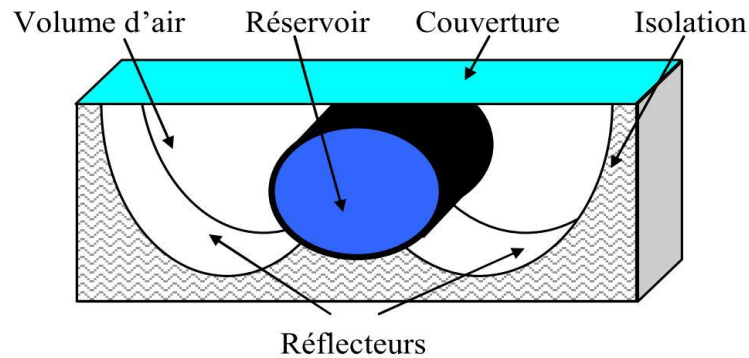


Figure 1.7 Schéma du capteur à cuve cylindrique.

Plusieurs entreprises ont développé ce type de configuration. Le modèle de l'entreprise américaine « AAA Solar » [5]. Utilise des technologies et matériaux classiques. Avec une cuve en acier inox d'une capacité entre 110 et 300 litres et une protection par double vitrage, selon le fabricant un système adapté aux climats chauds. Une protection peut être ajoutée pendant la nuit dans les climats froids pour diminuer les pertes thermiques.

l'entreprise guadeloupéenne « SolarInox » [6] propose quelques innovations par rapport au cas précédent (figure 1.8). Le bac de soutien du réservoir est composé d'une double peau en polyester incorporant une isolation injectée de 35 mm (mousse polyuréthane). La surface sélective de la cuve a une absorption de 95% et une émissivité de 5% grâce à un traitement électrochimique. Enfin, la couverture est un simple vitrage de 4 mm d'épaisseur.

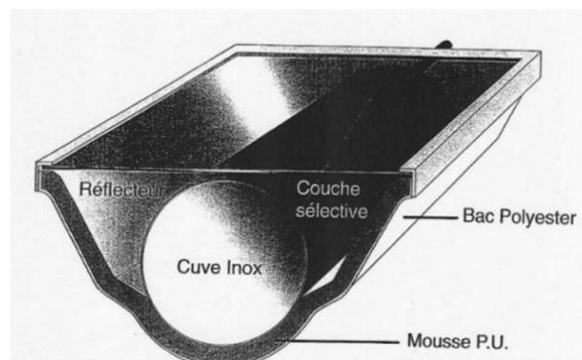


Figure 1.8 Schéma du SolarInox

1.3.4.3 Les stockages tubulaires :

Les capteurs à stockage tubulaire sont composés de tubes placés en parallèle et interconnectés entre eux en série. Dans cette configuration, la compacité du capteur offre un compromis entre les capteurs à cuve rectangulaire (facilité en termes d'intégration architecturale) et cylindrique (système plus compact et moins déperditif). Ce type de capteur n'utilise pas de concentrateur et peut fonctionner à des pressions aux alentours de 20 bars.

Plusieurs fabricants ont proposé des systèmes pour les stockages tubulaires :

Les entreprises « Sun Earth » [7] et « Integrated Solar » [8] proposent respectivement dans les séries « Copper Heart » et « Copper Sun » un capteur avec le stockage intégré de type tubulaire (figure 1.9-a). Les différences entre les fabricants se situent au niveau de la capacité de stockage des modèles. Les Copper Heart sont commercialisés avec réservoirs de 20, 32 et 40 gallons (75,7 ; 121,1 et 151,4 litres), tandis que les « Copper Sun » sont à 30, 40 et 50 gallons (113,5 ; 151,4 et 189,3 litres). Les deux systèmes fonctionnent avec une pression de 8,3 bars à une température de 93° C. La figure 9-b montre que les extrémités de chaque tube du Copper Heart sont réduites de façon à éviter le mélange d'eau, et donc préserver la stratification entre tubes. Les profils des extrémités de forme sphérique sur le Copper Heart permettent de diminuer les pertes de charges. Le fabricant « TCT Solar » [9] propose un stockage tubulaire avec des caractéristiques très proches des deux systèmes précédents (figure 9-a). La différence avec les systèmes précédents est la pression de fonctionnement qui est de 10,3 bars, ainsi que les extrémités sans arrondi. Les connecteurs entre les tubes sont déplacés en partant de la partie haute du tube (voir détail sur la figure 1.9-b), de façon à valoriser la stratification dans les tubes.



Figure 1.9 (a) Le capteur « Copper Heart » et (b) le capteur « TCT Solar ».

1.3.5 Présentation de quelques modèles :

La bibliographie consultée a montré que plusieurs modèles de chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur ont été développés dans le monde. Les premiers systèmes sont très simples ont une forme rectangulaire [10] avec un rendement assez faible. De gros efforts ont été développés pour améliorer les performances du capteur-stockeur et de nouvelles formes ont vu le jour. Dans ce qui suit, nous citons quelque unes des plus répondues du capteur-stockeur parce que la liste est très longue et on ne peut pas, dans ce mémoire, les reprendre tous.

Le modèle triangulaire [10] avec la configuration montrée en figure 1.10 a été proposé et étudié en apportant une modification interne par l'installation d'une paroi isolante (figure 1.10) permettant la circulation interne de l'eau tout en préservant l'eau chaude vers la partie arrière du capteur-stockeur, [11]

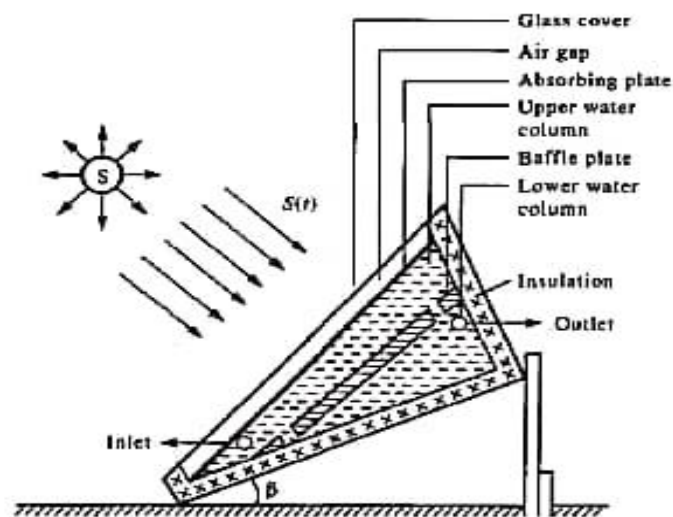


Figure 1.10 Schéma du chauffe-eau solaire capteur-stockeur triangulaire muni d'une paroi interne.

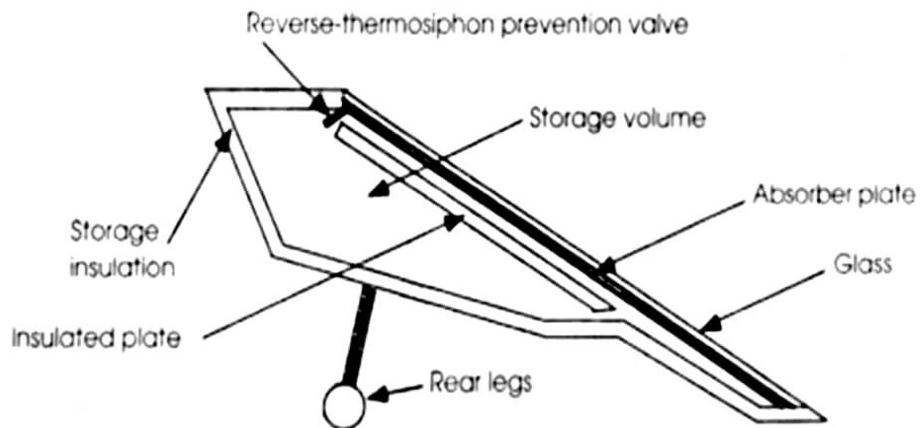


Figure 1.11 Schéma descriptif du capteur-stockeur proposé par Faiman, [12].

L'élément capteur-stockeur est constitué de deux jaquettes : La première qui est plus mince joue le rôle du capteur et celle de dernière est élargie sur sa partie supérieure joue le rôle de la cuve de stockage. La circulation d'eau entre les deux jaquettes se fait naturellement mais le système est doté d'un dispositif qui empêche cette circulation au cours de la nuit pour minimiser les pertes calorifiques vers le milieu ambiant. Un tel chauffe-eau est présenté en figure 1.12



Figure 1.12 Photo montrant le prototype du capteur-stockeur amélioré par Faiman, [10]

Dans la gamme des chauffe-eau solaire à élément capteur-stockeur de type cylindrique on trouve les plus simples à réflecteurs plan et ceux de hautes performances dotés de réflecteurs en forme concentrateur parabolique composé (CPC) à exposition directe comme montré sur le schéma présenté aux figures (1.13 et 1.14)



Figure 1.13 Schémas représentant un chauffe-eau solaire capteur-stockeur à réservoir cylindrique horizontal [13].

Un tel dispositif est présenté sur la photo de la figure 1.15. Il s'agit d'un prototype de chauffe-eau solaire capteur-stockeur à réservoir cylindrique et un réflecteur cylindre-parabolique réalisé en Tunisie [14].

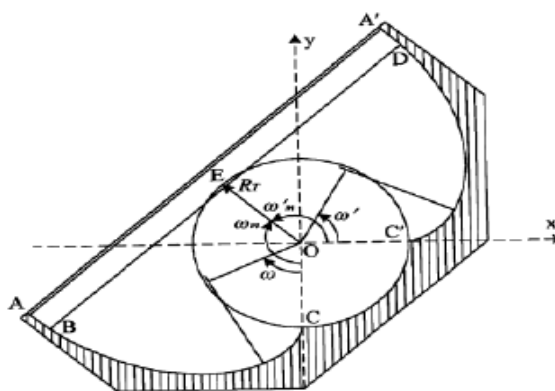


Figure 1.14 Présentation en coupe d'un chauffe-eau solaire capteur-stockeur à réservoir cylindrique doté d'un réflecteur en CPC [13].



Figure 1.15 Vue du capteur-stockeur à réflecteur cylindre-parabolique réalisé en Tunisie [14].

Les chauffe-eau solaires capteur-stockeurs utilisant des réflecteurs en CPC peuvent être également à exposition indirecte comme montré sur la figure 1.16 [10]. Dans ce cas la surface absorbante du réservoir parallélépipédique se trouve inversée et le système aura moins de pertes thermiques vers le milieu ambiant.

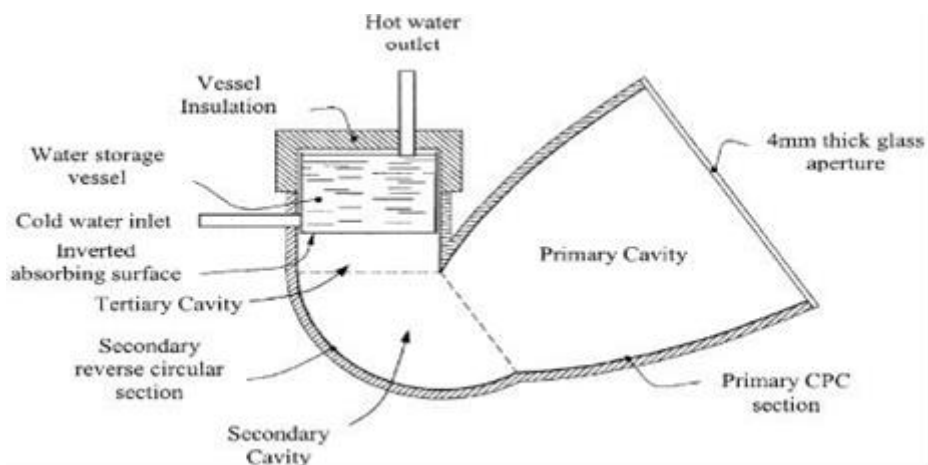


Figure 1.16 Schémas d'un capteur-stockeur à CPC en exposition indirecte, [10].

1.4 Etat de l'art

- **F. Bouhired (1998)** S'est intéressé à la réalisation d'un Régulateur de Température Destiné pour l'Appoint Electrique d'un Chauffe-eau Solaire. Dans son article, il présente un dispositif électrique de régulation de température destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe-eau solaire. Quand la température de l'eau de la cuve de stockage du chauffe-eau descend en dessous d'une température minimale admise, le régulateur intervient pour enclencher l'appoint électrique. Si la température de l'eau atteint une température maximale admise, le régulateur intervient pour arrêter l'appoint électrique. La différence des deux températures seuil est de l'ordre de 5 °C. [15]

- **M. Merzouk et N. Kasbadji Merzouk (1999)** Se sont intéressés sur Le Chauffe-eau Solaire à Usage Domestique Analyse des Limites Technico - Economiques de l'Expérience Algérienne. Ils Ont travaillé sur Les performances du CES développé par la SEES dans les années 80, ont été estimés pour différents sites du pays. Les résultats ont été obtenus en utilisant la méthode f-chart modifiée et en considérant un stockage stratifié. Les coûts d'exploitation en considérant un appoint au gaz ont été comparés à ceux induits par l'usage tout gaz. Ont montré ainsi que la compétitivité du solaire par rapport au butane se trouve dopée par la récente politique des coûts d'énergie. A. Hamid, S. Sami, D. Semmar, [16]

- **D. Lafri et R. Kharchi (2002)** ont considéré à l, Etude et Réalisation d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collectif Cet article comporte deux parties, la première consiste à dimensionner, réaliser et expérimenter une installation de chauffage d'eau collectif d'une capacité de 400 litres. La deuxième partie est consacrée à l'étude du système d'appoint et l'influence du coût de cette énergie sur l'optimisation et le dimensionnement de l'installation. [17]

- **C. Buscarlet – D. Caccavelli – B. Khebchache (2005)** Etude portant sur la fixation d'exigence minimum en matière de performance thermique des capteurs solaires et des chauffe-eau solaires. Cette étude a pour objectif de contribuer à la fixation de seuils minimaux de performance thermique pour les capteurs solaires et les chauffe-eaux solaires. [18]

- **Y. Bai, G. Fraisse, L. Luo et B. Souyri (2006)** se sont intéressés à l'Optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles. Ce travail porte sur l'expérimentation, la simulation et l'optimisation du comportement d'une installation de chauffe-eau solaire individuel (CESI) en fonction des différents modes de gestion. Les résultats expérimentaux de la première partie ont permis de valider les modèles numériques, notamment pour les faibles débits. La comparaison numérique des performances énergétiques des différents types de CESI a été étudiée sous TRNSYS. Enfin, l'optimisation de performances énergétiques, économiques et environnementales d'un système fonctionnant en tout ou rien a été réalisée grâce au logiciel GenOpt (interface TrnOpt). [19]

- **Messaouda et Kerkeni (2009) [20]** se sont penchés sur la Contribution à l'étude d'optimisation d'un chauffe-eau solaire type cylindro parabolique. Une étude des performances thermiques, a été menée sur un capteur stockeur cylindro parabolique fabriqué au CRTEN, dans le cadre d'un projet, ayant comme objectif principal, la réalisation et l'optimisation des chauffe-eau solaires peu encombrants, d'utilisation simple et à faible coût, pouvant être introduit sur le marché Tunisien. Les résultats sont présentés en termes de rendement, coefficient de déperdition et quantité annuelle d'énergie délivrée. La comparaison de ce système avec un système classique composé d'un capteur plan et d'un ballon de stockage horizontal, a montré des performances thermiques comparables et une durée de remboursement correspondant environ à la moitié de ce dernier. L'ensemble de ses caractéristiques lui offre donc un rapport qualité prix concurrentiel. [20]

- **F. Yettou, A. Malek, M. Haddadi et A.Gama (2010)** se sont intéressés à l'Optimisation d'un système de production d'eau chaude. Dans ce travail ils ont insisté à étudier le dimensionnement de chauffe-eau solaire individuel en élaborant un programme informatique basé sur l'utilisation d'une base de données des capteurs plans et, puisque appliqué à l'Algérie, une modélisation de l'éclairement solaire, ou le choix entre deux modèles de calcul de l'éclairement, basés sur le facteur de trouble atmosphérique de Link, est étudié. Une confrontation entre des valeurs de l'éclairement solaires mesurées et des

valeurs estimées sur les deux sites Algériens Ghardaïa et Bouzaréah est élaborée. Le programme informatique (logiciel) sera réalisé à l'aide d'un langage de programmation « orienté objet » et le dimensionnement est effectué en utilisant la méthode f-Chart. Le test de ce logiciel est indisponible et le relever des résultats est nécessaire pour validation du travail. [21]

- **S. Bennaceur, B. Draoui, L. Bennamoun (2009)** Se sont intéressés à l'étude expérimentale d'un chauffe-eau solaire au sud-ouest Algérien (Adrar). Dans ce travail ils ont mené une étude expérimentale pour mesurer les variations de températures de la vitre, la plaque absorbante pour deux positions bien définies ainsi que celui du rayonnement, la température ambiante et les températures d'entrée et de sortie du capteur solaire effectuées au niveau du site d'Adrar durant une journée précise (07/04/2005). Les résultats obtenus sont présentés sous forme de courbes montrant ainsi les bonnes performances que peut présenter un chauffe-eau solaire dans la région sud-ouest Algérien. [22]

- **S. HAKEM (2010)** Dans son projet d'étude stochastique des performances journalières d'un chauffe-eau solaire. Les données météorologiques mesurées sur une période de quatre années à Bouzareah ont été ajustées en considérant des modèles appropriés. En utilisant ces modèles, les performances journalières d'un chauffe-eau solaire à effet thermosiphon, disponible au CDER, ont été estimées théoriquement et établies expérimentalement. Le fonctionnement journalier du système est simulé par un pas de temps de 20 minutes aboutissant à un système matriciel exprimant les différentes températures en fonction de leur valeur à l'état précédent. Le vecteur d'excitation étant fonction de l'éclairement et de la température ambiante. Les évolutions théoriques des différentes températures ainsi que le débit de fluide caloporteur ont été produites mensuellement. La température moyenne de stockage atteint des pics compris entre 65°C à 75°C. Par ailleurs, les estimations relatives au rendement journalier du chauffe-eau solaire selon le mois considéré, varient de 10% à 69%. Le rendement annuel moyen est de l'ordre de 41%. [23]

- **Berchide (2010)** dans son projet d'Etude et expérimentation d'un chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur. Il s'est intéressé à l'expérimentation et l'étude d'un chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur réalisé par les moyens de l'atelier de l'URER/MS (Adrar) adapté aux conditions climatiques hostiles du milieu saharien. Ce prototype est destiné à la production d'eau chaude sanitaire naturellement par rayonnement solaire. Dans un premier temps, il présente une recherche bibliographique sur le gisement solaire et les chauffe-eau solaires. Ensuite il caractérise son système et leur prix de revient qui est proche de 16 000 DA à une surface de captation de 0.76 m². A la fin, il évalue les performances thermiques du système tel que : Le rendement journalier moyen dans les deux cas de calage (hivernale et annuel), qui est aux alentours ou bien dépasse la valeur de 50%. La quantité d'eau chaude produite à un débit fixé (1.5 l/min), il trouve que le système arrive à fournir 63 litres d'eau chaude dont la température supérieure à 50°C à l'aube du jour, et le même volume obtenu supérieure à 35°C après toute une nuit. [24]

- **F. Sahnoune, M. Belhamel et M. Zemat (2011)** Se sont penché sur l'Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe-eau solaire pour deux sites Algériens. Le chauffe-eau solaire est l'une des applications les plus importantes de l'énergie solaire, car il touche plusieurs grands secteurs consommateurs de l'eau chaude, tels que l'habitat, l'hôtellerie, les hôpitaux, les casernes, etc., qui peut satisfaire les besoins jusqu'à 80 %, il contribue à la réduction des gaz à effet de serre et à l'économie d'énergie. Pour cela, l'Algérie a mis en place un important programme pour le développement des chauffe-eau solaires pour ces différents secteurs. Le but de cet article est d'étudier les performances thermiques des chauffe-eau solaires à travers une étude comparative entre deux sites Algériens, en l'occurrence Alger et Adrar. Le dimensionnement des installations se fait par le logiciel Solo, développé par le CSTB. Les résultats sont représentés sous forme de tableaux et courbes. [25]

CHAPITRE 02
GISEMENT SOLAIRE

2.1 Introduction

L'énergie émise, sous forme de rayonnement, par le soleil constitue la source directe (énergie solaire) ou indirecte (énergie éolienne, biomasse, houle, etc.) de toutes les "Energies Renouvelables". L'énergie dégagée par la réaction thermonucléaire qui se produit au noyau du soleil est énorme (3.83 10²⁶ MW), mais du fait de la distance Terre-Soleil seule une infime partie (environ 2210⁻⁶) arrive sur terre. L'éclairement reçu en 1 point de la terre dépend naturellement du lieu, et du temps (n° jour dans l'année et heure de la journée).

2.2 Généralités sur le Soleil

Réaction thermonucléaire (fusion)

- $D_2 + T_2 \rightarrow 2He_2 + 2 \text{ Neutrons} + Q$

Avec :

- D₂ : Deutérium, isotope de H₂
- T₂ : Tritérium, isotope de H₂
- Q : Chaleur dégagée par la réaction thermonucléaire

Le neutron libéré permet de transformer un atome de Deutérium en Tritérium. Pour se poursuivre la réaction n'a donc besoin que de Deutérium

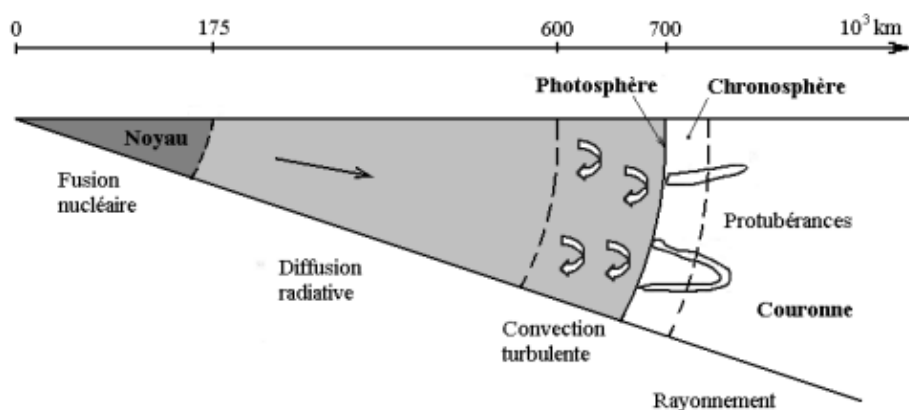


Figure 2.1 Vue en coupe partielle du Soleil

2.3 Constante solaire

2.3.1. Caractéristiques du Soleil

- Diamètre 1.392 106 km
- Masse 1.989 1030 kg
- Masse volumique moyenne : 1410 kg/m³
- Puissance rayonnée : 3.83 1020 MW
- Température au noyau 15 106 K
- Pression au noyau 2 1011 bars
- Température apparente en surface : 5780 K

Distance Terre – Soleil $d = 149\,597\,870$ km : Unité Astronomique (UA) $\approx 149.6\,109$ m

2.3.2. Distribution spectrale de Rayonnement Solaire Hors Atmosphère

Du fait de la distance Terre – Soleil, la terre ne reçoit qu'une infime partie de l'énergie rayonnée par le Soleil.

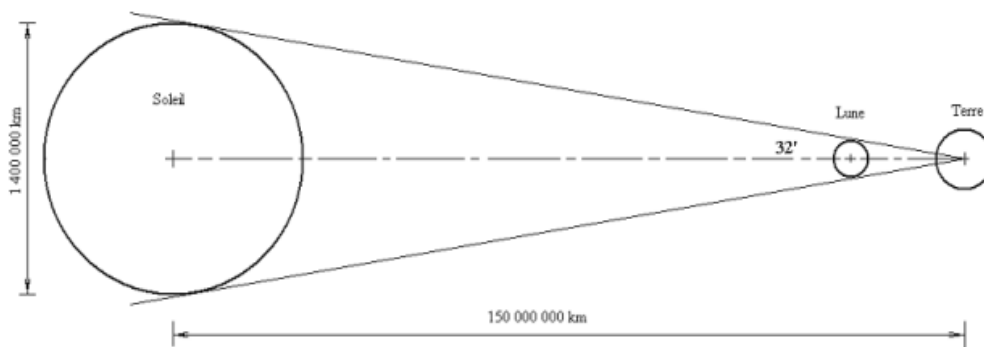


Figure 2. 2 Représentation schématique du système Soleil – Terre - Lune

L'éclairement spectral, hors atmosphère, reçu par une surface normale à la direction du soleil est donné en figure 2.3 Les données enregistrées et ayant servi de base.

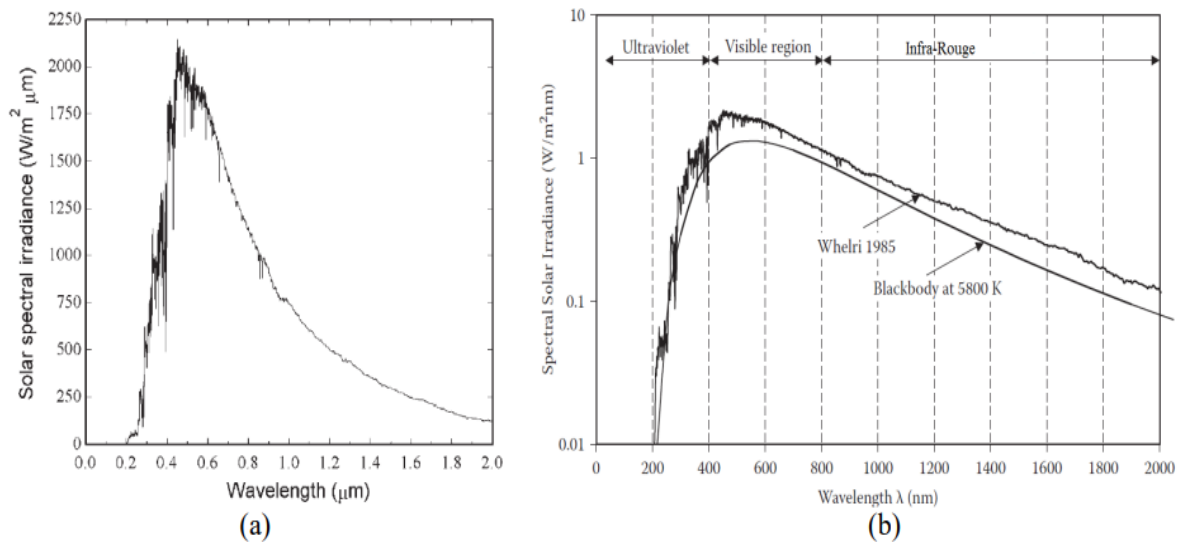


Figure 2. 3 Distribution spectrale de l'éclairement solaire, hors atmosphère (a) et comparaison avec l'émission du corps Noir à 5800 K (b)

2.4 Rayonnement solaire au sommet de l'atmosphère (Rayonnement extraterrestre) - Constante solaire

La puissance du rayonnement solaire par unité de surface (l'irradiance solaire) à la limite extérieure de l'atmosphère terrestre (par conséquent, pas l'irradiance à la surface de la Terre) est essentiellement invariable et presque constante. Sa valeur moyenne est appelée la constante solaire. Si l'on suppose que la température et le rayon du Soleil (plus précisément sa photosphère, qui émet la majeure partie du rayonnement qui quitte le Soleil) sont constants la constante solaire ne dépend fondamentalement que de la distance entre le Soleil et la Terre.

Comme la distance Soleil-Terre n'est pas constante, la supposition selon laquelle la constante solaire est constante n'est pas vraie. En fait, il existe des variations régulières au cours de l'année, ainsi que des variations à long terme. La valeur réelle de la constante solaire fluctue d'environ 6,9% au cours d'une année en raison de la distance variable entre la Terre et le Soleil [26]. Par conséquent, la constante solaire ne peut être considérée que comme une valeur

moyenne sur une certaine période de temps. Pour cette raison, plusieurs expériences ont été réalisées, en utilisant des avions à haute altitude, des ballons et des mesures par satellite, afin de déterminer les caractéristiques de la constante solaire (valeur et variation). Finalement, l'Organisation météorologique mondiale a fixé en 1982 la valeur de 1367 W/m^2 comme étant la constante solaire.

2.5 Définitions clés du rayonnement

Bien qu'il s'agisse de concepts de base de la physique des rayonnements, le rayonnement, l'énergie rayonnante, la puissance rayonnante, le flux rayonnant, l'irradiation et l'irradiation sont des termes que l'on confond facilement. Par conséquent, avant de procéder à l'étude du rayonnement solaire, il serait utile de clarifier leur signification :

- **Rayonnement** : Ce terme est utilisé de manière très générale, il n'indique pas une quantité physique spécifique et n'a pas de dimension. Le rayonnement indique un mode spécifique de transport de l'énergie. Dans ce processus, l'énergie est propagée à travers un milieu ou l'espace vide par l'intermédiaire de particules énergétiques ou photons. seul le rayonnement électromagnétique (transport d'énergie par les ondes électromagnétiques) est considéré.
- **Énergie radiante** : c'est l'énergie des ondes électromagnétiques (unité : joule [J]).
- **Puissance radiante** : C'est l'énergie radiante par unité de temps (unité : watt [W])
- **Irradiance** : Il s'agit du terme principal utilisé tout au long de cet ouvrage et indique l'énergie radiante incidente par unité de surface par unité de temps, ou en d'autres termes, la puissance radiante incidente par unité de surface (unité : watt par mètre carré [W m^{-2}]). Elle est également appelée flux radiant.
- **Irradiation** : Ce terme décrit la quantité d'énergie radiante incidente par unité de surface tombant sur une surface exposée au rayonnement pendant une durée spécifique (unité : joule par mètre carré [J m^{-2}]). Il est calculé
- Par intégration de l'irradiance sur une période spécifique, généralement une heure ou un jour.
- **Insolation** : Ce terme désigne le rayonnement solaire entrant

- **Extraterrestres**
- **Rayonnement** : C'est le rayonnement solaire tombant sur une surface au sommet de l'atmosphère terrestre perpendiculairement à la direction de propagation du rayonnement
- **Solaire direct**
- **Rayonnement** : C'est le rayonnement solaire reçu directement du Soleil, ou bien l'énergie solaire tombant sur une surface sans prendre en compte le rayonnement diffusé par l'atmosphère et frappant la surface.
- **Constante solaire** : C'est le flux de rayonnement solaire (irradiance) reçu sur une surface d'unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement solaire à la distance moyenne Soleil-Terre, en dehors de l'atmosphère terrestre
- **Solaire normal**
- **Rayonnement** : C'est le flux de rayonnement solaire (irradiance) reçu sur une surface d'unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement solaire

2.6 Rayonnement solaire sur la surface de la Terre – Rayonnement

Processus d'extinction dans l'atmosphère

Comme présenté dans le paragraphe précédent, la constante solaire est la puissance radiante par mètre carré incidente sur une surface située au sommet de l'atmosphère, normale à la direction de propagation du rayonnement. Cependant, l'irradiance à la surface de la Terre sera différente, inférieure à cette valeur, car tous les rayonnements solaires tombant sur l'atmosphère terrestre n'atteignent pas le sol. L'atmosphère terrestre n'atteignent pas tous le sol. Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, plusieurs effets d'atténuation du rayonnement qui le réduisent d'environ 30 % avant qu'il n'atteigne la surface de la Terre [27].

L'atmosphère de la Terre est composée d'azote (N₂), d'oxygène (O₂), de dioxyde de carbone (CO₂), de vapeur d'eau (H₂O) et d'un certain nombre d'autres constituants mineurs. La plupart d'entre eux sont bien mélangés, ce qui donne des rapports pratiquement constants dans toute l'atmosphère. Cependant, la vapeur d'eau (H₂O) est une exception, car sa concentration est extrêmement variable dans l'espace et dans le temps. Variable dans l'espace et le temps et, en fonction de la température de l'atmosphère, elle peut se condenser et former des nuages. Les

nuages réduisent le rayonnement solaire qui atteint la surface de la Terre, en raison de réflexion, absorption et diffusion.

2.6.1. Diffusion du rayonnement solaire dans l'atmosphère

La diffusion atmosphérique (scattering) du rayonnement lors de son passage au travers de l'atmosphère est causée par l'interaction (collision) avec les molécules d'air, d'eau (vapeur et gouttelettes), et des particules de poussière. Cette collision dévie le rayonnement de sa trajectoire. L'importance de ce phénomène dépend de la densité, de la taille des particules et des molécules atmosphériques par rapport à la longueur d'onde (λ) du rayonnement, et de l'épaisseur de la couche atmosphérique à traverser. Cette épaisseur, dite la longueur du chemin du rayonnement à travers des molécules de l'air, est décrite par la masse d'air optique.

2.6.2. Masse d'air

La masse d'air optique relative (m) correspond au rapport entre la quantité de masse d'air traversée par les rayons solaires directs pour atteindre la surface terrestre et la masse d'air traversée par les rayons pour atteindre la surface terrestre si le soleil était au zénith. La masse d'air est donc toujours supérieure ou égale (soleil au zénith) à l'unité. Si on ne considère pas la courbure de la terre et une masse d'air homogène ou de densité constante (Figure 2.4- a), m peut être calculé comme $m = \sec \theta_z$.

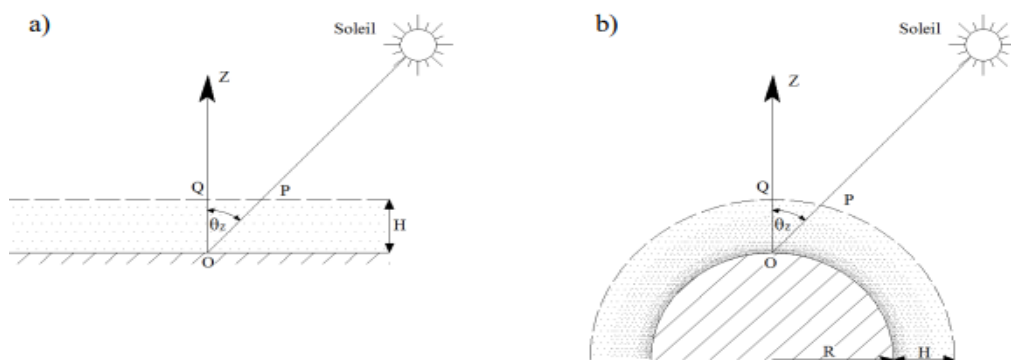


Figure 2. 4 Le trajet des rayons du soleil à travers l’atmosphère sans considérer la courbure de la surface de la terre et une densité homogène (a) et en considérant la courbure de la terre et une densité non uniforme (b). Adapté d'après Iqbal [26]

Si on considère seulement la courbure de la terre (Figure 2.4 - b), cette expression a une erreur de 2% pour $\theta_z=80^\circ$ et l'erreur augmente à 7.15% pour $\theta_z=85^\circ$. Nous avons donc une expression pour calculer m qui donne de bons résultats pour des angles zénithaux inférieurs à 80° . L'effet de la courbure de la surface terrestre devient très important lorsque l'angle zénithal augmente ($\theta_z > 80^\circ$) et il doit être pris en considération. Cependant, la densité de l'air décroît avec l'altitude. Pour surmonter ce problème (la courbure de la terre et la densité (non-uniforme)), de nombreuses expressions ont été proposées [3] qui conduisent à des résultats similaires. Pour des angles zénithaux supérieures à 80° , nous avons choisi l'expression proposée par Kasten et Young [28] qui est d'utilisation très répandue. Cette approximation dépend de l'altitude (z) du lieu pour calculer m :

$$m = \frac{\exp(-0.0001184z)}{\cos \theta_z + 0.5057(96.07995 - \theta_z)^{-1.634}} \quad 1.1$$

Nous voyons que cette expression qui prend en compte la courbure de la terre et la densité variable de l'air, donne $m = 37.91$ pour $z = 0$ mètres et $\theta_z = 90^\circ$, c'est-à-dire une valeur très différente par rapport à l'expression qui ne prend pas en compte la courbure de la terre ($m = \infty$). Avec l'accroissement de m , le spectre ultraviolet et visible souffre une diminution beaucoup plus forte que le spectre infrarouge à cause de la diffusion et de l'absorption.

2.6.3. Absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère

L'absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère est en grande partie due à l'ozone pour l'ultraviolet et à la vapeur d'eau ainsi qu'au dioxyde de carbone pour l'infrarouge. Ce phénomène implique un transfert d'énergie entre les molécules et le rayonnement. Ce dernier peut céder tout ou partie de son énergie, ce qui conduit par conséquent à une atténuation du rayonnement solaire. L'absorption est presque complète pour le rayonnement d'ondes courtes ($\lambda < 290$ nm) à cause de l'ozone dans la haute atmosphère. L'absorption par l'ozone décroît lorsque λ augmente au-dessus de 290 nm. L'ozone n'absorbe pas au-delà de $\lambda = 350$ nm, mais il y a une faible absorption par l'ozone dans le voisinage de $\lambda = 600$ nm. La vapeur d'eau absorbe fortement dans l'infrarouge. Les bandes d'absorption plus importantes sont placées dans le voisinage de

$\lambda=1000$, $\lambda=1400$ et $\lambda=1800$ nm. Au-delà de 2500 nm, la transmission de l'atmosphère est faible à cause de l'absorption par H₂O et CO₂. L'énergie hors atmosphère au-delà de 2500 nm est inférieure à 5 % du spectre total

2.6.4. Rayonnement solaire direct sur la surface plane et horizontale et une surface inclinée

L'angle d'incidence, θ , défini comme l'angle entre la direction de propagation du rayonnement et la normale au plan irradié, est, en général, non nul, $\theta > 0$, alors que dans les plans perpendiculaires à la direction du rayonnement, l'angle d'incidence est égal à 0° (Fig. 2.5).

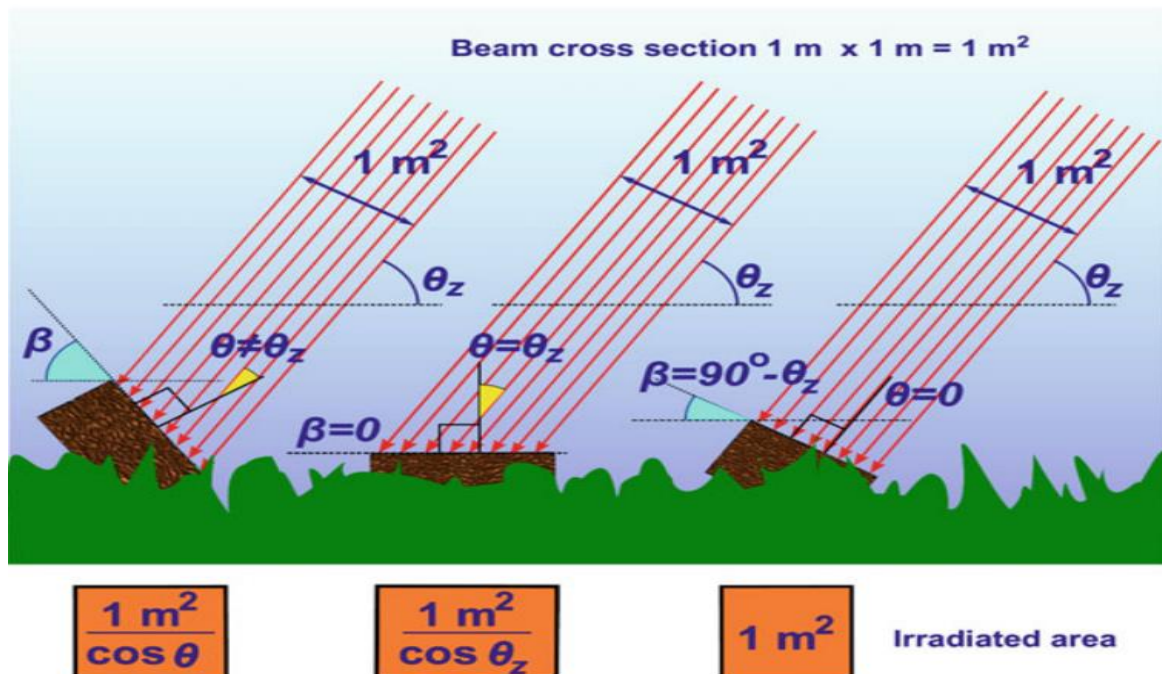


Figure 2. 5 L'angle d'incidence θ , angle entre la direction de propagation du rayonnement et la normale au plan irradié, est en général non nul, $\theta > 0$

Dans le cas général, l'éclairement énergétique, I_t (la puissance rayonnée reçue par mètre carré) est égal à 0° sur une surface inclinée par rapport aux rayons solaires est inversement proportionnelle à la surface éclairée. Par conséquent, la quantité d'énergie par mètre carré reçue

par la surface est plus faible. Ceci est dû au fait que l'énergie solaire, I_n , reçu par le plan est maintenant distribué sur une plus grande surface, S_t , qui dépend de l'angle d'incidence, θ (Fig.2. 5). Comme on peut le voir sur la figure 2. 5, un faisceau de rayonnement solaire qui frappe une surface à un angle vertical couvre moins de surface que dans le cas qui la frappe à un angle oblique. Dans le premier cas, il fournit davantage d'énergie par unité de surface. D'après la figure 2. 5, et en utilisant le principe de conservation de l'énergie, la puissance totale reçue par la surface normale, S_n , et la surface inclinée, S_t , reste constante :

$$I_n \cdot S_n = I_t \cdot S_t = \text{constant} \quad 1.2$$

Cependant, l'aire de la surface d'inclinaison, S_t , est liée à l'aire de la surface, S_n , qui est perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement (la section transversale du faisceau de rayonnement solaire), et à l'angle d'incidence, h , par l'intermédiaire de ce qui suit relation trigonométrique simple suivante :

$$S_t = S_n \cdot \cos \theta \quad 1.3$$

Par conséquent, si l'éclairement énergétique normal direct est I_n , l'éclairement énergétique I_t sur un plan incliné est donné par la formule suivante

$$I_t = I_n \cdot \cos \theta \quad 1.4$$

Où θ est l'angle d'incidence.

La réduction de l'éclairement solaire direct due à une orientation non normale de la surface irradiée par rapport à la direction de propagation du rayonnement s'appelle l'effet cosinus.

Dans le cas particulier d'un plan horizontal, l'angle d'incidence, h , est toujours égal à l'angle zénithal solaire, θ_z , et l'éclairement énergétique horizontal direct, I_h , est égal à

$$I_h = I_n \cdot \cos \theta_z \quad 1.5$$

Cependant, dans le cas général, le calcul de l'angle d'incidence d'une surface inclinée est complexe. L'angle d'inclinaison de la surface, b (l'angle entre la surface horizontale et le plan de la surface), l'angle d'azimut, c , du plan (l'angle entre le sud et la projection de la normale à la surface sur un plan horizontal), et l'angle d'azimut, A , du disque solaire doivent être connus. En d'autres termes, l'angle d'incidence, h , pour une surface donnée dépend (i) de l'emplacement

sur la Terre, (ii) de l'heure du jour et (iii) du jour de l'année. En tenant compte de tous ces éléments, on peut conclure que l'éclairement énergétique d'un site à la surface de la Terre est entièrement déterminé par la position du Soleil dans le ciel et l'inclinaison et l'orientation de la surface irradiée.

2.7 Aspects géométriques du rayonnement solaire direct

L'intensité du rayonnement solaire reçu par une surface sur la Terre varie d'un endroit à l'autre et tout au long de l'année. Il existe deux types généraux de variations dans le rayonnement solaire reçu qui doivent être prises en compte. Le premier est une variation du rayonnement extraterrestre, et la seconde est une variation due à la position variable du Soleil dans le ciel. De plus, le rayonnement émis par le Soleil fluctue avec une variabilité inférieure à $\pm 1,5\%$ [29]. Cependant, en prenant en compte des incertitudes et de la variabilité de la transmission atmosphérique, l'énergie émise par le Soleil peut être considérée comme constante à des fins d'ingénierie.

La terre se déplace autour du soleil une fois par an sur une orbite elliptique avec une petite ellipticité ou excentricité. Dans ce mouvement, le Soleil est situé dans l'un des deux foyers des ellipses. Cela signifie que la Terre est parfois plus proche du Soleil que d'autres fois. La distance Soleil-Terre est plus petite lorsque la Terre est au périhélie (première semaine de janvier) et plus grande lorsque la Terre se trouve à l'aphélie (première semaine de juillet) (le jour réel n'est pas fixé en raison de la variation à long terme de l'orbite terrestre). En raison de l'orbite elliptique, la distance Terre- Soleil augmente et diminue au cours d'une année d'environ $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne. En conséquence, puisque l'irradiation solaire dépend de l'inverse de la puissance de la distance au Soleil : $\propto 1/R^2$ il varie au-dessus de l'atmosphère terrestre d'environ $\pm 3,3\%$ par rapport à sa valeur moyenne de 1367 W/m^2 [30].

De plus, comme les nuages empêchent une plus grande partie du rayonnement solaire d'atteindre la surface de la Terre que le ciel clair, leur distribution irrégulière et imprévisible à l'échelle mondiale entraîne une variation spatiale significative. Néanmoins, ils n'affectent l'insolation totale que dans une faible mesure sur de longues périodes. Sur de longues périodes de temps. Une autre raison expliquant la répartition géographique du rayonnement solaire est la surface sphérique de la Terre. A une période spécifique moment de l'année, seuls certains

endroits sur Terre, situés sur la même ligne de latitude, peuvent recevoir le rayonnement à angle droit, tandis que les autres reçoivent le rayonnement solaire à des angles obliques (aigus) variables (Fig. 2.6). Comme il a également été noté, la position du Soleil dans le ciel affecte directement l'intensité de l'irradiation solaire, I_h , reçue par une surface située à l'horizontale sur la Terre.

Si l'on met un instant de côté l'atténuation très variable du rayonnement solaire par l'atmosphère est mise de côté, les principales causes des variations du rayonnement solaire sont dues à la rotation de la Terre sur son axe et à sa révolution autour du Soleil. Comme la Terre tourne une fois toutes les 23 h 56 min (par rapport aux étoiles lointaines - un jour sidéral) autour de son axe, qui est incliné à un angle de $23,5^\circ$ par rapport au plan de son orbite autour du Soleil, ce dernier ne se trouve pas toujours à la même position dans le ciel. Cela dépend de l'heure de la journée, du jour de l'année et de l'endroit où l'on se trouve sur la Terre. Pour le dire autrement, l'inclinaison de l'axe de rotation produit des changements saisonniers et quotidiens dans la trajectoire du Soleil sur la voûte céleste, les points sur l'horizon où le Soleil se lève et se couche, et la période de lumière du jour. Par conséquent, comme l'éclairement énergétique sur un plan normal aux rayons du Soleil est exactement décrit par l'irradiance extraterrestre et la position du Soleil dans le ciel, ces quantités doivent être calculées. Car la théorie exacte peut être excessivement compliquée,

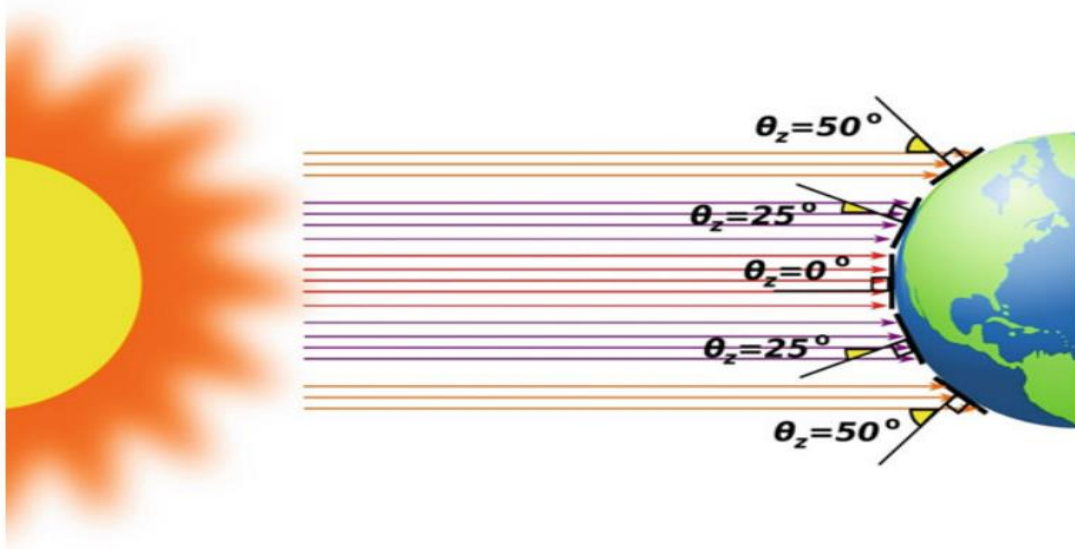


Figure 2. 6 La position du soleil dans le ciel affecte directement l'intensité de l'irradiation solaire, I_h , reçue par une surface horizontale sur la Terre. Par conséquent, à tout moment de l'année, seuls certains endroits de la Terre, situés sur la même ligne de latitude, peuvent recevoir un rayonnement à la bonne intensité.

dans les paragraphes suivants, des modèles simples avec des formules analytiques seront présentés

2.7.1. Distance de la terre au soleil

La terre est un géoïde solide avec un diamètre moyen de 12742 kilomètres qui tourne autour du soleil selon une orbite elliptique. La quantité du rayonnement solaire atteignant la surface de la terre est inversement proportionnelle au carré de la distance de la terre au soleil. Il est donc nécessaire d'évaluer correctement la distance de la terre au soleil. Celle-ci est d'environ 150 millions de kilomètres et elle est appelée une unité astronomique (1 UA). La distance minimale et maximale de la distance terre-soleil est 0.983 UA et 1.017 UA respectivement. La Figure 2.7 montre le mouvement orbital de la terre autour du soleil

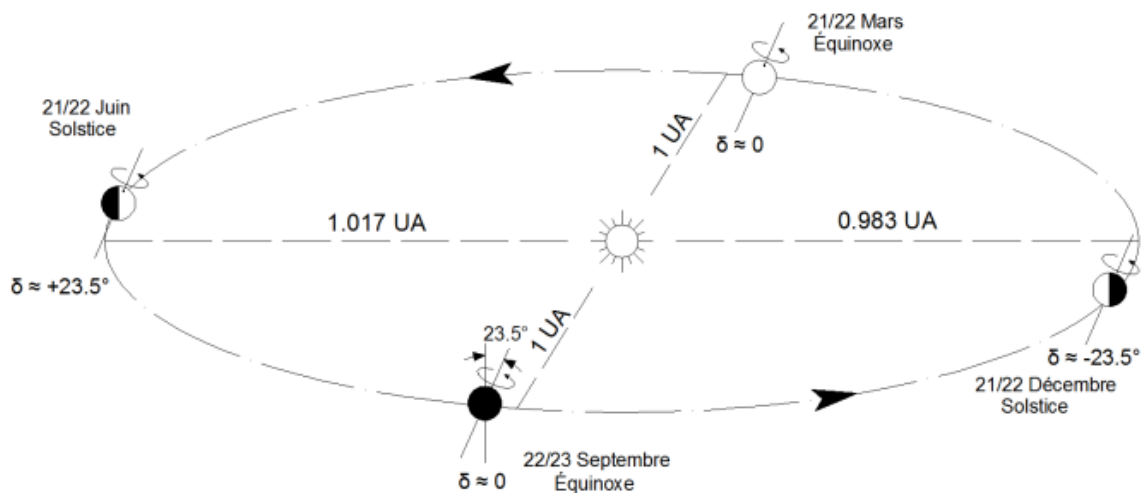


Figure 2. 7 Mouvement orbital de la terre autour du soleil. Adapté d'après Iqbal [29]

Nous avons à notre disposition plusieurs expressions mathématiques pour calculer la distance de la terre au soleil (r). Spencer [31] a développé une expression (1) avec une erreur maximale de $\pm 0.01\%$, obtenue par développement en séries de Fourier, pour déterminer l'inverse du carré du rayon vecteur de la terre [26] :

$$E_0 = (r_0/r)^2 = 1.000110 + 0.034221\cos \Gamma + 0.001280\sin \Gamma + 0.000719\cos 2\Gamma + 0.000077\sin 2\Gamma \quad 1.6$$

L'expression (1) dépend du paramètre. Celui-ci est défini selon l'expression (2) :

$$\Gamma = \frac{2\pi}{365}(n - 1) \quad 1.7$$

Dans l'expression (2), n correspond au jour de l'année du calendrier, allant de 1 le premier Janvier à 365 le 31 Décembre. Le mois de février est supposé avoir 28 jours. Une année bissextile aura une influence négligeable sur le calcul E_0 . Duffie et Beckman [32] ont proposé

une expression (3) beaucoup plus simple que Spencer. Nous avons reformulé cette expression pour mettre en évidence le paramètre.

2.7.2. Correction due à la variation de la distance Terre - Soleil

La variation de la distance Terre – Soleil durant l'année entraîne une variation de l'éclairement solaire, reçu hors atmosphère, de l'ordre de $\pm 3\%$. L'équation suivante permet de corriger les écarts induits par cette variation saisonnière.

$$I_0 = I_{cs} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360}{365} J \right) \quad 1.8$$

2.7.3. Repérage de la position du Soleil

La rotation de la terre autour du soleil et l'inclinaison de l'axe de la terre sont représentées en figure 8. La position relative du soleil par rapport à un observateur placé en 1 point du globe peut être donnée dans un repère équatorial (déclinaison et angle horaire) ou horizontal (hauteur et azimut) comme représenté en figure 9

2.7.4. Coordonnées équatoriales

- **Déclinaison** : La déclinaison est égale à l'angle que fait le plan de l'équateur terrestre avec la direction Terre-Soleil. Elle peut être estimée par :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + J) \right] \text{ ou } \delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (J - 81) \right] \quad 1.9$$

La littérature fournit des relations plus précises en cas de nécessité

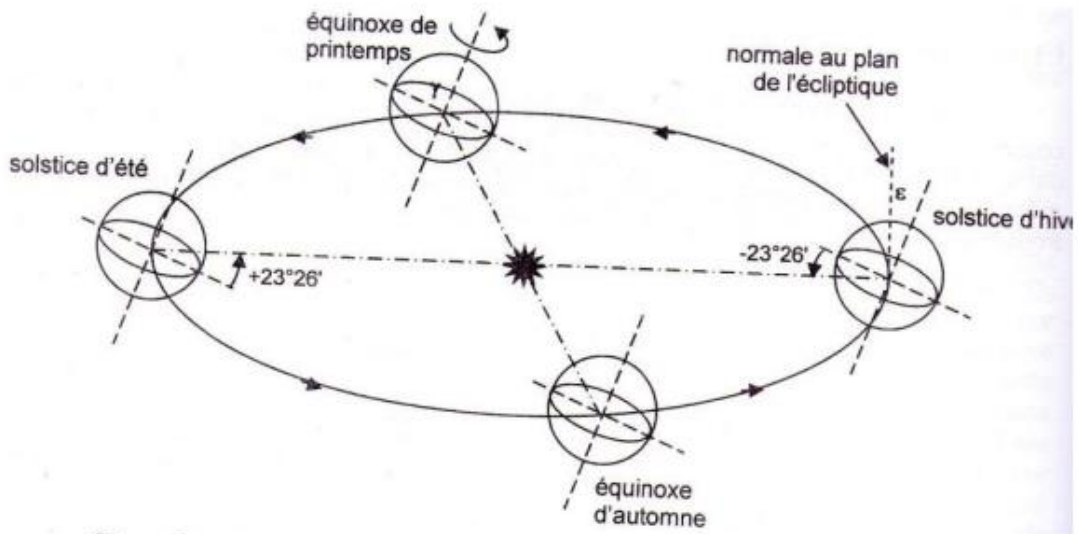


Figure 2. 8 Rotations de la Terre autour du Soleil et sur elle même

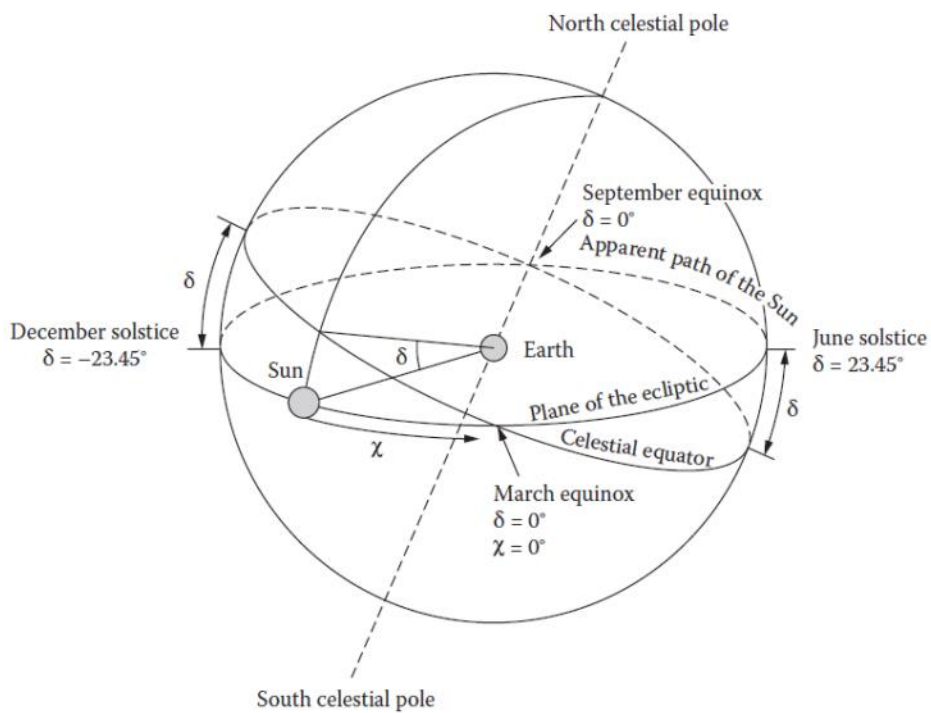


Figure 2. 9 Trajectoire apparente du soleil

2.7.5. Temps Solaire Vrai

Le temps Solaire Vrai en 1 point du globe est donné par

$$T_{sv} = TL + Et + 4(L_{ref} - L_{lieu}) + D$$

Avec :

TL : Temps légal D : décalage horaire (En Algérie D=+1 toute l'année)

Lref : Longitude du méridien de référence (Greenwich pour l'Algérie)

Llieu : Longitude du lieu comptée positivement à l'ouest et négativement à l'est

Et : Equation du temps donnée par :

$$Et = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$$

Ou en plus précis

$$Et = 229.2 (0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B)$$

$$\text{Avec : } B = 360(J-81)/365 \quad 1.10$$

2.7.6. Coordonnées horizontales

- **Hauteur du soleil :** La hauteur du soleil, notée h, est égale à l'angle formé par la direction du soleil et le plan horizontal. Elle est donnée par :

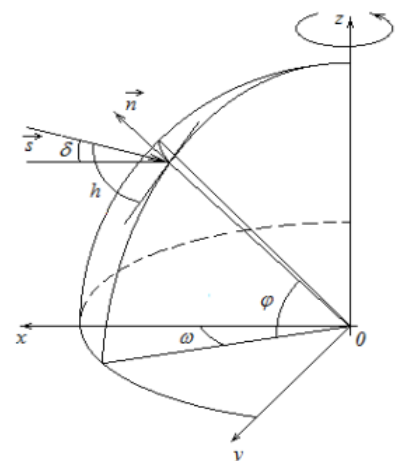
$$\sin h = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos \omega \quad 1.11$$

Avec :

ω : Angle horaire (15 deg/heure) compté négativement le matin

φ : Latitude du lieu En effet, en considérant un repère lié au centre de la terre (voir figure 2.10)

Les coordonnées du vecteur normal au point de latitude φ et du vecteur unitaire porteur de la direction du soleil s'écrivent :



$$\vec{S} = \begin{pmatrix} \cos\varphi * \cos\omega \\ \cos\varphi * \sin\omega \\ \sin\varphi \end{pmatrix} \quad \vec{n} = \begin{pmatrix} \cos\delta \\ 0 \\ \sin\delta \end{pmatrix}$$

Le produit scalaire Donne :

$$\sin h = \vec{n} * \vec{S} = \cos\varphi \cos\omega \cos\delta + \sin\varphi \sin\delta$$

- **Azimet du soleil** : L'azimet du soleil, notée a, est égale à l'angle formé par la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} \cos h \cos a \\ \cos h \sin a \\ \sin h \end{pmatrix} \quad \vec{n} = \begin{pmatrix} \cos\varphi \\ 0 \\ \sin\varphi \end{pmatrix}$$

$$\sin\delta = \vec{n} * \vec{S} = \cos\varphi \cos h \cos a + \sin\varphi \sin h$$

D'où l'on tire :

$$\cos a = \frac{\sin h * \sin\varphi - \sin\delta}{\cos h \cos\varphi}$$

Dans sa 3ème édition Beckman propose :

$$a = C_1 C_2 a' + C_3 (1 - C_1 C_2) 90 \quad 1.12$$

Relation dans laquelle la variable a' représente le pseudo-azimet donné par :

$$\cos a' = \cos\delta * \sin\omega / \cosh \quad 1.13$$

Avec :

$$C_1 = \begin{cases} 1 & \text{pour } |\omega| < \omega_e \text{ ou } |\tan\delta / \tan\varphi| > 1 \\ -1 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 1 & \text{pour } \varphi(\varphi - \delta) \geq 0 \\ -1 & \text{ailleurs} \end{cases} \quad C_3 = \begin{cases} 1 & \text{pour } \omega > 0 \\ -1 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

et

$$\cos \omega_e = \tan \delta / \tan \varphi$$

Plus récemment la littérature propose :

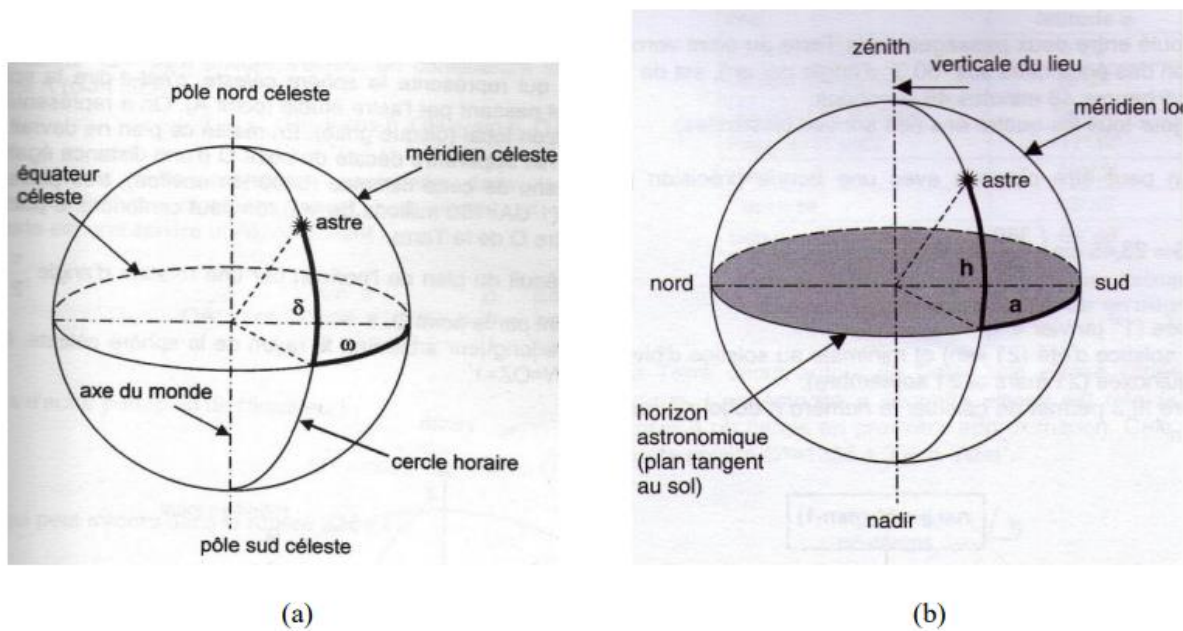


Figure 2. 10 Repérage de la position du soleil en coordonnées équatoriales (a) et horizontales (b)

➤ **Angle horaire aux lever et coucher du soleil**

L'angle horaire au lever (ou coucher) du soleil correspond à $h = \sin h = 0$, Soit pour :

$$\cos \omega_s = -\tan \varphi \tan \delta \quad (\text{valable pour } |\varphi| \leq 66 \text{ deg.}) \quad 1.13$$

La durée du jour, en heures, est donc donnée par :

$$D_j = (2/15) \arccos (-\tan \varphi \tan \delta)$$

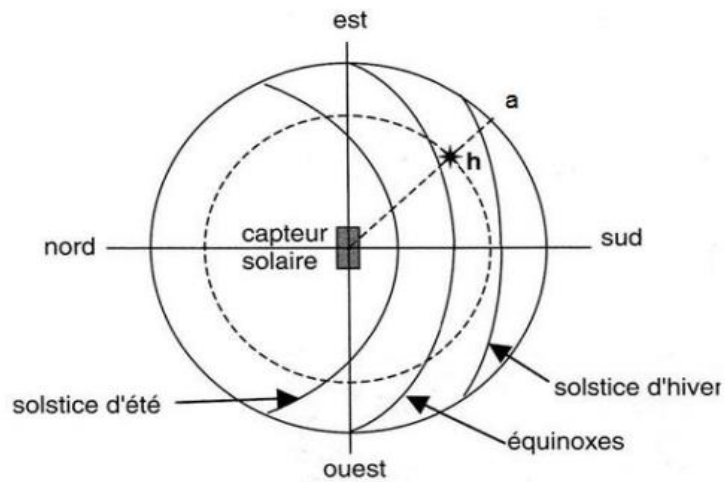


Figure 2. 11 Diagramme Solaire

2.8 Potentiel solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [33]. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure 2.12 :

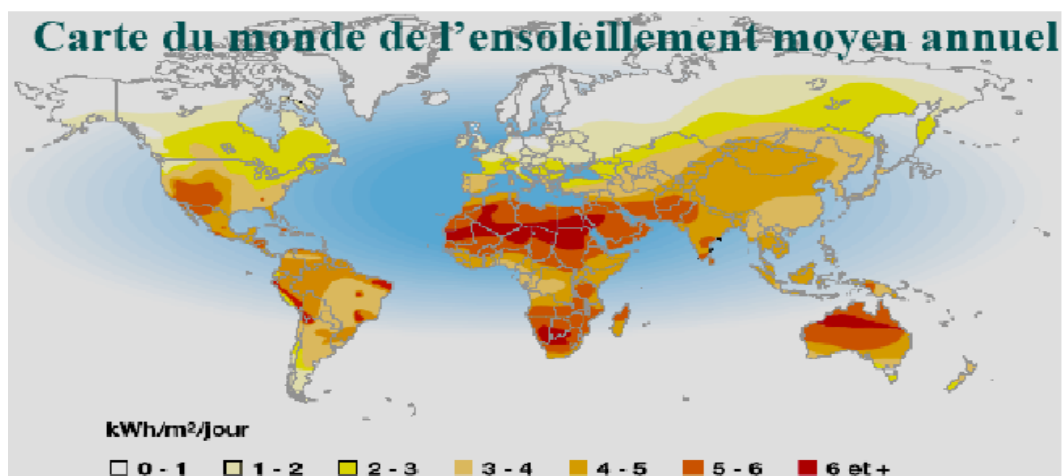


Figure 2. 12 Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [36]

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m² /an au Nord et 2263 kWh/m² /an au Sud du pays.

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le Tableau. 1. Selon l'insolation reçue annuellement [34]:

Tableau 1 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

Regions	Régions côtières
Superficies (%)	4
Durée Moyenne d'insolation(h/an)	2650
Énergie Moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700

CHAPITRE 03 :
CONCEPTION, MODELISATION ET REALISATION

3.1. Conception du dispositif

Grace au logiciel SOLID EDGE nous avons conçu les différentes parties de notre prototype avant de passer à la réalisation. Ce logiciel est un outil de conception assisté par ordinateur qui nous a permis de faire toutes les étapes nécessaires de conception et de mise en plan pour ensuite passer à la concrétisation du projet au niveau des ateliers de l'UDES.

3.1.1. Solide Edge

Solid Edge est un portefeuille d'outils logiciels édité par Siemens abordables et faciles à utiliser qui couvre tous les aspects du processus de développement de produits : conception 3D, simulation, fabrication, gestion des données, etc.

Solid Edge combine la rapidité et la simplicité de la modélisation directe avec la flexibilité et le contrôle de la conception paramétrique grâce à une technologie synchrone.

3.1.2. Conception du capteur stockeur

L'élément capteur-stockeur est composé de quatre tube d'une longueur de 1.25m, d'un diamètre extérieur de 85mm et une épaisseur de 2mm.

Après avoir modéliser les tubes et les avoir disposés en parallèle, leurs extrémités sont bouchées avec des disques de même diamètre et même épaisseur. Ils sont ensuite reliés entre eux via des petits tubes de jonction de 22mm de diamètre et 40mm de longueur.

Pour finir, les tubes d'entrée est sortie, sont placés sur l'extrémité du premier est du quatrième tube.

La plaque absorbante est de la même longueur que le tube et se replie autour du tube par un demi-cercle



Figure 3. 3 élément absorbeur intègre avec capteur-stockeur réalisée sur Solid Edge



Figure 3. 4 Schéma de l'élément absorbeur avec le capteur stockeur

3.1.3. Conception du caisson

Les différentes parties du caisson sont conçues séparément. La partie arrière de caisson

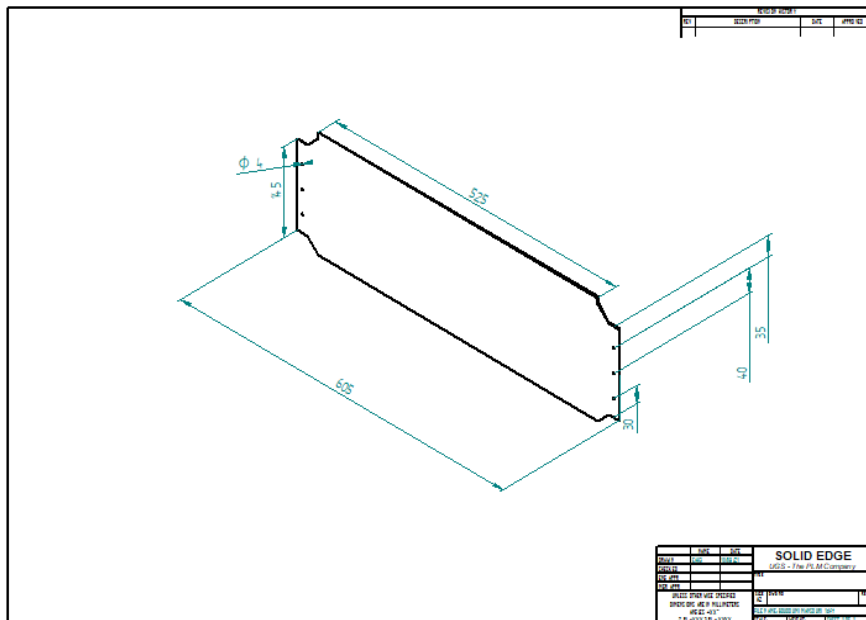


Figure 3. 5 Schéma de la partie arrière du caisson

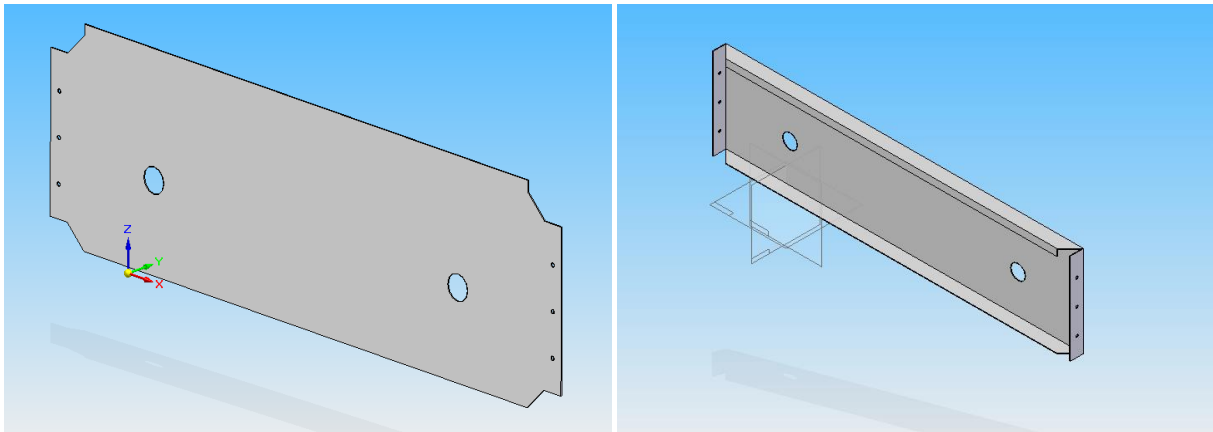


Figure 3. 8 Conception 3D de la partie avant du caisson réalisée sur Solid Edge avant et après

3.1.5. La partie droite/gauche du caisson :

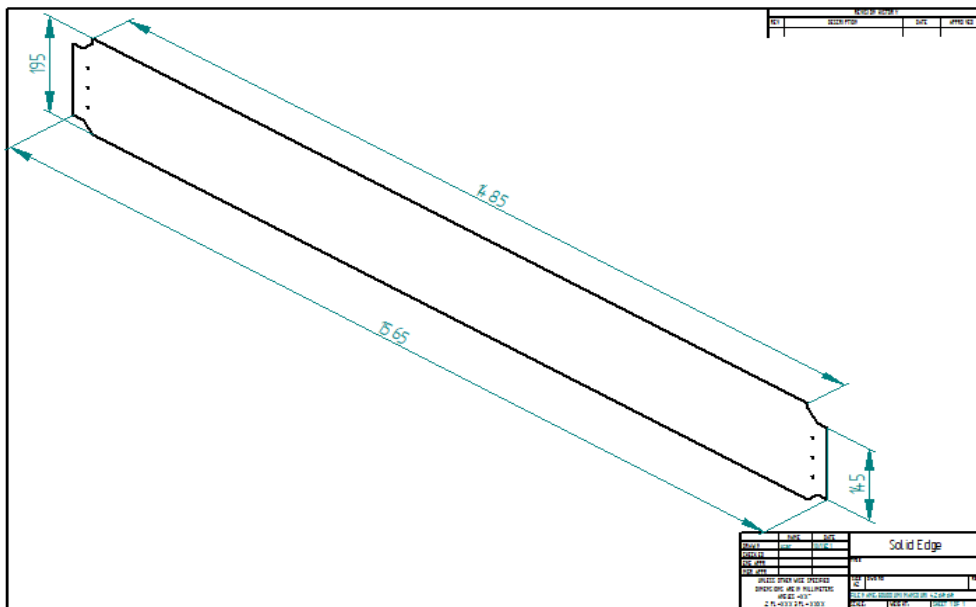


Figure 3. 9 Schéma de la partie gauche/droite du caisson

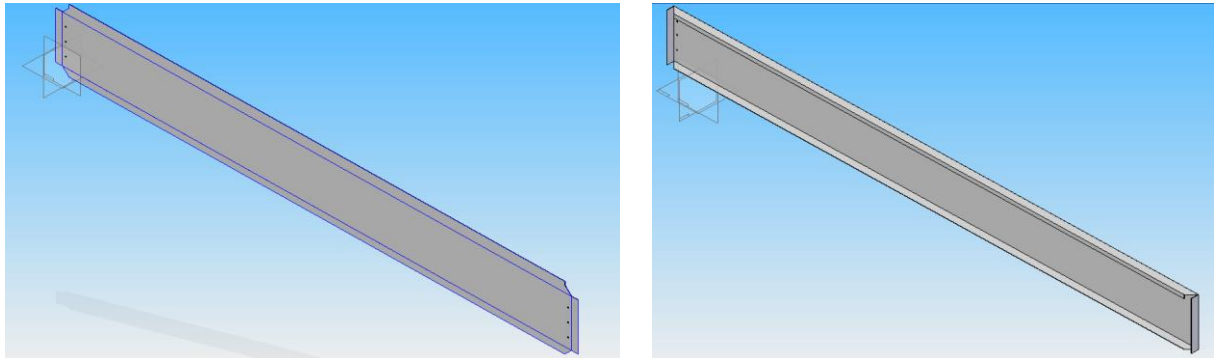


Figure 3. 10 Conception 3D de la partie gauche/droite du caisson réalisée sur Solid Edge avant et après le pliage

3.2. Modélisation mathématique

L'évaluation des performances du capteur stockeur nécessite une analyse thermique dont la modélisation détaillée est généralement très compliquée. Une simplification est possible si on fait certaines hypothèses. Dans notre présent travail les hypothèses suivantes ont été faites :

- On considère le puisage de l'eau comme un output d'énergie
- La température ambiante autour du capteur est uniforme
- On néglige la stratification dans chaque cuve
- Les propriétés thermiques du fluide dépendent de la température
- On néglige le transfert de chaleur par convection et par conduction entre les cuves lorsqu'il n'y a pas de soutirage
- La température de chaque section est uniforme.

3.2.1. Bilan thermique

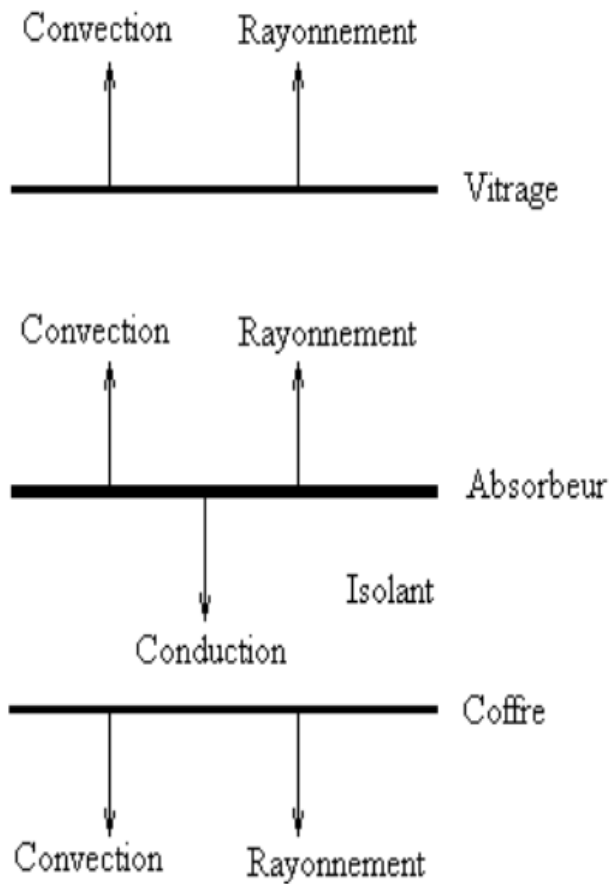


Figure 2. 13 Echanges thermiques Capteur - ambiance

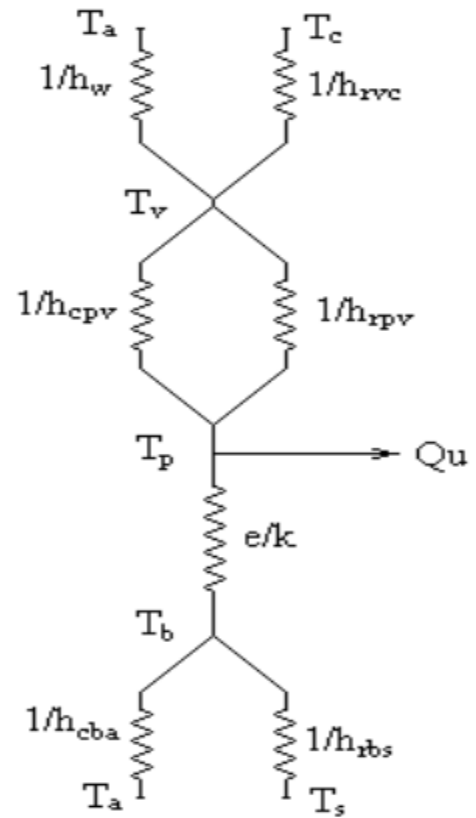


Figure 2. 14 Schéma électrique équivalent

Le bilan thermique résultant et ayant lieu au niveau de la paroi absorbante s'écrit :

$$Q_{sa} = Q_{st} + Q_p \quad 3.1$$

Où

Q_{sa} : le flux solaire absorbé en $[W/m^2]$,

Q_p : le flux perdu à travers l'isolation en $[W/m^2]$.

Q_{st} : le flux stocké dans le capteur $[W/m^2]$.

3.2.2. Flux stocké

Soit Q_{st} , l'énergie stockée par seconde dans le capteur ou flux stocké, son expression est telle que :

$$Q_{st} = \frac{M_f C_f}{n_c} \cdot \frac{dT_{f,r}}{dt} + M_C C_p \cdot \frac{dT_{f,r}}{dt} = [h_{c,pf}(T_{p,r} - T_{f,r}) - U_{arr}(T_{f,r} - T_a)] A_f - m' C_f (T_{f,r} - T_{f,r-1}) \quad 3.2$$

$$U_{arr} = \frac{k_{is}}{e_{is}} \quad 3.3$$

$$h_{c,pf} = \left[h_{covfp} + \frac{k_p}{e_p} \right] \quad 3.4$$

Où

$h_{c,pf}(T_{p,r} - T_{f,r})$ Captation du capteur stockeur

$U_{arr}(T_{f,r} - T_a)$ Perte arrière

$m' C_f (T_{f,r} - T_{f,r-1})$ Effet de puisage

3.2.3. Flux perdu

Les pertes globales sont données par :

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_{av} + \dot{Q}_{lat} = A \left[U_{av} + \frac{A_{lat}}{A} U_{lat} \right] (T_p - T_a) = AU_g (T_p - T_a) \quad 3.5$$

U_{av} Étant le coefficient de pertes global vers l'avant du capteur donné par :

$$U_{av} = \left[\frac{1}{h_{rvc} + h_w} + \frac{1}{h_{cpv} + h_{rpv}} \right]^{-1} \quad 3.6$$

Où

$$h_{rvc} = \varepsilon_v \sigma \frac{(T_v^4 - T_c^4)}{(T_v - T_a)} \quad \text{et} \quad h_{rpv} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_v^2)(T_p + T_v)}{\frac{1 - \varepsilon_p}{\varepsilon_p} + \frac{1}{F_{pc}} + \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon_v}} \quad 3.7$$

ε_v ε_p Étant respectivement les coefficients d'émissions pour l'infrarouge de l'absorbeur et de la vitre.

T_v : La température moyenne de la vitre °C

T_p : Température de la plaque absorbante ; (°C)

h_r coefficient d'échange de chaleur par rayonnement, W/m² °C

h_w coefficient d'échange de chaleur par convection dû au vent, W/m² °C

T_a : Température ambiante ; (°C) ;

- Pour l'estimation de la température apparente T_c du ciel, Swinbank (Swinbank, 1963) propose :

$$T_c = 0.0552T_a^{1,5} \text{ (Températures en Kelvin)}$$

- Pour un capteur tubulaire, le coefficient de transfert par convection due au vent peut être estimé par la relation de Holman [Holman, 1963 ; Roberts, 1979] propose ;

$$h_w = 1.32 \left[\frac{T_v - T_a}{D} \right]^{1/4} \text{ pour } Re < 400 \quad 3.8$$

Et

$$h_w = (0,0161Re^{0,492} + 0,007)(I/D) \text{ Pour } Re > 400 \quad 3.9$$

- Le coefficient de transfert par convection entre l'absorbeur et le vitrage peut être estimé par la relation de Hollands qui donne :

$$Nu = \left[1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] + \left[\left[\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right]^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ \right] \quad 3.10$$

Où la relation de Rayleigh est donnée par :

$$\begin{aligned} Gr_x &= \frac{g\beta\Delta T x^3}{\nu^2} \\ Ra &= Gr \cdot Pr \end{aligned} \quad 3.11$$

Donc

$$h_{cpv} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad 3.12$$

L : longueur du tube

K : Conductivité thermique de la plaque absorbante ; (W/m °C).

3.2.4. Pertes latérales

Pour les pertes à l'arrière (dos du capteur) et les pertes latérales, on supposera, compte tenu de l'isolation, que la face externe du capteur (coffre ou bac) est à la température ambiante. Ce qui signifie que se les font par conduction, à travers l'isolant, seule. Soit, en désignant par e et k_{is} l'épaisseur et la conductivité de l'isolant, respectivement :

$$\dot{Q}_{lat} = A_{lat} \frac{k_{is}}{e} (T_p - T_a) = A_{lat} U_{lat} (T_p - T_a) \quad 3.12$$

K_{is} : Conductivité thermique de l'isolant ; (W/m K)

e_{lat} : Epaisseur latérale de l'isolant ; (m)

3.2.5. Rendement instantané

Rendement instantané Le rendement instantané (soit en régime permanent) du capteur stockeur est donné par le rapport du flux de chaleur récupérée par le fluide

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A I_g} = \frac{A F r [(\tau \alpha)_e I_g - U_g (T_i - T_a)]}{A I_g} \quad 3.13$$

Ou encore :

$$\eta = F r (\tau \alpha) - F r U_g \frac{T_i - T_a}{I_g} \quad 3.14$$

Avec

$$F' = \frac{1/U_g}{\left[\frac{1}{U_g (D_e + (w - D_e) F)} + \frac{1}{\pi h_f D_i} + \frac{\theta}{\pi k D_i} \right]} \quad 3.15$$

Le coefficient F' est appelé efficacité de l'absorbeur. Il représente le rapport de la résistance thermique plaque - ambiance à la résistance thermique fluide - ambiance.

$$F_r = \frac{\dot{m} C_p}{A U_g} \left[1 - \exp \left(- \frac{A U_g F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad 3.16$$

Le coefficient Fr est appelé facteur de conductance du capteur. Il constitue, avec le coefficient de pertes global Ug et le rendement optique $(\tau\alpha)_e$ les paramètres caractéristiques du capteur. Ils sont généralement donnés sous la forme de produits $Fr(\tau\alpha)_e$ et $FrUg$.

3.3. Etape de réalisation

3.3.1. Le caisson

Les différentes parties du caisson sont découpées à partir de tôles laquées d'une épaisseur de 1.5mm à l'aide d'une cisaille guillotine hydraulique selon les dimensions désirées (voir Figure 3.12).

Des encoches sont ensuite réalisées sur les parties découpées à l'aide d'une encocheuse, suivant le schéma de la conception

Les différentes parties sont ensuite pliées en utilisant une plieuse manuelle, ce pliage a pour but de solidifier la structure du caisson (voir Figure 3.11)



Figure 3. 11 Opération de pliage réalisée avec une plieuse manuelle



Figure 3. 12 découpage de la tôle avec une cisaille de guillotine

A l'aide d'une poinçonneuse hydraulique, un poinçonnage est réalisé sur l'avant du caisson pour permettre le passage des tubes d'entrée et de sortie (voir Figure 3.14 et 3.13)



Figure 3. 14 : Les parties du caisson après le pliage



Figure 3. 13 Photo de la poinçonneuse utilisée

Après les opérations de découpage, pliage et poinçonnage, le fond du caisson est découpé dans de la tôle galvanisée et les parties obtenues sont assemblées pour obtenir un caisson. Pour se faire, des rivets sont utilisés



Figure 3. 15 Photo du caisson réalisé

3.3.2. Elément capteur stockeur

Pour la réalisation du capteur-stockeur on utilise un tube en acier de 85mm de diamètre et de 2mm d'épaisseur.

Quatre tubes d'une longueur de 1.25m sont découpés, puis des perçages sont réalisés avec une perceuse à colonne sur leurs côtés ce qui va permettre d'y insérer les tubes de jonction. Des disques de même diamètre que les tubes sont découpés dans une plaque en acier puis soudé sur les extrémités de ces derniers, les tubes de jonction sont insérés dans les perçages réalisés dans l'étape précédente puis ils sont soudés.



Figure 3. 17 Photos des tubes en acier utilisés pour le capteur-stockeur



Figure 3. 16 Soudage des tubes de jonction

Les quatre tubes sont connectés entre eux via les tubes de jonction puis le tout est soudé. Les tubes d'entrée et sortie sont ensuite soudés sur le premier et le quatrième tube puis un filetage est réalisé à leurs extrémités. Pour finir des petites tiges en acier sont soudées entre les tubes pour solidifier la structure



Figure 3. 19 : Soudage de tous les éléments du capteur-stockeur



Figure 3. 18 Filetage réalisé sur les tubes d'entrée et sortie

3.3.3. Elément d'absorbeur

La plaque absorbante a été découpée en 3 parties et chacune d'entre elles a été pliée autour du tube et de manière à pouvoir remplir le vide entre les 4 tubes puis elle a été fixée à l'aide d'un silicone très résistant. Finalement, on s'est rendu compte qu'il était peint en noir.

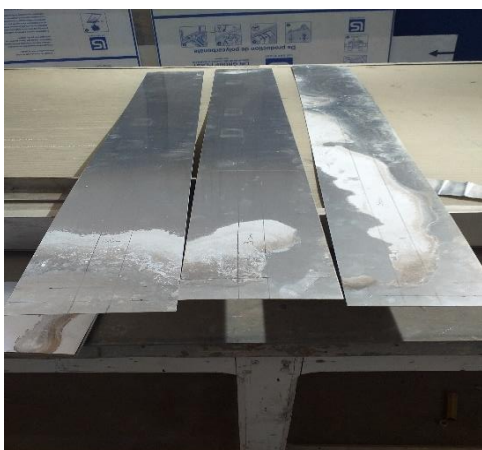


Figure 3. 21 découpage de l'aluminium

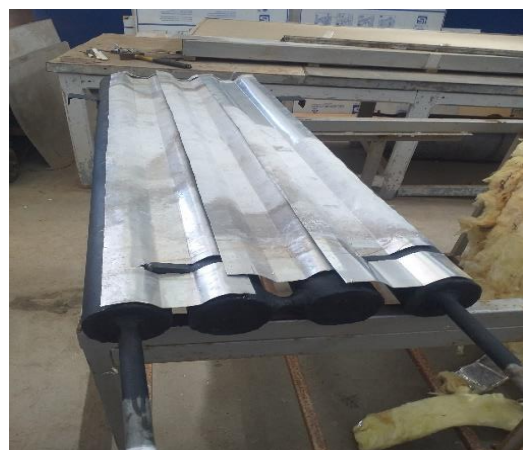


Figure 3. 20 partie pliage



Figure 3. 22 la partie collée de l'absorbeur et du

3.4..1. Assemblage du chauff eau solaire

Une couche isolante en polyuréthane est posée sur le fond est les côtés du caisson puis le capteur-stockeur est monté à l'intérieur et maintenu en place grâce à des supports soudés de chaque côté et fixés sur le caisson avec des rivets



Figure 3. 23 isolation de caisson

Des plaques en aluminium peint en noir sont placées sur les quatre côtés Ils sont également en contact avec le capteur, leur rôle est de convertir le rayonnement solaire en chaleur aussi sur le capteur-stockeur mais ils servent aussi à cacher le polyuréthane.



Figure 3. 24 Montage du capteur-stockeur à l'intérieur du caisson

Avant finir de l'assemblage du chauffe eau solaire nous avons percés un petit trou au centre de chaque tube pour l'installation du thermocouple. Ce perçage est fait pour le rôle de mesurer la température de l'eau dans les tubes

Une vitre en polycarbonate est découpée puis placées sur le caisson, elle est fixée en utilisant un silicone très résistant et pour finir, un cadre réalisé à partir d'une cornière en aluminium est posé sur la vitre et fixé au caisson avec des riverivets, il sert à maintenir la vitre en place

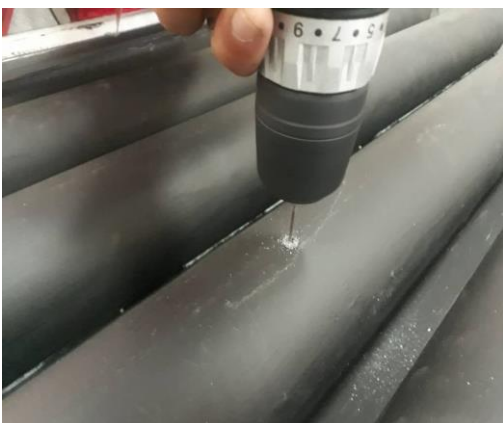


Figure 3. 26 : perçage des tubes



Figure 3. 25 : Pose de la vitre en polycarbonate et du cadre en aluminium

3.4. Description du banc d'essai

Le prototype réalisé est installé sur la plate-forme des essais expérimentaux de l'UDES, il est orienté plein sud et incliné de 36° par rapport à l'horizontale. L'entrée du chauffe-eau solaire est connectée directement au réseau de distribution d'eau et un clapet anti-retour est monté. Une soupape de sécurité est placée à la sortie du chauffe-eau solaire et un robinet est monté pour pouvoir effectuer des puisages



Figure 3. 27 Image général du banc d'essais

3.4.1 Mesure de température

Il existe de nombreuses façons pour la mesure de températures. Les thermocouples sont parmi les plus utilisés dans des conditions similaires. Dans ce contexte, plusieurs impératifs sont à considérer : La gamme de températures à mesurer varie de 0 à 100 °C, pour cela nous avons choisi des thermocouples (chromel alumel) de type K. Le constantan étant un alliage de cuivre et de Nickel, en raison de sa disponibilité, sa bonne sensibilité et un temps de réponse rapide associé à une courbe de réponse quasi linéaire dans le domaine de températures considérées.

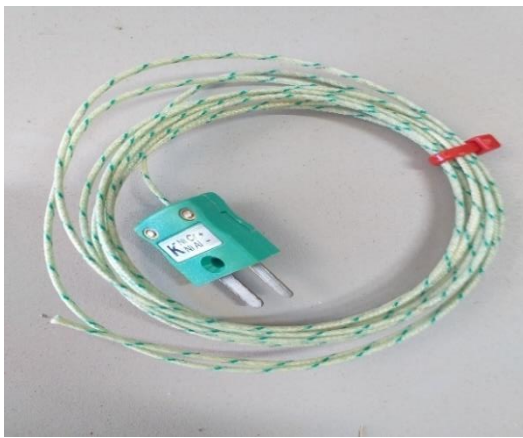


Figure 3. 28 : thermocouples utilise



Figure 3. 29 emplacement des thermocouples dans les tubes

Notre système est constitué de 08 thermocouples de type K disposés de la manière suivante :

- 04 thermocouples sont immergés au milieu des tubes
- 02 thermocouples sont placés à l'entrée et à la sortie du capteur solaire.
- 01 thermocouple pour mesurer la température ambiante.
- 01 thermocouple à l'intérieur du caisson

3.4.2 Mesure du rayonnement solaire global

La mesure de l'éclairement global incident sur la surface de notre capteur est effectuée à l'aide d'un Pyranomètre figure (3. 30). Ce dernier est fixé sur un support métallique installé parallèlement à la surface du capteur, et par conséquent, il a la même inclinaison que notre capteur



Figure 3. 30 La position du pyranomètre dans le système expérimental

3.4.3 Acquisition des données

L'acquisition des données de température est faite grâce au DATA LOGGER KEYSIGHT 34972A, les thermocouples sont reliés à ce dernier qui est relié à son tour à un ordinateur. Les températures sont affichées directement en degrés Celsius sur le logiciel AGILENT BENCHLINK DATA LOGGER 3

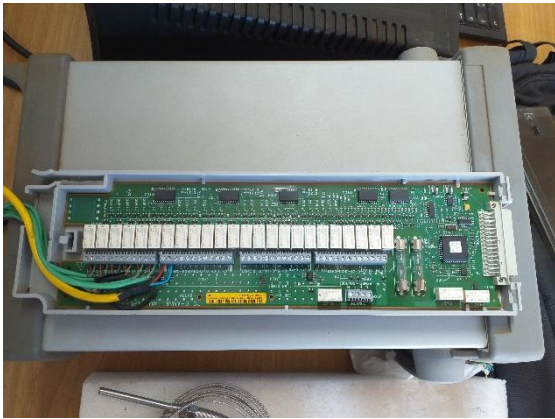


Figure 3. 32 Les filles de compensation lie acquisition de données



Figure 3. 31 : KEYSIGHT 34972A

Après l'installation des thermocouples, le chauffe-eau solaire a été alimenté en eau par le réseau et le dispositif d'acquisition des données a été réglé pour mesurer les températures d'entrée, de sortie et à l'intérieur du caisson sans interruption avec un pas de 5 minutes entre chaque mesure.



Figure 3. 33 L'acquisition connectée à un ordinateur pour stockées les mesures.

3.5. Les étapes d'expérimentation

Nous faisons l'expérience pour connaître l'effet de puisage sur les performances thermiques du notre chauffe-eau solaire pendant la journée, Et ça sera selon les teste suivantes :

3.4.1. Tests 01 effectués le 20/06/2023

Le premier test consistait à prélever 5 litres toutes les heures à partir de 11h 07 jusqu'à 17h07, heure du dernier prélèvement en même temps nous avons arrêté l'alimentation en eau.

Dans ce test, les mesures de température ne sont pas arrêtées ou interrompues pour pouvoir observer l'évolution de la température de l'eau de toute la nuit jusqu'au matin.

3.4.2. Tests 02 effectués le 21/06/2023

Dans ce test, les températures ont été mesurées à partir de 9h.07 avec un prélèvement de 5 litres toutes les 30 minutes et le premier prélèvement a été effectué à 9h.25 min.

A 17h01 le dernier puisage est effectué puis l'alimentation en eau est arrêtée.

Cette fois nous avons également laissé les mesures de température se faire toute la nuit mais nous avons recouvert la vitre d'une couche isolante de laine de verre qui est maintenue en place par un contreplaqué. Nous avons donc pu voir l'évolution de la température alors que la face de chauffe-eau solaire est complètement isolée



Figure 3. 34 Pose d'une couche isolante en laine de verre sur la face vitrée du chauffe-eau solaire

3.4.3. Teste 03 effectués le 22/06/2023

Pour ce test, nous avons commencé à mesurer les températures à 9 heures du matin et 25 litres sont prélevés toutes les 2 heures.

Lors des puisages, le pas entre chaque mesure est réduit à 1 seconde pour observer l'évolution de la température de l'eau à la sortie et celle du tubes et caisson. Enfin, la température de l'eau puisée et mesurée.

CHAPITRE 4 :
RESULTAT ET DISCUSSION

4.1 Résultat et discussion

4.1.1 Le 20/06/23

Durant la journée du 20 juin 2023, le ciel était dégagé avec un bon éclairage qui a atteint son maximum à 11h :52 avec 1045 W/m² et la température ambiante moyenne était de 29°C.

- La Figure 4.1 représente la variation de la température de l'eau à la sortie (Tout), de la température à l'intérieur du caisson (Tcaisson) et celle du flux solaire (G) en fonction du temps local lors de cette journée.

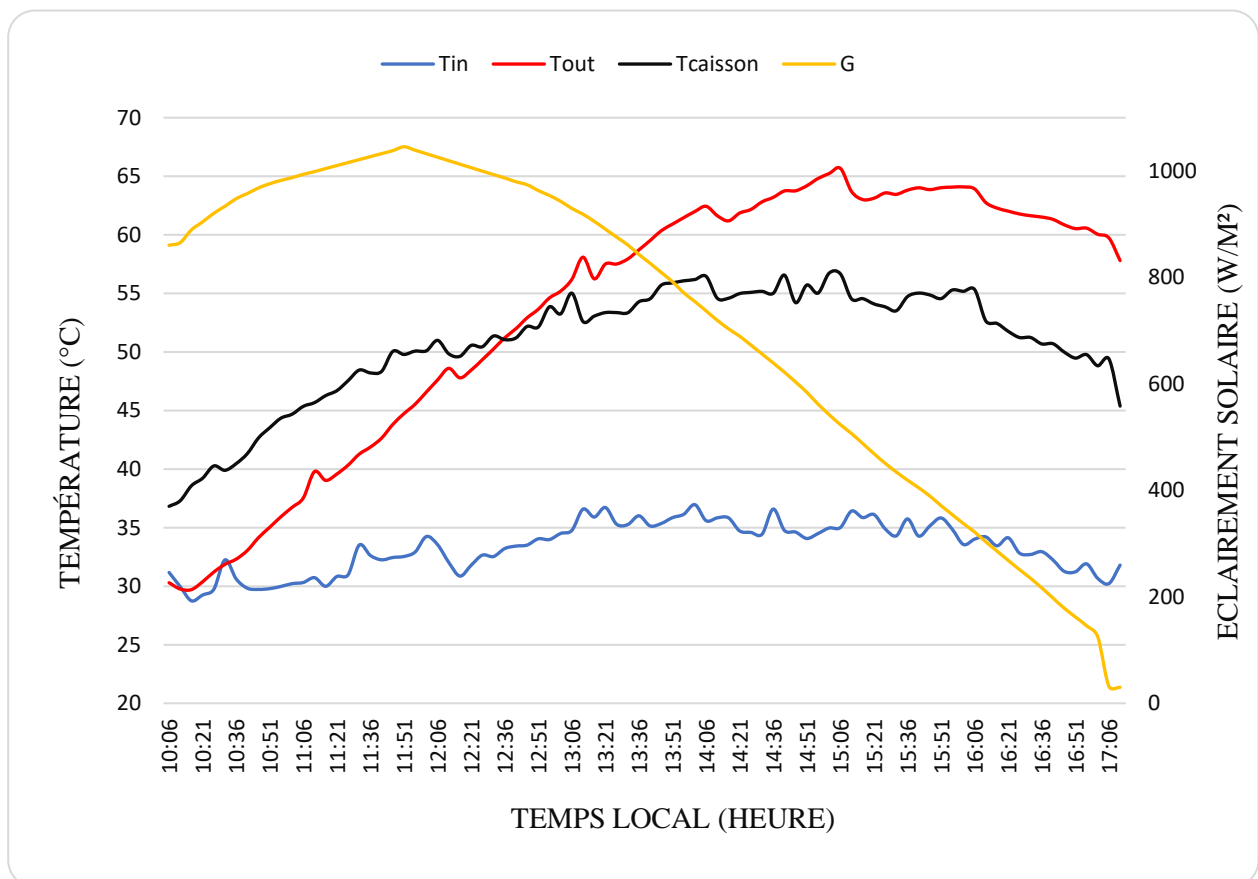


Figure 4. 1 Variation de la température à la sortie (Tout), de la température à l'intérieur du caisson (Tcaisson) et du flux solaire (G) en fonction du temps local le 20/06/23

RESULTAT ET DISCUSSION

A première vue, on peut remarquer que les températures de l'eau à la sortie (Tout) et du caisson (Tcaisson) augmentent avec le temps jusqu'à atteindre leur maximum (Tout=65.67°C à 15h :06) au cours de la journée, puis diminuent à la fin de la journée. Ceci est dû à l'évolution du flux solaire en fonction du temps qui a la même allure à peu près.

A partir de 12h :40, on remarque que la température de l'eau à la sortie (Tout) dépasse celle du caisson (Tcaisson) ce qui est dû à la bonne absorptivité du capteur-stockeur et le bon transfert de chaleur entre ce dernier est l'eau à l'intérieur des tubes et que la stratification d'eau dans le capteur-stockeur est bien établie en période de charge.

On observe également sur la courbe de Tout des augmentations soudaines (pics) de la température à des intervalles réguliers, celles-ci sont dues aux puisages de 5 litres effectués chaque heure.

- La Figure 4.2 : représente la variation de la température de l'eau à la sortie et de la température à l'intérieur du caisson en fonction du temps local du 20/06/23 à 17h :10 au 21/06/23 à 8h:00.

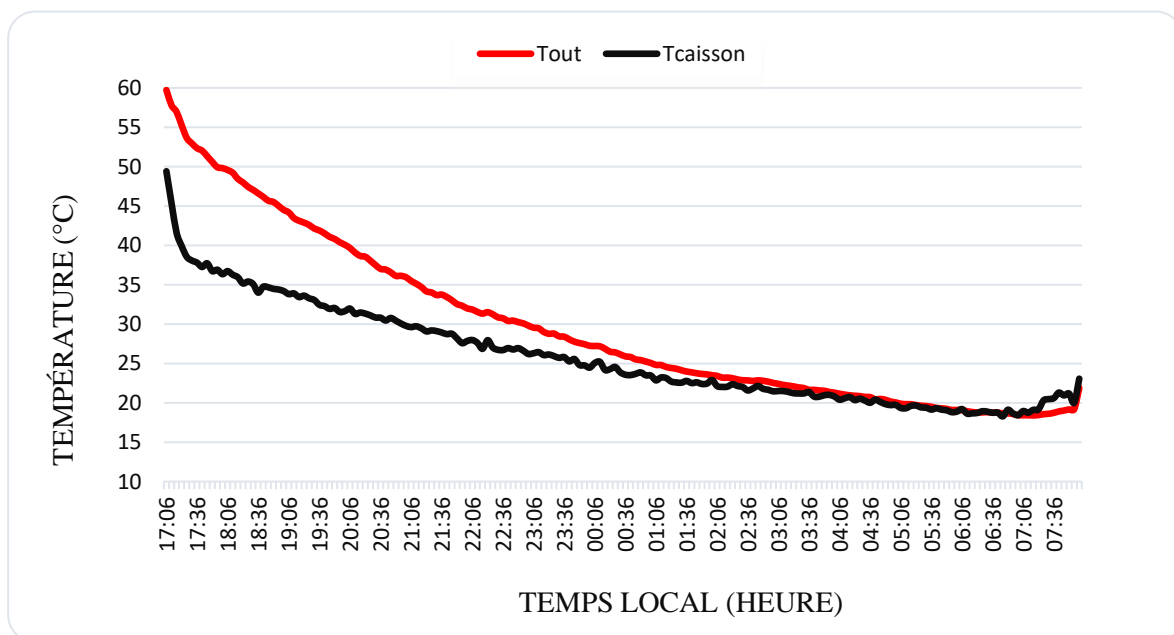


Figure 4. 2 Variation de la température à la sortie et du caisson en fonction du temps local la nuit du 20 au 21 juin 2023

On remarque une baisse importante des températures pendant la nuit jusqu'au matin. Entre 17h:11 et 5h:01 la température de l'eau à la sortie passe de 57.79°C à 20.04°C , quant à celle du caisson, elle passe de 45.37°C à 19.73°C, ceci est dû à la baisse de la température ambiante, à l'absence d'éclairement mais surtout au pertes thermiques importantes par la face non-isolée du chauffe-eau solaire.

4.1.2 Le 21/06/23

Durant la journée du 21 juin 2023, le ciel était dégagé avec un passage nuageux entre 9h et 11h qui a un impact direct sur l'éclairement.

L'éclairement lors de cette journée est inférieur à celui mesuré la veille, ce dernier atteint son maximum à 11h :28 avec 954 W/m² et la température ambiante moyenne était de 28°C. On observe également un vent assez fort comparé au premier jour.

- La Figure 4.3 représente la variation de la température de l'eau à la sortie (Tout), de la température à l'intérieur du caisson (Tcaisson) et celle du flux solaire (G) en fonction du temps local lors de cette journée.

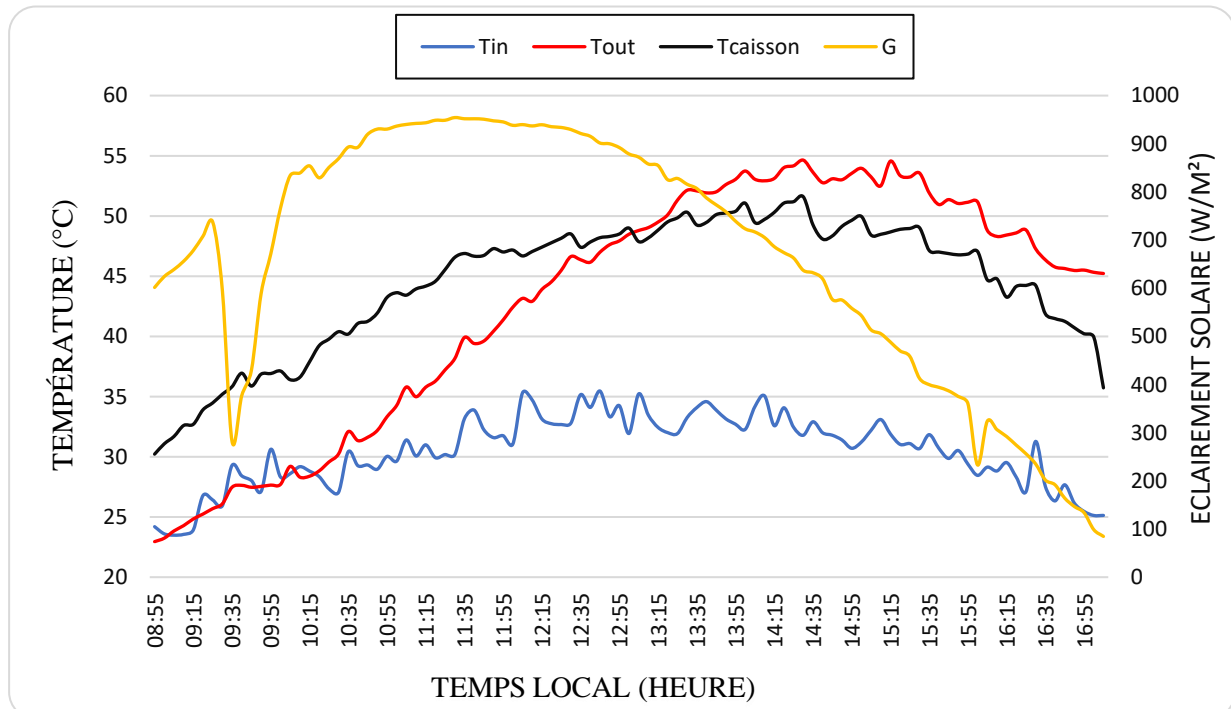


Figure 4. 3 Variation de la température à la sortie (Tout), de la température à l'intérieur du caisson (Tcaisson) et du flux solaire (G) en fonction du temps local le 21/06/2023

RESULTAT ET DISCUSSION

Comme lors du premier jour les températures augmentent au début, passent par un maximum et diminuent vers la fin de la journée, suivant l'évolution du flux solaire. La température de l'eau à la sortie atteint son maximum qui est de 54.55°C à 15:15 ce qui est inférieur à la valeur enregistrée la veille

On observe également sur la courbe de Tout des augmentations soudaines (pics) à cause de l'effet des puisages de 5 litres effectués chaque 30 minutes.

- La Figure 4.4 représente la variation de la température de l'eau à la sortie et de la température à l'intérieur du caisson en fonction du temps local du 21/06/23 à 17h:10 au 22/06/23 à 7h:30 lorsque la face du caisson est isolée

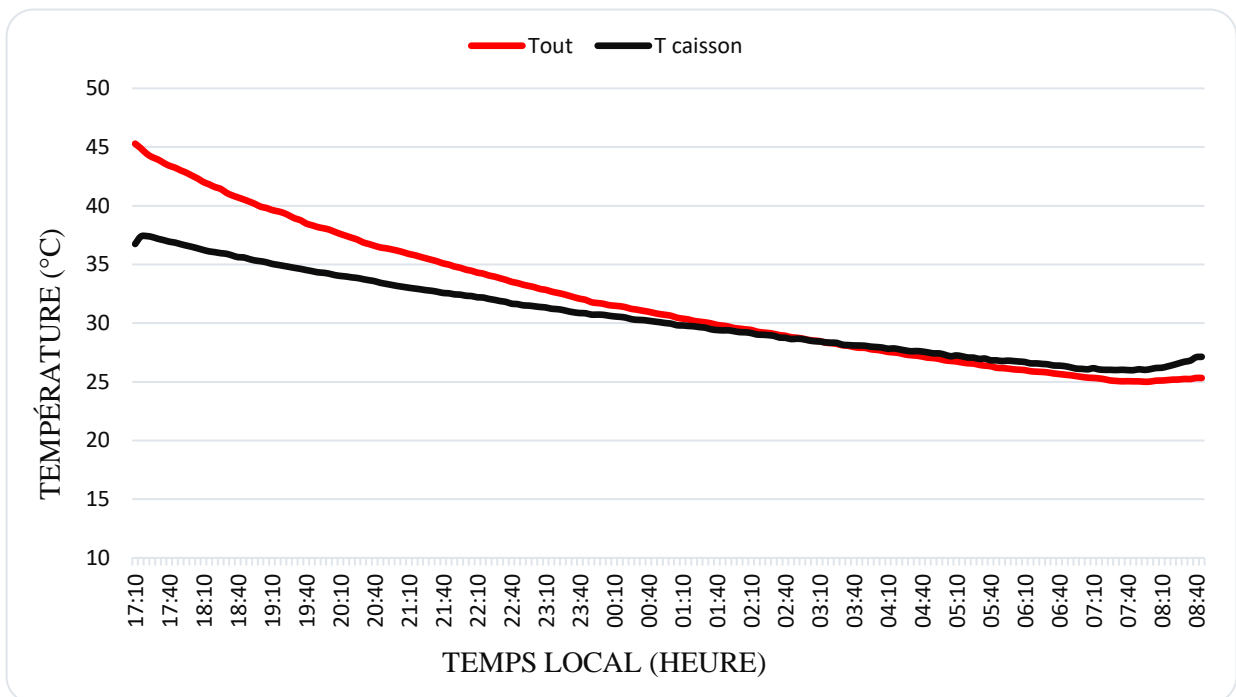


Figure 4. 4 Variation de la température à la sortie et du caisson en fonction du temps local la nuit du 21 au 22 juin 2023

RESULTAT ET DISCUSSION

Pendant ce temps, nous remarquons que les températures de la sortie d'eau et du caisson diminuent moins que le jour précédent. Nous pouvons voir que la température entre 17h00 et minuit était de 30,54c, ce qui signifie que la température de la sortie d'eau et du caisson est plus élevée que celle du jour précédent. Ceci est dû à la diminution des pertes thermiques par la face vitrée du caisson qui a été recouverte.

4.1.3 Le 22/06/23

Durant la journée du 22 juin 2023, le ciel était dégagé avec un passage nuageux entre 10h et 11h30 qui a un impact direct sur l'éclairement.

L'éclairement lors de cette journée atteint son maximum à 11h:49 avec 989.89 W/m² et la température ambiante moyenne était de 27.5°C. On observe également un vent assez fort.

- La Figure 4.5 représente la variation de la température de l'eau à la sortie (Tout), de la température à l'intérieur du caisson (Tcaisson) et celle du flux solaire (G) en fonction du temps local lors de cette journée.

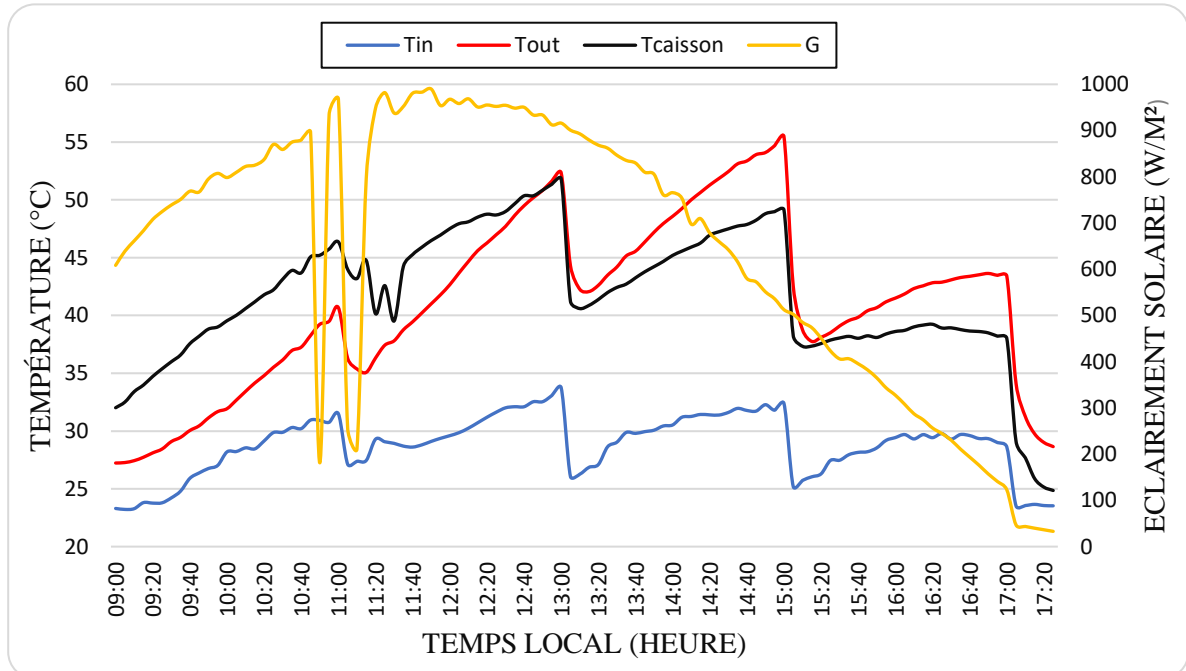


Figure 4. 5 Variation de la température à la sortie (Tout), de la température à l'intérieur du caisson (Tcaisson) et du flux solaire (G) en fonction du temps local le 22-06-2023

RESULTAT ET DISCUSSION

Nous constatons que durant cette journée les températures augmentent puis chutent brusquement à plusieurs reprises, ces baisses de température sont provoquées par les prélèvements de 25 litres que nous effectuons toutes les 2 heures.

On remarque aussi qu'entre 10:00 et 11:30 la température à l'intérieur du caisson varie beaucoup, ces variations sont dues à la baisse du flux solaire lors du passage nuageux.

- La Figure 4.6 représente la variation de la température de l'eau à la sortie (Tout), de la température à l'intérieur du caisson (Tcaisson) lors du puisage continu de 25 litres d'eau à 15h.

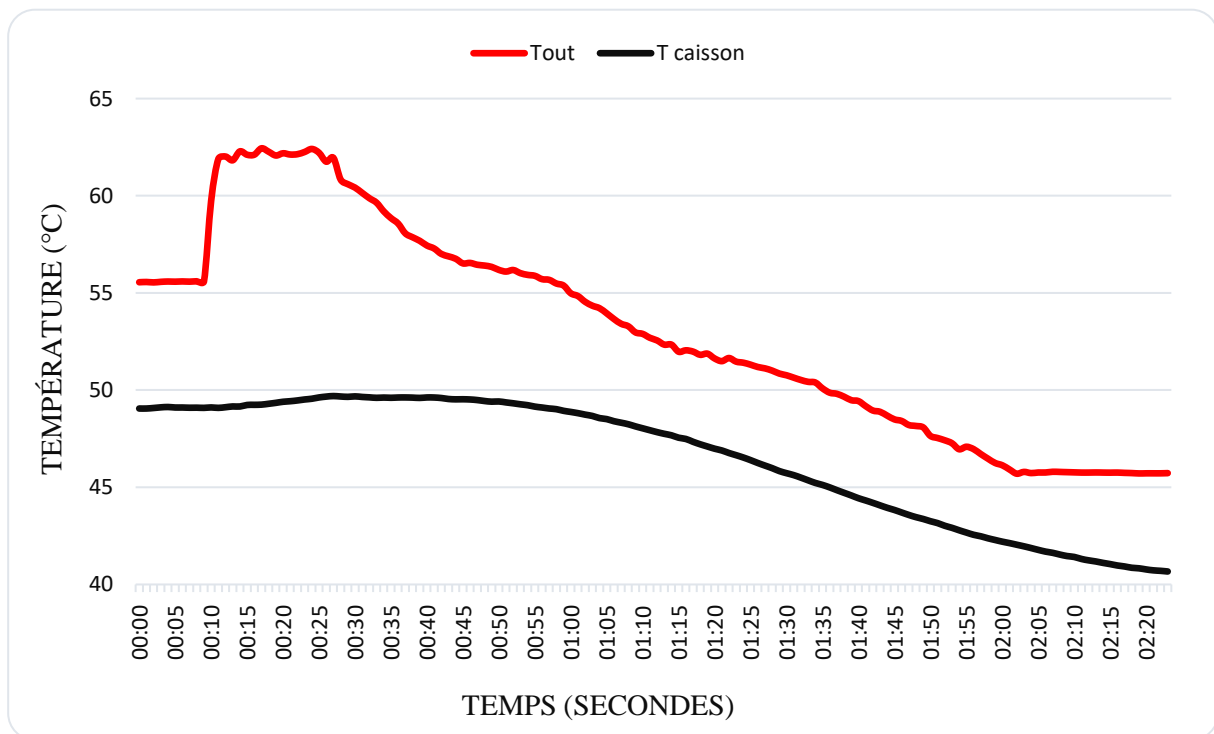


Figure 4. 6 Variation de la température de l'eau à la sortie et du caisson en fonction du temps lors du puisage continu de 25 litres

On remarque une augmentation soudaine de la température à la sortie ce qui correspond au début du puisage, puis une baisse progressive des températures pendant l'opération de puisage jusqu'à atteindre un équilibre à la fin de l'opération.

4.2 Conclusion

D'après les tests expérimentaux sur notre système, et les différents résultats obtenus :

Nous retrouvons que l'irradiation solaire globale joue un rôle dominant dans l'augmentation de la température.

On observe aussi l'effet du puisage sur la charge thermique du capteur stockeur de manière différente pour chaque expérience. L'effet commence par une baisse immédiate de la température, car le remplissage se fait au fond des tubes, mais les températures des autres niveaux supérieurs diminuent avec le temps.

Les baisses se poursuivent jusqu'à une certaine température, puis le système commence à récupérer la chaleur perdue et à augmenter la température jusqu'à ce qu'elle revienne à la valeur précédant puisage de fois moins ou plus tout dépend du moment du puisage.

Notre prototype nous permet donc d'avoir au moins 100 litres d'eau par jour à une température supérieure à 40°C.

Les résultats obtenus montrent des performances très appréciables malgré la simplicité de la conception et le coût de production relativement bas.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le système de chauffe-eau solaire à stockage intégré est considéré le système le plus simple pour le chauffage de l'eau sanitaire. Leurs performances thermiques dépendent des paramètres thermo physiques du fluide caloporteur et des constituants du système et des paramètres météorologiques, mais aussi dépendent de la manière de consommation de l'eau chaude qui se trouve dans capteur stockeur

L'objectif de ce travail est d'étudier expérimentalement l'effet du puisage sur les performances thermiques d'un chauffe-eau solaire réalisé et installé au sein de l'UNIVERSITÉ/CDER dans le domaine de l'énergie solaire thermique en général et les chauffe-eaux solaires en particulier.

Malgré le temps très court pour concrétiser ce travail, nous avons réussi à concrétiser un dispositif à échelle réelle ce qui nous a permis d'avoir une idée très claire sur les performances thermiques et l'applicabilité de ce chauffe-eau solaire pour une utilisation permanente en étudiant la variation des températures avec des puisages différents.

Le dispositif que nous avons réalisé montre des performances très appréciables, la température maximale de l'eau en fin de journée ensoleillée a été de l'ordre de 65,67°C pour les petites consommations et de 50°C pour une plus grande consommation (25 litres) ce qui est suffisant pour satisfaire les besoins des ménages en matière d'eau chaude sanitaire.

On peut dire que l'effet de puisage dépend du temps de puisage, de la température et la quantité de l'eau de remplissage. On peut dire aussi que l'intérêt d'étude de l'effet de puisage est de tester l'efficacité du système et découvrir leurs problèmes de fabrication. Cette étude montre comment puiser correctement l'eau chaude de manière à ne pas perdre la charge de stockage thermique et déterminer la quantité et le temps appropriés pour le puisage, avec lesquels le système de chauffe-eau solaire à stockage intégré peut compenser la charge thermique

Perspective

Des améliorations peuvent être apportées dans le futur à notre prototype, comme l'utilisation de matériaux avec une meilleure conductivité thermique tel que le cuivre pour faire l'élément capteur-stockeur, remplacer la vitre en polycarbonate par une vitre en verre trempé pour augmenter les performances et améliorer l'isolation afin de réduire les déperditions thermiques nocturnes en rajoutant un dispositif qui recouvre la face vitrée pendant la nuit et qui sera enlevé le jour.

Les chauffe-eaux solaires semblent la solution idéale pour répondre aux besoins d'eau chaude des ménages dans les milieux ruraux, les performances de ceux à stockage intégré sont dans certains cas comparables aux systèmes classiques parfois meilleurs si on prend en compte le rapport coût de production/performances et ils sont esthétiquement meilleurs, il serait donc très intéressant de que de futures études examinent le compromis entre les performances du système et des coût d'installation réduits.

Reference

- [1] J.A. Duffie, J.W.Beckman,. Solar Engineering of Thermal Processes,. s.l. : Inc, 1991
- [2] le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette/La Météorologie 8e série - n° 31 - septembre 2000
- [3] M. Smyth, P. C. Eames, and B. Norton. Integrated collector storage solar water heaters. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10(6) :503– 538, 2006.
- [4] BuiltSolar. <http://www.builtitsolar.com/Experimental/HotHarry1.pdf>, 2010.
- [5] AAASolar. <http://www.aaasolar.com/>, 2009.
- [6] SolarInox. <http://chasta971.free.fr/chauffe-eau-solaire/technique.html>, 2009. [10] Sole. <http://www.sole.gr/products.php?xid=2>, 2008.
- [7] SunEarth. <http://www.sunearthinc.com/CopperHeart.html>, 2010.
- [8] IntegratedSolar. <http://www.integratedsolar.com/coppersun.aspcoppersunsolar>, 2009.
- [9] TCTSolar. <http://www.tctsolar.com/ptsystems.htm>, 2009
- [10] Iordanou, Grigorios «Flat-plate solar collectors for water heating with improved heat transfer for application in climatic conditions of the Mediterranean region» Doctoral Thesis. Durham University. 2009. (<http://ethses.dur.ac.uk>).
- [11] Kaushik S. C. et al. « Transient analysis of a triangular built-in-storage solar water heater under winter conditions » Heat Recovery Systems & CHP Vol.14, N°4. 1994.
- [12] David Faiman and al. «Reducing the heat loss at night from solar water heaters of the integrated collector-storage variety » Solar Energy Vol.71, N°2, 2001.
- [13] Tripanagnostopoulos Y. and M. Souliotis « ICS solar systems with horizontal (E-W) and vertical (N-S) cylindrical water storage tank » Renewable Energy Vol. 29, 2004.
- [14] Tayeb A. et al. « Etude des performances d'un capteur stockeur cylindro-parabolique » Revue des Energies Renouvelables Vol. 9/3, 2006. [25] Harmim A. et al. « Développement d'un chauffe-eau solaire capteur-stockeur installé en milieu saharien » Rapport interne, URER/MS, Décembre 200

[15] F. BOUHIRED 1998 « Réalisation d'un Régulateur de Température Destiné pour l'Appoint Electrique d'un Chauffe-eau Solaire » Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger. 1998.

[16] M. MERZOUK et N. KASBADJI MERZOUK (1999) « Le Chauffe-eau Solaire à Usage Domestique Analyse des Limites Technico - Economiques de l'Expérience Algérienne ». Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger. 1999

[17] A. HAMID, S. SAMI, D. SEMMAR, D. LAFRI et R. KHARCHI (2002) « Etude et Réalisation d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collectif ». Centre De Développement Des Energies Renouvelables, CDER, Bouzaréah, Alger. 2002.

[18] C. BUSCARLET – D. CACCAVELLI – B. KHEBCHACHE, (2005) « Note portant sur la fixation d'exigence minimum en matière de performance thermique des capteurs solaires et des chauffe-eau solaires ». Centre scientifique et technique du bâtiment, Paris. 2005.

[19] Yu Bai, Gilles Fraisse, Lingai Luo et Bernard Souyri (2007) « Optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles » Laboratoire Optimisation de la Conception et ingénierie de l'Environnement, Campus scientifique Savoie Technolac, 73376 Le Bourget du lac
Yu.bai@univ-savoie.fr

[20] A. Messaouda et C. Kerkeni (2009) « Contribution à l'étude d'optimisation d'un chauffe-eau solaire type cylindro-parabolique » Laboratoire d'Energétique et des Procédés Thermiques, Centre de Recherches et des Technologies de l'Energie, B.P. 95, 2050 Hammam Lif, Tunisie.

[21] F. Yettou, A. Malek, M. Haddadi et A.Gama (2010) « Optimisation d'un système de production d'eau chaude ». Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables, Ghardaïa, Algérie, Centre de développement des énergies renouvelable, Bouzaréah, Alger, Ecole nationale polytechnique, El Harrach, Alger.

[22] S. Bennaceur, B. Draoui, L. Bennamoun (2010) [23] « Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire au sud-ouest Algérien (Adrar) ». Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences et Technologie Université de Béchar, Algérie. 2010.

[23] S-A. HAKEM (2010) « Étude stochastique des performances journalières d'un chauffe eau solaire » Université des sciences et de la technologie houari boumediene. 2010.

- [24] A. BERCHIDE (2011) « Etude et expérimentation d'un chauffe-eau solaire de type capteurstockeur ». Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen Faculté des Sciences.2011.
- [25] F. Sahnoune, M. Belhamel et M. Zelmat (2011) « Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe-eau solaire pour deux sites algériens ». Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger, Algérie. 2011.
- [26]. Iqbal, Muhammad. 1983. An Introduction to Solar Radiation, 408. London : Academic Press (ISBN : 978-0-12-373750-2) Available online at <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123737502>
- [27] Paulescu, M., E. Paulescu, P. Gravila, and V. Badescu. 2013. Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation, XVIII, 358. Berlin : Springer (ISBN 978-1-4471-46483)
- [28] Kasten, F., and A.T. Young. 1989. Revised optical air mass tables and approximation formula. Applied Optics 28 (22): 4735–4738.
- [29] Duffie, J.A., and W.A. Beckman. 1994. Solar Engineering of thermal Processes, 2nd ed, 910. NewYork: Wiley
- [30]. Myers, Daryl R. 2013. Solar Radiation, Practical Modeling for Renewable Energy Applications, 199. London : Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press (ISBN-13: 978-1-4665-0327-4, eBook–PDF).
- [31]. Spencer, J. W. (1971). « Fourier series representation of the position of the sun ». Search, 2(5), 172.
- [32].Duffie, John A., and William A. Beckman. 2013. Solar Engineering of Thermal Processes.NewYork: Wiley (ISBN 978-0-470-87366-3)
- [33] A, Mefti; M, Y, Bouroubi; H,Mimouni.Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des énergies renouvelables N°2,p12, décembre(2002).
- [34] M, Caperou.Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger (1985)
- [35] Cours M2 Energies Renouvelables Conversion Thermique « Concentration Solaire »
M.Merzouk