

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : INSTALLATIONS ÉNERGÉTIQUES ET TURBOMACHINES

PAR :

AKROUN MOHAND AMOKRANE

ACHOURI BELKACEM

Thème

**Etude expérimentale des performances thermiques d'un four solaire
type boite**

Soutenu le 11 octobre 2020 devant le jury composé de :

Mr. A. **BENSLIMANE**

Président

Mme. N. **ADJOUADI**

Rapporteur

Mr. B. **HAMTACHE**

Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la force et la patience afin de mener ce travail à terme.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Madame

ADJOUADI N.

Pour avoir assumé la responsabilité de nous encadrer, de nous orienter et de nous conseiller tout au long de la réalisation de ce travail ainsi que pour la confiance qu'elle nous a accordée, acceptant d'être rapporteur de notre mémoire de fin d'études. A ceux qui nous ont apporté, de près ou de loin, orientation, soutien et aide dans la réalisation et la concrétisation de ce travail.

Nos vifs remerciements à tous nos enseignants du primaire à l'université.

*ACHOURI Belkacem
AKROUN Mohand Amokrane*

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes parents qui m'ont
Orienté et soutenu dans les choix difficiles.*

A mes chères sœurs.

*A ma grande famille que ce soit du côté
paternel ou du côté maternel.*

A mon binôme et toute sa famille.

A tous mes amis.

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de
loin à l'aboutissement de ce mémoire de fin d'étude.*

*Je le dédie aussi à tous ceux qui le liront, et
j'espère qu'ils trouveront dans son contenu des
réponses à leurs questions.*

AKROUN Mohand Amokrane

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :
l'être qui m'est le plus cher au monde, à celle qui m'a tout
donné en l'occurrence, ma mère.*

*Celui qui fait tout son possible pour que je réussisse
dans ma vie : mon père.*

Mes grands-parents.

A mes frères, Hani et Ala edin

Mon adorable sœur, Douaa

Toute ma famille.

A mon binôme et toute sa famille.

A tous mes amis.

Et à toutes les personnes qui m'ont connu.

ACHOURI Belkacem

Sommaire

Remerciment	i
Dédicaces	ii
Sommaire	iv
Liste de figures	vii
Liste des tableaux.....	ix
Nomenclature	x
Introduction générale	1
Chapitre I : Généraliés sur le gisement solaire	3
I.1. Introduction	4
I.2.Astronomie	4
I.2.1. Soleil	4
1.2.1.1. Sphère céleste	4
1.2.1.2. Coordonnées du soleil	5
I.2.2. Terre.....	8
1.2.2.1. Coordonnées terrestres.....	8
I.2.3. Rayonnement solaire.....	9
I.2.3.1. Constante solaire	10
I.2.3.2. Types de rayonnements solaires.....	11
I.2.4. Éclairement et irradiation.....	12
I.2.5. Orientation et inclinaison d'une surface	14
I.2.5.1. Angle d'incidence (δi)	14
I.2.5.2. Angle d'inclinaison	15
I.3. Conclusion	16
Chapitre II : Capteurs et fours solaires	17
II.2. Capteur Solaire :.....	18
II.2.1. Définition d'un capteur solaire :	18
II.2.2. Composition d'un capteur solaire :.....	18

SOMMAIRE

II.2.2.1. Couverture transparente (Vitre) :	18
II.2.2.2. Absorbeur :	19
II.2.2.3. Fluide caloporteur :	19
II.2.2.4. Isolation thermique :	20
II.2.2.5. Coffre	20
II.2.3. Types des capteurs solaires thermiques :	21
II.2.3.1. Capteurs plans non vitrés à revêtement sélectif :	21
II.2.3.2. Capteurs plans vitrés :	21
II.2.3.3. Capteurs à tubes sous vide :	22
II.2.3.4. Capteurs cylindro-parabolique :	22
II.2.3.4 Capteurs solaires photovoltaïque :	23
II.2.4. Bilan énergétique d'un capteur solaire plan :	23
II.2.5. Paramètres influant sur le rendement du capteur solaire :	25
II.2.5.1. Paramètres externes :	25
II.2.5.2. Paramètres internes :	25
II.3. Cuiseurs solaires :	26
II.3.1. Evolution des cuiseurs solaires :	26
II.3.2. Modèles des cuiseurs solaires :	26
II.3.2.1. Le cuiseur parabolique :	27
II.3.2.2. Le cuiseur à panneaux :	27
II.3.2.3. Le cuiseur type boîte :	27
II.4. Temps de cuisson :	31
II.5. Etude Expérimentale :	31
II.6. Conclusion :	32
Chapitre III : Simulations numériques	33
III.1. Introduction :	34
III.2. Modélisation :	34
III.2.1. Le Four Source :	34

SOMMAIRE

III.2.2. Model de la simulation :	35
III.2.3. Maillage :	36
III.2.4. Choix des matériaux :	37
III.3. Simulation :	37
III.3.1. Condition de simulation :	37
III.3.2. Résultats et discussions :	38
III.3.2.1. Influence du matériau de l'isolant :	38
III.3.2.2. Influence du matériau de l'absorbeur :	41
III.3.2.3. Influence de matériau des parois :	43
III.3.2.4. Variation de de la température dans la vitre :	44
III.3.2.5. Variation de la vitesse de l'air dans la boîte :	45
IV. Conclusion :	48
Conclusion générale	49

Table des figures

Figure I.1 : Sphère céleste	5
Figure I.2 : Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année.....	6
Figure I.3 : Les coordonnées équatoriales	6
Figure I.4 : Les coordonnées horizontales	7
Figure I.5 : Coordonnée terrestre	9
Figure I.6 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	9
Figure I.7 : Constante solaire	11
Figure I.8 : Composants du rayonnement solaire	12
Figure I.9 : Irradiation moyenne annuelle en kWh/m ² /jour sur un plan horizontal	13
Figure I.10 : Variation de l'angle d'incidence en fonction du temps	15
Figure I.11 : Orientation et inclinaison d'une surface	15
Figure II.1 : Capteur solaire thermique	18
Figure II.2 : Composants d'un capteur solaire	20
Figure II.3 : Capteurs solaires sans vitrage	21
Figure II.4 : Capteur solaire vitré	21
Figure II.5 : Capteurs à tube sous vide	22
Figure II.6 : Système à réflecteur cylindro-parabolique.....	22
Figure II.7 : Cellule photovoltaïque	23
Figure II.8 : Bilan énergétique dans un capteur plan.....	24
Figure II.9 : Cuiseur parabolique.....	27
Figure II.10 : Cuiseur à panneaux	27
Figure II.11 : Four Type boîte	28
Figure II.12 : Circulation des rayons lumineux dans un four type boîte.....	29
Figure II.13 : Composants du four solaire type boîte.....	30
Figure II.14 : Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs.....	31
Figure II.15 : Evolution de la température par rapport au temps	32
Figure III.1 : Four solaire type boîte.	34
Figure III.2 : Géométrie du four solaire type boîte	35
Figure III.3 : dimensions (en millimètre) du four solaire type boîte.....	36
Figure III.4 : Maillage adopté pour la simulation.	36
Figure III.5 : Contours de la température dans l'absorbeur (SIM2)	39
Figure III.6 : Variation de la température dans la boîte pour (SIM2).	39
Figure III.7 : Contours de la température dans l'absorbeur (SIM1)	40
Figure III.8 : Variation de la température dans la boîte pour (SIM1).	40

TABLE DES FIGURES

Figure III.9 : Contours de la température dans l'absorbeur (SIM3)	41
Figure III.10 : évolution de la température sur la surface de l'absorbeur pendant 1 heure d'exposition au soleil à Adrar.....	42
Figure III.11 : évolution de la température sur la surface de l'absorbeur pendant 1 heure d'exposition au soleil à Bejaia.....	42
Figure III.12 : Contours de la température dans les parois internes (SIM2).....	43
Figure III.13 : Contours de la température dans les parois internes (SIM6).....	44
Figure III.14 : Contours de température dans la vitre.	44
Figure III.15 : évolution de la température sur la surface du verre pendant 1 heure d'exposition au soleil à Adrar (SIM2).	45
Figure III.16 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans le plan milieu pour (SIM2)...	45
Figure III.17 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la boîte pour (SIM2).....	46
Figure III.18 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans le plan milieu pour (SIM5)...	46
Figure III.19 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la boîte pour (SIM5).....	47

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Orientation de l'azimut du soleil..... 7

Tableau I.2 : Caractéristiques de la terre 8

Tableau I.3: Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire..... 10

Tableau II.1 : Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques..... 19

Tableau III.1 : les matériaux et les épaisseurs des différents composants du four 35

Tableau III.2 : les propriétés thermo-physiques des matériaux constituant notre four..... 37

Tableau III.3 : Résultats globaux des simulations du four solaire type boîte. 48

Tableau III.4 : Températures moyennes des différents composants du four. 48

Nomenclature

Symboles	Définition	Unité (SI)
a', b'	Constantes	-
N	Numéro du jour	-
N_p	Angle journalier	rad
G^*	Puissance solaire globale reçue par le capteur	W/m^2
Q^*	Energie solaire absorbée par le capteur	W
Q_u	Energie utile emmagasinée dans le fluide caloporteur	W
Q_a	Pertes thermiques	W
Q_t	Energie d'inertie thermique de l'installation	W
I_g	Rayonnement global incident	W/m^2
S_{abs}	Surface d'absorbeur	m^2
K	Conductivité thermique	$W/m.k$
E_0	Rayonnement solaire	W/m^2
E_1	Rayonnement solaire réfléchi par le vitrage	W/m^2
Q_1	Perte thermique latérales et inférieur	W
Q_2	Rayonnement thermique émis par le capteur	W
Q_3	Chaleur utile	W

Symboles grecs	Définition	Unité (SI)
α	Orientation du plan	rad
β	Angle d'inclinaison	rad
γ	Hauteur de la normal du plan	rad
φ	Latitude du lieu	rad
λ	Longitude du lieu	rad
z	Altitude du lieu	m
λ_s	Hauteur du soleil	rad
δ	Déclinaison solaire	rad
ω	Angle horaire	rad
η	Rendement d'un capteur plan	-
τ_c^*	Coefficient de transmission.	-
α_p^*	Coefficient d'absorption solaire	-

Introduction générale

Introduction générale

Compte tenu de la forte consommation mondiale d'énergie, l'épuisement des ressources énergétiques fossiles est inévitable. D'où la nécessité d'exploiter les sources d'énergie renouvelable qui sont généralement le soleil, le vent, la biomasse, les marées, les vagues marines et océaniques et la géothermie.

Par classement de disponibilité, l'énergie solaire est en tête de la liste de ces sources renouvelables. C'est donc la solution la plus offerte aux défis de consommation croissante de l'énergie.

L'Algérie dispose d'un potentiel d'énergie solaire renouvelable important grâce au grand Sahara où l'approvisionnement en gaz butane est très difficile. L'utilisation du soleil pour la cuisson s'avère une solution très pratique et économique, mais le soleil seul ne suffit pas, il faut concentrer ces rayons pour avoir une température assez forte afin de pouvoir cuisiner. Cela se fait généralement à l'aide d'un concentrateur solaire.

Un concentrateur solaire type boîte est l'un des systèmes de cuisson solaire les plus anciens. Il transforme les rayons solaires en chaleur. Après un préchauffage, vous pouvez cuire vos aliments grâce à l'effet de serre ainsi créé. Un four solaire n'a plus besoin d'être surveillé, car il fonctionne même lorsque le temps est nuageux.

Dans ce contexte, le travail de recherche consiste en l'étude et la simulation des performances thermiques d'un four solaire type boîte.

Le travail que nous présentons est une contribution à l'étude d'un cuiseur solaire. Il se présente selon le plan suivant :

- Chapitre I : représente les généralités sur l'astronomie et le gisement solaire.
- Chapitre II : consacré aux capteurs et au four solaire, leurs types et compositions.
- Chapitre III : partie modélisation et résultats de simulation pour un four solaire type boîte.

À la fin, une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralités sur le gisement solaire

I.1. Introduction :

Les besoins énergétiques mondiaux sont actuellement satisfaits grâce aux énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) dites énergies non renouvelables. De ce fait, le passage vers l'énergie renouvelable s'avère, donc, nécessaire. Malgré son énorme potentiel, l'énergie solaire ne représente qu'une part négligeable de la production et de la consommation énergétique mondiale et de l'Algérie en particulier. Le rayonnement solaire est la source d'énergie la plus accessible sur terre. En effet, la quantité d'énergie libérée par le soleil pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an.

Les applications de l'énergie solaire sont innombrables et comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire à l'étude des systèmes énergétiques.

I.2.Astronomie :

I.2.1. Soleil :

Le Soleil est une étoile sphérique placée à 150 000 000 km de nous. Il a un diamètre de 1 391 000 km et 2×10^{30} kg de masse. Il est composé d'un mélange de gaz ; sa lumière nous parvient en 8 minutes et est émise à une vitesse de 300 000 km/s. Son volume est de 1 300 000 fois plus grand que la terre et sa masse fait 330 000 fois celle de la terre. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments. La puissance qu'il émet sous forme de photons est à peu près égale à 4×10^{26} W et seulement $1,7 \times 10^{17}$ W est interceptée par la terre [1,2].

1.2.1.1. Sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, son centre est celui de la terre, et de rayon de distance (terre – soleil). On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On illustre les différentes caractéristiques sur la sphère elle-même comme c'est indiqué sur la figure (I.1)

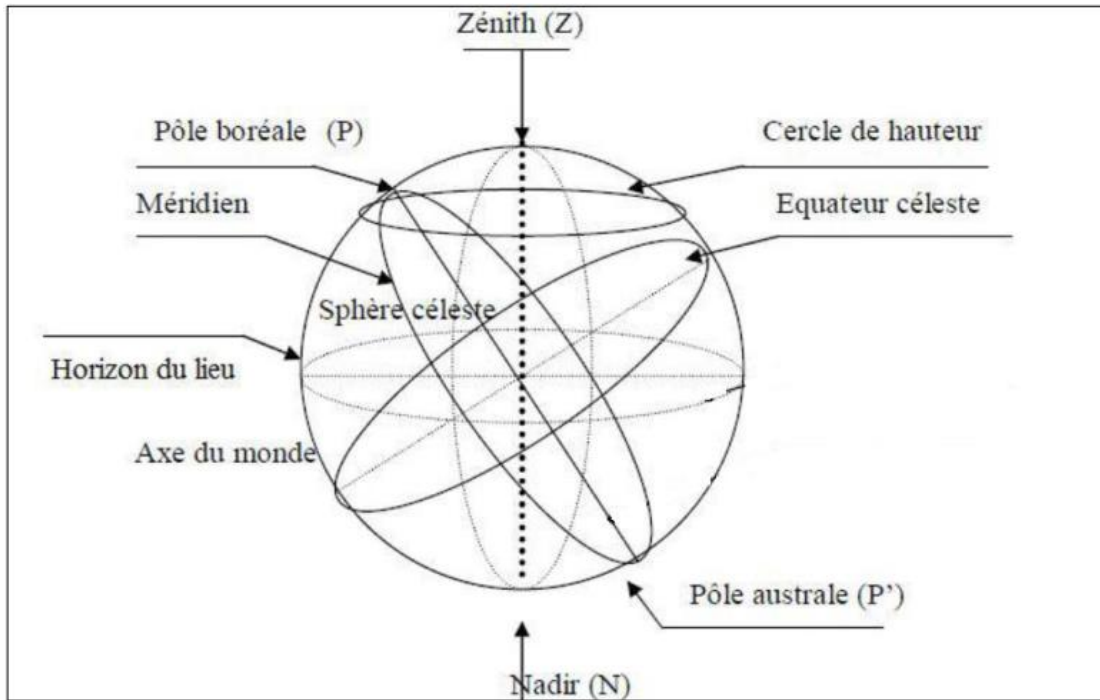


Figure I.1 : Sphère céleste [3].

1.2.1.2. Coordonnées du soleil :

Pour un lieu donné, la position du soleil est identifiée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents [4].

a. Coordonnées équatoriales : Par rapport au plan équatorial de la terre (point de référence équatorial) : Le mouvement du soleil est défini sous deux angles par rapport au plan équatorial de la terre.

- **Déclinaison solaire (δ) :** est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre, la déclinaison varie de $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver à $+23^{\circ}27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. La déclinaison est donnée par [5]:

$$\delta = 23,46 * \sin\left(2\pi \frac{(284 + N)}{365}\right) \quad (I.1)$$

N : le numéro du jour de l'année compté à partir du 1er janvier, varie de 1 à 365 ou 366 selon l'année.

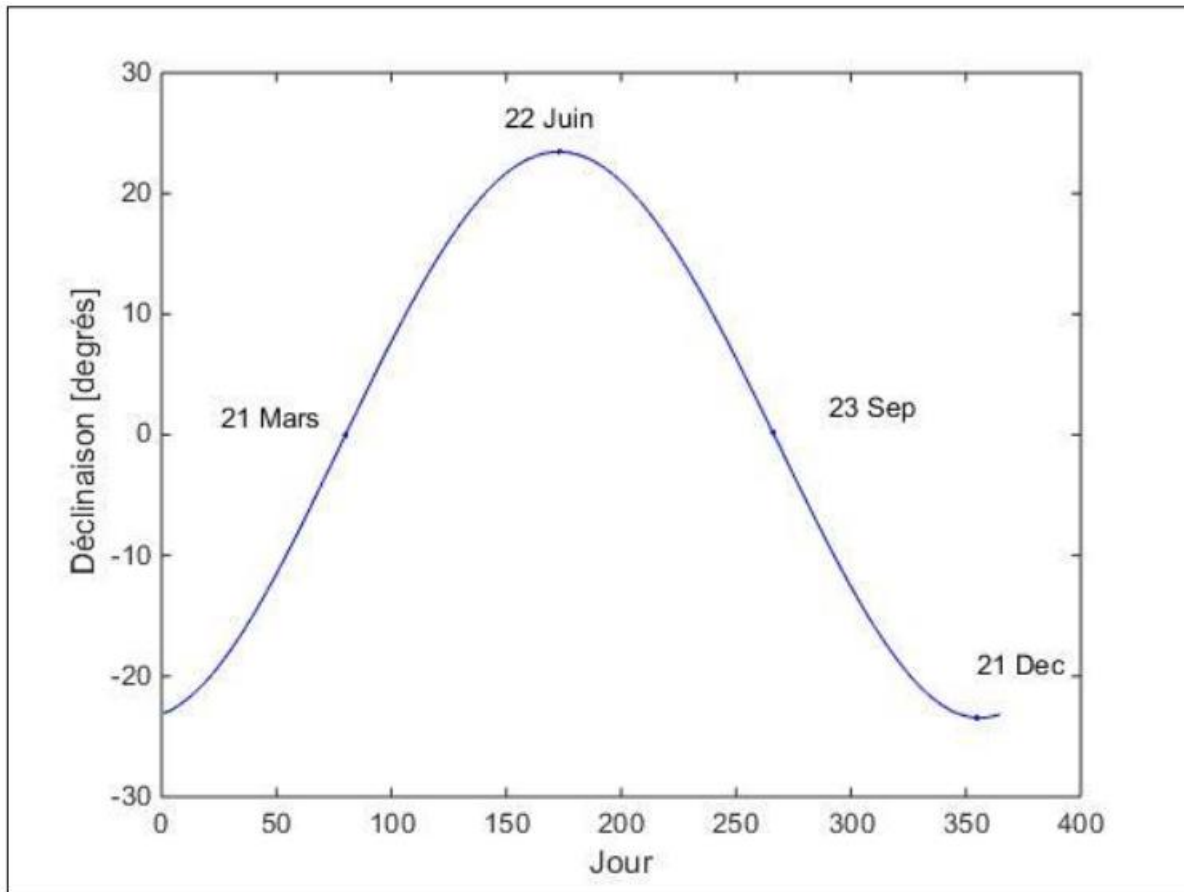


Figure I.2 : Déclinaison du soleil en fonction du numéro du jour de l'année [7].

- **Angle horaire du soleil (ω)** : C'est l'angle que forme la projection de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu, l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée, pour calculer l'angle horaire [5]:

$$\omega = 0,261799 * (t - 12) \tag{I.2}$$

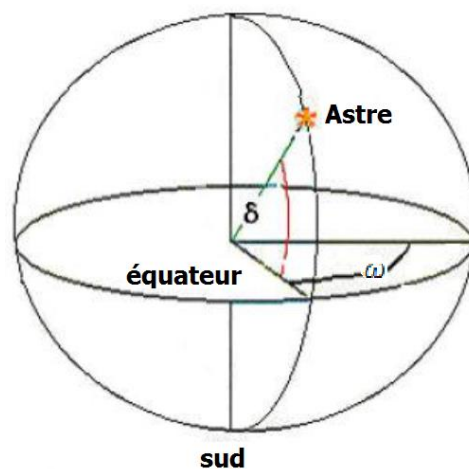


Figure I.3 : Les coordonnées équatoriales [6].

b. Coordonnées horizontales : Par rapport au plan horizontal du lieu (point de référence horizontal) : La position du soleil à un instant considéré est donnée par l'azimut du soleil χ et son élévation γ_s [8].

- **Azimut du soleil (χ) :** c'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction du Sud [5].

Les orientations de l'azimut du soleil sont données sur le tableau (I.1) :

Tableau I.1 : Orientation de l'azimut du soleil.

	Angle	Orientations
χ	-90	orientation Est
	0	orientation Sud
	+90	orientation Ouest
	180	orientation Nord

- **Hauteur du soleil (λ_s) :** La hauteur du soleil λ_s est l'angle que fait, le plan horizontal avec la direction du soleil, la valeur $\lambda_s = 0$ correspond au lever et au coucher du soleil, quand $\lambda_s < 0$ c'est la nuit et quand $\lambda_s > 0$ c'est le jour sur terre, la hauteur du soleil varie entre $+90^\circ$ (zénith) et -90° (nadir) [5].

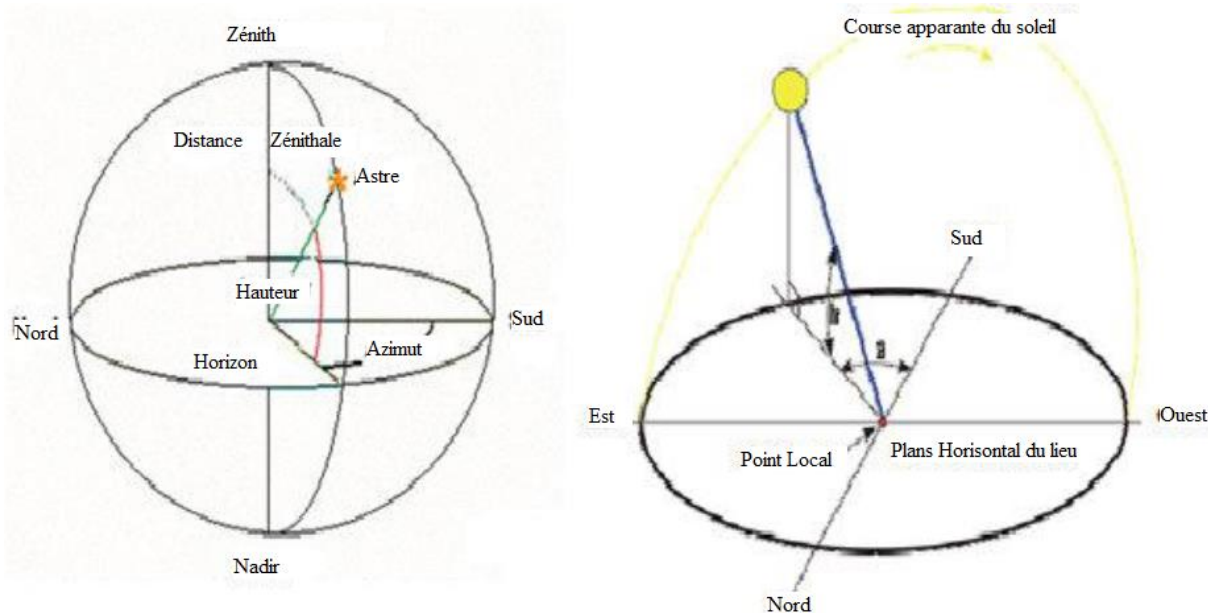


Figure I.4 : Les coordonnées horizontales [6].

I.2.2. Terre :

Les principales caractéristiques sont données sur le tableau (I.2) :

Tableau I.2 : Caractéristiques de la terre [7].

Caractéristiques	Valeurs
Masse	$6 \times 10^{21} T$
Volume	$1083310 \times 10^6 Km^3$
Surface	$510101 \times 10^3 Km^2$
Diamètre équatorial	12756,32 Km
Diamètre polaire	12713,55 Km

1.2.2.1. Coordonnées terrestres [4]:

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit la longitude, la latitude et l'altitude.

- **Longitude :** La longitude (λ) c'est l'angle formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré. On affecte le signe (+) pour les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et le signe (-) pour les méridiens situés à l'Ouest.
- **Altitude :** C'est la distance verticale (z) entre ce point et une surface de référence théorique exprimée en mètres (niveau moyen de la mer).
- **Latitude :** L'angle (φ) de latitude est l'angle entre une ligne tracée à partir d'un point de la surface de la Terre avec le centre de la Terre et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la Terre forme l'équateur et est indiquée par la latitude 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Par convention, le signe (+) est attribué à tous les endroits de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les endroits de l'hémisphère sud. La latitude d'un lieu peut être comprise entre -90° et $+90^\circ$.

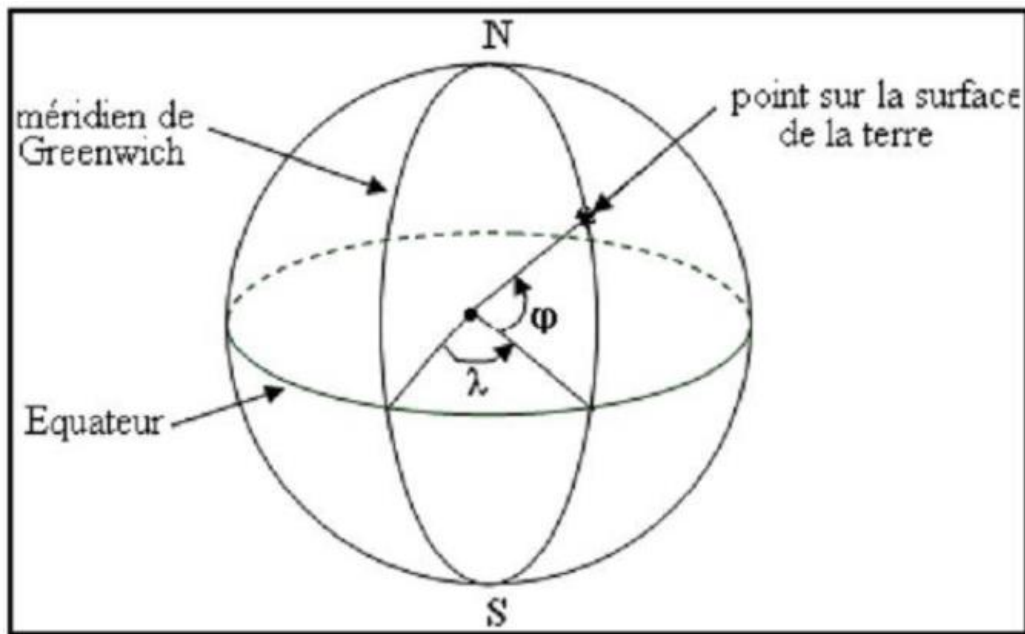


Figure I.5 : Coordonnée terrestre [4].

I.2.3. Rayonnement solaire [4] :

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0,2 \mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($2,5 \mu\text{m}$). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement de :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

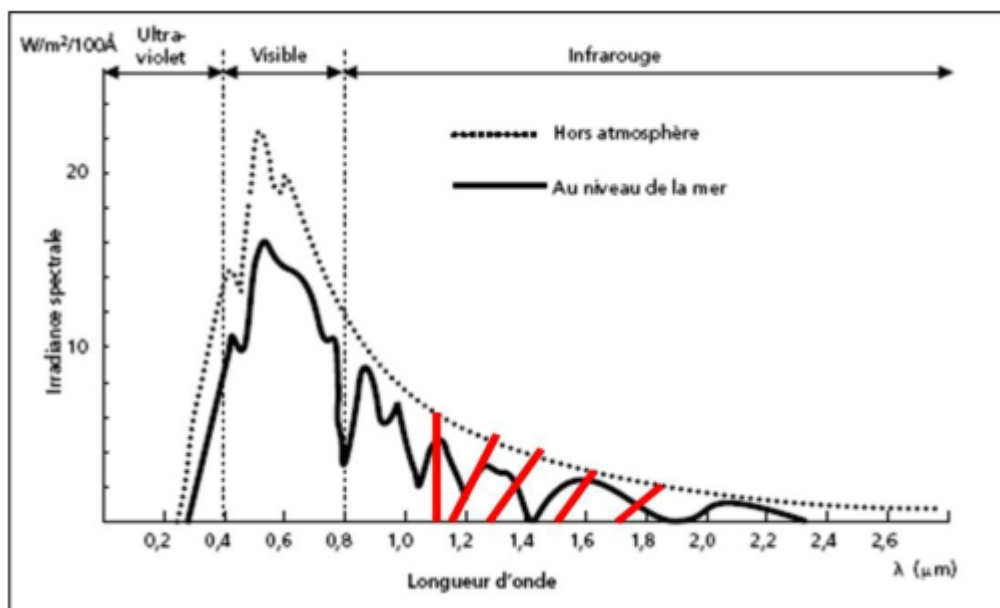


Figure I.6 : Analyse spectrale du rayonnement solaire [4].

Dans le tableau I.3 ont a illustrés les valeurs énergétiques caractéristiques des photons pour diverses longueurs d'ondes, ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux

Tableau I.3: Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire [3].

λ (μm)	E_{ph} (eV)	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

Les capteurs d'énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d'onde afin de piéger les photons et de les libérer sous forme de chaleur ou d'électrons. Pour que le rayonnement solaire produise un courant électrique dans un matériau donné, puis agisse comme collecteur, les photons doivent d'abord être absorbés par un ou plusieurs matériaux sensibles à la longueur d'onde des photons, qui sont ensuite recueillis pour former une cure électrique globale[3].

I.2.3.1. Constante solaire :

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 Millions de km), c'est ce que l'on appelle la constante solaire [4, 9].

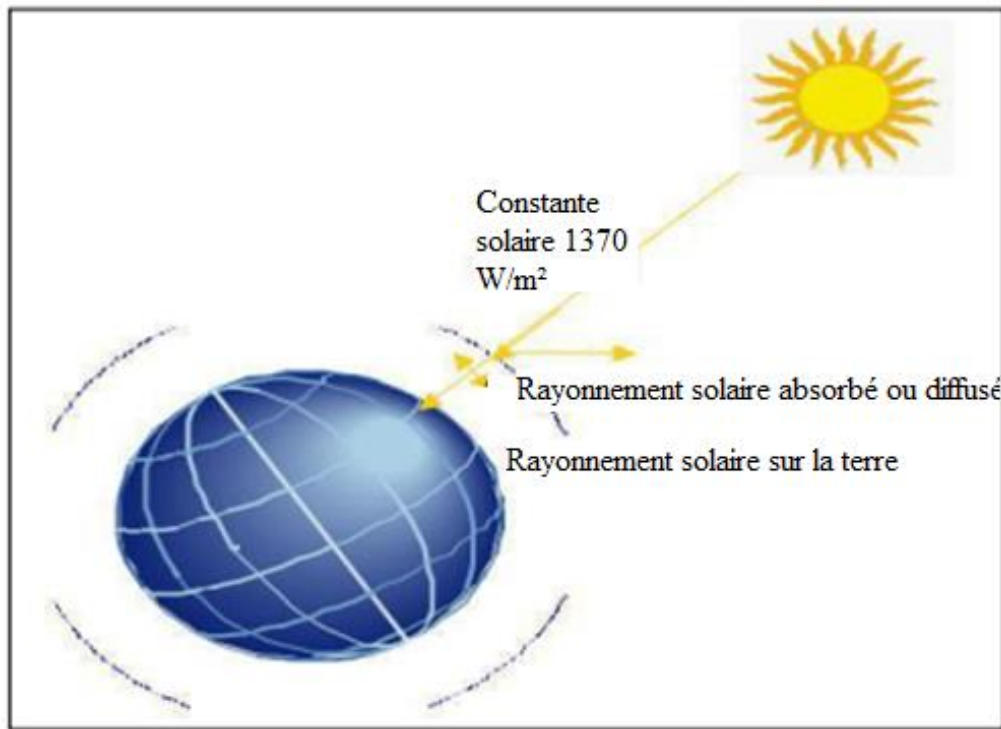


Figure I.7: Constante solaire [4].

I.2.3.2. Types de rayonnements solaires :

L'énergie reçue au niveau du sol est inférieure à la constante solaire, car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et le réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire dans l'espace (environ 6 %) [10].

On distingue plusieurs composantes qui sont principalement :

- **Le rayonnement direct :** est le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.
- **Le rayonnement diffus :** est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols...). Il n'a pas de direction privilégiée.
- **Le rayonnement global :** est la somme des rayonnements directs et diffus [11].

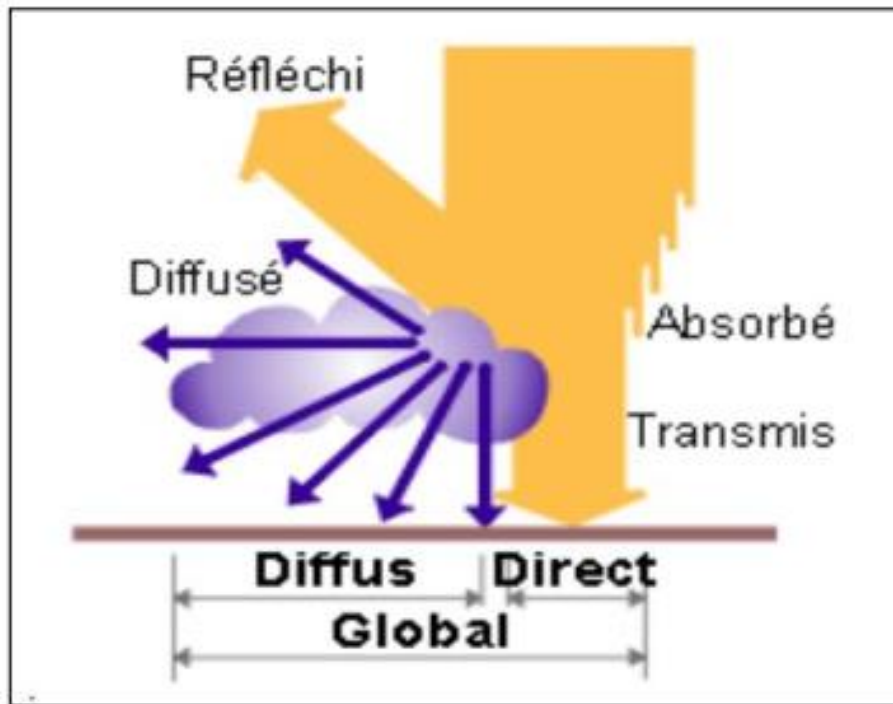


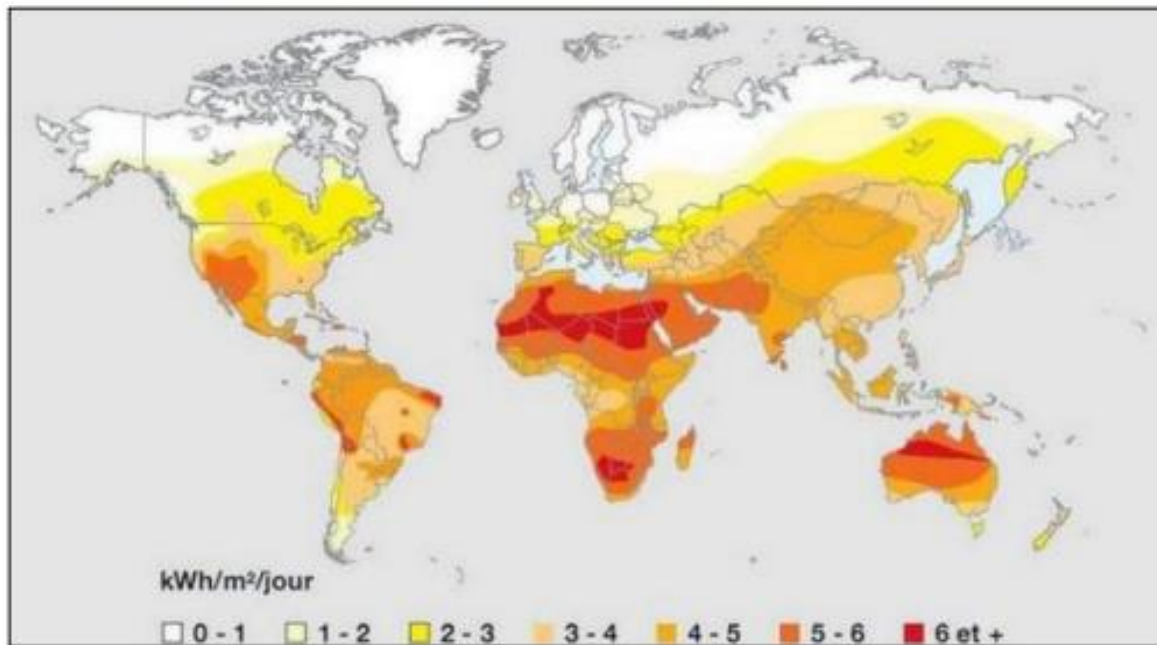
Figure I.8 : Composants du rayonnement solaire [10].

I.2.4. Éclairement et irradiation :

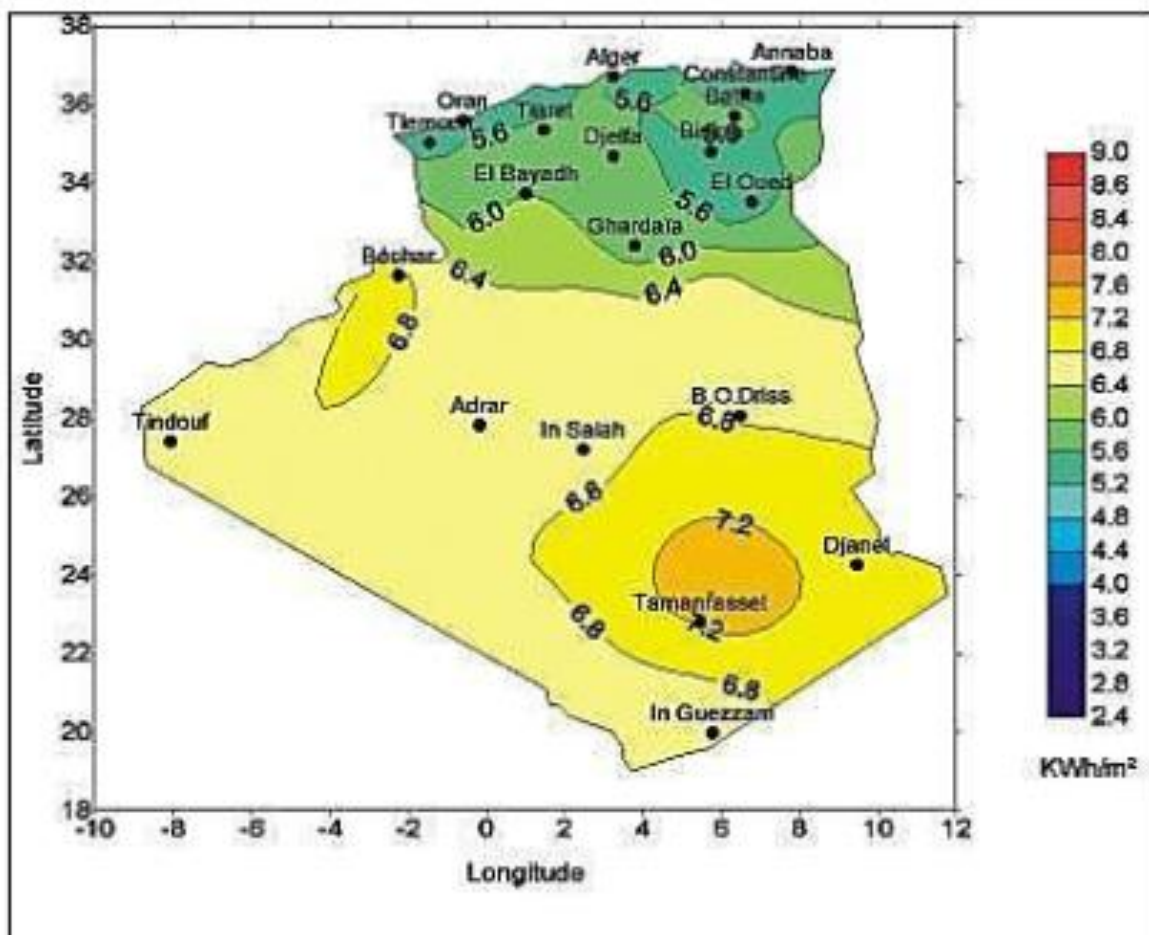
L'éclairement est défini comme la puissance reçue par une surface. Elle est exprimée en watt par mètre carré. Le S.I. recommande l'utilisation du symbole G . Il est à noter qu'en plus de l'impact de l'atmosphère, l'irradiation solaire dépend de :

- L'orientation et l'inclinaison de la surface,
- La latitude du lieu et son degré de pollution,
- La période de l'année et l'heure considérée,
- La nature des couches nuageuses.

L'irradiation est l'énergie reçue par une surface. Elle est exprimée en joule par mètre carré (J/m^2). L'ISES (International Solar Energy Society) recommande le symbole H . D'autres unités plus courantes sont watt-heure par mètre carré (Wh/m^2) bien que cette dernière ne doive pas être utilisée, car elle n'appartient pas au Système international d'unités (SI) [12].



(a)



(b)

Figure I.9 : Irradiation moyenne annuelle en kWh/m²/jour sur un plan horizontal [13].

a) dans le monde. b) en Algérie.

La terre reçoit chaque année un éclairage moyenne de $1,36 \text{ KW/m}^2$ (Figure I.9), cette irradiation est pondérée par divers facteurs à la surface de la Terre : absorption par les molécules des différentes couches de l'atmosphère, conditions climatiques, latitude du lieu d'observation et saison.

I.2.5. Orientation et inclinaison d'une surface :

I.2.5.1. Angle d'incidence (δ^i) :

L'angle d'incidence est l'angle que font les rayons du soleil avec la normale du plan considéré, il est défini par l'Azimut de la normale du plan α (Orientation du plan). α est compté dans le sens rétrograde ($\alpha < 0$ vers l'Est, $\alpha > 0$ vers l'Ouest).

M. Capderou utilise la hauteur de la normale du plan γ pour calculer $\cos(\delta^i)$ de l'angle d'incidence, λ est positive pour les plans tournés vers le haut et négative pour les plans tournés vers le bas, donc c'est les angles α et γ qui déterminent la position du plan. L'angle d'incidence sur un plan quelconque est donné par M. Capderou par les formules suivantes [5] :

$$\cos(\delta^i) = a' \cdot \sin(\omega) + b' \cdot \cos(\omega) \quad (\text{I.3})$$

$$\text{Avec : } a' = \cos(\delta) \cdot [\sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma)] \quad (\text{I.4})$$

$$b' = \cos(\delta) \cdot [\cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\varphi) + \sin(\gamma) \cdot \cos(\varphi)] \quad (\text{I.5})$$

$$c' = \sin(\delta) \cdot [-\cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\gamma) \cdot \sin(\varphi)] \quad (\text{I.6})$$

ω : Angle Horaire.

δ : Déclinaison solaire.

α : Orientation du plan

γ : Hauteur de la normal du plan.

φ : Latitude du lieu.

β : Inclinaison du plan.

Les variations de l'angle d'incidence en fonction du temps, pour différentes saisons, sont représentées sur la figure (I.10) :

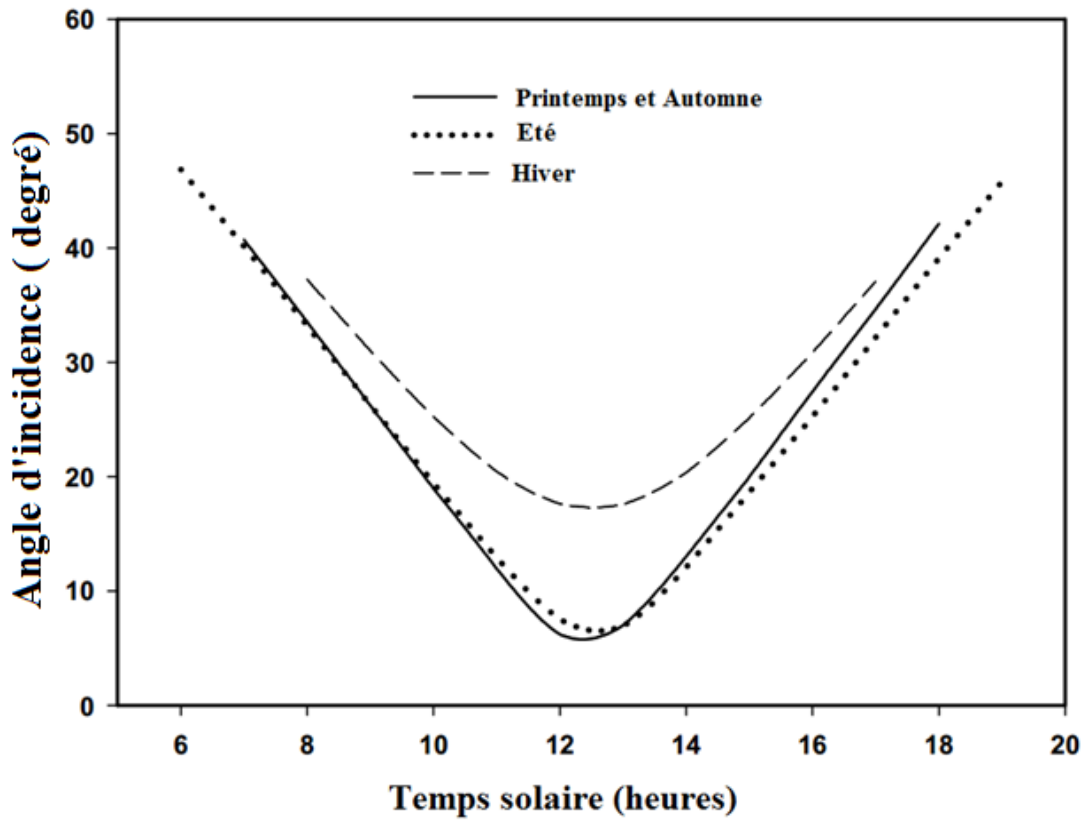


Figure I.10: Variation de l'angle d'incidence en fonction du temps [14].

I.2.5.2. Angle d'inclinaison :

C'est l'angle que fait la surface avec le plan horizontal. L'inclinaison de la surface est désignée par la variable β , choisie de telle sorte que :

$\beta = 0^\circ$ pour une surface horizontale.

$\beta = 90^\circ$ pour un plan vertical.

$\beta = 180^\circ$ pour un plan horizontal tourné vers le bas.

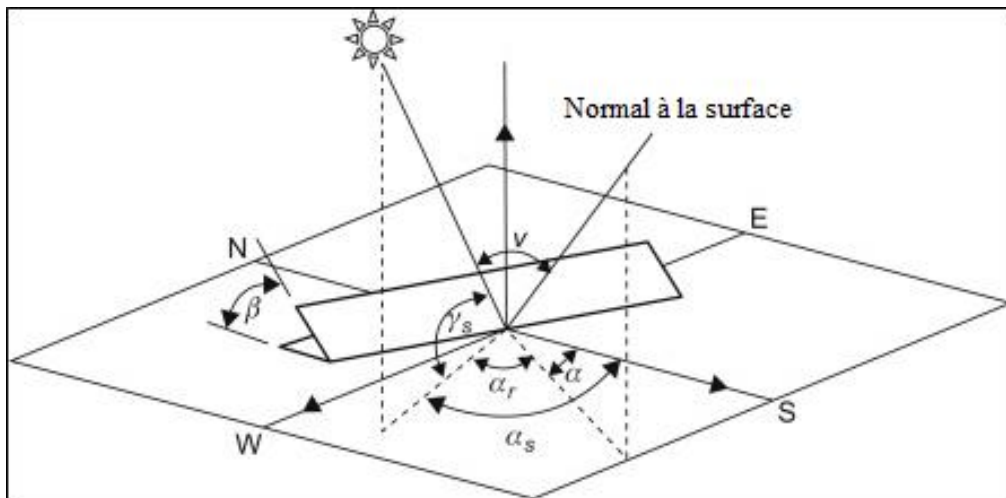


Figure I.11 : Orientation et inclinaison d'une surface [4].

I.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a montré que malgré le grand potentiel de l'énergie renouvelable, celle-ci n'est pas exploitée, ainsi que les caractères du soleil et de la terre.

L'Algérie, comme on l'a vu précédemment, est parmi les pays qui ont l'avantage d'utiliser l'énergie solaire comme solution future pour remplacer l'énergie fossile. Pour cela, il faut que tous les énergéticiens orientent leurs perspectives vers l'énergie verte et solaire, particulièrement en Algérie, parce qu'elle est renouvelable et non polluante.

CHAPITRE II

Capteurs et fours solaire

II.1. Introduction :

Le charbon, le gaz naturel, l'électricité et le bois sont parmi les sources d'énergie les plus utilisées pour la cuisson. Or, ces énergies sont limitées et polluantes. C'est pourquoi l'utilisation du four solaire semble un bon compromis dans les pays ensoleillés et en voie de développement.

Dans ce chapitre, on va faire une recherche sur un historique et évolution du four solaire, les différents systèmes à cuisson solaire et enfin le fonctionnement du four solaire étudié.

II.2. Capteur Solaire :

II.2.1. Définition d'un capteur solaire :

Un capteur solaire est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire et le convertit en chaleur qui sera transmise à un fluide caloporteur. Ce système de captage a pour base l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible et du proche infrarouge. Il traverse la vitre puis il est piégé à l'intérieur où il est capté par la surface absorbante [16].

L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (entre 4 et 30 μm). Ce rayonnement est totalement arrêté par la paroi du verre qui s'échauffe et rayonne par moitié vers la surface absorbante et par moitié vers l'extérieur. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température à la traversée du capteur [17].

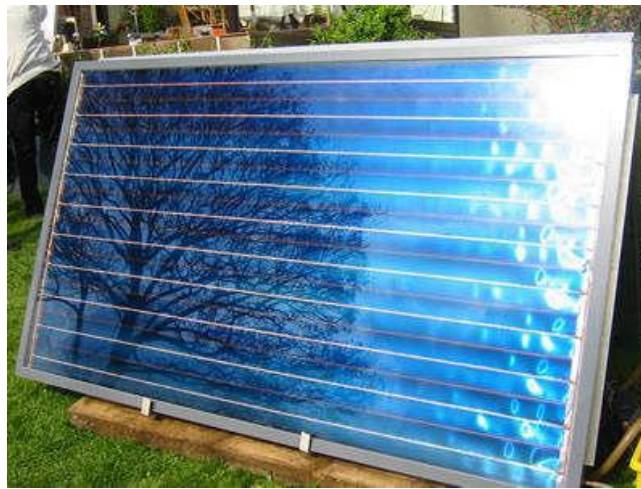


Figure II.1 : Capteur solaire thermique [17].

II.2.2. Composition d'un capteur solaire :

Les techniques et les matériaux utilisés dans la fabrication des capteurs solaires sont similaires à ceux employés dans le secteur traditionnel du chauffage, du sanitaire et des verrières. Généralement, un capteur solaire est composé des éléments suivants :

II.2.2.1. Couverture transparente (Vitre) :

La couverture est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur. On ne peut utiliser que des matériaux transparents. L'intérêt d'une

couverture transparente habituelle pour le rayonnement solaire est d'autant plus grand que la température de fonctionnement du convertisseur est élevée. C'est donc pour des températures dépassant 70°C qu'on peut envisager d'installer un double vitrage afin d'accroître le rendement. Les couvertures transparentes habituelles sont pour la plupart en verre en simple ou double vitrage, trempé ou non, armé ou non, mais on peut trouver aussi des produits plastiques de synthèse ayant la propriété de réaliser l'effet de serre tel que le polycarbonate, le poly méthacrylate ou bien le polyester armé [16].

II.2.2.2. Absorbeur :

Il a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre celle-ci à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes. En général, l'absorbeur n'est qu'une plaque plane en métal dont la couche superficielle donnant sur le soleil, doit être douée d'un coefficient d'absorption le plus élevé possible. Les meilleurs coefficients sont de l'ordre de 0,95. Seules les couleurs foncées permettent d'obtenir des valeurs aussi élevées, l'idéal étant le noir évidemment. Par ailleurs, il vaut mieux que cet aspect ait été obtenu par un traitement (chimique ou autre) plutôt que par une couche de peinture. Pour limiter les pertes par réémission de rayonnement infrarouge, il importe que l'absorbeur possède aussi la propriété d'émissivité superficielle la plus faible possible (valeur inférieure à 0,15). Dans ce cas, l'absorbeur sera qualifié de sélectif. La surface sélective a pour rôle justement, une fois le rayonnement solaire absorbé, de transformer la bande du visible en infrarouge. Il importe que la plaque soit métallique, car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (tableau II.1) [17].

Tableau II.1 : Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques [3].

Métal	Conductivité thermique (W/m.K)	Chaleur massique (J/kg.K)	Masse volumique (kg/m ³)	Diffusivité (10 ⁻⁶ m ² /s)
Cuivre	384	398	8900	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

II.2.2.3. Fluide caloporteur :

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'air, soit l'eau, des mélanges eau glycol sont aussi employés à cause des conditions climatiques, ces mélanges ont une chaleur spécifique inférieure à celle de l'eau pure. Par rapport à l'eau, l'air n'a pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été et il n'y a pas de problème de

corrosion. Néanmoins, l'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux et les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau. D'autre part, quel que soit le système, le contact entre les tuyaux véhiculant le fluide et la plaque absorbante doit être très intime, soit par emboutissage, soit par soudure. De même, l'espacement entre les tuyaux devra être rigoureusement calculé en fonction du diamètre du tuyau de l'épaisseur de la plaque et des matériaux employés. Les tuyaux de circulation du fluide en contact avec l'absorbeur seront de préférence placés en parallèle plus tôt qu'en serpentin.

II.2.2.4. Isolation thermique :

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement des différentes parties périphériques vers l'extérieur. Les solutions adaptées sont les suivantes :

- **Partie avant de l'absorbeur :** La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection [18].
- **Partie arrière et latérale :** Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture. En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres, car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction [16].

II.2.2.5. Coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques.

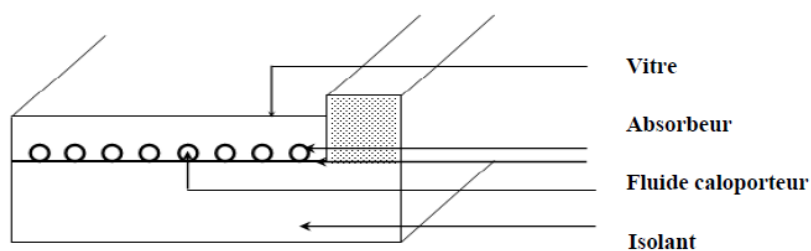


Figure II.2 : Composants d'un capteur solaire [18].

II.2.3. Types des capteurs solaires thermiques :

Il existe plusieurs types de capteur solaire, on cite :

II.2.3.1. Capteurs plans non vitrés à revêtement sélectif :

Sont des capteurs simples adaptés aux basses températures et peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement, ils peuvent être utilisés pour le chauffage des piscines et le chauffage de l'eau chaude sanitaire.



Figure II.3 : Capteurs solaires sans vitrage [17].

II.2.3.2. Capteurs plans vitrés :

C'est un dispositif sans concentration dans lequel la surface de l'absorbeur est une plaque métallique sensiblement plane et noircie pour absorber le maximum de rayonnement. Elle est recouverte d'une vitre sur la face avant et isolée sur les faces latérales et arrière. Les rayons solaires qui traversent la vitre sont absorbés par l'absorbeur qui s'échauffe et émet des rayons infrarouges. Ces derniers restent piégés dans le capteur à cause de la vitre (effet de serre) et de l'isolant sur les autres parois. Un liquide dans des tubes récupère la chaleur et la véhicule jusqu'au point d'utilisation [16].

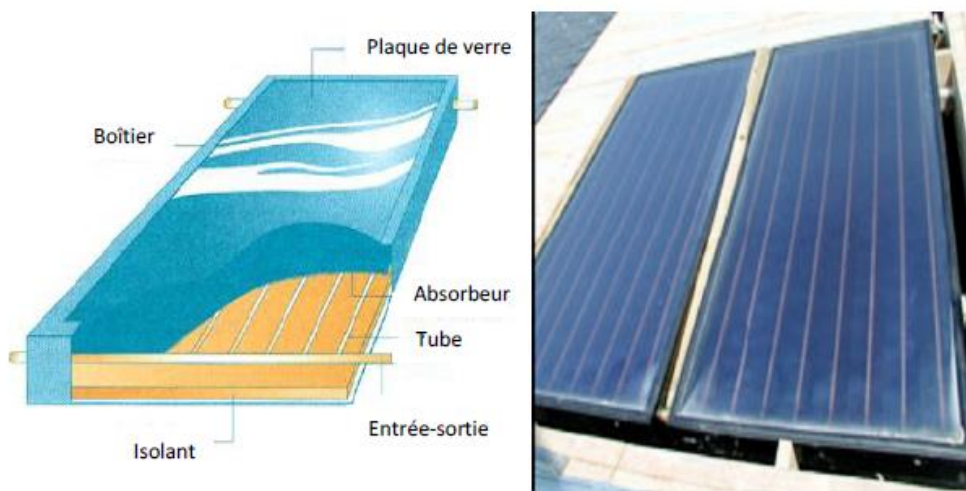


Figure II.4 : Capteur solaire vitré [16].

II.2.3.3. Capteurs à tubes sous vide :

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur, celui-ci reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique ou un coffre de protection. La fabrication des tubes et l'assemblage des capteurs sont simplifiés, car il n'y a pas de soudures verre/métal. Par contre, les tubes thermos sont particulièrement fragiles au point de liaison avec le collecteur, où la partie extérieure et la partie intérieure de chaque tube se rejoignent. En général, la pression dans l'espace vide est inférieure à 1 atm. Ainsi, les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur sont quasiment éliminées.

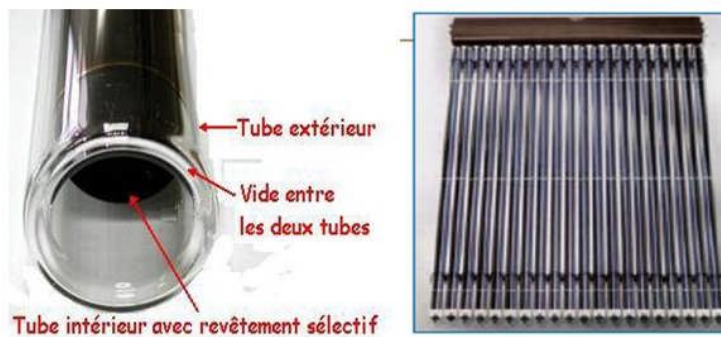


Figure II.5 : Capteurs à tube sous vide [16].

II.2.3.4. Capteurs cylindro-parabolique :

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement, ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil.



Figure II.6 : Système à réflecteur cylindro-parabolique [16].

II.2.3.4 Capteurs solaires photovoltaïques :

Le mot photovoltaïque est composé du terme photo, qui signifie lumière et de voltaïque dont l'origine est le nom de l'inventeur de la pile électrique Volta. Autre explication est le synonyme de photopile. Une photopile est constituée généralement de deux couches – positive et négative (Figure II.7). Leur contact permet une pénétration des électrons d'une couche à l'autre et dès qu'un rayon de soleil arrive sur le panneau, un apport d'énergie se crée. Le courant produit à la sortie d'une cellule photovoltaïque est de type continu [15].

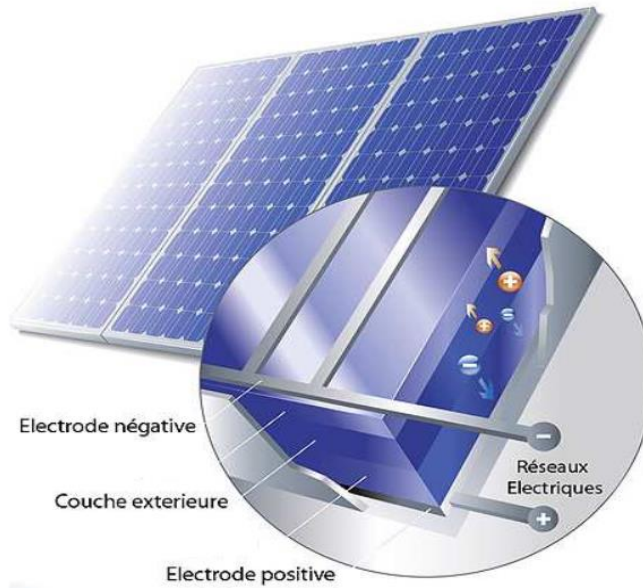


Figure II. 7 : Cellule photovoltaïque [15].

II.2.4. Bilan énergétique d'un capteur solaire plan :

Le bilan énergétique d'un capteur plan est défini par l'énergie solaire absorbée par le capteur (Q^*), l'énergie utile emmagasinée dans le fluide caloporteur (Q_u), les pertes thermiques (Q_a) et l'énergie d'inertie thermique de l'installation (Q_t). Ce bilan thermique est exprimé par :

$$Q^* = Q_u + Q_a + Q_t \quad (\text{II.1})$$

Le rendement du capteur solaire, définie comme étant le rapport entre la quantité d'énergie utile récupérée et le rayonnement global incident, est donné par [27] :

$$\eta = \frac{Q_u}{I_g \cdot S_{abs}} \quad (\text{II.2})$$

La puissance globale reçue par le capteur (G^*) s'exprime en W/m^2 . L'énergie utile (Q_u) produit par le capteur est obtenue par l'expression du bilan énergétique en régime permanent où l'énergie d'inertie thermique Q_t est négligeable [19] :

$$Q_u = Q^* - Q_a \quad (\text{II.3})$$

Avec :
$$Q^* = G^* \cdot \tau_c^* \cdot \alpha_p^* \quad (\text{II.4})$$

τ_c^* : Coefficient de transmission solaire de la couverture transparente.

α_p^* : Coefficient d'absorption solaire

$$Q_a = K \cdot (T_p - T_a) \quad (\text{II.5})$$

K : Conductance thermique du capteur

T_p : Température de l'absorbeur

T_a : Température ambiante.

Le rendement d'un capteur solaire thermique est un nombre compris entre 0 et 1 (ou 0 % et 100%) et représente la part d'énergie solaire transformée sous forme de chaleur au fluide caloporteur.

Le rendement d'un capteur est le rapport entre la chaleur utile (Q_3) transmise au fluide et le rayonnement solaire incident (E_0) :

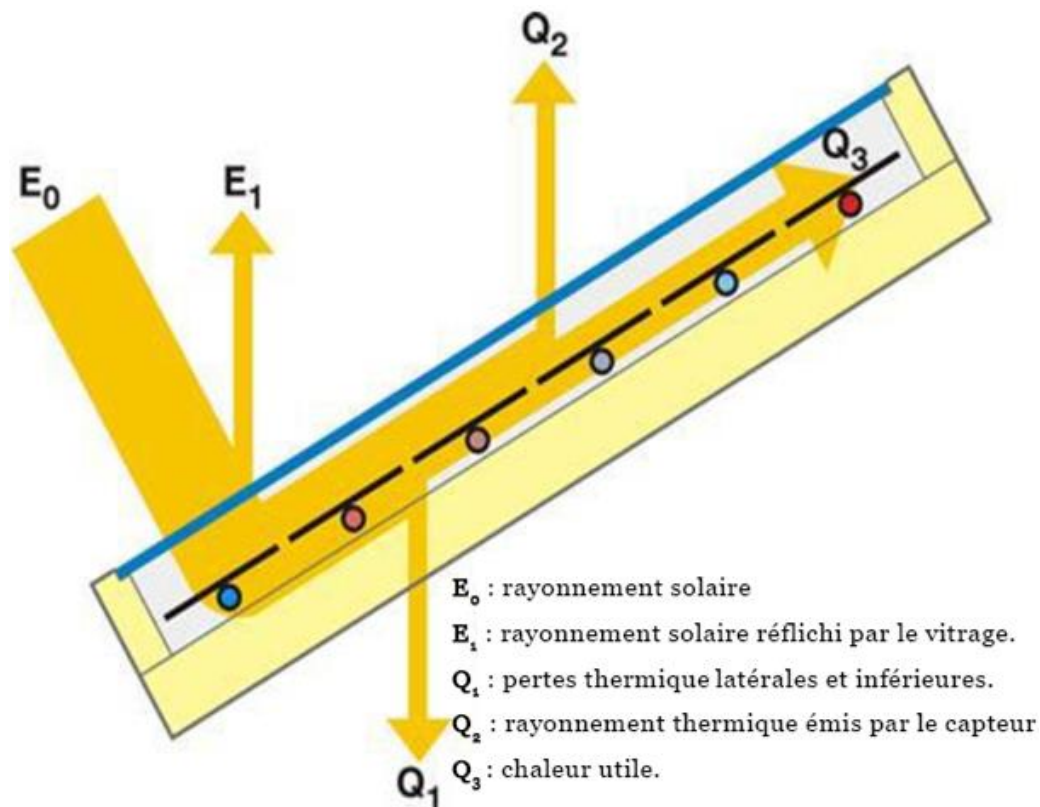


Figure II.8 : Bilan énergétique dans un capteur plan.

Soit l'expression de ce rendement [20] :

$$\eta = \frac{Q_3}{E_0} \quad (I.6)$$

Cette chaleur utile Q_3 est définie par le bilan des apports solaires utiles et des pertes thermiques :

$$Q_3 = E_0 - E_1 - Q_2 - Q_1 \quad (I.7)$$

II.2.5. Paramètres influant sur le rendement du capteur solaire :

Le rendement d'un capteur solaire plan est influencé par différents paramètres. On distingue les paramètres externes et internes [21] :

II.2.5.1. Paramètres externes :

Les paramètres externes sont :

1-Paramètres d'ensoleillement :

- Eclairage énergétique dû au rayonnement global ;
- Position du soleil et durée d'insolation ;
- L'heure de la journée et la saison ;
- La position géographique du lieu considéré (latitude).

2- Température ambiante.

3- Vitesse du vent.

II.2.5.2. Paramètres internes :

Les paramètres internes sont :

1- Paramètres de position

- Orientation, inclinaison et emplacement du capteur ;
- Capteur fixe ou suiveur du soleil.

2- Paramètres de construction.

Parmi lesquels nous citons :

➤ L'absorbeur :

- Propriétés thermo-physiques ;
- Dimensions des tubes, de la plaque absorbante et espacement entre les tubes ;
- Introduction des rugosités artificielles et de la surface sélective ;
- Epaisseur de la lame d'air entre l'absorbeur et la vitre ;
- Géométrie des canaux (carrée, rectangulaire, hexagonale, circulaire) ;
- Configuration du réseau de circulation du fluide caloporteur ;
- Température de l'absorbeur ;
- La différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant.

➤ Couverture transparente

- Propriétés optiques et thermo-physiques ;
- Epaisseur ;
- Le nombre de vitrage et la forme.

➤ L'isolant

- Propriétés thermo-physiques et optiques ;
- Epaisseur.

➤ Fluide caloporteur

- Régime d'écoulement (laminaire ou turbulent) et le débit ;
- Température d'entrée ;
- Propriétés thermo-physiques.

II.3. Cuiseurs solaires :

Le four solaire est un système de chauffage ou de cuisson basé sur la capture du rayonnement solaire émis par le soleil, et les transforme en chaleur afin de l'utiliser pour le chauffage.

II.3.1. Evolution des cuiseurs solaires :

Depuis des siècles, les gens ont utilisé le soleil et son énergie pour cuire et sécher leur alimentation, ainsi que de les préserver plus longtemps. En effet, Horace de Saussure, un naturaliste suisse a cuit des fruits dans un boîtier simple recouvert de trois carreaux en verre, en 1767. En Afrique du Sud, l'astronome britannique John Herschel a utilisé un cuiseur de type boîte en 1830. Aux États-Unis, Samuel P est le premier à utiliser le cuiseur solaire en 1881. En Algérie Mouchot a cuit avec un concentrateur concave en 1860. Charles Abbot a créé une boîte avec des armatures réfléchissantes paraboliques qu'il a dirigées sur un récipient d'huile de moteur. Cette huile a chauffé la boîte à une température de 177°C. La chaleur résiduelle, ainsi dégagée, a permis la cuisson plus tard en soirée. Dans les années 1900, Maria Telkes des États-Unis, a fait de la recherche sur plusieurs prototypes de cuiseurs solaires à panneaux. Toutefois, ces premiers modèles de cuiseurs solaires présentent des inconvénients : ils étaient chers et inconfortables.

En Algérie, la cuisson solaire reste toujours méconnue par le grand public. Même si un projet pour introduire cette activité en milieu saharien était inscrit en 2004, beaucoup d'efforts restent à fournir pour développer et généraliser cette application qui peut être très bénéfique au niveau des régions isolées [22].

II.3.2. Modèles des cuiseurs solaires :

Il existe trois principaux modèles de base [22] :

II.3.2.1. Le cuiseur parabolique :

Basés sur le principe de la concentration des rayons solaires, ces cuiseurs sont constitués de disques concaves sous forme de parabole, qui concentrent la lumière solaire sur le fond du récipient. Pour concentrer les rayons solaires, on trouve généralement deux types : les cuiseurs paraboliques à réglage manuel et les cuiseurs paraboliques à réglage automatique.

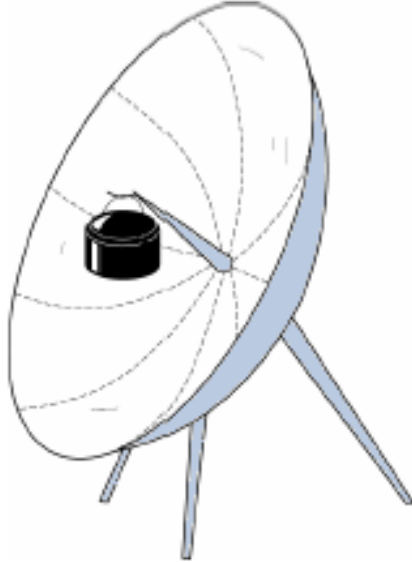


Figure II.9 : Cuiseur parabolique.

II.3.2.2. Le cuiseur à panneaux :

Constitué de différents panneaux plans réfléchissants et d'un récipient noir englobé dans un sac en plastique. Il combine les deux principes de concentration des rayons et d'effet de serre. Les rayons sont reflétés en direction du récipient tandis que le sac crée l'effet de serre.

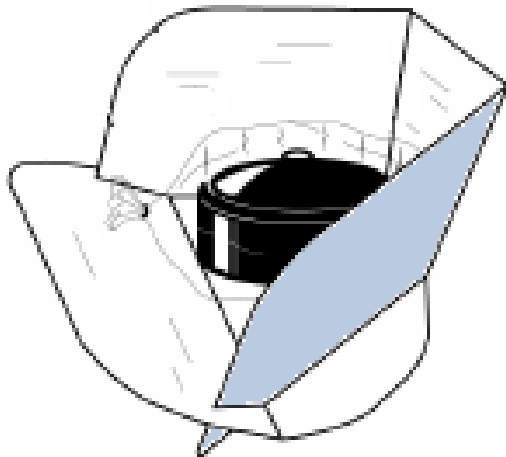


Figure II.10 : Cuiseur à panneaux.

II.3.2.3. Le cuiseur type boîte :

C'est le type de four solaire le plus répandu. Il est constitué d'une boîte dont l'intérieur est tapissé de réflecteurs et d'une couverture transparente sur le dessus. Le rayonnement pénètre à

l'intérieur de la boîte et est réfléchi sur un récipient dont la surface absorbe les rayons. La couverture transparente permet d'isoler l'intérieur du four de l'extérieur et de garder le maximum de chaleur (c'est le principe de l'effet de serre). Parfois, la couverture est composée d'un ou plusieurs réflecteurs positionnés de manière à apporter davantage de rayonnements solaires.

La puissance est généralement plus faible par rapport aux fours solaires paraboliques, ce type nécessite plus de temps de cuisson. La température maximale de four varie selon les modèles, mais tourne autour des 150°C. Les fours solaires de type boîtes ont l'avantage d'être plus faciles à fabriquer, peu encombrants et simples à utiliser.



Figure II.11 : Four Type boîte.

II.3.2.3.1. Principe de fonctionnement du four solaire type boîte :

Le four solaire est une boîte bien isolée, son fonctionnement est décrit comme suit :

- Les rayons du soleil entrent par la vitre et se réfléchissent sur les bords de la boîte jusqu'à heurter la surface sombre de la marmite.
- L'énergie de ces rayons est alors transformée en chaleur, chaleur qui est emprisonnée dans la boîte (l'effet de serre).
- Pour augmenter le flux solaire capté, une oreillette recouverte d'aluminium est fixée à la boîte afin de réfléchir la lumière sur la vitre qui doit être la plus perpendiculaire possible aux rayons du soleil.
- Le four solaire ne fonctionne qu'avec le rayonnement direct du soleil : nuages, brumes, poussière réduisent donc le rayonnement et prolongent le temps de cuisson [21].

II.3.2.3.2. Composants et caractéristiques d'un four solaire type boîte :

Essentiellement, le four solaire type boîte se compose des éléments suivants [24] :

- a. Plaque absorbante (absorbeur) :** C'est le sol du four qui est peint en noir. C'est la partie qui recueille la lumière du soleil et la convertit en chaleur étant donné que c'est un corps noir. Il est fait de feuille d'aluminium.

La surface du récepteur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité et diffusion thermique.
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.

En effet, étant donné que la lumière est constituée de photons se déplaçant sous forme d'onde, un matériau de couleur noire peut absorber toutes les longueurs d'ondes. L'énergie électromagnétique absorbée va donner lieu à une agitation particulière qui va se traduire par une augmentation de la température.

- b. Vitrage :** Il forme le couvercle du four solaire. Il permet au soleil d'atteindre la plaque absorbante tout en empêchant la pluie, le vent et le froid de pénétrer à l'intérieur de la boîte. Ce qui entraînera une perte de chaleur.
- c. Boîtier :** Généralement fait en bois compressé afin de réduire les pertes de chaleur, on peut le considérer comme un isolant primaire.

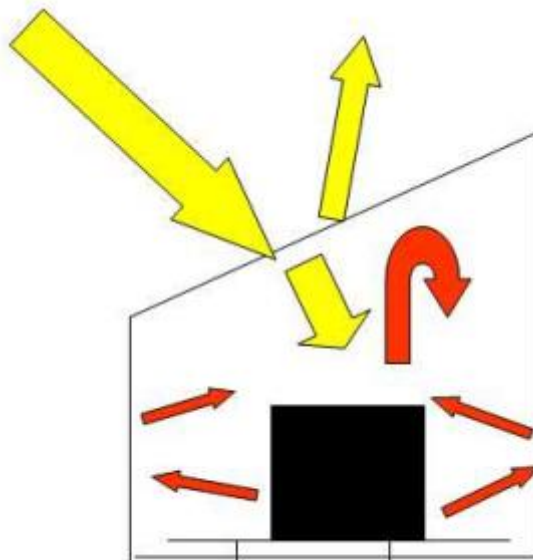


Figure II.12 : Circulation des rayons lumineux dans un four type boîte.

À l'intérieur du four, circulent des rayons lumineux qui vont du visible à l'infrarouge lointain servant à chauffer le récipient. Pour renvoyer ces rayons, des plaques d'aluminium peuvent être placées sur les parois intérieures du boîtier. Celles-ci sont constituées d'une surface réfléchissante et vont renvoyer l'ensemble des ondes électromagnétiques vers l'intérieur et donc vers le récipient.

d. Isolant : Il est utilisé pour minimiser les pertes de chaleur du système vers le milieu extérieur. Il est placé sous la plaque absorbante, entre la boîte et les parois internes du boîtier.

L'isolant doit être capable de résister à la température de stagnation, il doit être résistant à la chaleur et non soumis au dégazage, et ne doit pas être endommagé par l'humidité ou les insectes.

Une bonne valeur d'isolation (rétention de chaleur) est essentielle pour que l'intérieur de la boîte atteigne des températures suffisamment élevées pour la cuisson. Les parois et le fond de la boîte doivent avoir une bonne valeur d'isolation.

Lors de la construction, il est important que les matériaux d'isolation entourent la cavité de cuisson intérieure de la boîte solaire de tous les côtés, à l'exception du côté vitré - généralement le dessus. Les matériaux isolants doivent être installés de manière à permettre une conduction minimale de la chaleur des matériaux de structure de la boîte intérieure aux matériaux de structure de la boîte extérieure. Plus la perte de chaleur de la boîte est faible, plus les températures de cuisson sont élevées.

e. Réflecteur : Il s'agit généralement d'un miroir plan fixé sur le couvercle du four pour diriger plus de rayons solaires vers l'absorbeur. Le réflecteur doit être maintenu en position verticale au-dessus de la boîte.

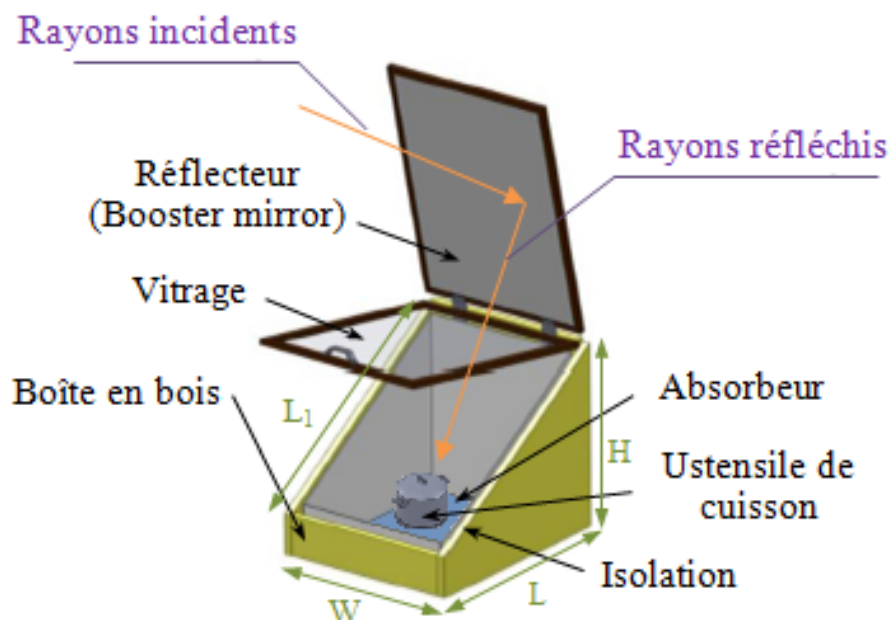


Figure II.13 : Composants du four solaire type boîte [23].

II.4. Temps de cuisson :

L'utilisation des cuiseurs solaires est plus écologique et économique. Les gens des régions isolées de toute civilisation utilisent souvent cette technologie plutôt ancienne. Un minimum de 40 minutes d'ensoleillement suffit pour un bon fonctionnement.

La température atteinte par les cuiseurs solaires simples (de type boîte et les cuiseurs à panneaux réfléchissants) est généralement comprise entre 100 et 200 °C et dépend tout d'abord du nombre et de la taille des panneaux utilisés. La température atteinte par d'autres types de cuiseurs (les cuiseurs paraboliques) varie entre 150 et 250 °C en fonction du diamètre du réflecteur.

Cependant, des températures comprises entre 80 et 90 °C suffisent pour cuire les nourritures et gardent leurs goûts, humidités et éléments nutritifs (Fig 1.15) [22]

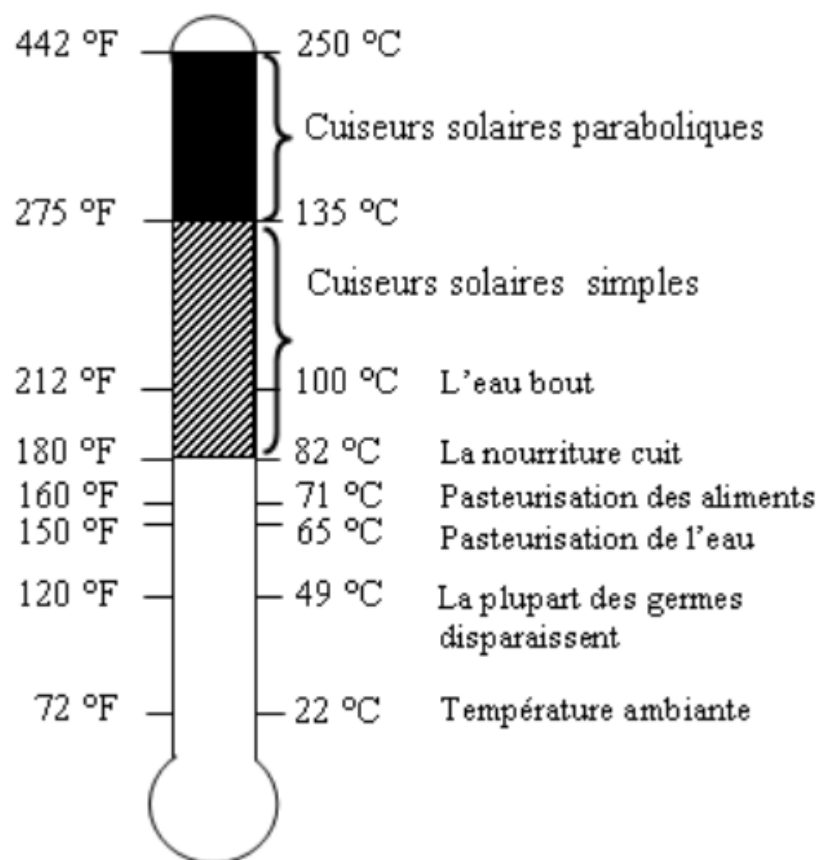


Figure II.14 : Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs [25].

II.5. Etude Expérimentale :

Les résultats de l'expérience de A. Aremu & R. Akinoso sont représentés dans la figure ci-dessous. L'expérience est faite sur un cuiseur solaire type boîte avec un réflecteur et un absorbeur en aluminium en variant l'isolant (épi de maïs, air, ensilage de maïs, fibre de coco et polyuréthane). La température du cuiseur solaire type boîte a été déterminée en surveillant l'élévation de la température de la plaque absorbante sans charge.

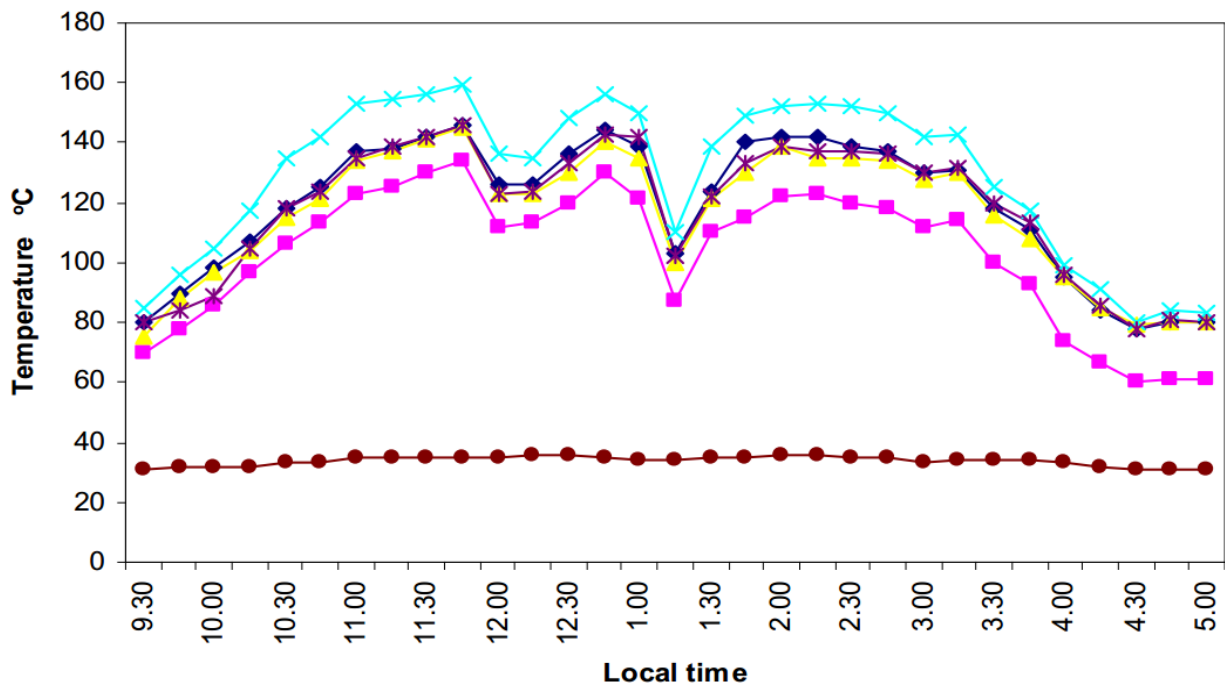


Figure II. 15 : Evolution de la température par rapport au temps [26].

T1, T2, T3, T4 et T5 correspondent respectivement à la température du cuiseur solaire en épi de maïs, à l'air, à l'ensilage de maïs, à la fibre de coco et à la mousse de polyuréthane, et TA est la température ambiante.

Les températures maximales étaient respectivement de 148°C, 134°C, 145°C, 159°C et 147°C pour l'épi de maïs, l'air, l'ensilage de maïs, la fibre de coco et le cuiseur solaire isolé en mousse de polyuréthane.

La température la plus basse enregistrée (120°C) était supérieure à 100°C, le cuiseur peut être adopté pour la cuisson, le séchage et le chauffage. La diminution progressive de la température peut être attribuée à la détérioration (rayures de la feuille d'aluminium, saleté, faiblesse des joints) de cuiseur avec le temps [26].

II.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'élément le plus important de l'exploitation de l'énergie solaire qui est le capteur solaire dont on a résumé quelques types. Par la suite, on a cité les différents types de fours solaires, leur fonctionnement, leurs composants et leur caractéristique. Dans le chapitre suivant, nous présenterons les résultats obtenus de la simulation numérique et leurs interprétations.

CHAPITRE III

Simulations numériques

III.1. Introduction :

La simulation est une étape essentielle au développement des prototypes avant la réalisation finale de n'importe quel projet. Elle permet d'effectuer l'analyse du problème dans des conditions à moindre coût. Elle nous donne une perspective presque proche de celle qui va se passer dans la réalité ou au contraire dans des conditions d'essais extrêmes pour en connaître les limites. Le but de cette simulation est de choisir les bons matériaux pour avoir un maximum de performances sur notre four solaire type boîte tout en prenant en considération la disponibilité et le côté financier des matériaux.

III.2. Modélisation :

III.2.1. Le Four Source :

Pour notre simulation, on a pris comme modèle, le four sans réflecteur présenté dans la référence [25].

Le four solaire est constitué d'une boîte extérieure en bois d'une épaisseur de 5mm, d'une boîte interne de cuisson en feuille d'aluminium d'une épaisseur de 1mm, d'un couvercle à simple vitrage de 3mm d'épaisseur et d'un isolant thermique. L'espace entre le boîtier externe et le boîtier interne, y compris le fond du plateau, est rempli d'un matériau isolant de 40mm d'épaisseur pour réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur.



Figure III.1 : Four solaire type boîte.

Les épaisseurs des composants du four type boîte sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : les matériaux et les épaisseurs des différents composants du four

Composant	Matériau	Épaisseur [mm]
Parois extérieures	Bois	5
Isolant	Polystyrène	40
	Laine de verre	
Parois intérieures	Feuille d'aluminium	1
	Cuivre	
Vitre	Verre	3
Absorbeur	Feuille d'aluminium	1
	Cuivre	

III.2.2. Model de la simulation :

Pour faire une simulation, une géométrie 2D/3D est nécessaire. Nous nous intéresserons comment se propage la température dans le four. Le choix de la géométrie était pris à partir du document « four solaire entropie juillet 2013 ».

Les figures (III.2) et (III.3) montrent la vue globale du modèle 3D ainsi que les principales dimensions de notre four solaire.

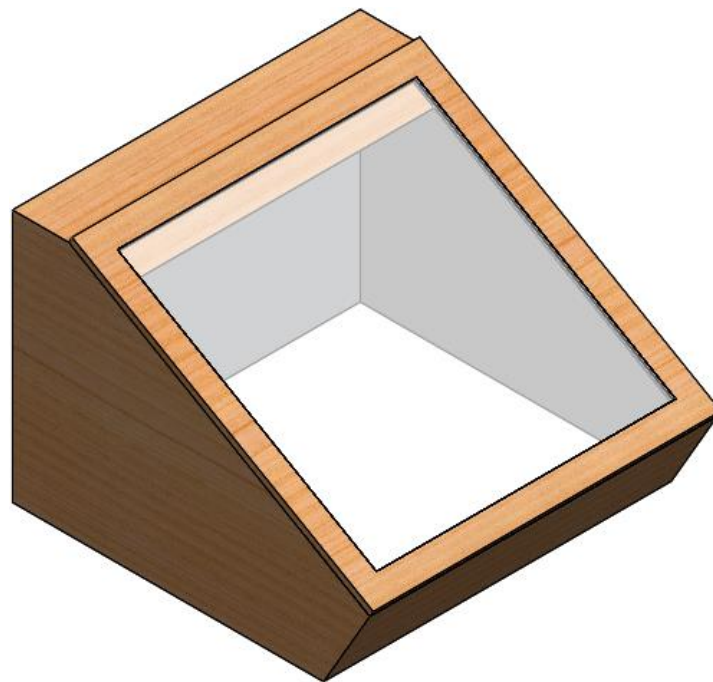


Figure III.2 : Géométrie du four solaire type boîte

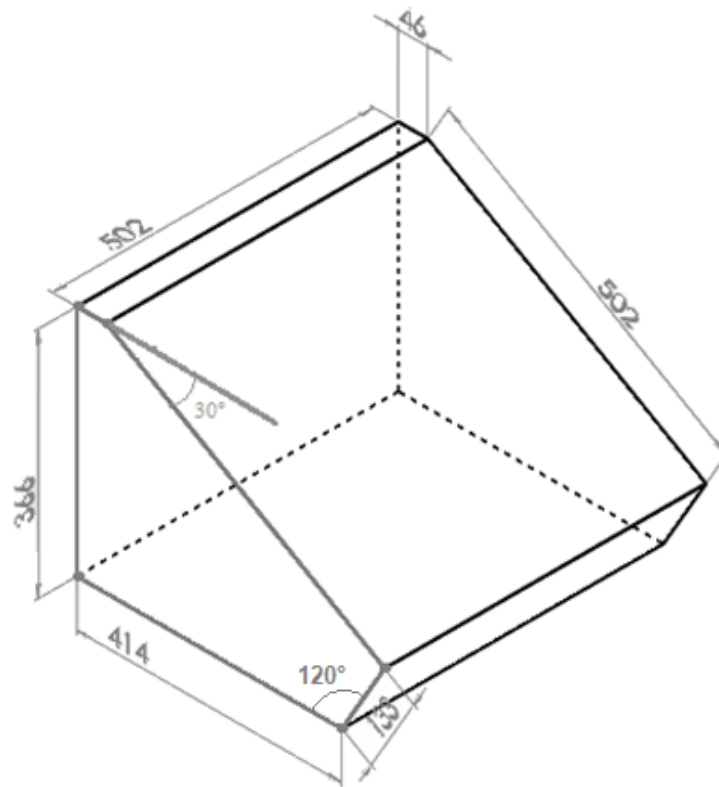


Figure III.3 : dimensions (en millimètre) du four solaire type boîte

III.2.3. Maillage :

Un maillage est une partition de l'espace ou d'un domaine en cellules appelées éléments. La génération du maillage (2D ou 3D) est une phase très importante dans une analyse CFD (Computational fluid dynamics).

On a opté pour un maillage uniforme carré de 151110 nœuds, 141984 éléments et d'une taille de face max de 7mm après plusieurs essais préliminaires effectués pour tester la sensibilité des solutions au choix du maillage.

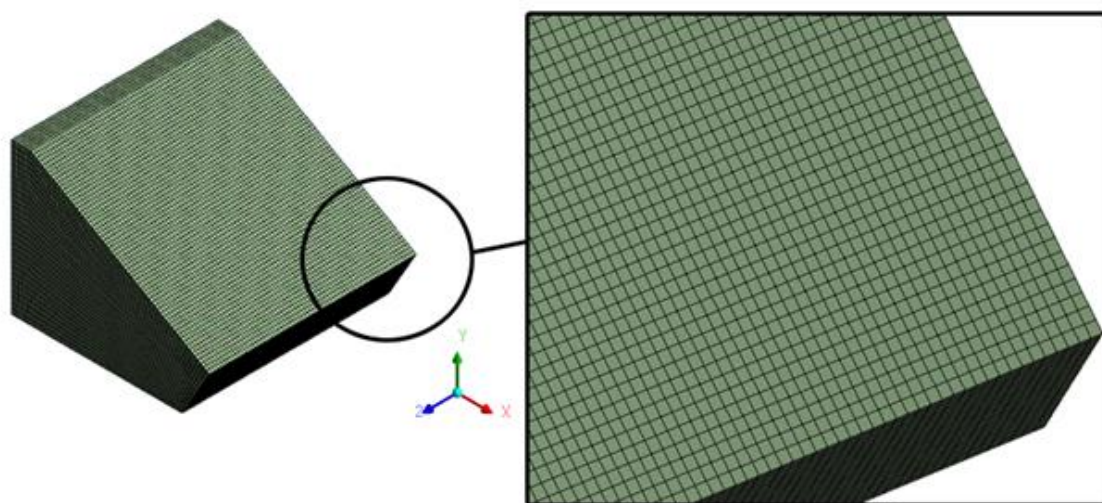


Figure III.4 : Maillage adopté pour la simulation.

III.2.4. Choix des matériaux :

Le tableau ci-dessous représente les propriétés thermo-physiques des matériaux utilisés lors de la simulation.

Tableau III.2 : les propriétés thermo-physiques des matériaux constituant notre four.

	Densité [kg/m ³]	Chaleur Massique [J/kg.K]	Conductivité Thermique [W/m.k]
Matériaux d'Isolations			
Polystyrène	15	1500	0.038
Laine de verre	35	1030	0.039
Matériaux Parois intérieures et Absorbeur			
Aluminium	2719	871	202.4
Cuivre	8978	381	387.6
Matériaux vitre			
Verre	2500	750	1.15
Matériaux Parois extérieures			
Bois	700	2310	0.173

Le choix des matériaux est basé essentiellement sur leur disponibilité, le coût d'achat ainsi que leur légèreté et maniabilité.

On désigne par SIM1, la simulation qu'on a faite avec les paramètres suivants :

- Parois internes en aluminium.
- Isolation en polystyrène.
- Absorbeur en aluminium.

On désigne par SIM2, la simulation qu'on a faite avec les paramètres suivants :

- Parois internes en aluminium.
- Isolation en laine de verre.
- Absorbeur en aluminium.

Le reste des paramètres simulations est résumé dans le tableau III.3.

III.3. Simulation :

III.3.1. Condition de simulation :

Pour la simulation, on a pris les conditions suivantes :

- ✓ Le temps simulé était le 21 juin.

En effet, selon la Figure (I.1), la déclinaison solaire atteint son maximum entre 21 et 22 juin de chaque année avec une valeur proche de 24°.

- ✓ La période choisie était entre 12h et 13h.
- ✓ La pression de référence est de 101325 Pa.
- ✓ La force gravitationnelle est $-9,81 \text{ m/s}^2$ selon l'axe y.
- ✓ Les parois du boîtier supposé isolées au modèle de traçage des rayons solaires.
- ✓ La vitesse du vent supposée nulle tout le long de la simulation.
- ✓ L'absorbeur supposé isolé au-dessus (il n'y a pas de transfert ni de perte thermique).
- ✓ Selon l'endroit géographique, on a fait deux simulations, la première selon les coordonnées géographiques d'Adrar et l'autre est simulé à Bejaia.
 - ❖ Condition de Simulation selon Adrar
 - Les coordonnées géographiques choisies sont : 28.0174° Nord, 0.2642° Ouest et GMT +1 comme fuseau horaire ce qui correspond à Adrar.
 - La température ambiante moyenne d'Adrar au mois de juin est : 46°C .
 - ❖ Condition de Simulation selon Bejaia
 - Les coordonnées géographiques choisies sont : 36.45° Nord, 5.5° Est et GMT +1 comme fuseau horaire ce qui correspond à Bejaia.
 - La température ambiante moyenne de Béjaia au mois de juin est : 30°C .

III.3.2. Résultats et discussions :

Dans cette étude, on a fait varier les matériaux des différents composants de notre four solaire type boîte, pour connaître la combinaison la plus performante.

III.3.2.1. Influence du matériau de l'isolant :

Pour définir l'isolant le plus performant, on a fixé les matériaux des autres composants du four (parois internes et absorbeur) et on a fait varier l'isolant de la boîte. Les figures suivantes représentent les contours de température dans l'absorbeur.

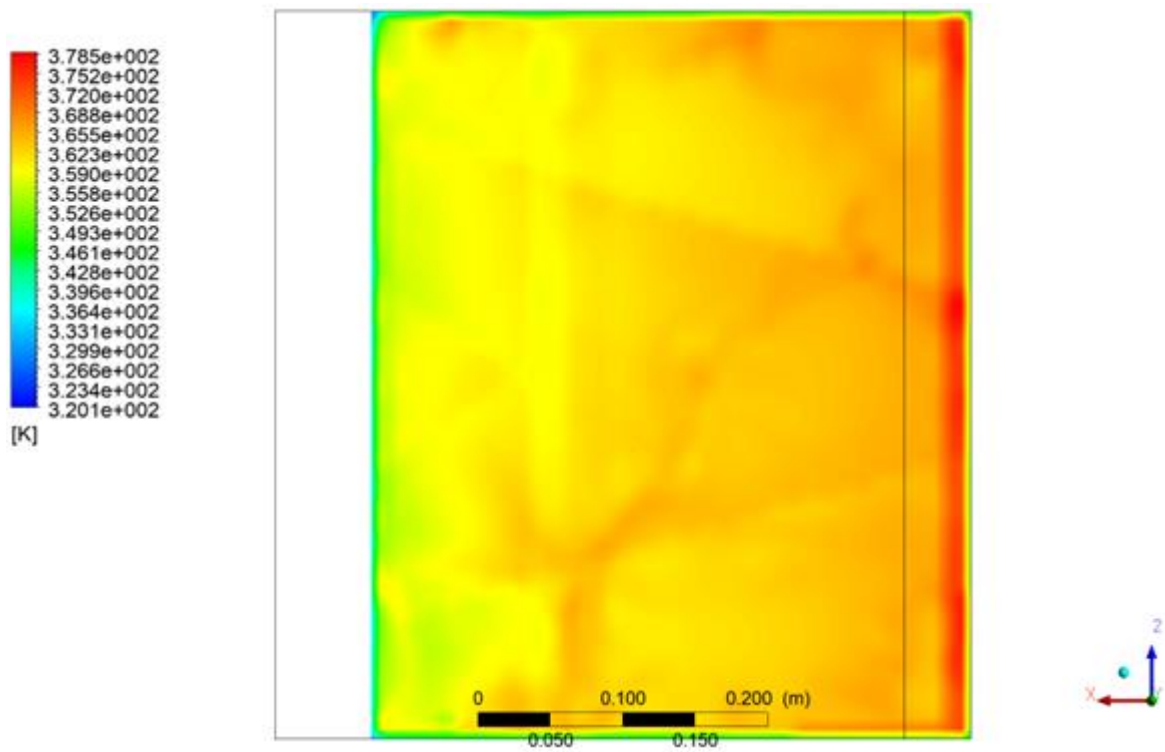


Figure III.5 : Contours de la température dans l'absorbeur (SIM2)
 (parois internes et absorbeur en aluminium / isolé avec la laine)

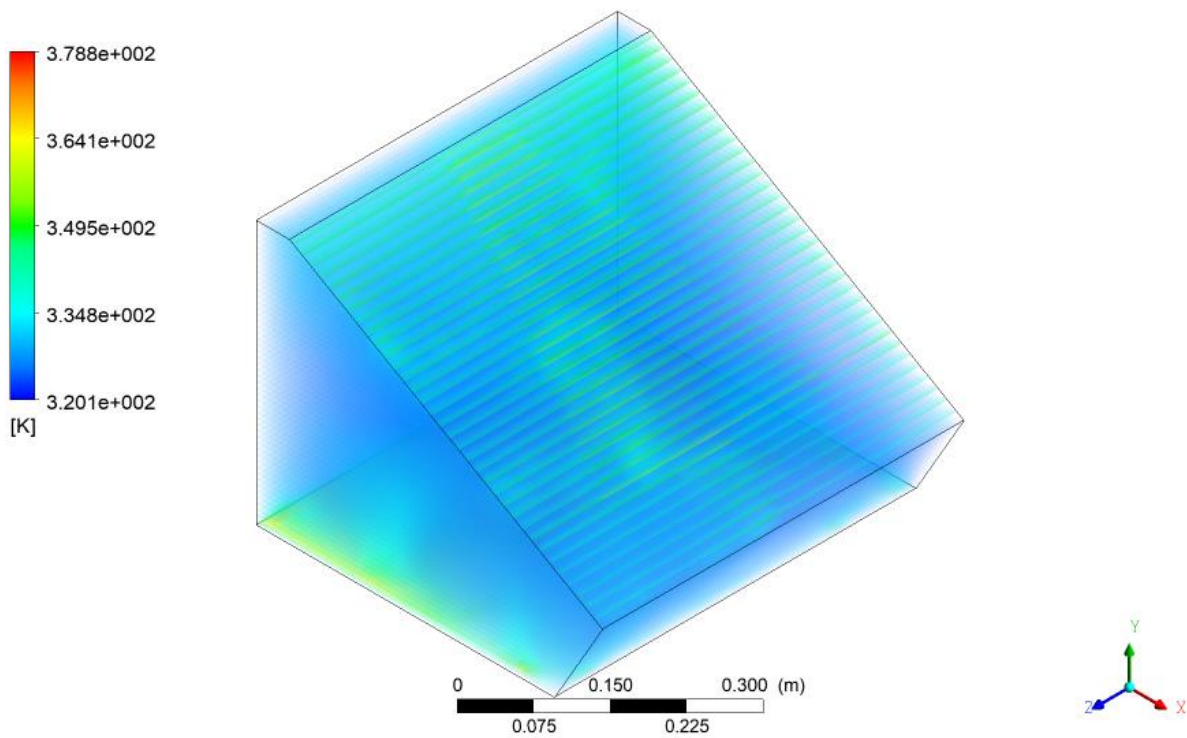


Figure III.6 : Variation de la température dans la boîte pour (SIM2).

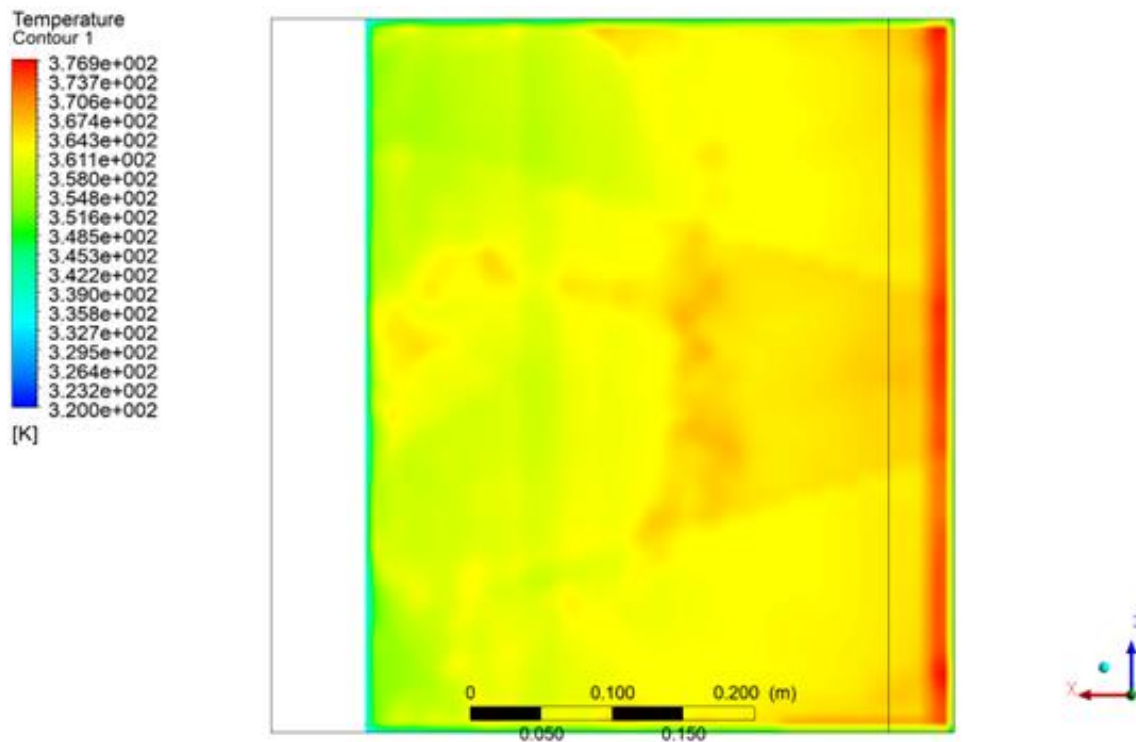


Figure III.7 : Contours de la température dans l'absorbeur (SIM1)
(parois internes et absorbeur en aluminium / isolé avec le polystyrène)

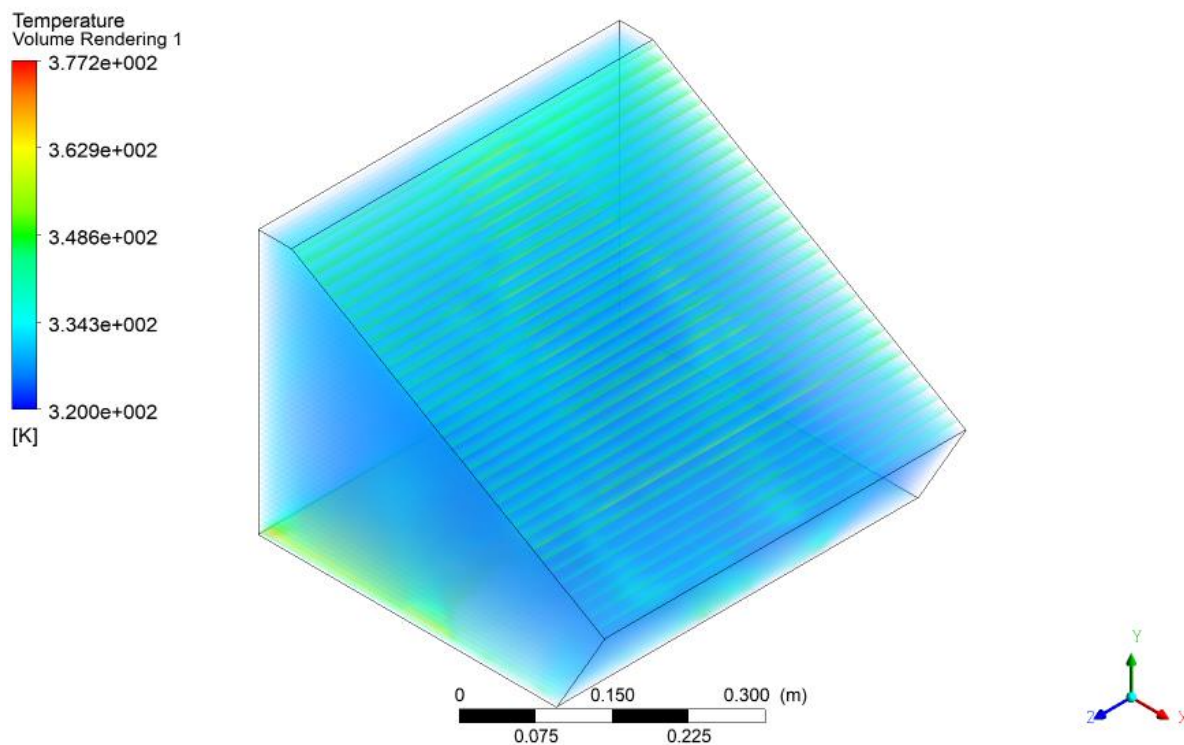


Figure III.8 : Variation de la température dans la boîte pour (SIM1).

D'après les figures (III.5) à (III.8), on constate une bonne propagation de la température dans le four isolé avec la laine de verre. La différence de température totale du four dans les deux

cas simulés est seulement de $0,85^{\circ}\text{C}$ cela est dû à la laine de verre qui a offert une bonne rétention de la chaleur interne.

III.3.2.2. Influence du matériau de l'absorbeur :

De même, pour savoir le gradient de température dans l'absorbeur et comment les différents matériaux affectent ce dernier, on a fait deux (2) simulations, en fixant le matériau de l'isolant et des parois internes avec les mêmes conditions initiales et faire varier celui de l'absorbeur. La figure (III.9) représente le gradient de température pour des parois internes en aluminium isolé avec la laine et l'absorbeur en cuivre.

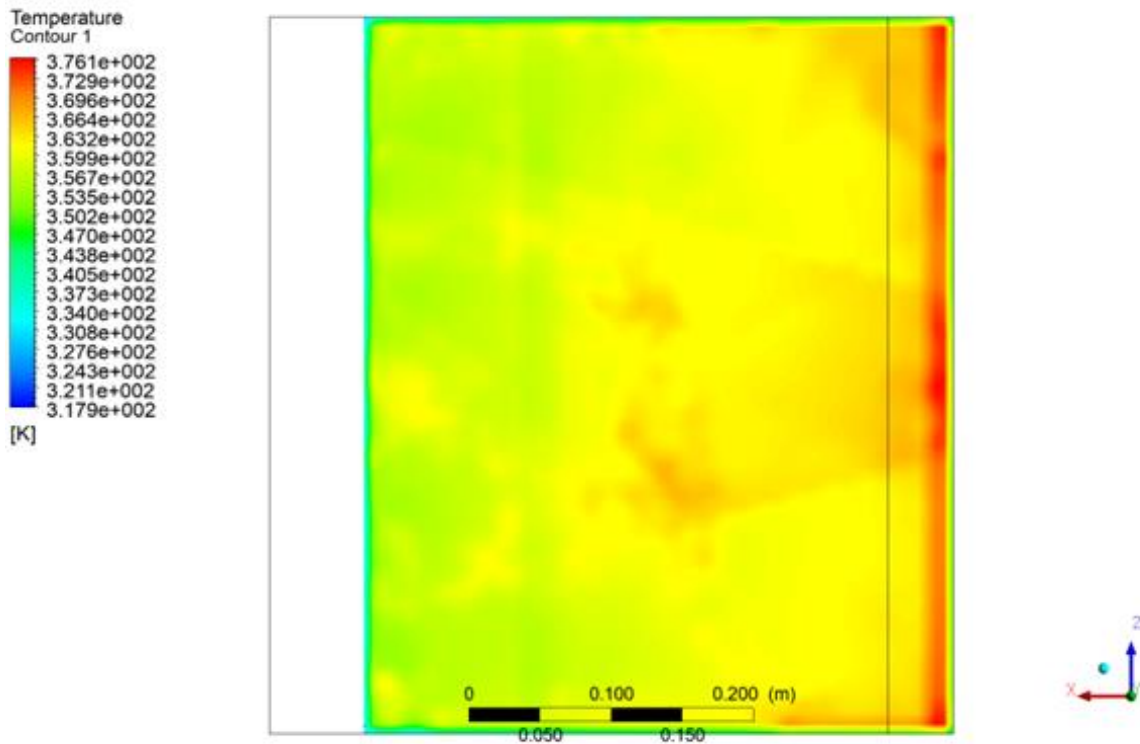


Figure III.9 : Contours de la température dans l'absorbeur (SIM3)
(parois internes en aluminium et absorbeur en cuivre / isolé avec la laine)

On compare les figures (III.5) et (III.9) pour voir le changement qui apparaît sur l'absorbeur. Une température moyenne de $89,678^{\circ}\text{C}$ est enregistrée sur l'absorbeur en aluminium, figure (III.5) tandis qu'une moyenne de $87,7175^{\circ}\text{C}$ est pour l'absorbeur en cuivre, figure (III.9). La différence n'est pas grande concernant la température, mais on constate une bonne répartition de température dans la figure (III.5), ce qui garantit une cuisson homogène des aliments sans être obligé de les retourner.

En effet, pour réajuster l'aliment à l'intérieur de la boîte, on est obligé d'ouvrir cette dernière. Cela va détruire l'effet de serre et perdre un pourcentage immense de la chaleur emprisonnée.

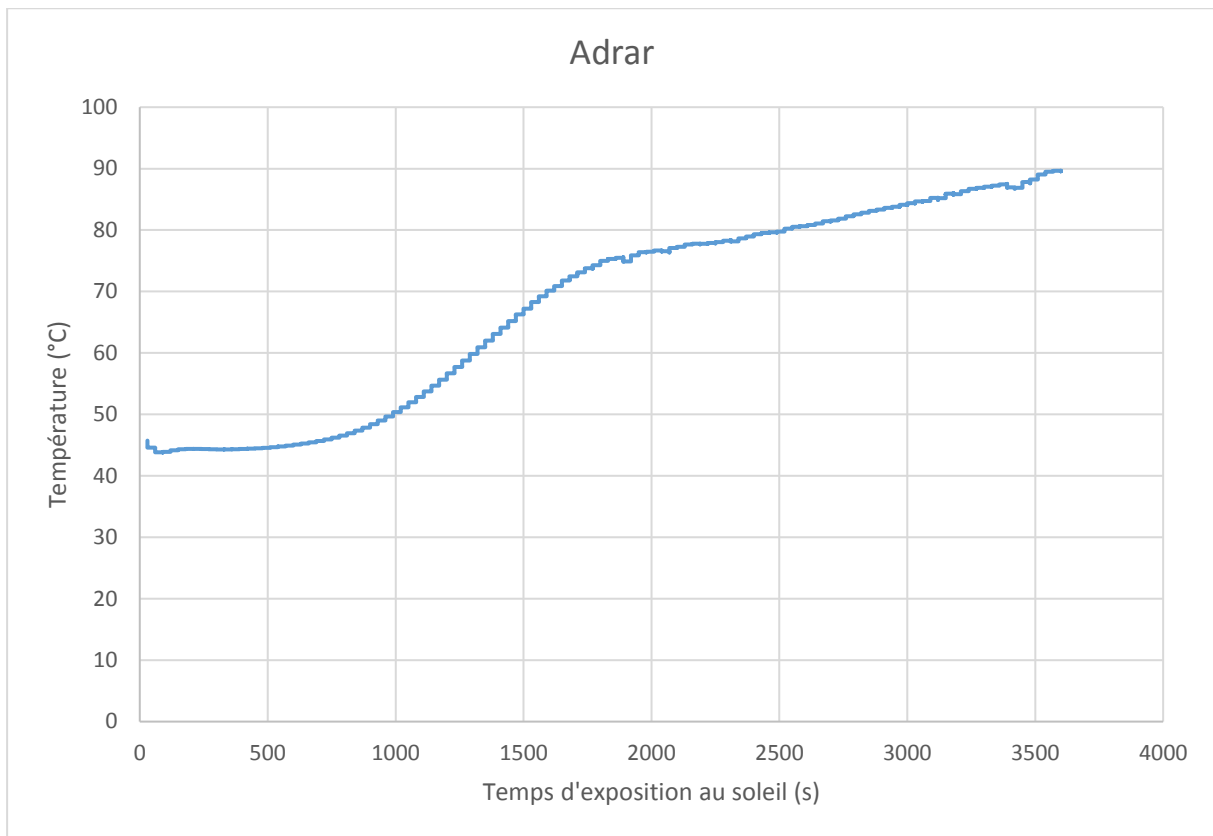


Figure III.10 : évolution de la température sur la surface de l'absorbeur pendant 1 heure d'exposition au soleil à Adrar.

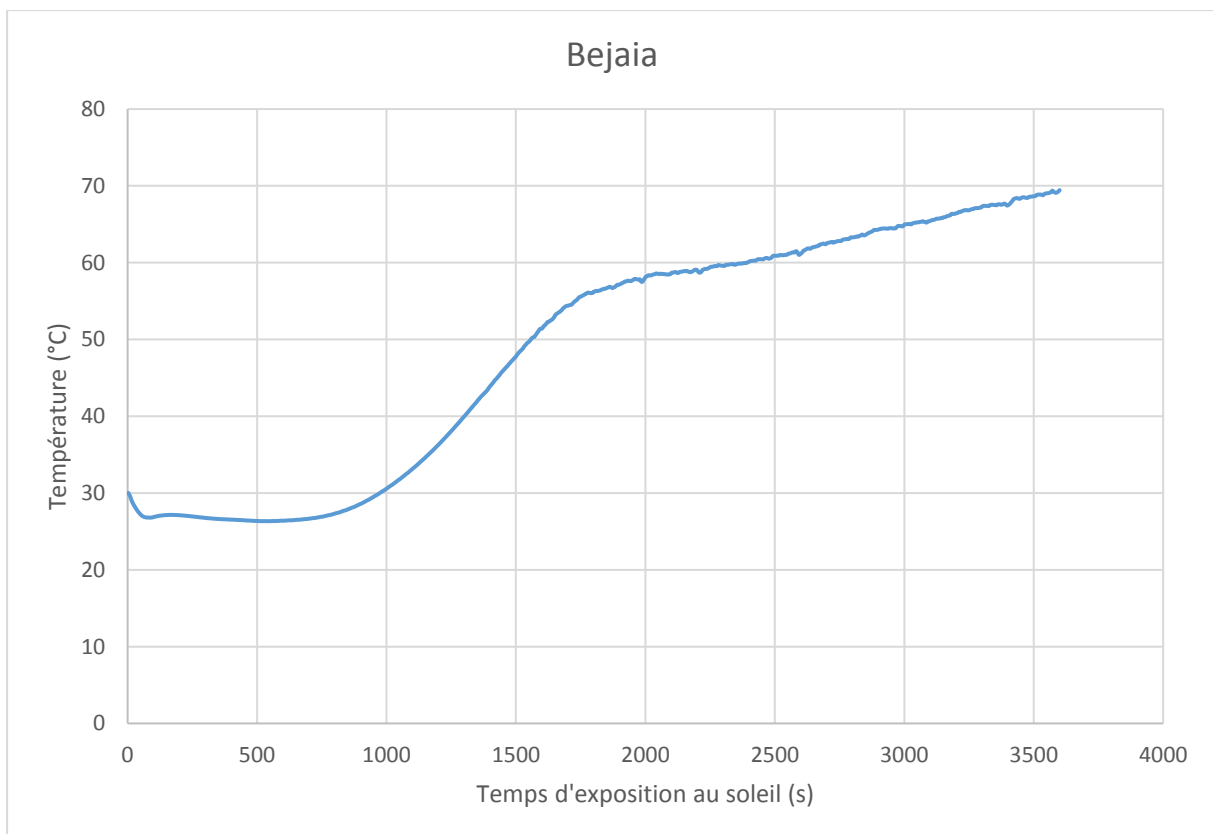


Figure III.11 : évolution de la température sur la surface de l'absorbeur pendant 1 heure d'exposition au soleil à Bejaia.

Les graphes (III.10) et (III.11) obtenus dans la simulation sont de même allure que les graphes expérimentaux de A. Aremu & R. Akinoso présenté dans le chapitre II (II.6).

D'après les graphes des figures (III.10) et (III.11), on distingue une température constante quasiment ambiante pendant 750 secondes. Environ 12,5 minutes après exposition aux rayonnements solaires, l'absorbeur commence à avoir une augmentation exponentielle de température. Au-delà de 1000 secondes d'exposition, on observe un ralentissement d'augmentation de température.

La température ambiante qui entoure le four joue un rôle important sur le temps de cuisson qui sera moins à Adrar qu'à Bejaia puisque la température initiale à Adrar est plus élevée.

III.3.2.3. Influence de matériau des parois :

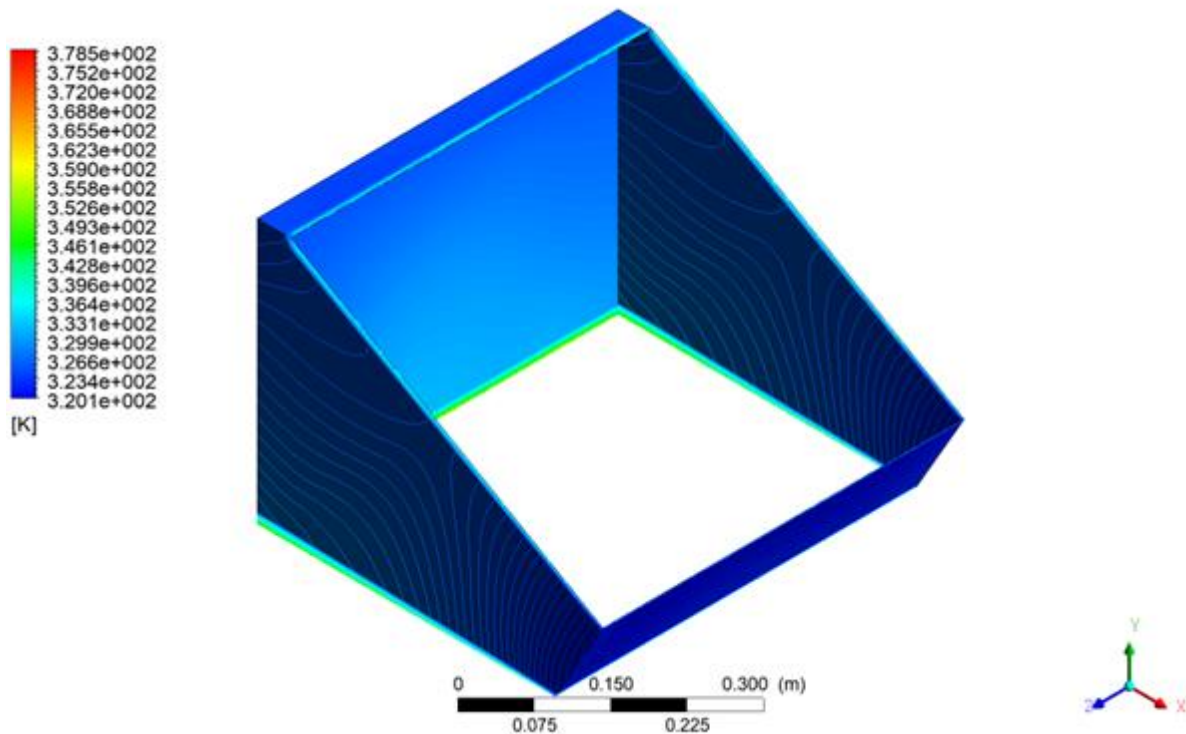


Figure III.12 : Contours de la température dans les parois internes (SIM2)
(parois internes et absorbeur en aluminium / isolé avec de la laine)

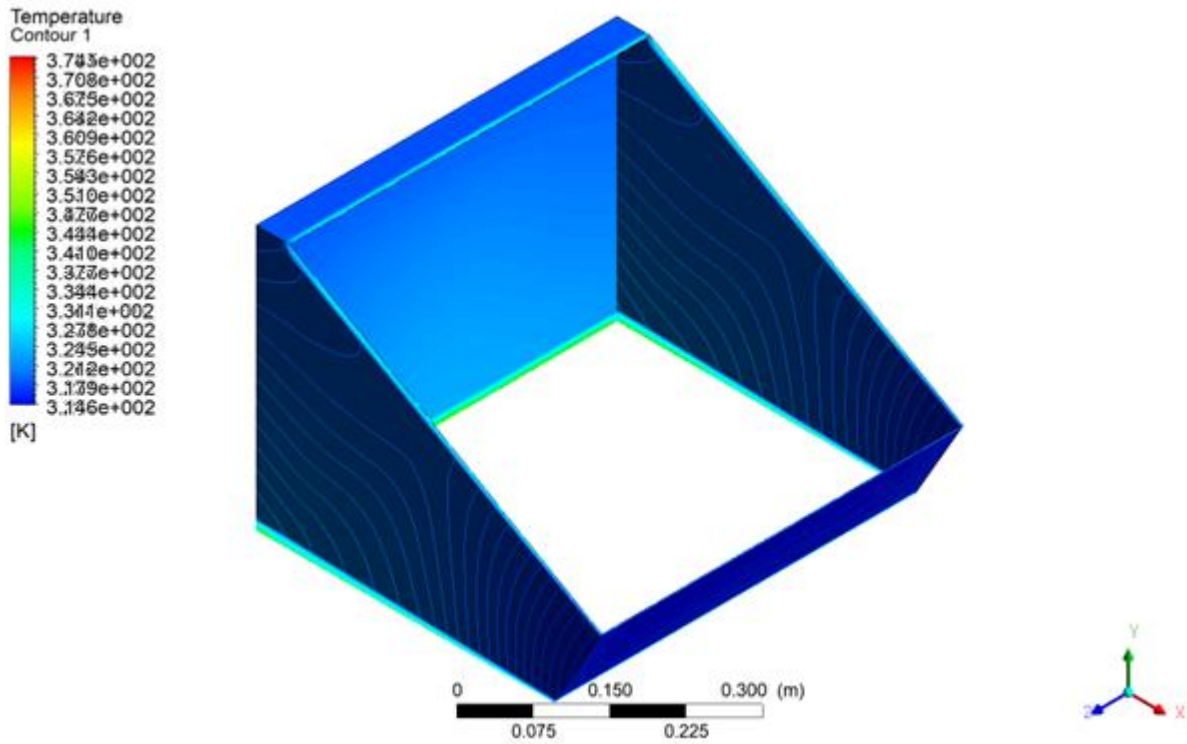


Figure III.13 : Contours de la température dans les parois internes (SIM6)
(parois internes en cuivre et absorbeur en aluminium/ isolé avec la laine)

L'absorbeur dans les figures (III.12) et (III.13) est en aluminium.

La température moyenne des parois internes en aluminium est de 53,175°C, tandis qu'avec les parois en cuivre, elle est de 46,2776°C, une différence de 6,8974°C. On constate que la température se propage uniformément depuis les coins inférieurs vers les parois du four.

III.3.2.4. Variation de de la température dans la vitre :

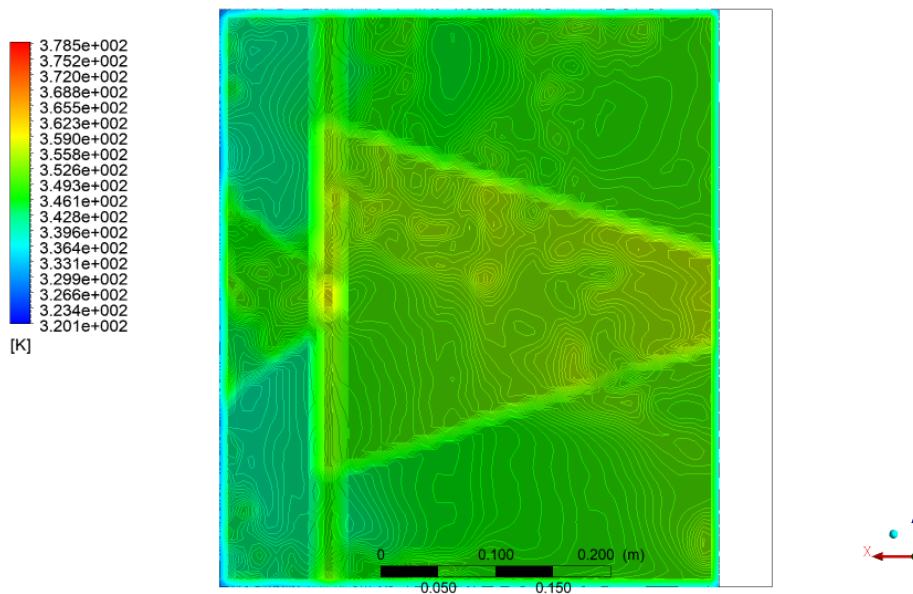


Figure III.14 : Contours de température dans la vitre.

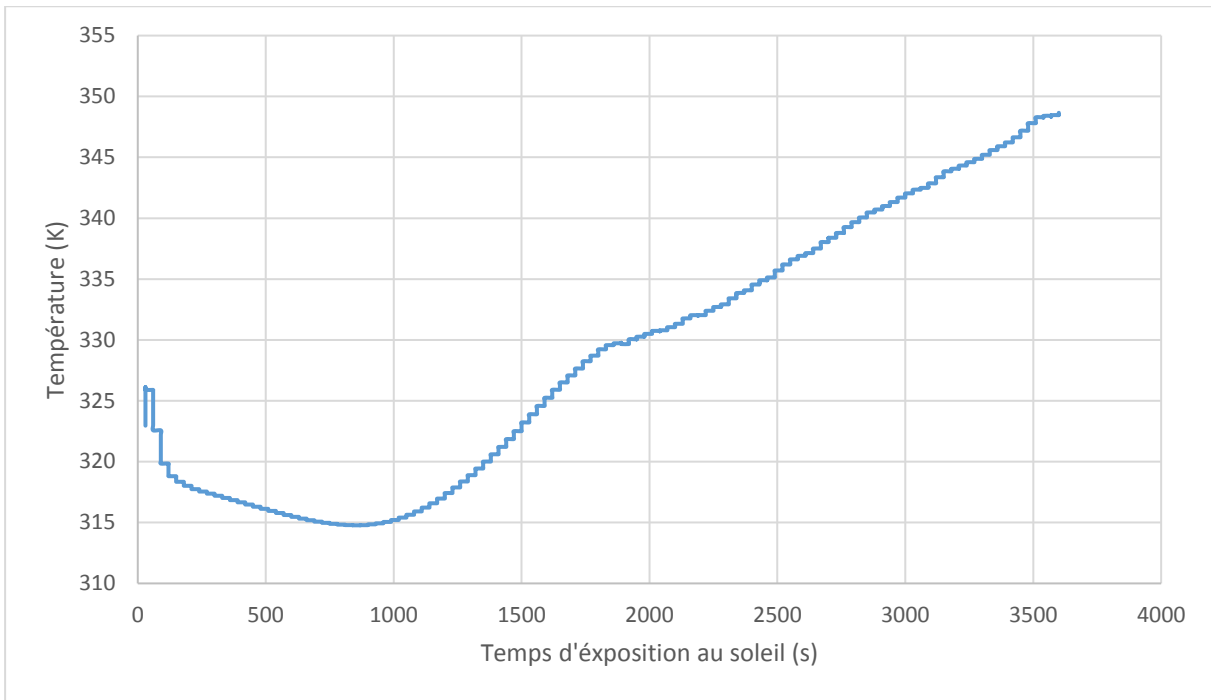


Figure III.15 : évolution de la température sur la surface du verre pendant 1 heure d'exposition au soleil à Adrar (SIM2).

La figure (III.14) représente la répartition de température dans la vitre. La figure (III.15) représente l'évolution de la température sur la surface du verre pendant 1 heure d'exposition au soleil à Adrar.

III.3.2.5. Variation de la vitesse de l'air dans la boîte :

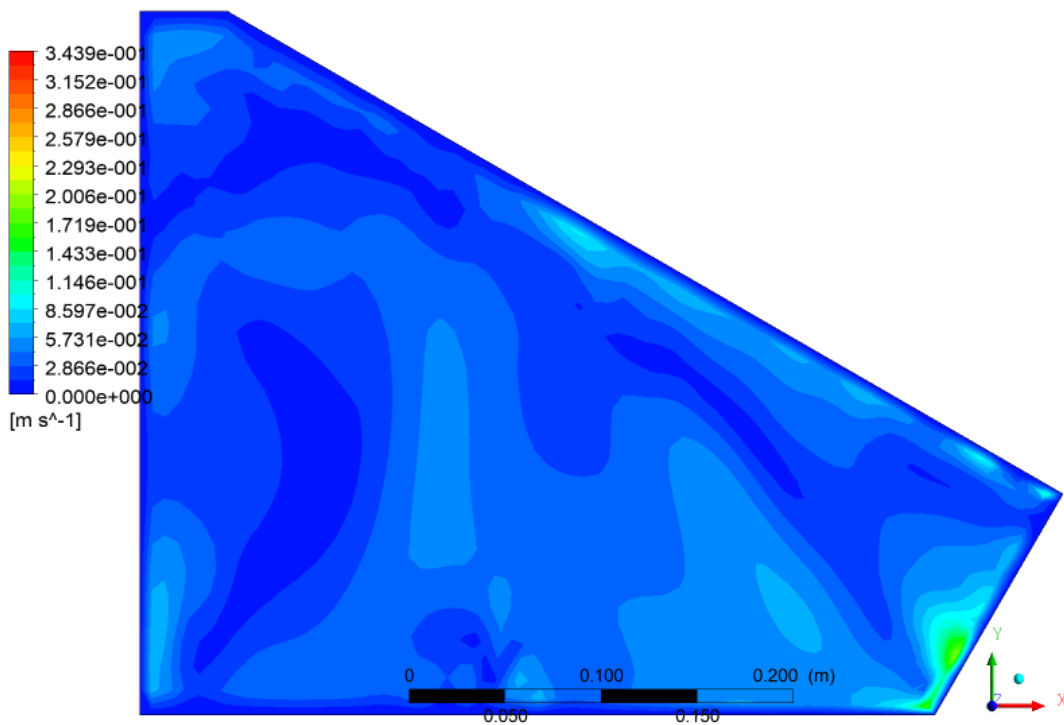


Figure III.16 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans le plan milieu pour (SIM2).

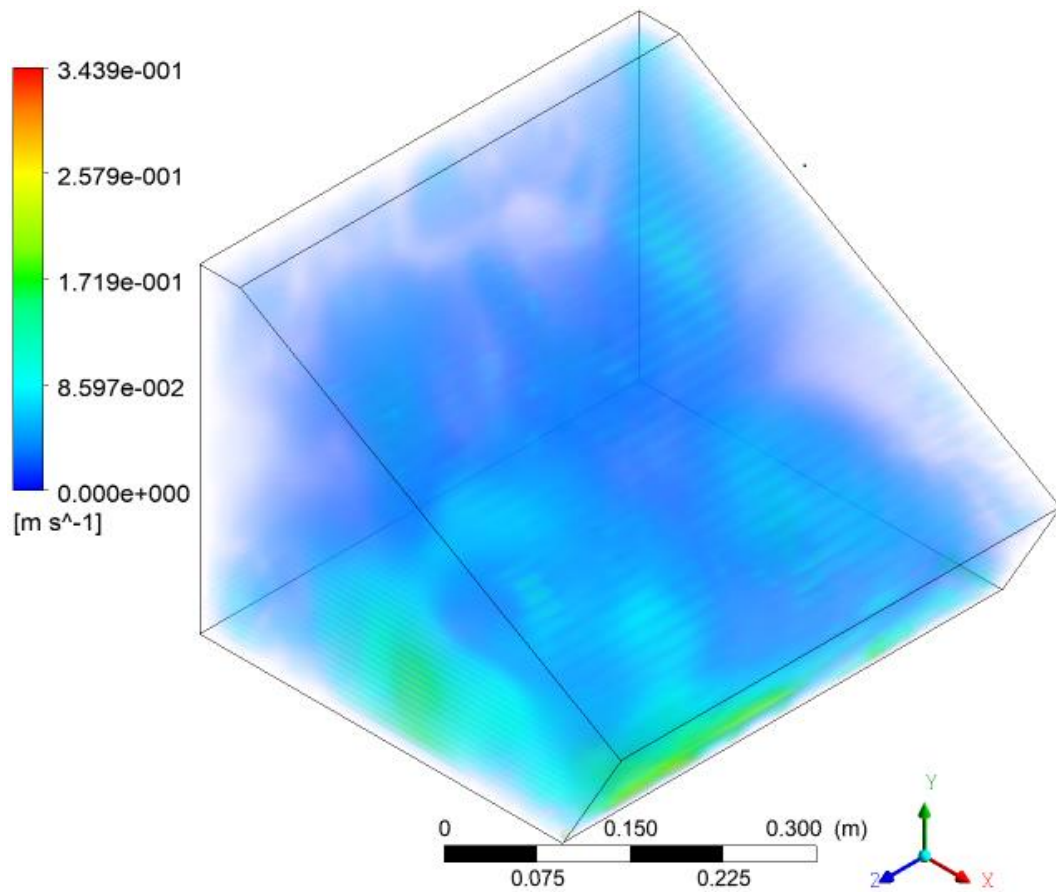


Figure III.17 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la boîte pour (SIM2).

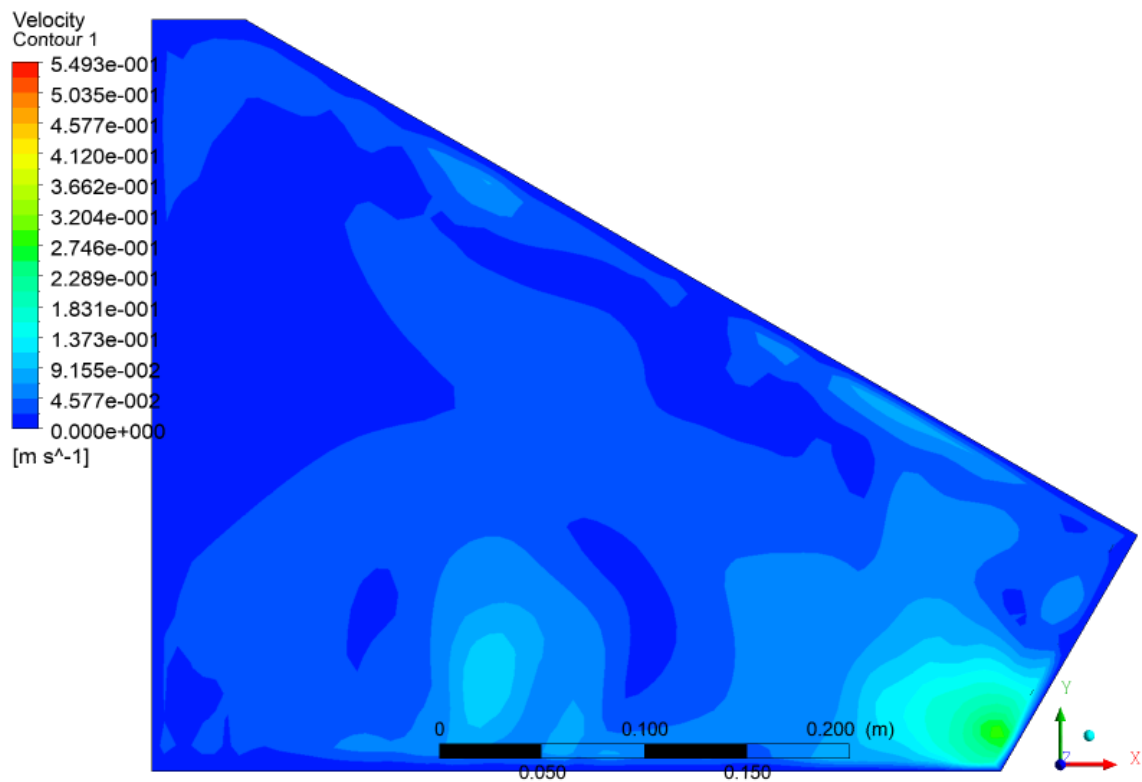


Figure III.18 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans le plan milieu pour (SIM5).

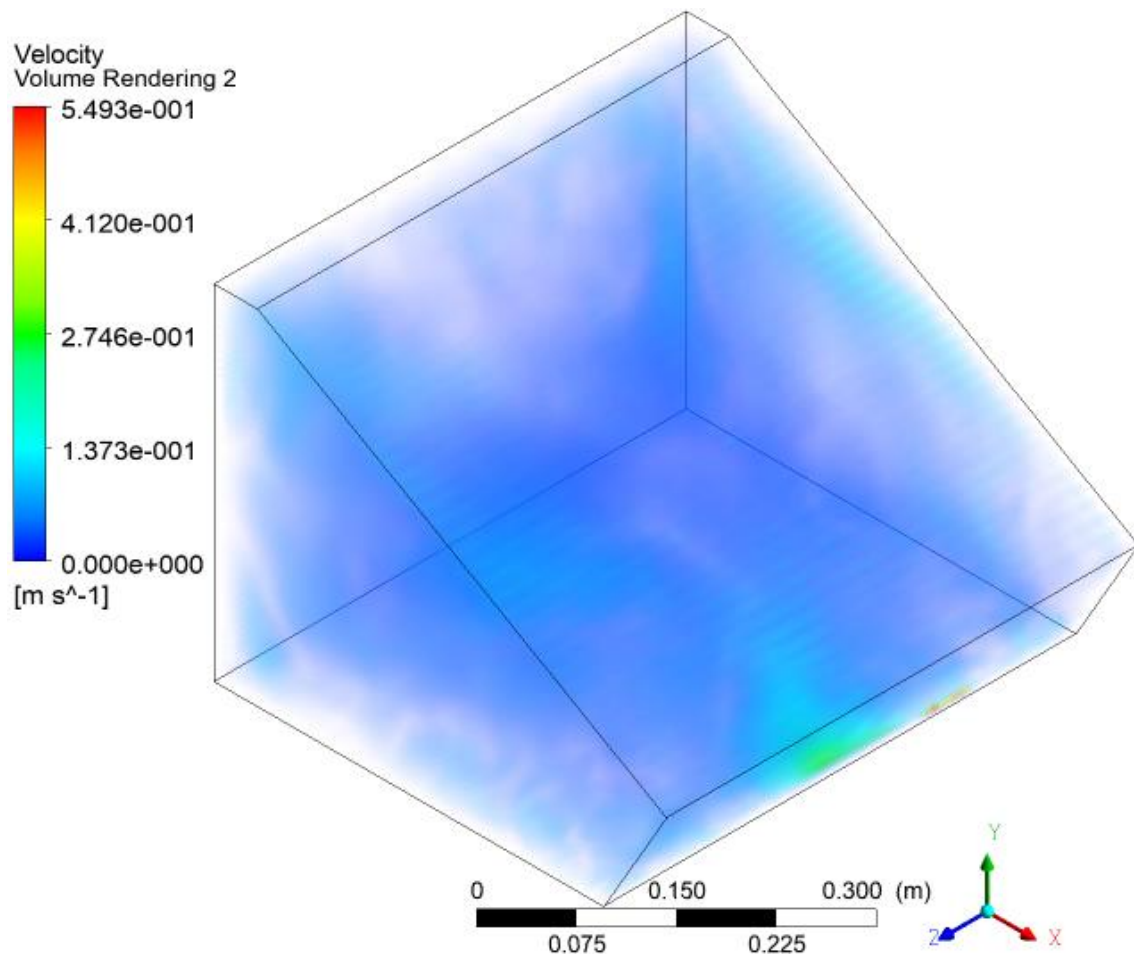


Figure III.19 : Variation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la boîte pour (SIM5).

La variation maximale de la vitesse d'écoulement pour les figures (III.16) jusqu'à (III.19) est observée au-dessous de la paroi inclinée du four solaire. L'écoulement dans les figures (III.17) et (III.19) est plus intéressant à observer puisqu'il nous donne une vue 3D globale. On constate une circulation plus élevée juste au-dessus de l'absorbeur dans la figure (III.17) à cause de l'aluminium qui continue de réfléchir les rayons solaires dans la boîte. Dans la figure (III.19), le cuivre absorbe plus qu'il ne réfléchit ; ce qui explique une circulation faible de l'air dans la boîte.

Les tableaux suivants résument les résultats de simulation faite :

Tableau III.3 : Résultats globaux des simulations du four solaire type boîte.

		Parois internes	Isolant	Absorbeur	Température [°C]		Température moyenne totale [°C]
					Min	Max	
Adrar	(SIM1)	Aluminium	Polystyrène	Aluminium	43,64	104,04	75,3
	(SIM2)	Aluminium	Laine de verre	Aluminium	43,68	105,63	76,15
	(SIM3)	Aluminium	Laine de verre	Cuivre	42,6	103,26	73,85
	(SIM4)	Cuivre	Polystyrène	Cuivre	41,71	99,82	70,65
	(SIM5)	Cuivre	Laine de verre	Cuivre	42,96	99,40	71,15
	(SIM6)	Cuivre	Laine de verre	Aluminium	41,43	101,26	71,2
Bejaia	(SIM7)	Cuivre	Laine de verre	Cuivre	24,53	83,98	59,4

Tableau III.4 : Températures moyennes des différents composants du four.

		Parois externes	Parois internes	Verre	Absorbeur
Adrar	(SIM1)	44,46261	53,4081	75,8393	89,6444
	(SIM2)	44,4037	53,175	75,5107	89,678
	(SIM3)	43,9909	50,8764	73,2992	87,7175
	(SIM4)	43,9255	46,3449	70,9471	85,8531
Adrar	(SIM5)	44,3293	48,0473	73,003	87,609
	(SIM6)	43,9291	46,2776	70,5714	85,789
Bejaia	(SIM7)	27,1868	30,4292	54,1825	69,442

La différence de température ambiante (46°C) et la température maximale moyenne des 7 essais (76,15 °C) est de 30,15 °C. On peut dire aussi que la température moyenne du four est 1,6 fois plus élevée que la température ambiante.

IV. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté la géométrie étudiée puis discuté les résultats de simulation numérique de l'influence des matériaux composant le four solaire type boîte ainsi que ses performances. Nous avons fait une étude de simulation comparative entre les différents matériaux qui constituent notre cuiseur.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans le cadre de l'étude des performances d'un four solaire, nous avons réalisé une simulation numérique basée sur l'influence des matériaux et sur les performances thermiques d'un four solaire type boîte.

D'abord, nous avons parlé du gisement solaire et on a montré que malgré le grand potentiel de l'énergie renouvelable, l'énergie solaire n'est pas exploitée à grande échelle, ainsi que les caractères du soleil et de la terre.

L'Algérie est parmi les pays qui ont une grande zone de l'éclairement au monde et peut utiliser l'énergie solaire comme solution dans le futur pour remplacer l'énergie fossile, et pour cela, il faut que tous les énergéticiens orientent leurs perspectives vers l'énergie verte et solaire parce qu'elle est renouvelable et non polluante.

Ensuite la demande d'énergie pour la cuisson est considérée comme la plus importante dans le secteur. En Algérie, pour les citoyens qui sont dans des régions isolées du pays, la cuisson des aliments est très onéreuse quand on exploite les sources énergétiques conventionnelles. Cela induit des conséquences désastreuses sur l'écosystème lorsqu'on exploite le bois des quelques arbustes restants dans ces régions.

Dans un troisième temps, nous avons pris une géométrie d'un four solaire de référence [25], par la suite, une méthodologie d'analyse a été mise en place basée sur un logiciel de simulation qui est aujourd'hui un outil d'analyse des phénomènes complexes de transfert thermique.

Et pour cela, on a dégagé de cette analyse les points suivants :

- ✓ Dans notre four, l'aluminium est considéré comme un meilleur absorbeur avec un isolant de laines de verre, et on peut atteindre des valeurs de température qui varient entre 76,15°C et 105,35°C maximum, et ce, pour seulement une heure d'exposition aux rayonnements solaires.
- ✓ La distribution de la température autour des parois du four commence dans l'absorbeur qui est considéré comme une source de chaleur où la température atteint des valeurs maximales (105,35 °C). Puis, elle commence à diminuer le long des parois internes du four où la température atteint des valeurs moyennes de 53,175 °C.
- ✓ Les températures que nous avons obtenues à l'intérieur du four (76,15 °C) dans le cas d'Adrar où les rayons solaires sont plus fort que dans la ville de Bejaia. Dans cette ville, nous avons relevé une température moyenne de 59,4 °C nous permettant ainsi d'atteindre facilement la cuisson des aliments.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : CHASSERIAU J.M, « Conversion thermique du rayonnement solaire », Dunod Germany, 1984.
- [2] : R. BERNARD G. MENGUY et al, « Le rayonnement solaire conversion, thermique et applications », Technique et documentation Lavoisier, 2ème édition 1980.
- [3] : ARAFA Kaddouri, « Conception et réalisation d'un suiveur solaire a deux axes », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès, Maroc, 2015.
- [4] : BOUDEN Abdelmalek, « Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque », Thèse doctorat, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [5] : YETTOU Fatiha, « Optimisation d'un système solaire de production d'eau chaude », Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique 10, ALGER, 2009.
- [6] Document, « Contrôle des Systèmes DEGERtraker », DEGERenergie, GmbH, 72160 Horb/Germany. <http://www.degerenergie.de>
- [7] : CHIKH Mohammed EL-amine et BENRAMDANE Ahmed Yasser, « Analyse des Profils Thermiques de Deux Cuiseurs Solaires Expérimentés Sous Climat Aride du Sud Algérien », mémoire Master Université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen, 2019.
- [8] : CHENNI Rachid, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire », Thèse Magister, Université Mantouri de Constantine, 2007.
- [9] : M. PETIBON Stéphane, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [10] : MAOUEDJ Rachid, « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah », Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, 2005.
- [11] : SANDALI Messaoud, « Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux », Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, 2013.
- [12] : M. PETIBON Stéphane, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.

BIBLIOGRAPHIE

- [13] : BOUZIANE Mahmah, et al. « Production d'Hydrogène Solaire Phase I : Etude d'Opportunité et de Faisabilité du Projet ». 20th World Energy Congress – Rome, November 11th – 15th, 2007.
- [14] : Lee, Dong & Jeon, Woo & Baek, Seung. (2012). Development of Optimal Control of Heliostat System Using Configuration Factor and Solar Tracking Device. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B. 36. 10.3795/KSME-B.2012.36.12.1177.
- [15] : Bc. Monika Kokrdová « L'ENERGIE SOLAIRE » mémoire de magister université palacky à olomouc, République Tchèque, 2010/2011.
- [16] : K. Salima. « Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan-capteur et distillateur hot box-capteur ». Thèse de magister, Université MENTOURI de Constantine, (2009).
- [17] : A. Dalila. « Optimisation du Rendement d'un capteur solaire par minimisation des pertes convectives », Thèse de magister, Université Batna 1, (2010).
- [18] : S. Souad. « Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan », Thèse de magister, Université MENTOURI de Constantine, (2010).
- [19] : Solarpedia, Capteur solaire plan,
http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan, consultée le 30 Aout 2020.
- [20] : k. HIDOURI, « Capteur plane et système a concentration », université de Gafsa, Tunisie, 2011.
- [21] : AISSAOUI Werida et SOUIADIA Habiba, « Etude expérimentale d'un capteur solaire plan à air », mémoire Master Université MOHAMED BOUDIAF – M'SILA, 2018/2019.
- [22]: YETTOU. F. « Conception et réalisation d'un système de cuisson solaire destiné au site saharien (Ghardaïa, Algérie) », Thèse de Doctorat en Sciences, Université HADJ LAKHDAR Batna, 2015.
- [23] : Le 4eme séminaire international sur les énergie nouvelle et renouvelable, « Investigation expérimentale pour la détermination des éléments caractéristique de performances d'un cuiseur solaire boite de forme trapézoïdale testé au Sahara Algérien », unité de recherche appliquée en énergie renouvelable, Ghardaïa – Alegria, 24 et 25 octobre 2016.
- [24] : Joshua Folaramni, Performance evaluation of a double-glazed box-type solar oven with reflector, academic editor : Jayanta Deb Mondol, 28 avril 2013.

BIBLIOGRAPHIE

[25] : David M, Four solaire cuiseur type boîte, disponible sur https://wiki.lowtechlab.org/images/d/d3/Four_solaire_cuiseur_type_bo_te_four_solaire_entropie_juillet2013.pdf, consulté 10 Aout 2020.

[26] : A. AREMU & R. AKINOSO, « Potential Use of Box-Type Solar Cooker in Developing Countries 41. 11-17 », Université de Ibadan Nigeria, 2013.

[27] : Z. DEHIRI, « Etude numérique d'un capteur solaire thermique plan dans la région de Boussaâda », mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf M'SILA, 2018

Résumé :

Compte tenu de la forte consommation mondiale des ressources énergétiques fossiles, l'épuisement de cette énergie est inévitable. En conséquence, la situation nécessite l'exploitation de nouvelles sources d'énergie, notamment l'énergie solaire qui est en tête de liste de ces ressources, en raison de sa distribution dans la nature, plus que tout autre type d'énergie verte.

Parmi les utilisations les plus fréquentes de ce type d'énergie, on trouve le cuiseur solaire. Il est lié à une activité humaine quotidienne, qui aboutit à la préparation d'une alimentation saine. Cette méthode est utilisée dans les régions isolées du Sahara où l'approvisionnement en gaz butane est très problématique.

Finalement, notre travail nous a permis d'observer une étude expérimentale avec simulation des performances thermiques d'un four solaire type boîte. Elle (la simulation) nous a montré comment la température se propage dans un four solaire avec différents matériaux.

Abstract :

Given the high global consumption of fossil energy resources, the depletion of this energy is inevitable. As a result, the situation requires the harnessing of new energy sources, especially solar energy which tops the list of these resources, due to its distribution in nature, more than any other type of green energy.

Among the most frequent uses of this type of energy is the solar cooker. It is linked to daily human activity, which results in the preparation of healthy food. This method is used in remote areas of the Sahara where the supply of butane gas is very problematic.

Finally, our work allowed us to observe an experimental study with simulation of the thermal performance of a box-type solar oven. She (the simulation) showed us how temperature is propagated in a solar oven with different materials.

ملخص :

بالنظر إلى الاستهلاك العالمي المرتفع لموارد الطاقة، فإن استنفادها أمر لا مفر منه. ونتيجة لذلك، الوضع يتطلب تسخير مصادر الطاقة المتجددة، خاصة الطاقة الشمسية التي تنصدر قائمة هذه الموارد، نظرًا لتوزيعها الكبير في الطبيعة أكثر من أي نوع آخر من الطاقة الخضراء.

من بين الاستخدامات الأكثر شيوعًا لهذا النوع من الطاقة هو الفرن الشمسي الذي يرتبط بالنشاط البشري اليومي لتحضير غذاء صحي. تُستخدم هذه الطريقة في المناطق النائية مثل الصحراء حيث يمثل توريد غاز البيوتان مشكلة كبيرة.

أخيرًا ، سمح لنا عملنا بمراقبة دراسة تجريبية مع محاكاة للأداء الحراري لفرن شمسي من النوع الصندوقي. لقد أوضحنا لنا (المحاكاة) كيف تنتشر درجة الحرارة في فرن شمسي بمواد مختلفة.