REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'études pour l'obtention

de diplôme de Master en

Génie Mécanique

Option : Énergies renouvelables en mécanique

THEME :

Contribution à l'étude de stockage de l'eau chaude sanitaire produit par un capteur solaire

Réalisé par:

Mr BELHOUT Hicham

Mr ZITOUNI Mohamed

dirigé par :

Dr **ZIRARI** Mounir

Dr **TERFAI** Abdelkrim

Promotion
2020 - 2021

DEDICACES

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos parents

Nos frères

Nos sœurs

Proches

Tous Nos amis (e)

Remerciements

Ce mémoire n'aurait été possible l'aide de dieu que nous Patience durant toutes ces années d'études et que grâce a lui ce travail a pu êtreréalisé

Nous tenons à remercier très vivement Monsieurs Dr zirari mounir, Dr chiba younes et Dr Abdekrim Terfai Professeurs à l'université de médea, de nous avoir proposé le sujet, et de son aide précieux qu'elle a toujours bien voulu nous apporter

et Pour avoir dirigé ce travail, pour la confiance et l'intérêt qu'il a témoigné tout au long de la réalisation de ce travail, et aussi monsieur le doctorant abdlharim tarfai pour sa disponibilité ainsi de nous avoir fait bénéficier de ses compétences

Nous adressons notre vif remerciement aux membres de juryd'avoir accepté de juger ce travail.

Nous tenons également à remercier tous ceux qui nous ont aidésde prés ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Liste des Tableaux

Tableau 1: Valeurs du facteur Fc en fonction de la distance zénithale 20
Tableau 2: Quelques valeurs d'albédo [12] 23
Tableau 3: caractéristiques du site étudié 24
Tableau 4: Comparaison de l'air avec le Therminol VP1 et l'huile végétale de colza 48
Tableau 5: Caractéristiques des différents systèmes de stockage de la chaleur [28] 49

Liste des Figures

Figure 1: Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour de l'année selon les deux formules proposées [5] 16
Figure 2: Variation de l'angle horaire en fonction du temps [6] 16
Figure 3: La différence entre le temps solaire vrai et le temps légal [7] 17
Figure 4: Evolution de l'équation du temps [7] 18
Figure 5: Variation de la hauteur du soleil au cours d'une journée [7] 19
Figure 6: Composantes du rayonnement solaire calculé par le modèle de Bird&Hulstrom– Site : ouergla [10] 19
Figure 7: Variation de la masse atmosphérique au cours d'une journée [4] 20
Figure 8: Variation de rayonnement solaire au cours du temps [12] 24
Figure 9: parabolique.[17] 28
Figure 10: centrale a tour. .[17] 28
Figure 11: cylindro_parabolique. .[17] 29
Figure 12: capteur solaire plan sans vitrage. .[11] 30
Figure 13: Capteur solaire plan avec vitrage [11] 30
Figure 14: capteur solaire plan avec double vitrage [11]. 31
Figure 15: fonctionnement d'un capteur solaire [11] 31
Figure 16: Composants d'un capteur solaire plan [14] 32
Figure 17: Classification des systèmes de stockage de l'énergie thermique. 40
Figure 18: Les différentes étapes de stockage de la chaleur par un matériau en fonction de la température. 42
Figure 19: Les concepts de stockage de la chaleur sensible à haute température 44
Figure 20: Schéma de principe de fonctionnement d'une unité de stockage de lit entassé de roches. 45
Figure 21: Stockage thermocline sur lit de roche [22]. 46
Figure 22: Echanges de chaleur dans un lit de roches [22]. 47
Figure 23: : Les différentes formes de stockage thermique [28] 50
Figure 24: schéma de réservoir de stockage 50
Figure 25: Les variations horaires du rayonnement solaire 54
Figure 26: profil de température de fluide en fonction de temps pour quelques nœuds 55
Figure 27: : Evolution de la température de fluide d'entrée pour différentes hauteurs en fonction de temps 56
Figure 28: Evolution de la température de fluide en fonction de temps pour 57
Figure 29: Evolution de la temperature des fluides caloporteurs de sortie en fonction de temps 58
Figure 30: variation horaire du rayonnement solaire et la température du fluides 59
Figure 31: profil de température de fluide en fonction de temps pour quelques nœuds 60

Figure 32: Evolution de la température de fluide à d'entrée de différentes hauteurs en fonction de temps 61
Figure 33: Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour 62
Figure 34: Evolution de la temperature de fluide en fonction de temps..... 63

Liste des symboles

Symbole	Désignation	unité
ρ	Masse volumique de l'eau	$\left[K / \mathrm{m}^3\right]$
C_p	Chaleur spécifique	$\left[J / Kg.K\right]$
$U_{a(edg)}$	Perte de bord	$\left[\mathrm{W/m2\ K}\right]$
ε_{couv}	Émissivité de verre	–
ε_{plaq}	Émissivité de l'absorbeur	–
V	Vitesse de vent	m / s
N	nombre de couverture de verre	–
τ_B	Le rayonnement du faisceau	–
τ_D	Le rayonnement diffus	–
τ_G	Le rayonnement globale	–
ρ_G	Facteur de réflexion l'albédo de sole	–
h_{fl}	Le coefficient de transfert de chaleur entre le fluide et la paroi du tube	$W / m^2.K$
I_b	Rayonnement solaire globale	
W	La distance entre les tubes	$\left[m\right]$
S	L'énergie solaire absorbée par la surface d'absorbeur	$\left[\mathrm{W/\ m^2}\right]$
Q_u	Flux de chaleur	$\left[W\right]$
A_c	Surface de panneau	$\left[m^2\right]$
U_L	Coefficient globales des pertes thermique	$\left[\mathrm{W/m^2\ K}\right]$
T_{pm}	Température de la plaque absorbeur moyenne	$\left[C°\right]$
T_a	Température ambiante	$\left[C°\right]$
N	Nombre de couverture de verre	
Pv	Partie absorbé par le vite	
Pr	Partie réfléchi	
Pa	Partie absorbé par l'absorbeur	

β	$collectortilt\left(\deg\right)$	
ε_g	Émissivité de verre	
ε_p	Émissivité de l'absorbeur	
h_w	Coefficient de convection entre le verre supérieure et	

U_t	La somme des transferts de chaleur vers le haut	$\left[\mathrm{W/m^2\ K}\right]$
U_b	Coefficient des pertes de fond et les cotes	$\left[\mathrm{W/m2\ K}\right]$
m	Débit massique	$\left[kg/\mathrm{s}\right]$
K_δ	Conductivité thermique de la plaque absorbante	
C_b	Conductance de liaison	
γ	L'épaisseur moyenne de la liaison	
T_{fs}	Température de fluide a la sortie	$\left[C°\right]$
T_{fe}	Température de fluide a l'entré	$\left[C°\right]$
F'	Le facteur d'efficacité du collecteur	
D_i	Diamètre intérieur de tube du serpentin de fluide caloporteur	$\left[m\right]$
h_{fi}	Le coefficient de transfert de chaleur entre le fluide et la paroi du tube	
T_{fs}	Température de fluide	$\left[C°\right]$
F''	Débit de facteur de capteur	
Ep	Épaisseur de l'isolent	$\left[m\right]$
T_{fm}	Température de fluide moyenne	$\left[C°\right]$
mf	Débit massique de fluide caloporteur	$\left[kg/\mathrm{s}\right]$

Sommaire

Introduction générale 08

CHAPITRE I: GISEMENT SOLAIRE 10

CAPTEUR SOLAIRE PLAN 27

I.1. Introduction 27

II.1. Les types des capteurs solaires thermiques 27

II.1.1. Les capteurs à concentration 27

II.1.1.1 Concentrateurs paraboliques 27

II.2.1.2. Centrales à tour 28

II.2.1.3. Concentrateurs cylindro-parabolique : 29

II.2.2 Les capteurs solaires sans concentration (fixe): 29

II.2.2.1. Le capteur plan sans vitrage : 29

II.2.2.2 Le capteur plan avec vitrage 30

II.2.2.3 Le capteur plan double vitrage : 30

II.2. Principe de fonction de capteur solaire 31

II.3. Les différents composants d'un capteur solaire à eau 32

II.3.1. Le fluide caloporteur 33

II.3.2. Le vitrage 33

II.3.3. L'isolation thermique 33

II.3.4. Le coffre 34

II.6.Conclusion 35

ملخص

الهدف من مشروعنا الماستر هو اقتراح نموذج عددي لتخزين الطاقة الشمسية الحرارية الاتية من اللاقط شمسي المستوي .لهذا الغرض ، قمنا بأخذ معادلات الطاقة بعين الاعتبار من أجل توصيف انتقال الحرارة بين المادة الصلبة والسائل المنقول في الخزان المائي .كما قمنا بتحليل النتائج التي تم الحصول عليها ومناقشتها في حالة الجسم الصلب على شكل كرات صغيرة الموجودة في الخزان المائي المخصص للتخزين.

الكلمات المفتاحية: دراسة عددية ، تخزين ، كرات، لاقط شمسي مستوي.

Résumé

L'objectif de notre projet de Master est de proposer un modèle numérique de stockage de l'énergie solaire thermique issue d'un capteur solaire plan. Pour ce faire, les équations de l'énergie sont considérées pour caractériser le transfert de chaleur entre le matériau solide et le fluide caloporteur dans le réservoir de stockage. Les résultats obtenus sont analysés et discutés dans le cas d'une configuration sphérique immergée dans le réservoir de stockage.

Mots clés : Etude numérique, stockage, Sphères, capteur solaire plan

Abstract

The objective of our Master project is to propose a digital model for the storage of thermal solar energy from a shallow solar pool. To do this, the energy equations are considered to characterize the heat transfer between the solid material and the coolant in the storage tank. The results obtained are analyzed and discussed in the case of a spherical configuration immersed in the storage tank.

Keywords: Numerical study, storage, Spheres, flat solar collector.

INTRODUCTION GENERALE

Le gaspillage effréné des combustibles fossiles (charbon, gaz naturel et pétrole) a épuisé en moins d'un siècle la quasi-totalité de ce que la nature avait patiemment fabriqué et conservé au sein de la terre pendant des millions d'années.

En outre, le manque de solutions satisfaisantes à la gestion des déchets nucléaires et les risques liés à cette source d'énergie, ainsi que la limitation des émissions des gaz à effet de Serre, imposent la sagesse de rechercher de nouvelles sources d'énergies [1]. Le soleil, le vent, L'eau, la biomasse, énergies inépuisables et non polluantes semblent une solution fort attrayante comme remplacement graduel ou en complément aux sources conventionnelles [2].

L'Algérie qui dispose d'un potentiel solaire exceptionnel avec plus de 3000 heures d'ensoleillement et une superficie de 2381745 Km2 a décidé de mettre en place une stratégie pour développer différentes applications de l'énergie solaire et notamment les systèmes à concentration solaire pour la production d'électricité et l'énergie thermique et qui seraient profitables aux régions du sud.

C'est dans ce sens que notre intérêt a porté sur l'étude d'un capteur solaire plan afin d'estimer la température de sortie du fluide caloporteur, l'énergie absorbée par ce dernier et le rendement thermique instantané du système, un bilan thermique à été établi au niveau de tous les composants du capteur solaire plan a double vitrage.

Ce mémoire est structuré comme suit:

- Dans le premier chapitre, nous avons donné quelques généralités sur les rayonnements et gisement solaire.

- le deuxième chapitre est consacré sur le capteur solaire plan a double vitrage, on a vu Les capteurs à concentration et sans concentration. et le réservoir de stockage qui contient des plaques immergées dans l'eau. Et aussi fait pour La modélisation mathématique des phénomènes physiques qui se produisent dans le capteur á double vitrage étudié, et un bilan énergétique d'un réservoir de stockage.
- L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce travail et leur interprétation sont présentés dans le dernier chapitre.
- Ce manuscrit est finalisé par une conclusion illustre les objectifs visés.

CHAPITRE -I- : GISEMENT SOLAIRE

I. - Introduction

L'épuisement des énergies fossiles, le manque de solutions satisfaisantes à la gestion des déchets nucléaires et les risques liés à cette source d'énergie, ainsi que la limitation des émissions des gaz à effet de serre ont suscités un engouement aux énergies renouvelables et en particulier à l'énergie solaire.

II. - L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est dérivée du rayonnement du soleil qui augmente la température d'un corps exposé sous ce rayonnement. Cette source d'énergie est connue depuis très longtemps et utilisée dans la vie quotidienne. L'énergie solaire est essentiellement utilisée pour le chauffage de l'eau, de l'air, ou d'un bâtiment tout entier. Côté technique, deux méthodes sont appliquées pour transformer le rayonnement solaire en énergie thermique :

- Soit en concentrant et en collectant la chaleur grâce à des panneaux noirs.
- Soit en concentrant les rayons en un seul endroit.

Le principal intérêt de l'énergie solaire thermique, c'est sa simplicité : les panneaux destinés au chauffage sont simples, solides, résistants et durables.

II.1- Rayonnement solaire

Le rayonnement est le transfert d'énergie par ondes électromagnétiques. Le rayonnement se produit directement de la source vers l'extérieur dans toutes les directions. Ces ondes n'ont pas besoin d'un milieu matériel pour se propager, elles peuvent traverser l'espace interplanétaire et atteindre la Terre depuis le Soleil.

La longueur d'onde et la fréquence des ondes électromagnétiques sont importantes pour déterminer leur énergie, leur visibilité et leur pouvoir de pénétration.

II.1.2- Rayonnement solaire diffus

Le rayonnement diffus est aussi appelé rayonnement indirect. Le rayonnement solaire diffus représente la portion du rayonnement solaire qui a touché au moins une particule de gaz atmosphérique en modifiant l'angle d'incidence et qui, cependant, atteint le sol car il est dirigé vers elle. Augmente par rapport au total dans le ciel nuageux. En particulier, la diffusion de Rayleigh de la composante bleue du rayonnement solaire est responsable de la couleur bleue du ciel. Une partie du rayonnement diffus est de retour vers l'espace.

II.1.3- Rayonnement solaire incident

Le rayonnement solaire incident est ce rayonnement qui a rencontré tout obstacle auquel il a donné tout ou partie de son énergie. L'énergie qui n'atteint pas la surface de la terre est dite éteinte et est formée par un rayonnement réémis, réfléchi et rétrodiffusé dans l'espace. Selon la loi de Lambert, la quantité de rayonnement frappant l'unité de surface est proportionnelle au cosinus de l'angle d'incidence.

La quantité maximale de rayonnement solaire incident est obtenue avec une incidence perpendiculaire, puisque l'angle augmente, à la fois la surface affectée par la même quantité de rayonnement et l'épaisseur de l'atmosphère traversée par ces augmentations. Cela crée les variations quotidiennes, annuelles et latitudinales de l'irradiation.

II.1.4- Rayonnement solaire réfléchi

Le rayonnement solaire réfléchi est la partie du rayonnement solaire incident réfléchie par la surface de la terre en raison de l'effet albédo. L'albédo est le coefficient de réflexion c.

Les valeurs de c sont généralement comprises entre 0 et 1 ou sont exprimées en pourcentage. Il est donné par la relation entre l'énergie rayonnante réfléchie par une surface par rapport à l'énergie incidente. La Terre a une valeur moyenne de 40% (c = 0,4). À l'altitude de l'albédo terrestre, nous ajoutons les rayonnements réfléchis par les particules atmosphériques dans l'espace.

II.1.5- Rayonnement solaire absorbé

Après déduction de toutes les pertes dues à la réflexion et rétrodiffusion de l'atmosphère et la surface de la Terre, le rayonnement solaire qui est absorbée par la surface de la Terre et contribue donc à son chauffage, d'une manière variables en fonction de la latitude et du type de surface.

II.2- Rayonnement Solaire à l'Extérieur de l'Atmosphère

Le rayonnement solaire extraterrestre est en fonction de la constante solaire I0 et de la correction de la distance entre la terre et le soleil. La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité. Dans notre cas, la valeur qui a été retenue en1980 est : I0 = 1367 (W m−2) I0 est variable autour de l'année puisque la distance terre soleil est elle-même variable (Trajectoire elliptique) [3]

La correction terre soleil est donnée par :

$$I_{SC} = I_0 \times \left[1 + 0.033 \times \cos\left(\frac{360}{365}(N-3)\right)\right]$$

II.3- Mouvement de la Terre autour du Soleil

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi-circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est le plus près du soleil : 147millions de Km et au solstice d'été qu'elle en est le plus éloigné : 152 millions de Km, la distance moyenne étant de 149,5 millions de Km. La terre coupe le petit axe de son orbite aux équinoxes de printemps (21 Mars) et d'automne (21 septembre). Elle tourne sur elle-même avec une période de 24 heures. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans de l'écliptique.

II.4- Paramètres géographiques

La Terre est séparée par l'équateur en deux demi sphères, l'hémisphère Nord pour celle située du côté du pôle Nord, et l'hémisphère Sud pour celle qui est située du côté du pôle Sud. D'autre part, elle est partagée d'Ouest en Est, par le méridien d'origine qui passe par Greenwich (près de Londres en Angleterre).

- **La latitude**

La latitude d'un lieu est une valeur angulaire, expression du positionnement nord-sud de l'équateur, d'un point sur la Terre. Théoriquement, elle a pour valeur, 0° à l'équateur jusqu'à 90° aux pôles, elle est comptée positivement de (0 à +90°) vers le Nord et négativement de (0 à -90°) vers le Sud. Généralement, cette grandeur est notée φ.

- **La longitude**

La longitude d'un lieu est une valeur angulaire, expression du positionnement Est-Ouest d'un point sur Terre par rapport au méridien d'origine. C'est donc une mesure angulaire sur 360° par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de +180°à-180°ou180° Està180° Ouest. Généralement, cette grandeur est notée Lon.

- **L'altitude**

L'altitude exprime un écart entre un point donné et un niveau moyen, le plus souvent le niveau de la mer (ou niveau 0). Les sommets sont associés à une altitude, calculée par divers moyens indirects (géodésie, triangulation).

- **Position du Soleil**

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différentes.

- **Coordonnées équatoriales**

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (ω, δ).

II.5- Déclinaison solaire

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. La déclinaison varie de -23°27' a u solstice d'hiver à +23°27' au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes [4] , La déclinaison solaire est bien représentée par la formule suivante:

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{365} \times (N - 81)\right] \quad [5]$$

On a aussi l'équation proposé par Copper qui est donnée par :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{365} \times (N + 284)\right]$$

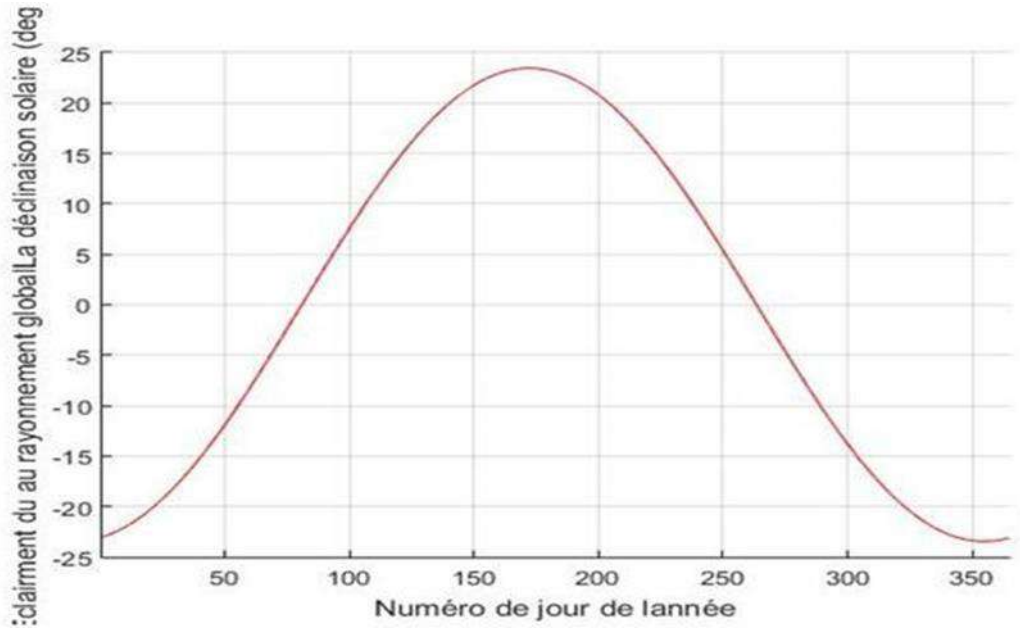


Figure 1: Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour de l'année selon les deux formules proposées [5]

II.6- Angle horaire

L'angle horaire ω étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) définit le temps solaire vrai TSV [4]. L'angle horaire est donné par l'équation suivante :

$$\omega 1 = 0.261799 \times (TSV - 12)$$

Pour calculer l'angle horaire, Capderou dans l'Atlas Solaire de l'Algérie [6], a utilisé la formule suivante

$$\omega 2 = 15 \times (TSV - 12)$$

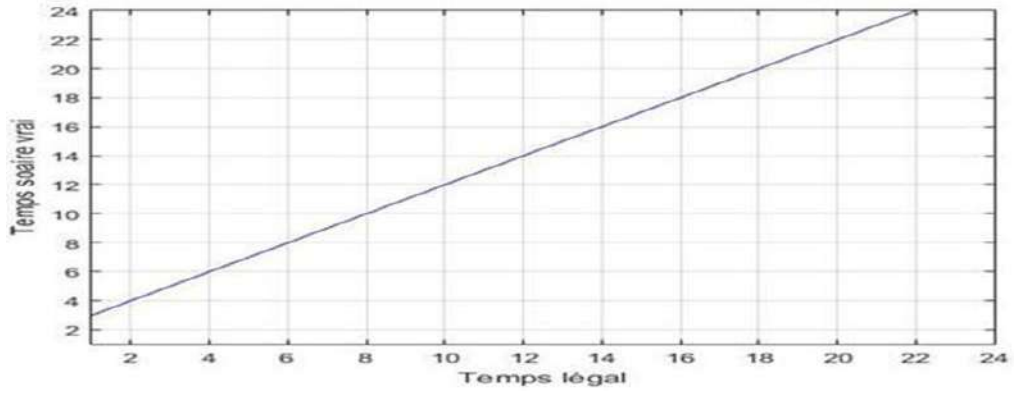


Figure 2: Variation de l'angle horaire en fonction du temps [6]

II.7- Temps solaire vrai

Le temps solaire vrai est défini à partir de la rotation de la terre sur elle-même. Il est donc directement lié à l'angle horaire. La terre fait un tour complet en 24H. Il est midi (12H) lorsque le soleil est au zénith, on a donc [7]

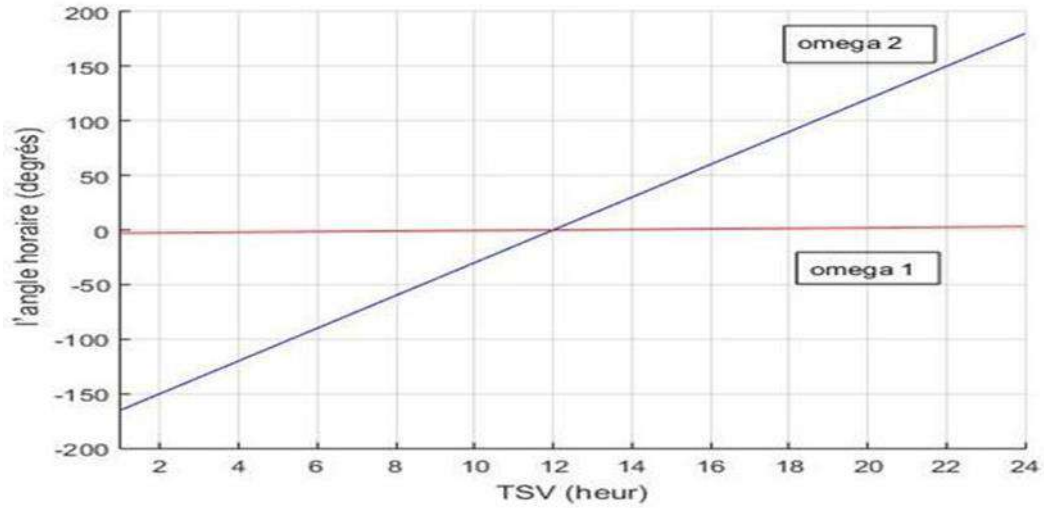


Figure 3: La différence entre le temps solaire vrai et le temps légal [7]

$$TSV = TL - DE\left(\frac{E_t + 4Lon}{60}\right)$$

TSV : Temps solaire vrai qui est égal au temps légal corrigé par un décalage dû à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude référence.

TL : temps légal (donné par une montre).

DE : décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich (égale 1 pour l'Algérie).

Et : est la correction de l'équation des temps. Cette correction varie au cours de l'année de

$-14,3$ (mn) à 16, 4 (mn).

Elle peut être calculée par la formule approchée:

$$E_t = 9.87 \times \sin\left(2N_P\right) - 7.53 \times \cos\left(N_P\right) - 1.5 \times \sin\left(N_P\right)$$

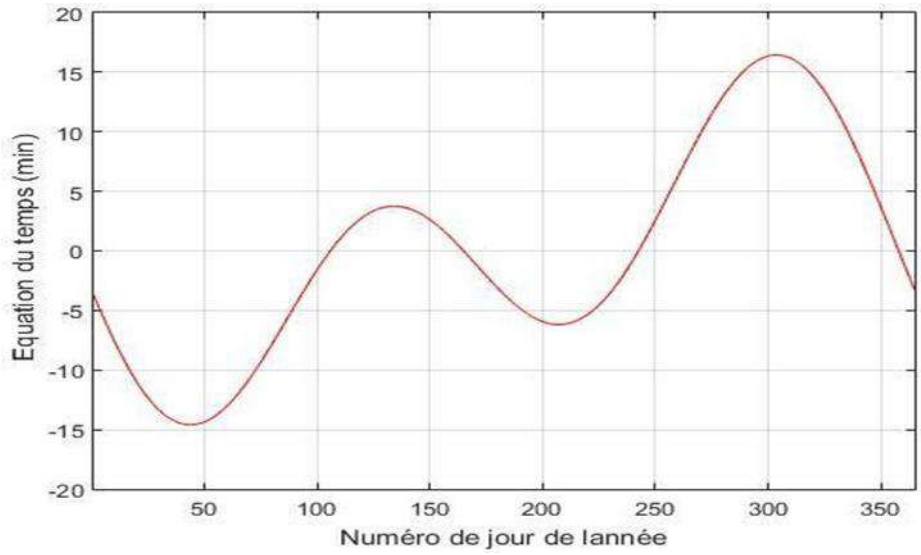


Figure 4: Evolution de l'équation du temps [7]

Et : calculée en minutes et en fraction décimale de la minute.

$$N_P = 2\pi \times \frac{N}{356.25}$$

Lon : Longitude du lieu, en degrés.

II.8- Coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et le vertical du lieu. Dans ce repère, les coordonnées sont la hauteur h et l'azimut [8]

II.9- Hauteur du soleil

La hauteur du soleil (h) est l'angle que fait, le plan horizontal avec la direction du soleil, la valeur (h) = 0 correspond au lever et au coucher du soleil, la hauteur du soleil varie entre

+90° (zénith) et -90° (nadir). La hauteur du soleil est bien représentée par une formule bien connue, qui avait été également adoptée par Capderou

$$h = \sin^{-1}\left[\cos(\delta)\times\cos(\varphi)\times\cos(\omega)+\sin(\varphi)\times\sin(\delta)\right] \quad [9]$$

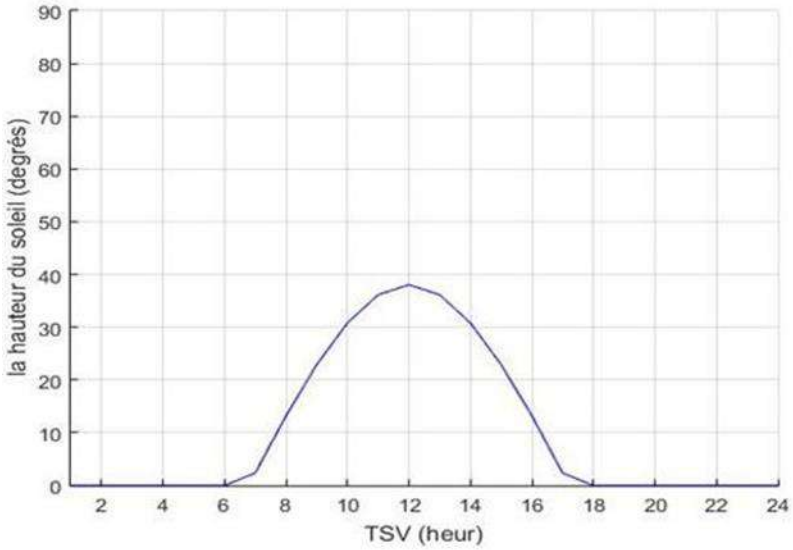


Figure 5: Variation de la hauteur du soleil au cours d'une journée [7]

L'angle zénithal $\theta_z = 90^\circ - h$

II.10- Les modèles semi empiriques

Les modèles semi empiriques utilisent des relations mathématiques en fonction de la masse d'air pour calculer les effets des constituants de l'atmosphère (intégrés sur tout le spectre) sur l'atténuation du rayonnement direct et la création du rayonnement diffus. Plusieurs modèles ont été proposés dans la littérature, parmi lesquels, le modèle de Bird&Hulstrom [10],[11].

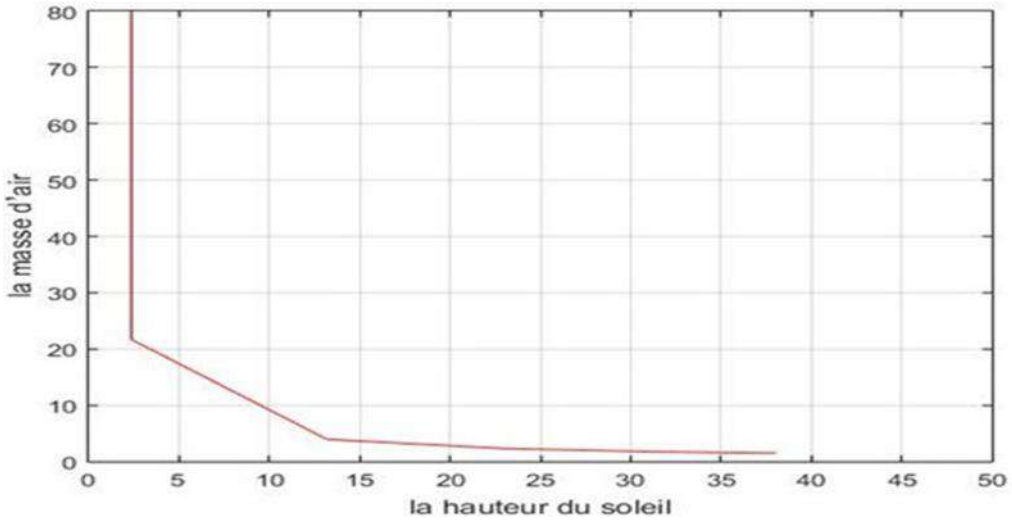


Figure 6: Composantes du rayonnement solaire calculé par le modèle de Bird&Hulstrom– Site : ouergla [10]

Tableau 1: Valeurs du facteur Fc en fonction de la distance zénithale

$\theta_z(°)$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
F_C	0.92	0.92	0.90	0.90	0.90	0.85	0.78	0.68	0.60	0.50

II.11- Modèle de Bird et Hulstrom

En 1981, Bird et Hulstrom [4] ont développé un modèle mathématique qui permet de calculer le rayonnement solaire incident sur le sol. Ce modèle tient compte des effets de diffusion et d'absorption que subit le rayonnement solaire lors de sa traversée de l'atmosphère. Il est basé sur la détermination des coefficients de transmission des différents constituants atmosphériques. Ces coefficients nécessitent la disponibilité des paramètres météorologiques courants (l'humidité relative, la température ambiante, la pression atmosphérique,…) et des paramètres géographiques (latitude, longitude et altitude).

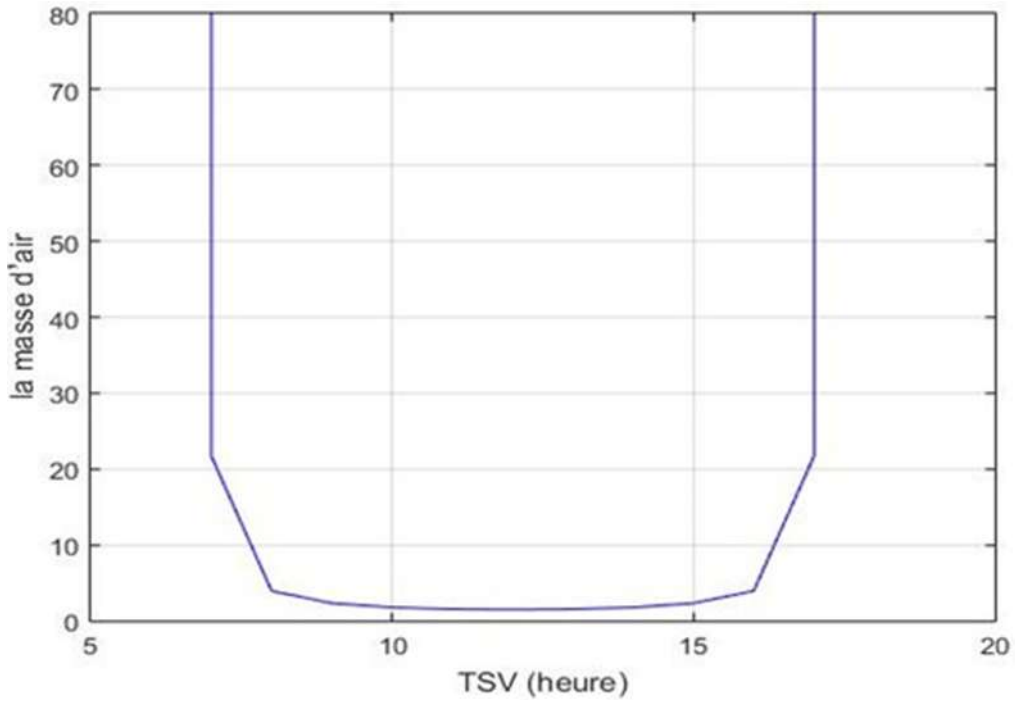


Figure 7: Variation de la masse atmosphérique au cours d'une journée [4]

II.12- Calcul du rayonnement direct

L'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan horizontal est donné par la relation :

$$I = 0.9751 \times I_{SC} \times \tau_r \times \tau_g \times \tau_0 \times \tau_W \times \tau_a \times \cos(\theta_z)$$

Où, le coefficient d'absorption par la couche d'ozone τ_0 est donné par :

$$\tau_0 = 1 - 0.1611 \times U_0 \times \left(1.0 + 139.48 \times U_0\right)^{-0.3035} \times 0.002715 \times U_0 \times \left(1 + 0.044 \times U_0 + 0.0003 \times U_0^2\right)^{-1}$$

Où l'épaisseur de la couche d'ozone corrigée par le trajet optique du rayonnement solaire à travers cette couche et définie par :

$$U_0 = L \times m_r$$

Où m_r est la masse d'air optique relative

$$m_r = \left[\cos\theta_Z + 0.15\left(93.885 - \theta_Z\right)^{-1.253}\right]^{-1}$$

Et, L représente la quantité d'ozone à la verticale du lieu (épaisseur de la couche d'ozone réduite (cm) NTP)

$$L = \left\{235 + \left[150 + 40\sin\left(0.9856\left(N - 30\right)\right) + 20\sin\left(3lon\right)\right]\left[\sin^2\left(1.28\varphi\right)\right]\right\} / 1000$$

Le coefficient de transmission après absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau est donné par :

$$\tau_\omega = 1 - 2.4959 \times U_W \times \left[\left(1 + 79.03 \times U_W\right)^{0.6828} + 6.385 \times U_W\right]^{-1}$$

U W Est l'épaisseur d'eau condensable à la verticale du lieu(cm).

$$U_W = \frac{0.493}{T} HR \times \exp\left(26.23 - \frac{5416}{T}\right)$$

Avec la masse d'air corrigée exprimée par :

$$m_a = m_r \left(\frac{P}{1013}\right)^{0.75} \times \left(\frac{273}{T}\right)^{0.5}$$

P est la pression atmosphérique (mbar). Elle peut être calculée à partir de

$$P = P_0 \exp\left(-0.0001184 \times z\right)$$

P0 est la pression atmosphérique au niveau de la mer (P0= 1013 mb) ; z , l'altitude du site

(m), par rapport au niveau de la mer; Ta , la température ambiante (K) et HR ,l'humidité relative (%).

Le coefficient de transmission après absorption par les gaz permanents (CO2 et O2) s'exprime en fonction de la masse d'air corrigée à l'aide de l'équation:

$$\tau_g = \exp\left(-0.0127 \times m_a^{0.26}\right)$$

Où, est la masse d'air corrigée exprimée par l'équation.

Le coefficient de transmission après la diffusion moléculaire s'exprime aussi en fonction de la masse d'air par :

$$\tau_r = \exp\left[-0.0903 \times m_a^{0.84}\left(1.0 + m_a - m_a^{1.01}\right)\right]$$

Et le coefficient de transmission après la diffusion par les aérosols peut se calculer par :

$$\tau_a = \exp\left[-K_a^{0.873} \times m_a^{0.9108} \times \left(1.0 + K_a - K_a^{0.7088}\right)\right]$$

Où

$$K_a = 0.2758 \times K_{a\lambda/\lambda=0.38\mu m} + 0.35 \times K_{a\lambda/\lambda=0.5\mu m}$$

$K_{a\lambda/\lambda=0.38\mu m}$ et $K_{a\lambda/\lambda=0.5\mu m}$ Sont deux coefficients d'atténuation déterminés à partir des mesures expérimentales déduites par l'équation

$$K_a(\lambda) = \beta \times \lambda^{-\infty}$$

Où, α est le coefficient de distribution granulométrique et β le coefficient de trouble atmosphérique établi par Angstrom et déterminés dans la section (2.2.1). Ces valeurs nous

ont permis de calculer $K_{a\lambda/\lambda=0.5\mu m}$ et $K_{a\lambda/\lambda=0.5\mu m}$

II.13- Calcul du rayonnement diffus

le rayonnement diffus sur un plan horizontal est la somme des trois composantes diffuses dues aux divers types de diffusion du rayonnement solaire par la pellicule atmosphérique. $D = D_r + D_a + D_m$

Le rayonnement diffus issu de la diffusion de Rayleigh est donné par :

$$D_r = 0.79 \times I_{sc} \times \cos(\theta_z) \times \tau_0 \times \tau_g \times \tau_W \times \tau_{aa} \times 0.5 \times \frac{(1-\tau_r)}{\left(1 - m_a + m_a^{1.02}\right)}$$

Où, est donnée par l'expression suivante :

$$\tau_{aa} = 1 - (1-\omega_0) \times \left(1 - m_a + m_a^{1.06}\right) \times (1-\tau_a)$$

Et ω_0 , est le coefficient de réflexion unitaire relatif à la diffusion par les aérosols. Dans Ce modèle, Bird & Hulstrom recommandèrent $\omega_0 = 0{,}90$

Le rayonnement diffus après la diffusion par les aérosols est donnée par :

$$D_a = 0.79 \times I_{sc} \times \cos(\theta_z) \times \tau_0 \times \tau_W \times \tau_{aa} \times F_c \times \frac{(1-\tau_{as})}{(1-m_a+m_a^{1.02})}$$

Où F_C , est le coefficient de dispersion de l'atmosphère. F_C = 0.84 est la valeur commandée par ce modèle.

τ_{as} Est donné par la relation suivante : $\tau_{as} = \tau_a / \tau_{aa}$

Le diffus dû au phénomène de multi réflexion terre atmosphère est donné par :

$$D_m = \frac{(I + D_a + D_r) \times \rho \times \rho_a'}{(1-\rho_g \times \rho_a')}$$

ρ Est l'albédo du sol, dont les valeurs sont données dans le tableau suivant

Tableau 2: Quelques valeurs d'albédo [12]

Type de surface	**Albédo (0 à 1)**
Surface de lac	0,02 à 0,04
Forêt de conifers	0,05 à 0,15
Surface de la mer	0,05 à 0,15
Sol somber	0,05 à 0,15
Cultures	0,15 à 0,25
Sable léger et sec	0,25 à 0,45
Glace	environ 0,60
Neige tassée	0,40 à 0,70
Neige fraiche	0,75 à 0,90
Miroir	1

Avec, ρ est l'albédo terrestre, et, ρ_a' est l'albédo du ciel clair donné par :

$$\rho_a' = 0.0685 + (1-F_c) \times (1-\tau_{as})$$

II.14- Calcul du rayonnement global

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme des deux composantes solaires directe et diffuse soit :

G = I+ D

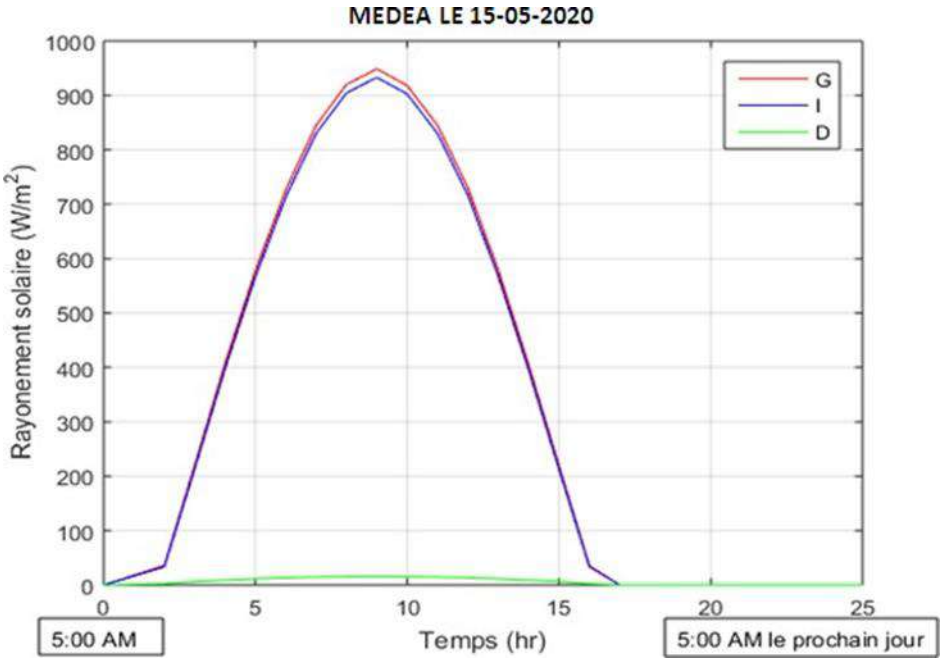


Figure 8: Variation de rayonnement solaire au cours du temps [12]

Tableau 3: caractéristiques du site étudié

Site	Date	Latitude	Longitude	Altitude
Médéa	**15/05/2020**	**36.28°**	**2.73°**	**981 m**

II.15- Applications à basses et hautes températures

II.15.1- Applications à basses températures

- **Le chauffage**

Le système solaire permet d'utiliser la chaleur produite pour les besoins d'eau chaude sanitaire, le chauffage d'habitats

- **Le dessalement des eaux**

Le dessalement de l'eau de mer est désormais un principe envisageable, voire nécessaire pour obtenir de l'eau potable. Le solaire thermique paraît être le mieux adapter à le réaliser

- **Le séchage solaire des fruits**

Les fruits peuvent être séchés grâce à l'énergie solaire. Ils sont disposés dans une enceinte à l'intérieur de laquelle un courant d'air circule au-dessus des fruits.

II.15.2- Applications à hautes températures

- **L'électricité**

Le système de turbine à vapeur pour la production d'électricité présente un danger environnemental, puisqu'il dégage du CO2 et contribue ainsi au réchauffement climatique. Nous pouvons alors envisager de remplacer la chaudière à gaz qui entraine la turbine par des collecteurs solaires, cylindro_paraboliques, qui engendrent des fluides caloporteurs à haute température et par suite produisent de la vapeur d'eau Il faut également encourager l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'énergie électrique [13].

II.16- Conclusion

L'énergie solaire thermique s'utilise principalement au travers de deux applications : le chauffage de l'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux. Cette énergie est rentable à la production. Elle a un prix modeste sur le marché mondial mais Il faut un plan d'eau à proximité.

CHAPITRE-II- ÉTUDE THÉORIQUE

CAPTEUR SOLAIRE PLAN

I.1. Introduction

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques : les effets de serre et du corps noir. La chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour **[12].**

•Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.

•Activer la croissance des végétaux.

•Sécher les grains et les fourrages

• Faire fonctionner des moteurs thermiques

•Alimenter des machines de réfrigération.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 150°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil **[6].**

Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la réémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur **[3], [10].**

II.1. Les types des capteurs solaires thermiques

II.1.1. Les capteurs à concentration

C'est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteurs) destiné à concentrersur l'absorbeur (circuit échangeur) le rayonnement solaire.

Ce type de capteur focalise le rayonnement solaire reçu sur l'absorbeur de manière à accroitre l'intensité des rayons solaires et d'obtenir des températures élevées, entre 400 °C et 1000 °C. La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente généralement une turbine.

Trois technologies sont utilisées dans les centrales solaires à concentration.

II.1.1.1 Concentrateurs paraboliques

Les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole, (figure II.1). Le système doit être orienté à tout instant vers le soleil, ce qui implique une motorisation précise selon deux axes. Le facteur de concentration moyen dépasse le millier, ce qui permet de porterle fluide à très haute température, au-delà de 700 °C.



Figure 9: parabolique.[17]

II.2.1.2. Centrales à tour

Des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour, (figure II-2). Cette filière permet de déployer des surfaces de miroirs très importantes. Des centaines ou milliers d'héliostats (miroirs plans de plusieurs dizaines de mètres carrés chacun), suivent le soleil et concentrent le rayonnement sur un récepteur central placé en haut d'une tour. Le soleil est concentré plus de 500 fois et la température obtenue dépasse les 600 °C. Différents fluides caloporteurs peuvent être utilisés (vapeur, sels fondus, air).



Figure 10: centrale a tour. .[17]

II.2.1.3. Concentrateurs cylindro-parabolique :

Des miroirs de section parabolique concentrent les rayons du soleil vers une ligne focale, (figure II-3). Le récepteur est un tube placé sur ce foyer linéaire dans lequel circule un fluide caloporteur. L'avantage de ces miroirs paraboliques est que le suivi du soleil est simplifié. En effet, il s'effectue sur un seul axe au lieu de deux pour les héliostats. Ces concentrateurs sont généralement orientés nord-sud et pivotent d'est en ouest pour suivre la course du soleil. La concentration est modeste, de 20 à 80 fois le rayonnement, et les températures obtenues sont de l'ordre de 400 °C.

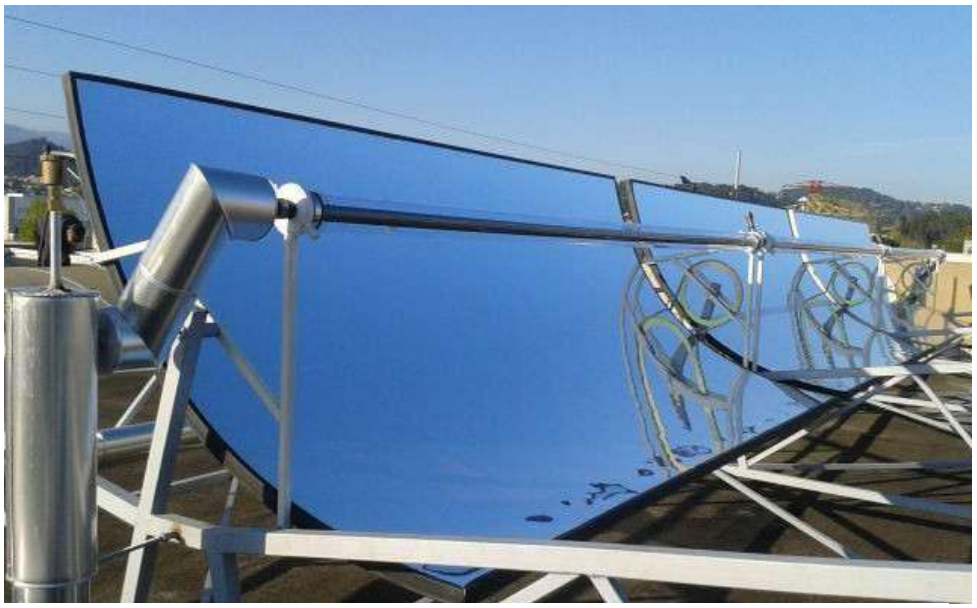


Figure 11: cylindro_parabolique. .[17]

II.2.2 Les capteurs solaires sans concentration (fixe):

II.2.2.1. Le capteur plan sans vitrage :

El est beaucoup plus économique mais moins répandu. Très dépendant de la température extérieure, il est généralement utilisé dans les installations de chauffage de piscine mais peut parfois faire office de système de chauffage de l'eau sanitaire dans les pays chaud. Dans les zones tempérées, la température de fonctionnement est généralement inférieure à 30°C **[11].** Il est seulement constitué d'un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur (figure II-4).



Figure 12: capteur solaire plan sans vitrage. .[11]

II.2.2.2 Le capteur plan avec vitrage

Il est généralement utilisé dans les installations de chauffage de l'eau sanitaire ou des locaux.

La température de fonctionnement est généralement comprise entre 30°C et 60°C. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur on retrouve l'absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur. Le vitrage bloque le rayonnement infrarouge et isole la lame d'air au-dessus de l'absorbeur pour garder la chaleur (Figure II-5).

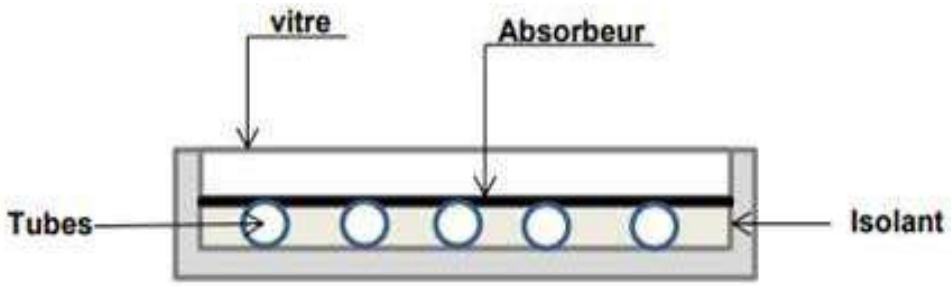


Figure 13: Capteur solaire plan avec vitrage [11]

II.2.2.3 Le capteur plan double vitrage :

Pourquoi utilisons-nous un double vitrage ?

Nous utilisons double vitres pour améliorer encore les propriétés des capteurs dans laMesure où constructeurs utilisent parfois deux vitres (figure II-6.).

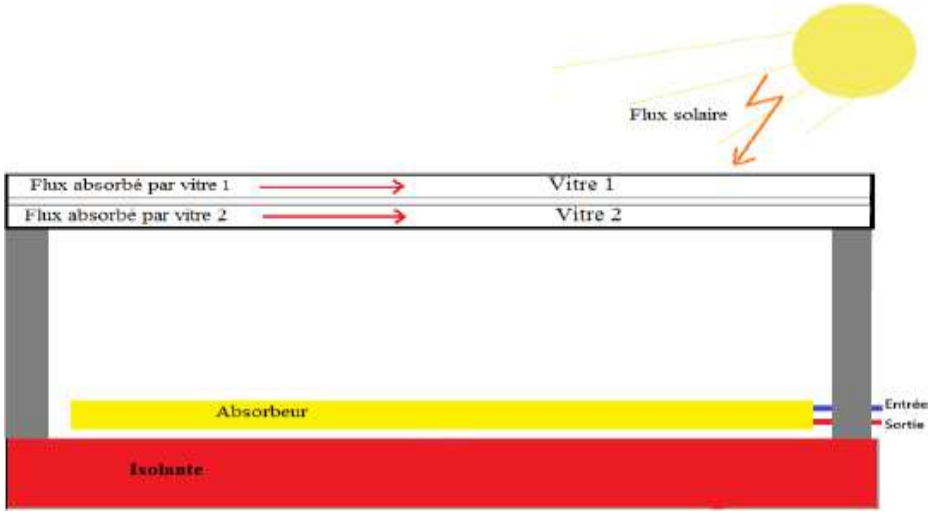


Figure 14: capteur solaire plan avec double vitrage [11].

II.2. Principe de fonction de capteur solaire

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire (plaque absorbante) , parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction. Différentes configurations conduisent à des types de capteurs distincts, dont les performances varient en fonction des domaines d'utilisation

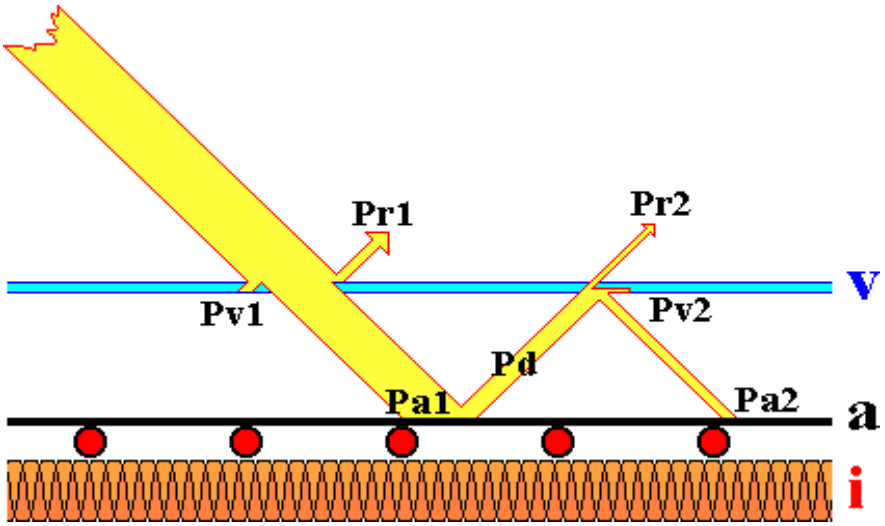


Figure 15: fonctionnement d'un capteur solaire [11]

Le rayonnement solaire, symbolisé par les flèches jaune, ne traverse pas entièrement couche transparente du capteur car une petite partie est réfléchie par la vitre, surtout si l'angle d'incidence est fort.

Malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie (Pv1) de l'énergie reçue sera absorbée par le verre.

Du rayonnement reçue par l'absorbeur a, une partie (Pd) sera re-rayonnée ou communiquée à l'air ambiant par convection.

Une partie (Pr2) de Pd va traverser la vitre et sera perdue définitivement, une autre partie (Pv2) sera absorbée par la vitre et le reste retournera vers l'absorbeur (Pa2).

On négligera les pertes au travers de l'isolant **[11]**

II.3.Les différents composants d'un capteur solaire à eau

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre (figure II.8).

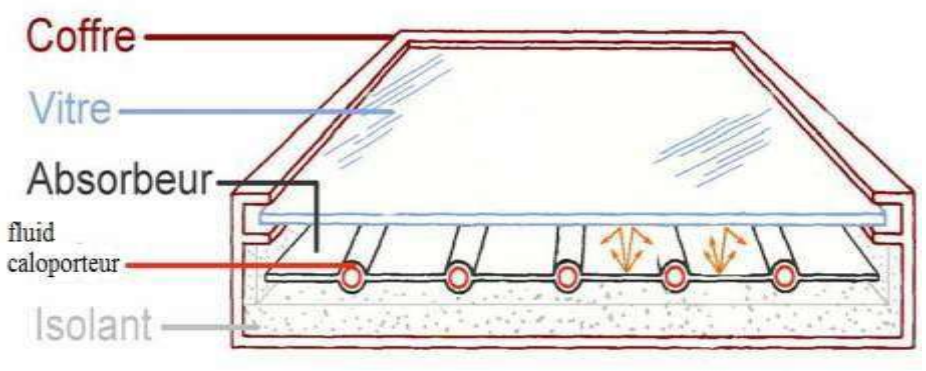


Figure 16: Composants d'un capteur solaire plan [14].

L'absorbeur

C'est la transformation du rayonnement solaire en chaleur, il transport cette chaleur au fluide caloporteur, il est constitué d'une plaque métallique (cuivre, acier, aluminium …ext) revêtue d'une peinture noire matte.

Ses principales qualités sont:

- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Un pouvoir émissif dans l'infrarouge aussi faible que possible.
- Une bonne conductivité thermique.
- Une faible inertie thermique.

II.3.1. Le fluide caloporteur

Le fluide caloporteur ou caloriporteur permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là où elle doit être consommée. Un bon fluide caloporteur doit prendre en compte les conditions suivantes:

- Etre chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors dela stagnation du capteur.
- Posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiqueslocales.
- Posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans lecircuit capteur.
- Posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin detransporter efficacement la chaleur.
- Etre non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement.
- Avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation.
- Etre facilement disponible et bon marché.

II.3.2. Le vitrage

Le vitrage permet de protéger l'intérieur du capteur contre les effets de l'environnement et d'améliorer le rendement du système par effet de serre.

Si l'on souhaite un vitrage efficace, il doit posséder les propriétés suivantes:

- Réfléchir le rayonnement lumineux au minimum quelle que soit son inclinaison.
- Absorber le rayonnement lumineux au minimum.
- Avoir une bonne isolation thermique en gardant le rayonnement infrarouge aumaximum.
- Résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnementsolaire,...) et aux grandes variations de température.

Les principaux vitrages utilisés pour les capteurs thermiques sont à base de verre non ferrugineux ou en verre acrylique, et souvent dotés d'un revêtement antireflet.

II.3.3. L'isolation thermique

L'isolant thermique permet de limiter les déperditions thermiques, sa caractéristique est le coefficient de conductivité; plus il est faible meilleur est l'isolant. Les principaux matériaux utilisés pour les capteurs thermiques sont la laine de roche et de verre, des mousses de polyuréthane ou encore de la résine de mélamine, on retrouve parfois des isolants plusnaturels

II.3.4. Le 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

II.5.Les modes de transfert de chaleur :

Les trois modes de transfert de chaleur sont [6] :

a) Conduction:

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température

$$Q = -\lambda grad\,(T)$$

Ou sous forme algébrique:

$$Q = -\lambda_S \frac{\partial T}{\partial x}$$

Avec : Q Flux de chaleur transmis par conduction (W);

λ : Conductivité thermique du milieu (W m-1 °C-1);

x : Variable d'espace dans la direction du flux (m);

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²);

b) Convection:

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

Loi de Newton:

Cette loi exprime l'échange de chaleur qui existe entre une plaque chaude (à la températureT2) et un fluide (à la température T1).

$$Q = hs\,(T1 - T2)\,[W]$$

S: surface d'échange (m²).

$T1$: Température de la plaque.

$T2$: Température du fluide.

La convection est dite forcée si le fluide est mis en mouvement par une action extérieure (pompe, ventilateur, vent…). La convection est dite naturelle si le mouvement du fluide ne résulte que des différences de masse volumique induite par des différences de températures. La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

c) Le rayonnement:

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

La loi de Stefan-Boltzmann (ou loi de Stefan) permet de quantifier ces échanges. La puissance rayonnée par un corps est donnée par la relation**[13]** :

$P = \varepsilon S \sigma T^{-4}$

Avec:

σ : Constante de Stefan-Boltzmann (5,6703. 10-8 W.m-2.K-4)

ε : Émissivité, coefficient sans unité qui vaut 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0et 1 selon l'état de surface du matériau.

S : Superficies du corps ;

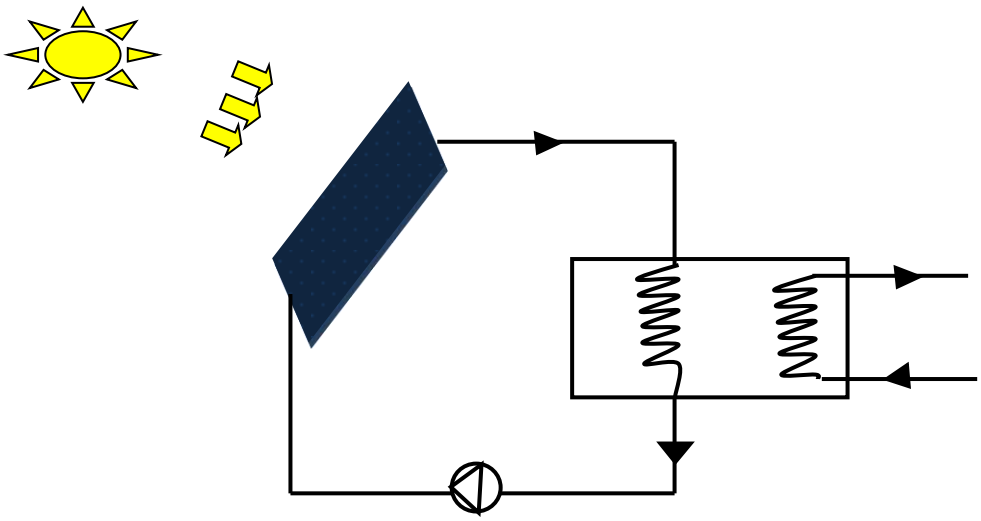
T : Température du corps (en kelvin).

II.6.Conclusion

Les installations solaires peuvent être utilisées dans tous les climats pour produire de l'eau chaude, mais leurs performances annuelles sont proportionnelles à l'ensoleillement du lieu où sont installés les capteurs solaires.

Le choix entre les types de capteurs solaires est déterminé par le type d'application recherchée, la fiabilité, le prix et les températures souhaitées.

Pour la production d'eau chaude sanitaire on choisi généralement les capteurs plans avec vitrage.



Composants d’un capteur solaire plan**.**

III. MODEL MATHEMATIQUE :

III.1 CAPTEUR SOLAIRE PLAN

S= L'énergie solaire absorbée par par la surface d'absorbeur [W/m²]

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + \rho_g I (\tau\alpha)_g$$

$(1+\cos\beta)/2$ et $(1-\cos\beta)/2$: sont les facteurs de vue du capteur au ciel et du capteur au sol , respectivement.

Qu : Flux de chaleur :[W]

$$Q_u = Ac\left[s - UL(T_{pm} - T_a)\right]$$

U_t : La somme des transferts de chaleur vers le haut [W/m². K]

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{c}{T_{pm}}\left[\frac{(T_{pm}-T_a)}{(N+f)}\right]^e} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\delta(T_{pm}+T_a)+(T^2_{pm}+T^2_a)}{\frac{1}{\delta_p + 0.00591 N h_w} + \frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N}$$

Avec N= nombre de couverture de verre

h = 5.7+3.8V

h: Coefficient de convection entre le verre supérieure et l'ambiante

V : vitesse de vent m/s

hw = (W/m².C°)

Coefficient des pertes de fond et les cotes [W/m2 K]

$$U_b = \frac{K}{E_p}$$

K : Conductivité thermique [W/m.K]

E_p : Épissure de l'isolent [m]

U_e : Perte de bord [W/m² K]

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c}$$

U_L : Les pertes thermiques globales [W/m² K]

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

m : Débit massique [kg/s]

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{U_L}{K_s}}$$

C_b : Conductance de liaison

$$C_b = \frac{K_b b}{\gamma}$$

F_R : Le facteur d'évacuation de la chaleur de capteur

$$F_R = \frac{mc_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c [S - U_L (T_{fi} T_a)]}$$

$$\frac{T_{fs} - T_a - S / U_L}{T_e - T_a - S / U_L} = \exp\left(- \frac{U_L A_c F'}{mc_p} \right)$$

F' : Le facteur d'efficacité du collecteur

$$F' = \frac{1/U_L}{W\left[\frac{1}{U_L[D+(W-D)F]}+\frac{1}{C_b}+\frac{1}{\pi D_i h_{fi}}\right]}$$

$$\Rightarrow T_{fs} = \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{mc_p}\right)\left(T_{fe} - T_a - S/U_L\right) + T_a + S/U_L$$

F'' : Débit de facteur de capteur

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{mc_p}{A_c U_L F'}\left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}c_p}\right)\right]$$

Q_u : Flux de chaleur utile [W]

$$Q_u = AcF_R[S - U_L(T_i - T_a)]$$

F_R : Le facteur d'évacuation de la chaleur de capteur

T_{fm} : Température de fluide moyenne [C°]

$$T_{fm} = \frac{1}{L}\int_0^L T_f(y)dy$$

T_f : Température de fluide [C°]

Tpm : Température de la plaque absorbeur moyenne [C°]

$$T_{fm} = T_{fi} + \frac{Q_u/A_c}{F_R U_L}(1 - F_R)$$

$$T_{fm} = T_{fi} + \frac{Q_u/A_c}{F_R U_L}(1 - F'')$$

III.2. RESERVOIR DE STOCKAGE

I. Stockage thermique de l'énergie

Le stockage de l'énergie thermique concerne principalement la chaleur provenant du soleil, comme il concerne également la chaleur produite par certaines industries (industrie métallurgique, centrale à gaz, centrale d'incinération…).

Les technologies de stockage de l'énergie thermique peuvent être classifiées dans diverses catégories selon différents critères *(cf. figure I.1).* Si le critère est la plage de température, les systèmes de stockage sont divisés en « stockage de la chaleur » et « stockage du froid » [17, 18][15 ,16]. Dans le cas où le critère est la durée de stockage deux classes sont considérées, « le stockage long terme » et le stockage « court terme ». D'autre part, si le critère est l'état du matériau de stockage, il existe trois principaux types : « stockage par chaleur sensible », « stockage par chaleur latente », et « stockage par chaleur thermochimique » [16][19]. Les systèmes de stockage de l'énergie thermique peuvent aussi être classés en deux autres catégories : actifs ou passifs [21][20].

Le terme de stockage actif est utilisé dans le cas où le matériau de stockage circule dans le système. À l'opposé, dans le cas d'un système de stockage d'énergie thermiquepassif (aussi appelé régénérateur), le matériau de stockage ne circule pas dans le procédé.

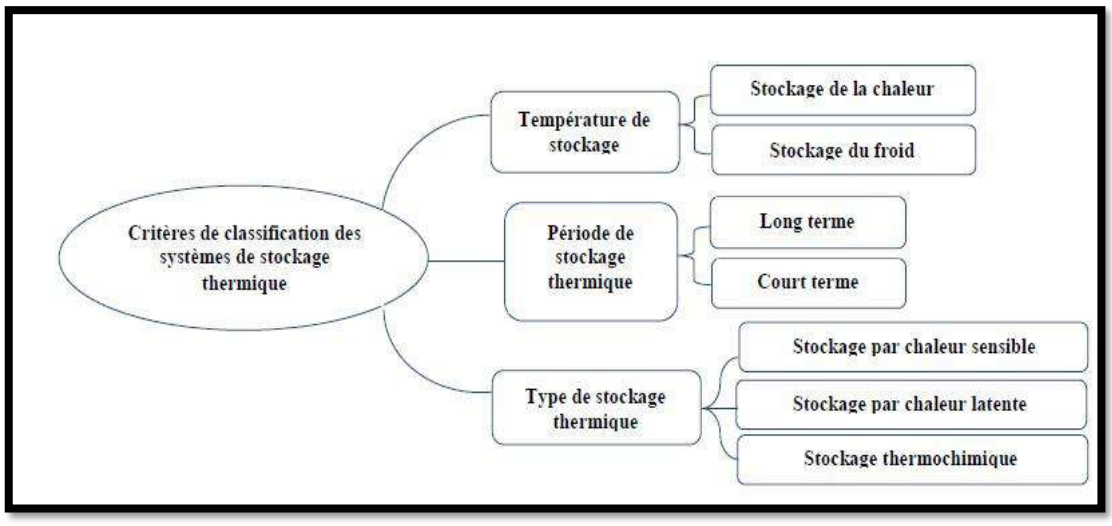


Figure 17: Classification des systèmes de stockage de l'énergie thermique.

III.3. Types de stockage de l'énergie thermique

III.3.1. Stockage thermique thermochimique:

Les systèmes de stockage par voie thermochimique sont basés sur une réaction thermochimique renversable du matériau de stockage avec un fluide. La réaction thermochimique consomme ou libère de la chaleur par dissociation ou combinaison de deux réactifs.

Les réactions solide-gaz sont particulièrement adaptées pour pouvoir facilement séparer et stocker les réactifs, sans pertes, pour de longues durées. Plus délicat à maitriser, les systèmes de stockage thermochimique peuvent atteindre en théorie des densités de stockage intrinsèques supérieures à celles des systèmes par chaleur sensible ou latente. De plus, ils permettent d'ajuster la température de réaction en régulant la pression de gazréactif.

Suivant le choix du réactif, ces systèmes de stockage peuvent être utilisés dans de nombreuses applications de stockage ayant des gammes de température différentes [22]. **mémoire de fatima**

a) Avantages :

- Vaste gamme de température de stockage : allant du froid jusqu'à 250°C
- Densité énergétique élevée par rapport aux autres systèmes de stockage
- Possibilité de transporter la chaleur ou le froid stocké
- Non toxique et non néfaste pour la santé et l'environnement
- Faible chute d'efficacité au cours du temps

b) inconvénients :

- Complexité de la technologie et complexité d'intégration entre source et puits dechaleur
- Temps de charge long, limité par le transfert de masse dans le système

III.3.2. Stockage par chaleur latente :

a) Principe :

La chaleur latente est l'énergie associée à un changement d'état. Lors du processus de stockage, une grande quantité d'énergie peut être emmagasinée autour de la température de changement d'état [24][23].

Les matériaux utilisés sont appelés matériaux à changement de phase (MCP). La plupart

des systèmes de stockage par chaleur latente sont des solides, ce qui fait que l'énergie est stockée sous forme de chaleur latente de fusionL_f est définie d'après [17][24] comme suit :

$$L_{fusio}(T_{fusion}) = h_L(T_{fusion}) - h_S(T_{fusion})$$

Où $h(T_{fusion})$ et $h_S(T_{fusion})$ sont les enthalpies massiques du liquide et du solide à la température de fusion. Pendant le changement de phase des matériaux, la chaleur peut être stockée de façon isotherme, dépendant ainsi de la chaleur latente du matériau et de la quantité de matériau utilisée. Durant l'étape de charge, l'énergie thermique fournie au matériau permet son échauffement, puis son changement de phase et éventuellement sa surchauffe.

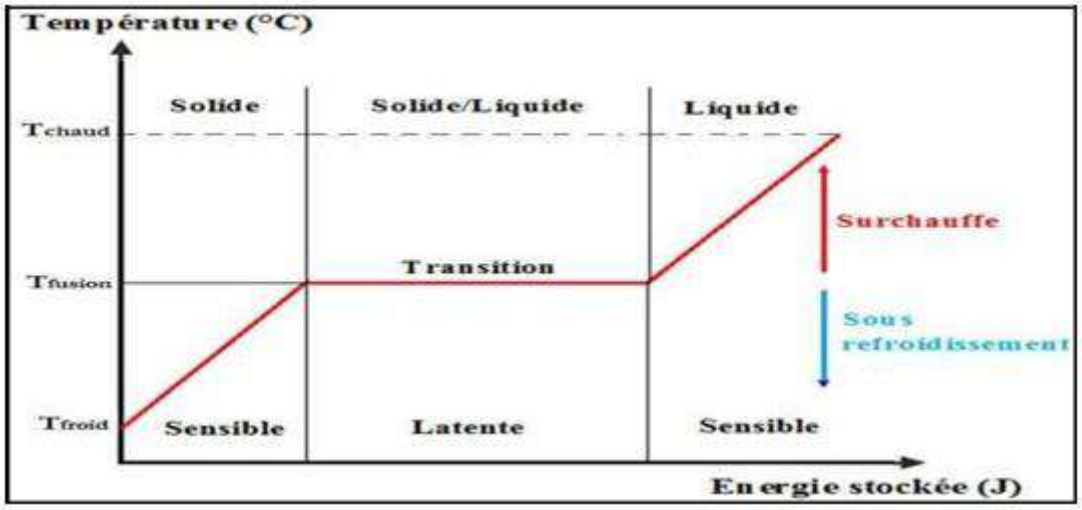


Figure 18: Les différentes étapes de stockage de la chaleur par un matériau en fonction de la température.

Ce changement d'état se fait à température constante et l'énergie apportée par l'extérieur sert alors à rompre les liaisons existantes dans le solide. Une fois que la matière est entièrement transformée de l'état solide à l'état liquide et si le système continue à recevoir de l'énergie, alors celle-ci sera de nouveau cumulée par le matériau sous forme de chaleur sensible. Lors de l'étape de décharge, le matériau change de nouveau la phase à la même température durant le processus de charge et reprend son état initial en libérant la chaleur.

La quantité d'énergie stockée dans le MCP est la somme de l'énergie sensible et de l'énergie latente suivant la relation (I-2). La majeure partie de l'énergie stockée est comprise dans l'enthalpie de changement de phase du matériau. L'état final correspond à l'état d'équilibre.

$$Q = \int_{T_{froid}}^{T_{fusion}} m.c_p.dT + mlf + \int_{T_{fusion}}^{T_{chaud}} m.c_p.dT$$

Où, Q est la quantité d'énergie stockée (J), m est la masse du matériau de stockage (kg), C_{Ps} et C_{P_l} sont respectivement les chaleurs spécifiques des matériaux solide et liquide ($J.kg^{-1}.K^{-1}$), L_f est l'enthalpie de changement de phase ($J.kg^{-1}$) ou la chaleur latente et dT est la variation infinitésimale de la température durant l'étape de charge (K).

a) Avantages :

- Pallie le décalage entre la production de chaleur fatale (récupération d'énergie) etles besoins en chaleur sur le site (utilisation de l'énergie récupérée).
- Densité énergétique importante par rapport au stockage sensible
- Température de décharge stable
- Chimiquement stable
- Non toxique

b) Inconvénients :

Faible conductivité thermique $\left(\lambda \square \frac{0.5w}{m}k\right)$ limitant les vitesses de charge et de décharge et imposant de grandes surfaces d'échange

- Durée de stockage limitée (pertes thermiques)
- Température de fusion limitée
- Couts relativement importants comparés au stockage sensible

III.3.3. Stockage de l'énergie thermique par chaleur sensible

a) Principe :

Dans le cas du stockage par chaleur sensible, l'énergie est emmagasinée via l'augmentation de température du matériau. Ce mode de stockage est le moyen le plus ancien, le plus simple et le moins onéreux d'emmagasiner de l'énergie. La quantité d'énergie stockée est directement proportionnelle à la masse, à l'écart de température, et à la chaleur spécifique du matériau de stockage. Dans ce cas, le matériau cède ou stocke de l'énergie dans une gamme de températures excluant le changement d'état. En effet, si la température s'élève de T_i à T_f pour un matériau de masse m, la quantité de chaleur Q stockée ou récupérée par ce matériau est équivalente à la variation de l'enthalpie du corps ΔH :

$$\boldsymbol{Q = AH = \int \rho.V.C_P.(T)dT} \qquad \text{(I-3)}$$

Où Q est la quantité d'énergie stockée (J), ρ est la masse volumique du matériau de stockage (kg), V est le volume de matériau (m^3), Cp est la chaleur spécifique du matériau de stockage ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) et dT est la variation infinitésimale de la température durant l'étape de charge (K).

En supposant la capacité calorifique indépendante de la température, la relation (I-3) devient :

$$Q = \rho.V.C(T_f - T_i) \qquad \text{(I-4)}$$

L'équation (I-4) indique que les propriétés importantes pour un matériau de stockage sont la masse volumique et la chaleur spécifique. Pour un volume donné, un matériau stockera d'autant plus de chaleur que le produit ρ_{C_p} sera élevé.

D'autres propriétés sont importantes, telles que la conductivité thermique, la diffusivité thermique, le coefficient de dilatation thermique, la stabilité cyclique, l'abondance, le coût et l'empreinte environnementale [25][26]. Il indique aussi que ce type de stockage est efficace dans le cas de systèmes fonctionnant dans de largesintervalles de température.

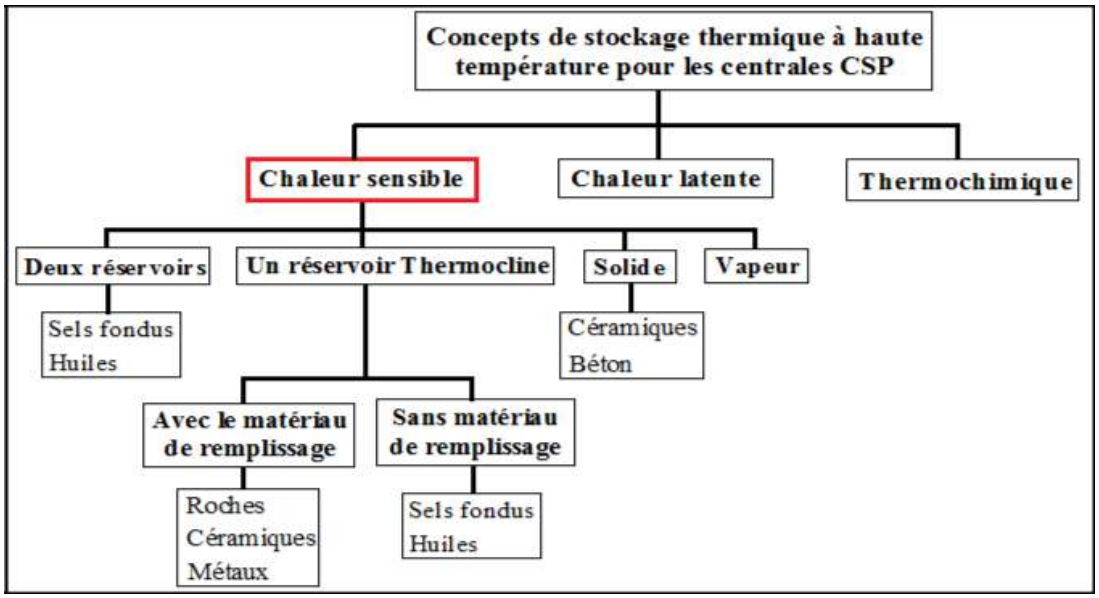


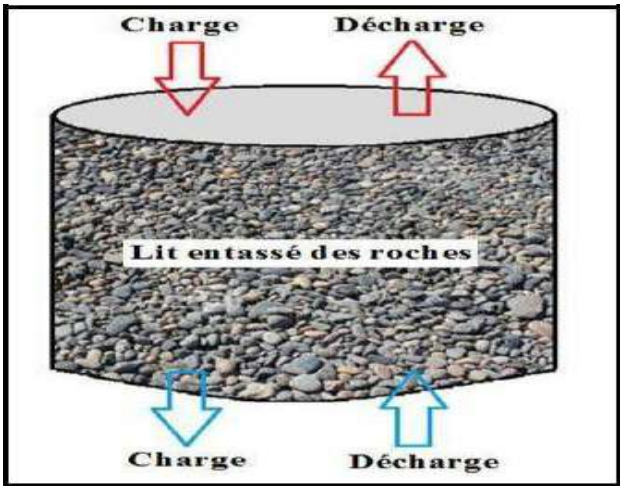
Figure 19: Les concepts de stockage de la chaleur sensible à haute température

III.3.4. Lit entassé de roches

a) Principe :

Par définition, un lit entassé de roches est un milieu poreux formé de roches autour desquelles existent des espaces vides appelés pores. Ces vides peuvent être occupés par un fluide caloporteur. La forme du lit couramment utilisé est cylindrique. Ainsi, les lits de forme conique tronqué et rectangulaire sont aussi utilisés pour le stockage thermique.

Le lit de roche utilisant l'air comme fluide caloporteur est devenu l'une des solutions les plus optimales pour le stockage thermique dans les centrales solaires car il offre plusieurs avantages tels que les coûts d'investissement faibles, l'efficacité, la fiabilité et le respect de l'environnement[17] [27]. Il est bien adapté pour les centrales CSP puisqu'il s'agit d'une technique simple permettant un rendement thermique global élevé. Selon Heller et Gauché et Barton et al, il n'a pas besoin d'un échangeur de chaleur supplémentaire entre le collecteur et le réservoir de chaleur. En plus, Pacheco et al. Ont démontré que la mise en œuvre d'un stockage thermocline sur un lit de roches permet une diminution de 34 % de l'investissement financier en comparaison avec une technologie utilisant un stockage avec deux réservoirs.



:

Figure 20: Schéma de principe de fonctionnement d'une unité de stockage de lit entassé de roches.

Lors de charge, le fluide chaud (FC) reçu à partir des capteurs solaires est introduit dans le lit par la partie supérieure. En descendant, il transfère ses calories aux roches et il sort ensuite avec une température presque égale à celle des couches inférieures.

Ainsi, la température des couches supérieures est beaucoup plus importante que les autres parties du lit (stratification thermique). Lors de décharge, lorsque l'énergie est nécessaire, le fluide froid (FF) est introduit dans le lit par la partie inférieure. En ascendant, il

enlève la chaleur emmagasinée dans les roches. Le sens choisi de l'écoulement d'air lors de charge et décharge du réservoir permet d'augmenter la surface de contact solide/fluide et le transfert thermique, ainsi que de maintenir la stratification thermique dans le lit .

Contrairement aux cas de deux réservoirs, un réservoir unique utilise un gradient thermique pour séparer la zone chaude ZC de la zone froide ZF. La figure I-5 présente le principe de fonctionnement de la zone dite « thermocline » [18][22]. Cette zone peut représenter jusqu'à un tiers de la hauteur du réservoir.

Elle se déplace axialement suivant les phases de charge ou de décharge. En général, une vitesse du fluide caloporteur faible est nécessaire pour permettre la formation de cette zone. Cela impose un flux laminaire à travers le lit de roches et doncun faible nombre de Reynolds de l'ordre de 500 .

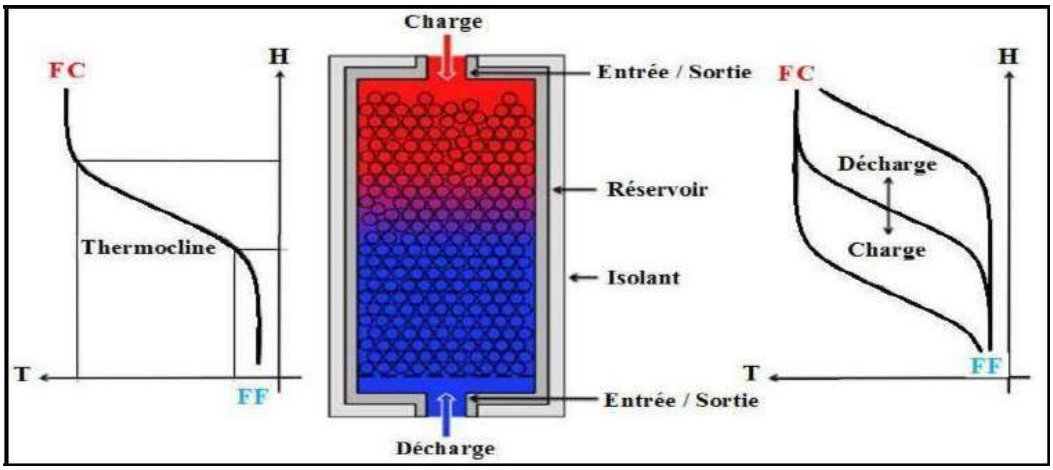


Figure 21: Stockage thermocline sur lit de roche [22].

Pour décrire le transfert de chaleur dans le lit de roches, les mécanismes suivants sont rencontrés : conduction thermique à travers le fluide caloporteur, conduction à travers les particules, conduction à travers les surfaces de contact entre deux particules, transfert radiatif entre les surfaces des particules et transfert thermique convectif fluide- particule (Figure I-6). Habituellement la différence de température entre le fluide et la particule est de 0,5°C environ. [22][18]

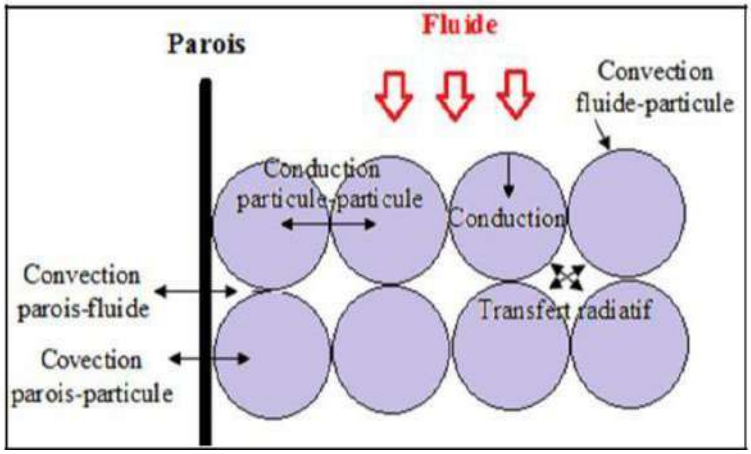


Figure 22: Echanges de chaleur dans un lit de roches [22].

Un inconvénient majeur du système de stockage thermocline sur le lit de roches est la possibilité d'une fatigue mécanique du matériau de stockage et de la paroi du réservoir pendant le cyclage thermique. En effet, les parois du réservoir se dilatent lors du stockage entrainant une augmentation du diamètre. Combiné au cyclage thermique des roches, ce stress mécanique répété peut provoquer une rupture de la paroi du réservoir.chaleur sensible

b) Fluides de transfert de chaleur :

Un fluide caloporteur également appelé le fluide de transfert de chaleur (FTC) est un fluide qui permet le transport de chaleur d'un endroit à un autre. Il permet de faire le lien entre le récepteur solaire et le groupe de puissance en transférant la chaleur du premier au second.

Le FTC doit avoir les propriétés suivantes : un point de solidification au voisinage de la température ambiante, des propriétés thermiques et thermo- physiques élevées pour favoriser les transferts de chaleur dans le récepteur solaire et pour participer pleinement au processus de stockage.

Une viscosité plus faible possible pour limiter la puissance de la pompe, une corrosivité négligeable avec les matériaux de contact (tube et réservoir) et les matériaux de stockage, une faible toxicité, inflammabilité et explosivité pour éviter tout incident malencontreux durant l'utilisation, un respect à l'environnement, et une disponibilité en grande quantité pour ne pas être un frein au développement des centrales solaires..

Tableau 4: Comparaison de l'air avec le Therminol VP1 et l'huile végétale de colza

Fluide colporteur	Huilethermique : Therminol VP1	Huile de colza	Air
Composition	73.5% oxyde de diphényle et 26.5 % de diphényle	Acidegras	21 % O_2 et 78 % N_2
Température de solidification	12 °C	-21 °C	-
Temperature maximale d'utilisation	400 °C	250 °C	Très élevée
Pression de vapeur	10.9 bars à 400 °C	0 bars à 300 °C	1.01 bars à 100 °C
Capacité de stockage thermique (250 °C)	1.89 $MJ/m^3.K$	2.02 $MJ/m^3.K$	0.70 $MJ/m^3.K$
Conductivité thermique (250 °C)	0.106 W/m.K	0.139 W/m.K	0.042 W/m.K
Viscosité dynamique (250 °C)	0.29 mPa.s	2.5 mPa.s	2.26 10^{-5} $kg.m^{-}1.s$-1
Compatibilité chimique	-	Bonne	Très bonne
Coût d'investissement	5.7 € kg^{-1}	0.8 € kg^{-1}	Nulle
Disponibilité	Faible	Elevée	Partout
GES	3 kg CO2 eq kg^{-1}	2 kg CO_2 eq kg^{-}	Nulle
Dangerosité	Elevée	Faible	Nulle

En comparant les FTC trouvés dans la littérature, l'air est le plus abondant, le moins cher et disponible partout. Il est inflammable, non toxique, non dégradable et écologique. Il peut fonctionner à haute température. Selon Coutier et Faber, le système le plus approprié pour stocker la chaleur utilise l'air comme FTC. De plus, avec l'air, l'opération de stockage est également simple.

a) Avantage :

- Pallie au décalage entre la production de chaleur fatale (récupération d'énergie) etles besoins en chaleur sur le site (utilisation de l'énergie récupérée)

b) Inconvénients :

- Encombrement
- Pertes d'énergie

IV. Comparaisons des différents types de stockage thermique :

Le tableau (2) représente les caractéristiques des trois types de stockage de la chaleur. Six paramètres fondamentaux ont été choisis : la densité énergétique, la température de stockage, la maturité du système et la complexité de mise en œuvre du système, les avantages du matériau de stockage et les inconvénients du système. Actuellement le stockage par chaleur sensible est le procédé de stockage thermique le plus mature.

Tableau 5: Caractéristiques des différents systèmes de stockage de la chaleur [28]

Stockage		*Sensible*	*Latente*	*Thermochimique*
Densité énergétique	*Volumique*	15-60 kWh/m³	50-100 kWh/m³	100-500 kWh/m³
	Massique	0.02-0.03 kWh/kg	0.05-0.1 kWh/kg	0.5-1 kWh/kg
Température de stockage		Température de charge	Température de charge	Température de charge ou température ambiante
Maturité		Echelle industrielle (20 MWe)	Echelle pilote (100 kWth)	Echelle laboratoire (1-5 kWth)

Technologie	Simple	Moyenne	Complexe
Avantages du matériau de stockage	Bon marché, simple à contrôler	Densité énergétique élevée, température isotherme	Densité énergétique élevée
Inconvénients	Grand volume, faible densité énergétique	Cristallisation, matériaux chères, corrosion	Mauvais transfert de chaleur à sorption

Sa maturité, le stockage par chaleur sensible est bien implantée dans l'industrie du solaire thermique. Elle est utilisé industriellement dans plusieurs centrales solaires thermodynamiques surtout celles qui utilisent deux réservoirs de stockage en sels fondus.

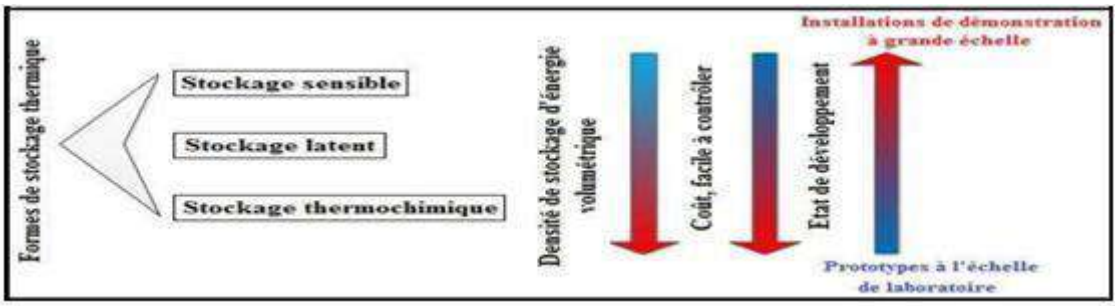


Figure 23: : Les différentes formes de stockage thermique [28]

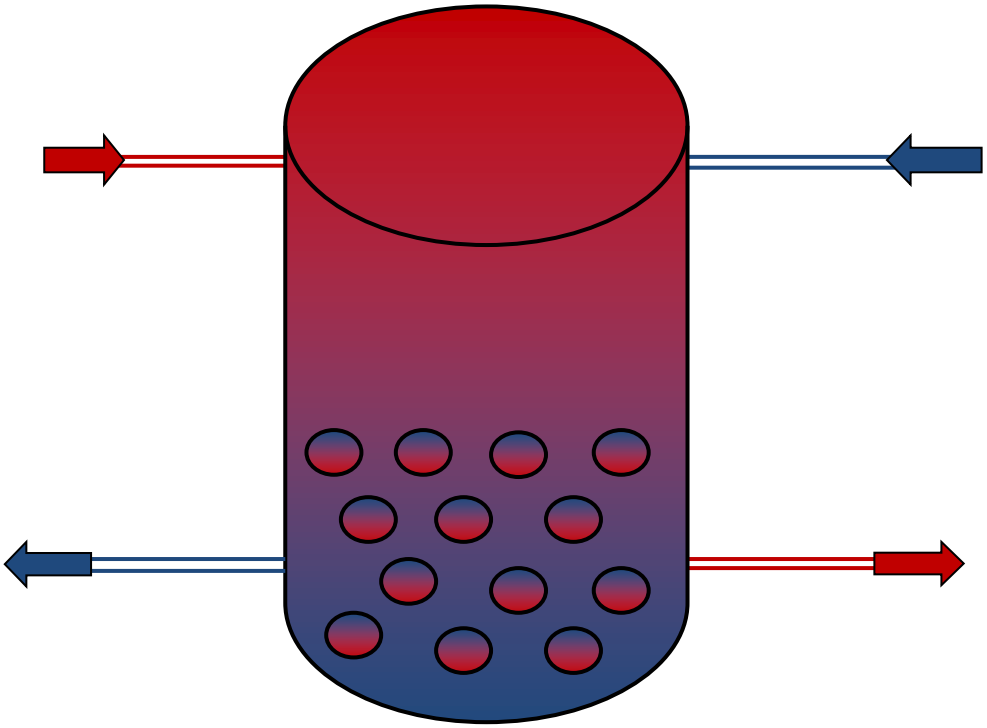


Figure 24: schéma de réservoir de stockage

V. Conclusion

Nous avons d'abord présenté les caractéristiques de l'énergie solaire et les raisons de stockage de la chaleur. Ensuite nous avons abordé, une étude bibliographique sur les systèmes et les modes de stockage de la chaleur nous a permis de
recenser général quant au stockage thermique de l'énergie. Celui-ci permettra de remédier au problème d'intermittence limitant l'utilisation des sources d'énergies renouvelables, telleque l'énergie solaire. La comparaison des différents types et matériaux de stockage
thermique a permis de montrer les avantages de l'utilisation du stockage sensible solide, notamment la maturité de la technologie, la simplicité, et la stabilité. Ceci nous a encore orientés vers la valorisation des roches qui sont à la fois écologiques et économiques.

CHAPITRE-III- RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre III. Résultats et discussions

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les principaux résultats issus des équations de l'énergie qui sont considérées pour caractériser le transfert de chaleur entre le fluide caloporteur et le matériau de stockage. Les équations de l'énergie sont discrétisé par la méthode des différences fines schéma implicite. Un code de calcul a été développé en utilisant le logiciel du Matlab. Les résultats obtenus incluant les champs de température sont analysés et discutés L'objectif principal de notre étude est d'évaluer la performance thermique du système à travers la variation des champs de température en régime transitoire suivant les hypothèses simplificatrices :

1. La chaleur spécifique du solide et de fluide est considérée constante.
2. La conductivité thermique est constante.
3. Le problème de stratification de température au niveau du réservoir est nigligé.
4. Le phénomene de changement de phase au niveau du matériau solide est nigligé.
5. La transfert de chaleur se fait en regime transitoire et monodimensionnel.

Dans ce travail nous avons fait une étude numérique basée sur le principe de chaleur sensible dans les plaques de réservoir.

Cette étude a été réalisé à l'aide du code de calcul Matlab, l'objectif de ce travail est étudier le comportement thermique de stockage de chaleur dans plaques de réservoir.

III.2. Modèle mathématique

Le modèle mathématique du réservoir de stockage de l'énergie solaire thermique est basé sur les équations de l'énergie pour le fluide et le matériau solide (plaques parallèle) comme illustré dans l'équation ci-dessous;

$$\text{fluide} \Rightarrow \varepsilon\rho_f c_f \frac{\partial T_f}{\partial t} + \varepsilon_f u_f \rho_f c_f \frac{\partial T}{\partial x} = \varepsilon\lambda_f \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} + a_p h\left(\theta - T_f\right)$$

$$\text{solide} \Rightarrow (1-\varepsilon)\rho_s c_s \frac{\partial \theta}{\partial t} = (1-\varepsilon)\lambda_s \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + a_p h\left(T_f - \theta\right)$$

La résolution des équations de l'énergie pour le fluide caloporteur et le solide sous forme petits sphères est basé sur la discrétisation de ces équations par la méthode des différences finies schéma implicite comme présenté dans les équations ci-dessous :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t};$$
$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_i^{n+1} - T_{i-1}^{n+1}}{\Delta x};$$
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{\Delta x^2}$$

Un code de calcul a été établi par utilisation du logiciel de Matlab. Les équations discrétiser sont solutionnées par l'algorithme de Thomas TDMA

III.3.Résultat de la modélisation numérique

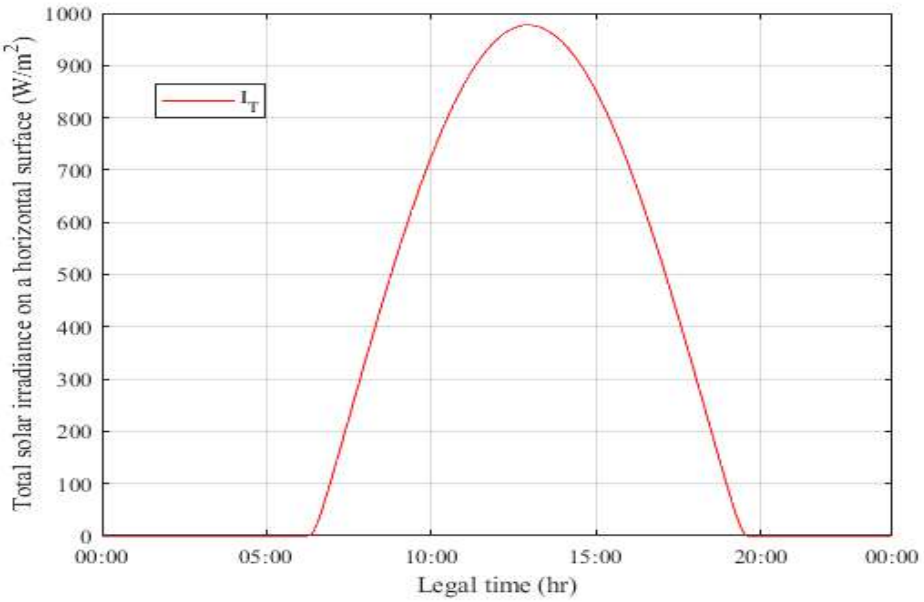


Figure 25: Les variations horaires du rayonnement solaire

La figure (25) représente les variations horaires du rayonnement solaires autour d'une journée complète. On observe que le rayonnement solaire est nul dans la période de [00:00 à 06:00] et de [20:00 à 00:00], et il augmente et desendre dans de la peiode de [06:00 à 20:00], il atteindre le maximum (980w/m²) dans la periode de [11:00 à 14:00]

on conclure que le rayonnement solaire a une relation directe avec le soleil car il est maximum à midi et être absent au coucher jusqu'a lever du soleil.

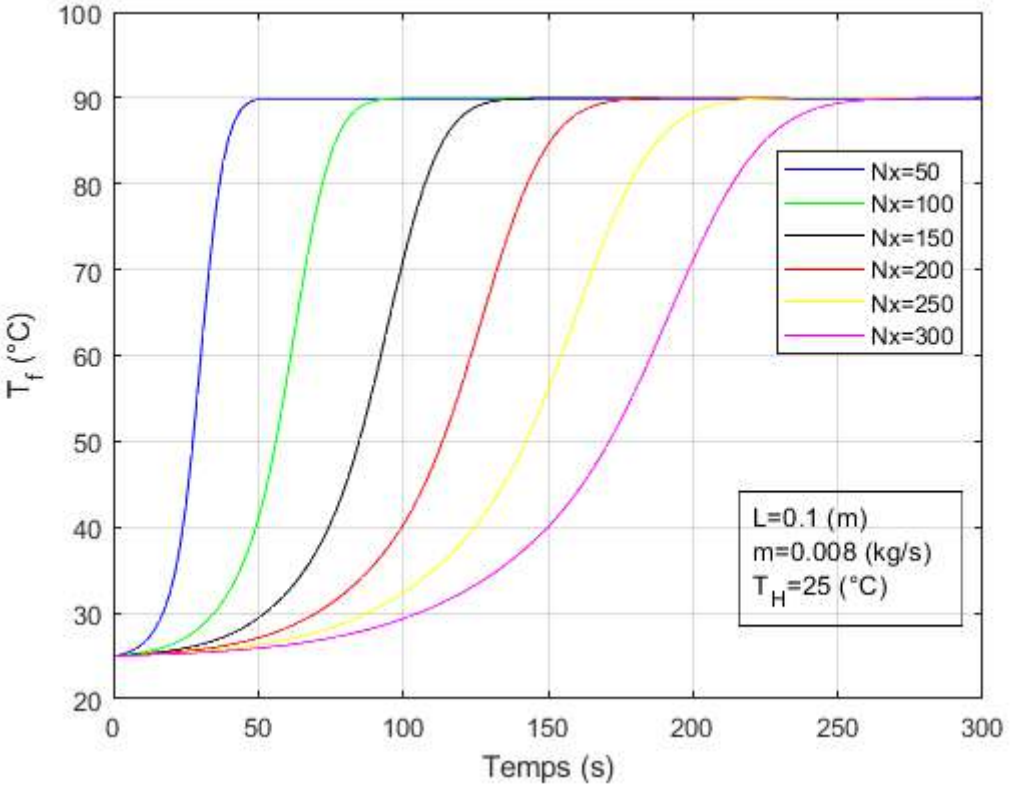


Figure 26: profil de température de fluide en fonction de temps pour quelques nœuds

la figure (26) represente la variation de la temperature de fluide pour différents valeurs des noeud en fonction temps. On observe que pour:

- La temperature de fluide de 50 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 50s
- La temperature de fluide de 100 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 80s
- La temperature de fluide de 150 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 125s
- La temperature de fluide de 200 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 175s
- La temperature de fluide de 250 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 220s
- La temperature de fluide de 300 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 250s

On conclure que les évolutions des températures pour différents valeurs des nœuds sont identiques et que les premiers nœuds ont des augmentations des températures est rapides par rapport aux derniers nœuds.

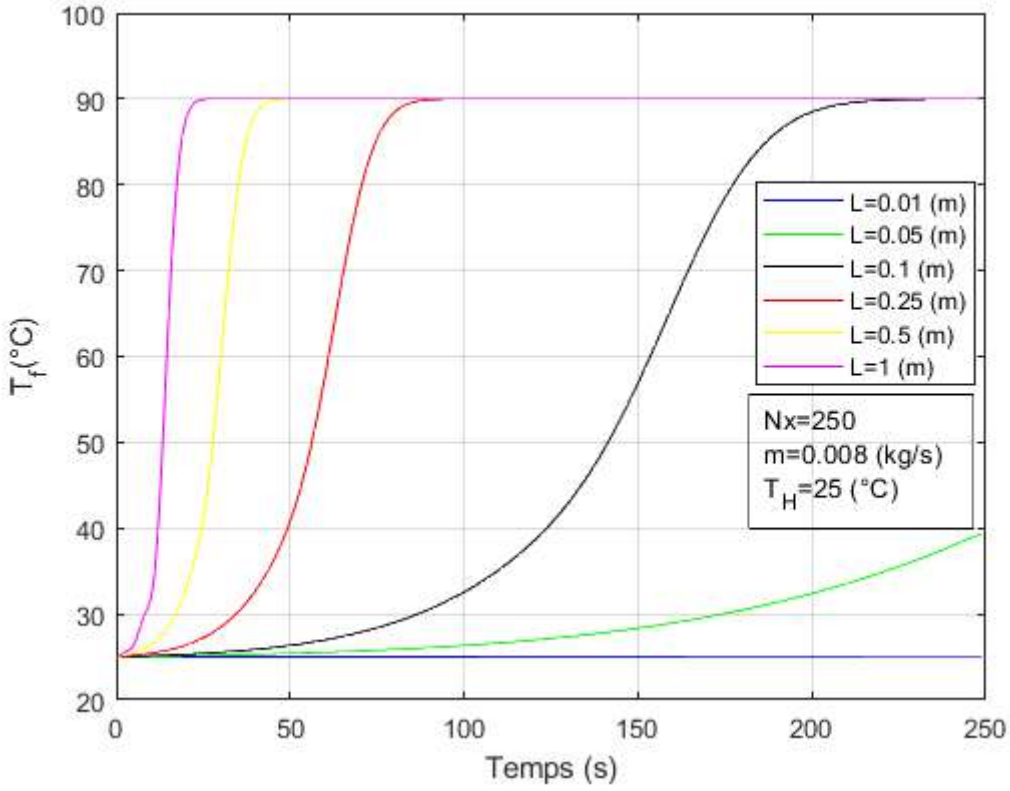


Figure 27: : Evolution de la température de fluide d'entrée pour différentes hauteurs en fonction de temps

La figure (27) représente la température de fluide d'entrée dans des différentes hauteurs du réservoir de stockage en fonction du temps, avec des conditions de fonctionnement:

(250 nœuds, m=0.008(kg/s), T_H=25ºC) On observe que pour:

-La température de fluide en L=0.01 est stable à 25ºC dans une période de 250s

-La température de fluide en L=0.05m augmente de [25ºC à 40ºC] dans une période de 250s

-La température de fluide en L=0.1m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 220s

-La température de fluide en L=0.25m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 75s

-La température de fluide en L=0.5m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 50s

-La température de fluide en L=1m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 25s

On conclut que la température de fluide d'entrée augmente plus rapidement dans les hauts niveaux et lentement dans les bas niveaux

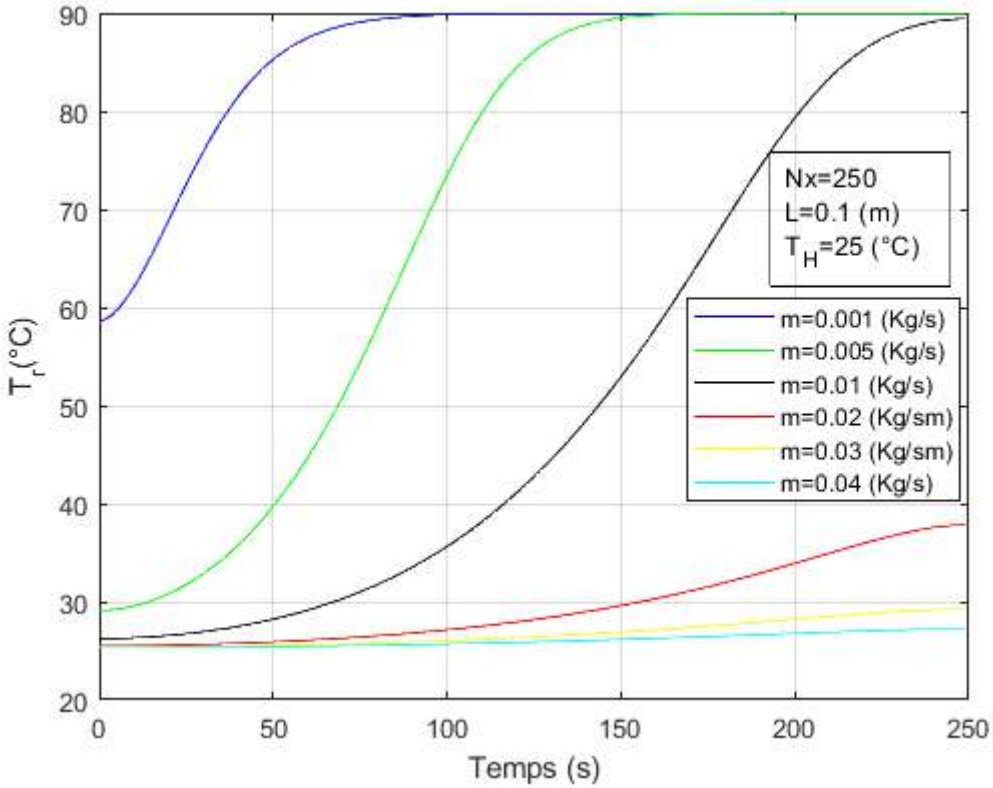


Figure 28: Evolution de la température de fluide en fonction de temps pour

La figure (28) représente les variations horaires de la température du fluide en fonction du temps avec ces conditions suivants : nœuds=250 ; L=0.1m ; TH=25ºC.

On observe que le régime permanent est atteint pour les valeurs de 90°C, 90°C, 90°C, 38°C 29°C,25°C pour différentes valeurs de débit massique à la sortie 0.001 [Kg/s] ,0.005 [Kg/s],0.01 [Kg/s], 0.02 [Kg/s] ,0.03 [Kg/s] ,0.04[Kg/s].

On conclure que pour obtenir la valeur maximum de la température de fluide nous avons réduit le débit massique du fluide qu'il nous a donné une valeur optimale 0.001 [Kg/s] en 250 s à titre d'exemple.

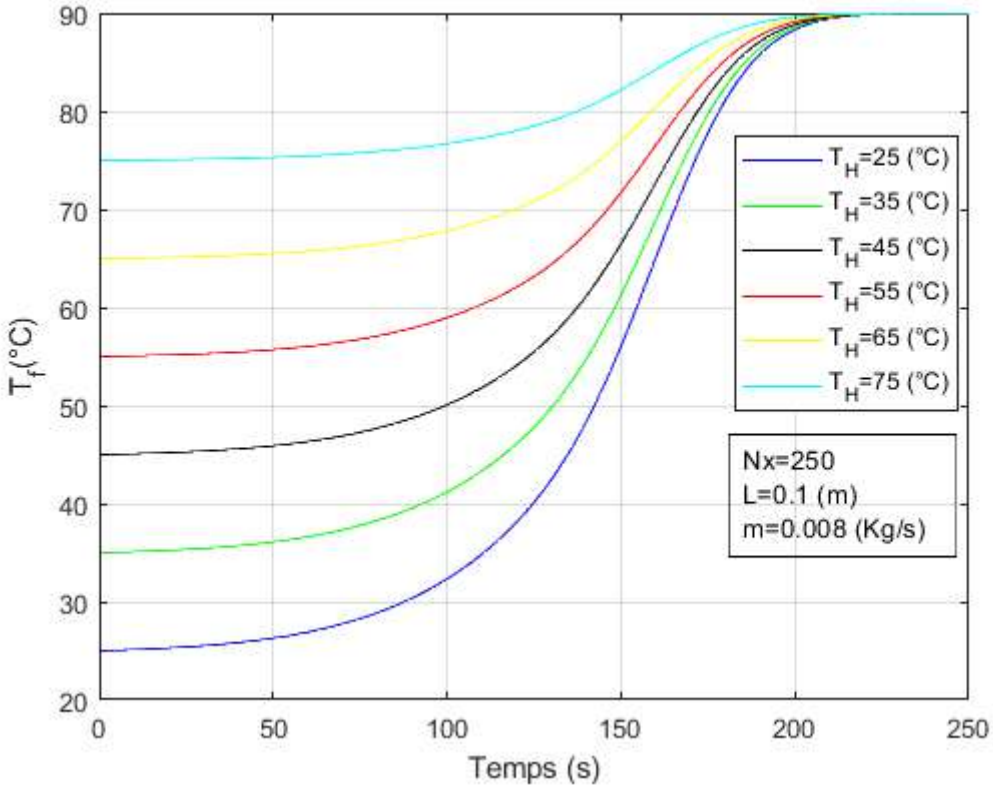


Figure 29: Evolution de la temperature des fluides caloporteurs de sortie en fonction de temps

La figure (29) represente l'evolution de differentes temperature de fluide caloporteur de sortie en fonction de temps , dans les conditions suivants : noeuds = 250 , L=0.1m , m=0.008[kg/s] On observe que pour les differentes valeurs de temperatures Tн : 25ºC , 35 ºC , 45 ºC , 55 ºC , 65 ºC , 75 ºC , nous constatons meme augmentation de température du fluide (90 ºC) en meme periode de temps (200s). On conclu que la temperature de fuide de sortie Tн n'a aucune influence à la température de fluide caloporteur

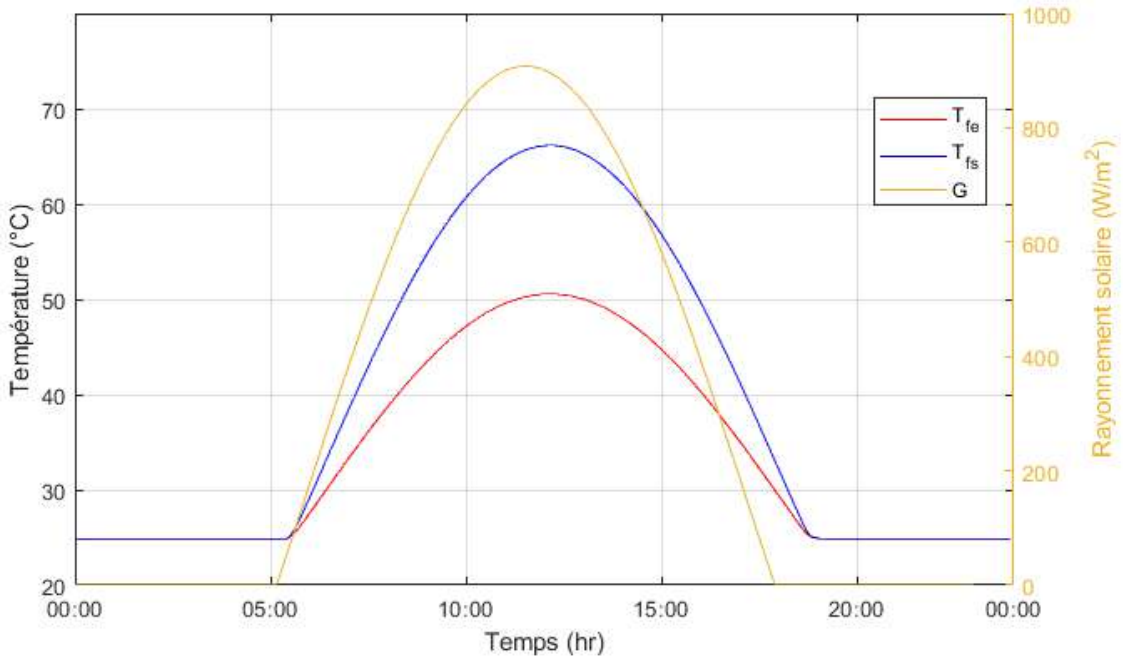


Figure 30: variation horaire du rayonnement solaire et la température du fluides

La figure (30) représente la relation entre la variation de la température fluide de l'entrée, sortie et rayonnement solaire en fonction de temps. On observe dans les périodes [00:00 à 05:00]et[20:00] la températures des fluides et le rayonnement solaire sont nul, et dans la période [05:00à20:00] la température de fluide augmente et aussi que le rayonnement solaire
On conclure que la température de fluide de l'entrée et sortie augmente quand le rayonnement solaire devenu actif

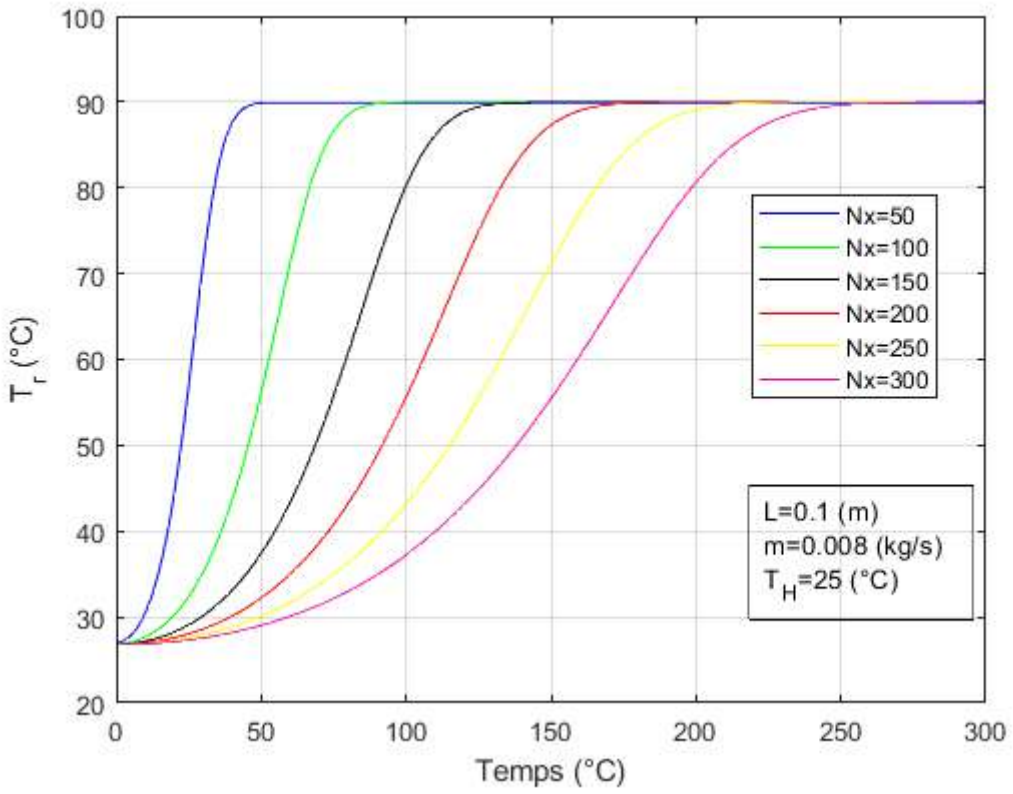


Figure 31: profil de température de fluide en fonction de temps pour quelques nœuds

la figure (31) represente la temperature de fluide pour 300 Nx en fonction de temps on observe que :

La temperature de fluide pour 50 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 50s

La temperature de fluide pour 100 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 80s

La temperature de fluide pour 150 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 125s

La temperature de fluide pour 200 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 175s

La temperature de fluide pour 250 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 220s

La temperature de fluide pour 300 nœuds augmente de 28Cº à 90Cº en 250s

On conclut que les évolutions des températures pour différents valeurs des nœuds sont identiques et que les premiers nœuds ont des augmentations des températures est rapides par rapport aux derniers nœuds.

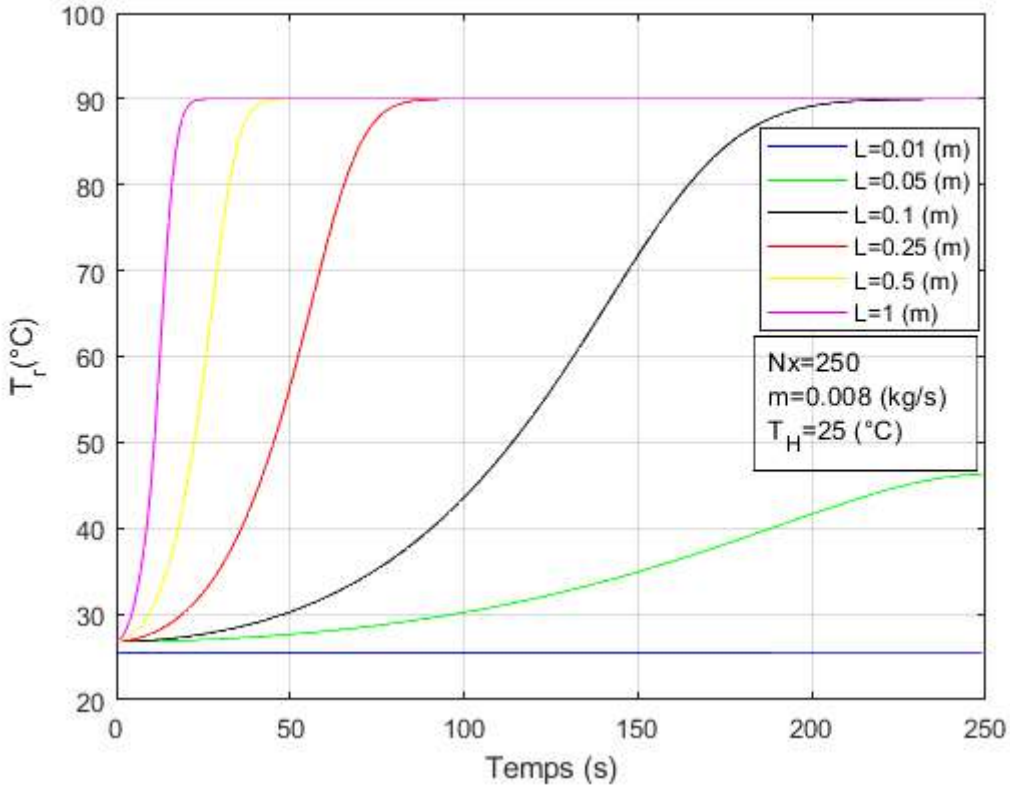


Figure 32: Evolution de la température de fluide à d'entrée de différentes hauteurs en fonction de temps

La figure (32) représente la variation de la température de fluide à l'entrée pour différentes valeurs des hauteurs en fonction du temps, avec des conditions de : 250 nœuds, m=0.008(kg/s), T_H=25ºC. On observe que :

La température de fluide de l'entrée en L=0.01 est stable à 25ºC dans une période de 250s

La température de fluide en L=0.05m augmente de [25ºC à 40ºC] dans une période de 250s

La température de fluide en L=0.1m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 220s

La température de fluide en L=0.25m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 75s

La température de fluide en L=0.5m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 50s

La température de fluide en L=1m augmente de [25ºC à 90ºC] dans une période de 25s

On conclut que la température de fluide d'entrée augmente plus rapidement dans les hauts niveaux et lentement dans les basses niveaux

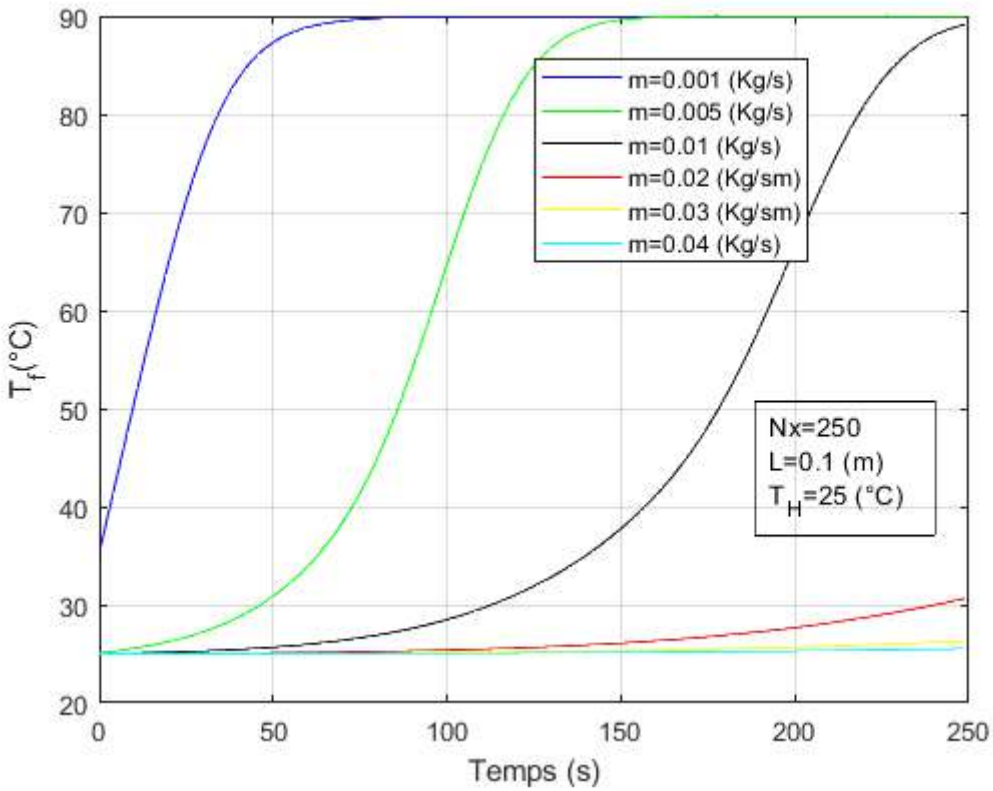


Figure 33: Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour

La figure (33) représente les variations horaires de la température de fluide caloporteur pour différents valeurs de débits. On observe que les valeurs de température ont atteint les valeurs de 90°C, 90°C, 90°C, 38°C 29°C, 25°C pour différentes valeurs de débit massique de fluide caloporteur 0.001 [Kg/s] ,0.005 [Kg/s],0.01 [Kg/s], 0.02 [Kg/s] ,0.03 [Kg/s] ,0.04 [Kg/s].

On conclut que pour obtenir la valeur maximum de la température de fluide caloporteur de sortie nous avons réduit le débit massique de fluide caloporteur qu'il nous a donné la valeur optimal à 0.001 [Kg/s] en 100 s.

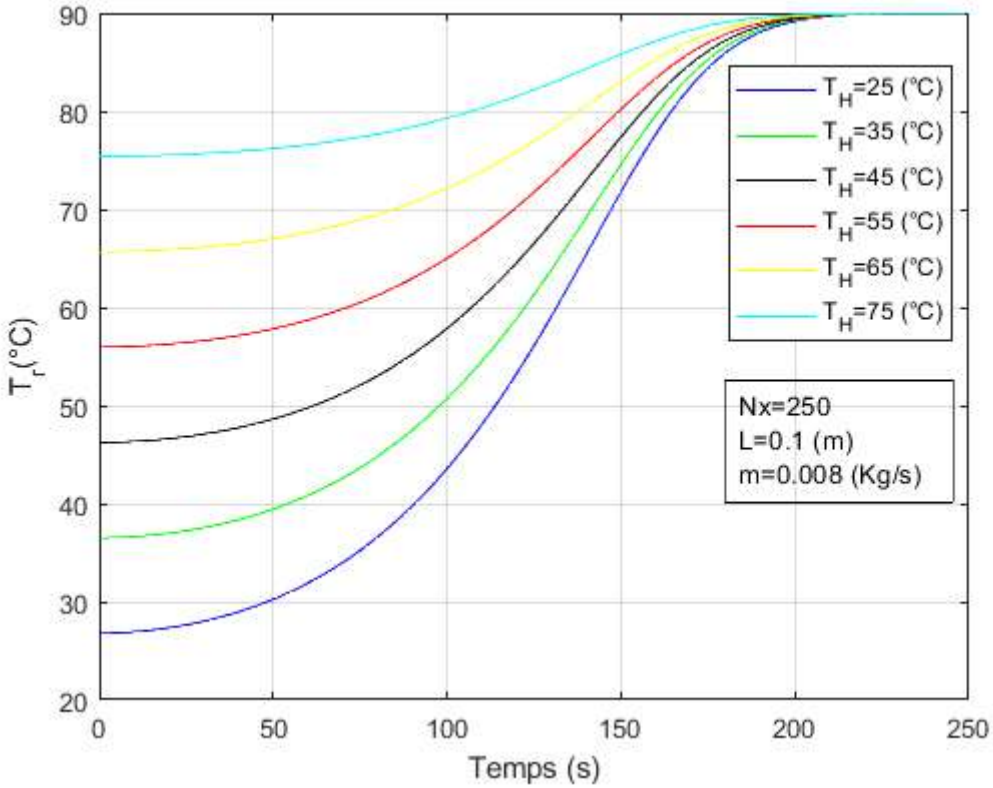


Figure 34: Evolution de la temperature de fluide en fonction de temps

La figure (34) represente l'evolution de differentes temperature de fluide pour différents valeurs de T_H en fonction de temps dans les conditions suivants : noeuds = 250 , L=0.1m, 0.008[kg/s]

On observe que pour les differents valeurs de temperature T_H : 25ºC , 35 ºC , 45 ºC , 55 ºC , 65 ºC , 75 ºC , atteint leur valeur maximale qui est de l'ordre de 90 ºC en meme periode de temps (200s). On conclu que la temperature T_H n'a aucune influence à la température de fluide caloporteur.

Conclusion Générale

L'investigation des performances d'un capteur solaire plan opérant dans la zone de Médéa a été étudié à travers de la température de fluide caloporteur et matériau solide dans le réservoir de stockage.

Le travail présenté dans ce mémoire traite l'étude de performance de stockage de l'énergie solaire thermique issu d'un bassin solaire raccordé avec un réservoir.

Un code de calcul sous Matlab monodimensionnel a été développé pour caractériser l'échange thermique entre le fluide caloporteur et les plaques solide situé au niveau du réservoir de stockage.

Les équations de l'énergie ont été solutionnée par la méthode des différences finies schéma implicite. La vitesse de débit massique et la profondeur de réservoir est les principaux facteurs qui affectent le changement de température des plaques immergé dans réservoir et le fluide caloporteur.

Le stockage de l'énergie solaire thermique est un facteur important pour l'économie de l'énergie durant toute l'année et ce, peut être visualisé par généralisation de l'étude à travers 12 mois de l'année.

Références bibliographiques

[1] retrouvé sur la thèse de TITRI Mohamed "Master énergies renouvelables en mécanique : Médéa : 2019"

[2] retrouvé sur la thèse de TITRI Mohamed "Master énergies renouvelables en mécanique : Médéa : 2019"

[3] L, Lacas. Le guide des énergies douces. Le soleil, la maison solaire, le vent, la biomasse,

[4] R, Stobaugh ; D, Yergin. L'énergie du futur. Rapport présenté par le groupe du «PROJET ENERGIE », à la Harvard Business School. (1983).

[5] JA, A, Sfeir; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires. applications a l'habitat. Technique et Documentation, Paris. (1981).

[6] V. quaschning, renewable energy and climate, (2010).

[7] M. Merad, M., Rougab, I., Cheknane, A., & Bachari, N. I. (2012). Estimation du rayonnement solaire au sol par des modèles semi-empiriques. Revue des Energies Renouvelables, 15(3), 451-463

[8] Saheb-Koussa, D., Koussa, M., & Belhamel, M. (2006). Reconstitution du rayonnement solaire par ciel clair. Revue des énergies renouvelables, 9(2), 91-97.

[9] S. Weibel, «Café climat petit éolien», Association Française des Professionnels du petit éolien, France,11juin 2013.

[10] R.foster, M.ghassemi,A.cota, solar energy, renewable energy and the environnement, (2009).

[11] A.soteris, kalogirou, solar thermal collectors and applications, progress in energy and combustion science, (30) 231-295 (2004).

[12] O. gergaud, modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couple au réseau et associe a un accumulateur, école normale supérieure de Cachan, France, (2002).

[13] J, Bernard. Energie solaire, calculs et optimisation. Ellipse Edition Marketing. Paris.(2004).

[14] M. Capderou, Atlas Solaire de l'Algérie, Tome1, voll et 2: Modèles Théoriques et Expérimentaux, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987

[15] S. Hasnain, "Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part II: cool thermal storage," Energy Conversion and Management, vol. 39, pp. 1139-1153, 1998.
[16] I. Dincer and M. Rosen, "Thermal energy storage: systems and applications,",2nd ed. John Wiley & Sons, 2011, pp. 84-141.

[17] S. Hasnain, "Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: heat storage materials and techniques," Energy Conversion and Management, vol. 39, pp. 1127-1138, 1998.

[18] bechiri.m . optimisation du stockage par chaleur sensibleet latente dans un module plan et cylindrique en régimeinstationnaire(doctoral dissertation. universite m'hamedbougara – boumerdes-2015).

[19] G. P. Henze, and M. Krarti, "Predictive Optimal Control of Active and Passive Building Thermal Storage Inventory," University of Nebraska ,Lincoln, University of Colorado, Boulder, Tech. Rep. Ap. 2003.

[20] : A. Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Luzaro, P. Dolado, B. Zalba, L.F.

[21] bekkari. z.al. effet de la géométrie de l'échangeur de chaleur sur les performances d'un réservoir de stockage thermique solide (master .universite hamma lekhdhar eloued-2016).

[22] A. Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Luzaro, P. Dolado, B. Zalba, L.F. Cabeza, State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part1-Concepts, materials and modellization, Renew. Sust. Energy Rev. 14 (2010) 31–55.

[23] A. Laghzaoui, D. Peerhossaini. Stockage de chaleur : énergie solaire et autres applications : écoles des mines de douai
[24] tiskatine.r Valorisation énergétique des matériaux locaux pour des applications dans le centrales CSP et dans le domaine des bâtiments (Doctoral. . UNIVERSITE-ibn zohr).

[25]. C. Choudhury, P. Chauhan, and H. Garg, "Economic design of a rock bed storage device for storing solar thermal energy," Solar energy, vol. 55, pp. 29-37, 1995.

[26] Jian Y, Falcoz Q, Neveu P, Bai F, Wang Y, Wang Z. Design and optimization of solid thermal energy storage modules for solar thermal power plant applications. Appl Energy 2015; 139;30–42

[27] P. Chauhan, C. Choudhury, and H. Garg, "Comparative performance of coriander dryer coupled to solar air heater and solar air-heater-cum-rockbed storage," Applied Thermal Engineering, vol. 16, pp. 475-486, 1996.

[28] D. Laing and S. Zunft, "4 - Using concrete and other solid storage media in thermal energy storage (TES) systems," in Advances in Thermal Energy Storage Systems.