REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Dr YAHIA Farés de Médéa

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DE LA MATIERE

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master En Génie Mécanique

Option **: Energétique Et Thermique Des Systèmes**

Thème

Etude de l'utilisation des nanofluides dans les capteurs solaires plans

Présenté par :

M^{elle}, MEZIOUD Nabila

M^{elle}, HADJERSI Lamia

Encadré par :

Dr. CHIBA Younes

2015/2016


بسم الله الرحمن الرحيم

الملخص

في هذا العمل الخاص بالمستر قمنا بتطوير النموذج الرياضي لمحاكاة تشغيل لوحات شمسية بتأثير نانو السوائل والماء.(TiSO2 ,SiO2,CuO, Cu ..)

و قد أجريت دراسة مقارنة لإظهار جدوى استخدام نانو السوائل في النظام الشمسي . و قد عرضت مختلف المقاربات الديناميكية الحرارية لنانو السوائل. و تناقش النتائج المتحصل عليها من تحليل المحاكاة العددية.

مفتاح الوضع نانو السائل , تجميع الطاقة الشمسية , المقارنة , المحاكاة العددية

Résumé

Notre travail de master consistait, à développer des modèles mathématiques permettant de simuler le fonctionnement d'un capteur solaire plan opérant des nanofluides (SiO2, CuO, TiSO…) et l'eau. Une analyse bibliographe sur les dernières évolutions a été effectuée. Une étude comparative a été effectuée afin de montrer l'utilité de l'utilisation des nanofluides dans les systèmes solaires. Les déférentes approches thermodynamique des nanofluides ont été présentées. Les résultats de la simulation numérique obtenus sont analysés et discutés.

Mode de clés : Nanofluide, capteur solaire, comparaison, simulation numérique

Abstract

Our master job, was developed mathematical models to simulate the operation of a solar plane operating nanofluid (TiSO2, SiO2, CuO, Cu ...) and water. A bibliographer analysis on the latest development was conducted. A comparative study was performed to demonstrate the utility of using nanofluids in solar system. Deferent thermodynamic approaches of nanofluids were presented. The results obtained from the numerical simulation are analyzed and discussed.

Keywords: the nanofluids, solar collector, comparison, numerical simulation

REMERCIEMENTS

Gloire et Louange à Dieu, le tout Puissant, de m'avoir donné courage et persévérance pour finaliser cette Mémoire qui a été réalisé sous la direction du ***Dr CHIBA .Y*** *à qui nous nous exprimons nos vifs remerciements pour avoir accepté, d'assurer la direction et l'encadrement de notre Mémoire.*

Nous exprimons également notre gratitude a Monsieur ***BOUAZIZ*** *Professeur à l'université Dr YAHIA Farés, qui fait l'honneur de présider notre jury et à tous les membres de jury qui ont acceptés d'examiner ce travail.*

Nous tenons également à remercier messieurs ***RADJEB .O*** *et Mr.* ***RABHI .R*** *Pour leurs soutient technique qui nous permis d'enrichir le contenu de cet ouvrage.*

Merci à tous mes collègues pour leurs encouragements et leur gentillesse qui ont été tellement nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie cet ouvrage à la mémoire de mes grands pères et grande mère que Dieu le tout Puissant leurs accorde sa sainte miséricorde et les accueillent dans son vaste Paradis.

A mes parents qui n'ont cessé de me soutenir pour poursuivre mes études cela a porté ses fruits finalement j'espère qu'ils en sont fiers, merci d'avoir été à la fois rassurants et exigeants et surtout un moteur essentiel pour ma vie, Vous êtes et vous resterez à jamais un modèle pour moi, que dieu inchaallah vous me préserve.

A mon frère Mustapha et mes sœurs Akila, Lila, Amina, Batoul et leurs maris pour leurs amours, tendresse, encouragements et leur réconfort dans les moments les plus durs.

A mon futur mari Sidali pour sa patience, sa compréhension et son aide si précieuse.

Finalement à mon binôme M^elle MAZIOUD Nabila avec laquelle j'ai passé des bons moments durant l'établissement de ce modeste travail.

Lamia

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donnée la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire

« Ya kayoum »

Je dédie ce travail à mes très chers ***Parents****, pour leur soutien*

Et tous les efforts qu'ils m'ont donné le long de mon parcours et

Je leurs souhaite bonne santé et longue vie.

À mes très chers frères : bilell, youcef, issam.

À ma très chère sœur : Aya,

A Toute Ma Famille

A mon binôme: HADJERSI Lamia.

A mon cher et fidèle ami : imane.

Je dédier spécialement à <<BOUSMAHA.I>>

À toutes mes collègues de la promotion 2015/2016.

Enfin À toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation

De ce modeste travail.

Nabila

Table des matières

Résumé

Remerciements

Dédicace

Tables des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclatures

Introduction générale

Chapitre I: état de l'art

I.1. capteur solaire ……..……...04

I.1.1.Introduction…….....04

I.1.2. définition d'un capteur solaire……04

I.1.3. Les capteurs solaires thermique……..…..…04

I.1.3.1.capteur solaire thermique plans…….....….04

I.1.3.2.les capteur tubulaire (capteur sous vide)……...07

I.1.4. Performances d'un capteur solaire…….…….....10

I.1.5. Les applications……..…….....…11

I.1.5.1. Applications à basses et moyennes températures……....11

I.1.5.2. Applications à hautes températures…….…….....11

I.2.les nanofluide…….…….…....11

I .2.1. Introduction…….....11

I.2. 2.Définition de nanofluide ……....…..12

I.2.3. Types de nanofluides 12

I .2.4. Préparation des nanofluides……..…...14

I.2.5. Les applications de nanofluides …….……...…15

I.2.6. Les avantage de nanofluides ……...…….15

I.2.7. Les inconvénients du nanofluides……...…15

Chapitre II : Gisement solaire

II.1.Introduction……..……....…16
II.2. Aspect géométrique……..…….…….…16
II.2.1. Soleil……..16
II.2.2. Terre…….....17
II.2.3.Sphèresélecte……..17
II.2.4. Mouvement de la terre ……....18
II.2.5.Système de coordonne ……..…18
II.2.6.Temps solaire ……....21
II.3. Le rayonnement solaire……...22
II.3.1. Composantes du rayonnement solaire……...…22
II.4.Appareils de mesure……..…24
II.4.1.Mesure du rayonnement solaire global……..24
II.4.2.Mesure du rayonnement direct ……..……25
II.5.Programme de calcul du rayonnement solaire global……..……25
II.6.Rayonnement en Algérie……..……27

Chapitre III : Modèle mathématique

III.1.Généralité sur le transfert de chaleur……..…28
III.1.1. Introduction ……28
III.1.2.Transfert de chaleur par conduction…….……28
III.1.3.Transfert de chaleur par convection…...……..28
III.1.4. Transfert de chaleur par rayonnement……..……...29
III.1.5.Les nombres sans dimension……...….30
III.2. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire …....32
III.3.Le bilan énergétique du capteur ……..…….…….34
III.4. Les pertes……..……...34
III.5. Perte globale d'énergie….....35
III.6.Puissance utile récupérée par les fluides…….…36
III.7. Rendement instantané d'un capteur……...37
III.8. les modèles théoriques des nanofluides…….…..…..38
III.9.les propriétés thermophysiue des nanofluides……40

CHAPITRE IV : résultat et discussion

IV.1. L'évolution temporelle du rayonnement solaire ……42
IV.2. Variation des puissances (perte de chaleur) cas d'utiliser le fluide de base (eau)……...……...43
IV.2.1.Effet de température de l'absorbeur ……...…..……43
IV.2.2. Effet de température de fluide entrée …….……...……..44
IV.2.3. Effet de Vitesse de vent ……..…..45
IV.2.4. Effet de température de vitrage ……...……46
IV.2.5. Effet de l'émissivité de vitrage ……..……...…..…47
IV.2.6. Effet de l'émissivité de l'absorbeur ……...…..…...48
IV.3. variation de la quantité de chaleur à fluide de base (eau)…….....…49
IV.3.1. Effet de température de fluide entrée …….….49
IV.3.2. Effet des pertes de charge ……...50
IV.3.3. Effet de la température de fluide entrée ……..51
IV.3.4. Effet de débit de fluide…….52
IV.4. variation de la fraction volumique des nanofluides……...…..……..…..53
IV.4.1. Effet de la fraction volumique sur la chaleur spécifique des Nanofluides…….....53
IV.4.2.Effet de la fraction volumique sur la masse volumique des nanofluides...54
IV.4.3. Effet de la fraction volumique sur la conductivité thermique des nanofluides……...……..……...…55
IV.4.4.Effet de coefficient de l'expansion dès nanofluides …….…...56
IV.4.5. Effet de viscosité dynamique dès nanofluides …….……...57
IV.5.Variation de la température et le flux solaire des nanofluide en fonction du temps ……...……..…..58
IV.6. variation de rendement instantanée en fonction du temps ……..…….....59

Conclusion générale
Références bibliographiques

Liste des figures

Figure(I.1) : Capteur plan ……..…05

Figure(I.2) : composant du Capteur plan ……..……05

Figure(I.3) : schéma de tubes transparents en verre…….…..…07

Figure(I.4) : capteur à tube sous vide à circulation directe……08

Figure(I.5) : schéma de fonctionnement d'un capteur sous vide à caloduc et sa liaison avec le collecteur ……...…08

Figure(I.6) : Capteur à bouteilles à tubes thermos ……09

Figure(I.7) : schéma du tube sous vide <<Schott>>……..10

Figure (I.8): Principales familles des nanofluides……....…12

Figure(I.9) : Nanofluides vue au microscope électronique: éthylène glycol+cuiv0.5%; eau + nanotube ; eau+ alumine ; eau + or à 2nm……...…13

Figure (I.10) : Structures moléculaires d'un nanotube de carbone à paroi simple (à gauche) et d'un nanotube de carbone à parois multiples (à droite)…….13

Figure(I.11) : Procèdes de synthèse de nanofluide en une seule (Argonne, .Nationl Laboratory USA) ……...……...…14

Figure(II.1) : Couches externes du Soleil……..……16

Figure (II.2): Mouvement annuel de la terre autour du soleil……17

Figure (II.3) : Sphère céleste …….17

Figure (II.4): Mouvement de la terre autour du soleil……18

Figure(II.5) : Les coordonnées terrestres d'un lieu donné…….19

Figure(II.6) : la variation de la déclinaison et l'équation du temps …….….19

Figure (II.7) : Coordonnées horaires …….20

Figure(II.8) : Coordonnées horizontales.……...……21

Figure (II-9): Les composants du rayonnement solaire…….24

Liste des figures

Figure (II-10): Pyrhéliomètre……..…25

Figure (II-11) :Pyranomètre ……..….25

Figure (II-12):Organigramme du programme de calcul du rayonnement solaire global...26

Figure (II.13) : Rayonnement en Algérie (Longitude)……...……27

Figure (III.1) : Schéma du transfert de chaleur par conduction…….……28

Figure (III.2) : Schéma du transfert de chaleur par convection……..…29

Figure (III.3) : Schéma du transfert de chaleur radiatif…….30

Figure (III.4) : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan vitré……32

Figure (III.5) : Schéma du bilan énergétique pour un capteur plan……..35

Figure(III.6) : Circuit électrique équivalant relative à un capteur solaire plan……..…35

Figure (IV.1) : Variation du rayonnement global en fonction de temps……42

Figure (IV.2) : les pertes de chaleur U_L en fonction de température de l'absorbeur ……43

Figure (IV.3) : les pertes de chaleur U_L en fonction de température entrée Te à fluide de base (eau)……...…44

Figure (IV.4):l'influence de la vitesse du vent sur les pertes de la chaleur ver l'avant….45

Figure (IV.5) :les pertes de la chaleur vers l'avant en fonction de la température du vitrage…….46

Figure (IV.6) : l'évolution des pertes de la chaleur vert l'avant en fonction de l'émissivité de vitrage……47

Figure (IV.7) : l'évolution des pertes de la chaleur vert l'avant en fonction de l'émissivité de l'absorbeur……..……..48

Figure (IV.8) : Variation de la quantité de chaleur en fonction de température de fluide entrée……...……..49

Figure (IV.9) : Variation de la quantité de chaleur de l'eau en fonction des pertes de

charge……......50

Figure (IV.10) : Variation de la température de fluide sortie en fonction de la température de fluide entréé…….……...……...….51

Figure (IV.11) : Variation de la température de fluide sortie en fonction de débit de fluide……..……..…..……..….52

Figure (IV.12) : variation de la chaleur spécifique (cp) de déférent type de nanofluides en fonction de leurs fractions volumique (Φ) pour ……....….53

Figure (IV.13) : variation de la masse volumique (ρ) en fonction de la fraction Volumique (Φ) pour déférent type de nanofluides……..……...…54

Figure (IV.14) : variation de conductivité thermique (K) en fonction de la fraction Volumique (Φ) pour déférent type de nanofluides……..…55

Figure(IV.15) : Variation de coefficient de l'expansion en fonction d Volumique (Φ) pour déférent type de nanofluides e fraction ……..…….56

Figure(IV.16) : Variation de viscosité dynamique en fonction de fraction volumique…57

Figure (IV.17) : l'évolution journalière de la température de l'eau, Al2O3/eau et Cu/eau.……....58

Figure (IV.18) : variation de rendement instantanée de l'eau en fonction du temps…..…59

Figure (IV.19) : variation de rendement instantanée de Cu en fonction du temps…..…...60

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau(II.1) : valeurs des constantes A,Bet C en fonction de la nature du ciel …...23

Tableau (III.2) : les propriétés thermiques et physiques utilisées……41

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
ð	La déclinaison	deg
I_G	le rayonnement solaire global	w/m^2
I_D	le rayonnement solaire direct	w/m^2
I_d	le rayonnement solaire diffus	w/m^2
h	Hauteur du soleil	deg
K	conductivité thermique du fluide	w/m. °C
U_{arr}	Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du capteur	w /m²
U_{la}	Coefficient de pertes thermiques latérales du capteur	w/m^2
U_{av}	Coefficient de pertes thermiques vert l'avant du capteur	
A_c	Surface du capteur solaire	m²
C_p	Chaleur spécifique de l'eau	J /kg °C
$\alpha_{cv.e}$	Coef. d'échange thermique par convection (vitre–extérieure)	W /m² °C
$\alpha_{rv.c}$	Coefficient d'échange thermique par convection (vitrage - ciel)	W /m² °C
$\alpha_{rv.a}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement (vitrage - absorbeur)	W /m² °C
$\alpha_{ca.v}$	Coef. d'échange thermique par rayonnement (absorbeur - vitrage)	W /m² °C
Q_U	Quantité de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur	W/m^2
T_e	Temperateur extérieur	°C
T_a	Température de l'absorbeur	°C
T_{pm}	Température moyenne	°C
V_s	Volume des nanoparticules solides	m^3
V_f	Volume du fluide de base	m^3
U_L	Coefficient globale d'échange de chaleur du capteur solaire plan	W /m²°C
V	Vitesse de vent	m / s
T_c	Température du ciel	°C

I. Introduction générale

Le problème de l'énergie a dominé les scènes économiques et politiques mondiales de ces quarante dernières années. La crise de 1973, dite crise de l'énergie, déclenchée par la guerre d'octobre 1973, a poussé à réfléchir à d'autres alternatives aux ressources conventionnelles existantes, malgré leur prépondérance, elles ne sont pas pour autant inépuisables. Les spécialistes dans le domaine pétrolier et gaz estiment que dans un avenir proche (environ à partir de 2025) les réserves de pétrole et de gaz commenceront a l'épuisement progressive d'où la nécessité d'une exploitation rationnelle de l'énergie qui est devenue une stratégie pour préserver les réserves énergétiques existantes d'une part, et la recherche d'autres ressources énergétiques de remplacement d'autre part . Les énergies renouvelables, énergie solaire, éolienne, et géothermique pour ne citer que les plus connues, ont bénéficiées d'un regain d'intérêt très considérable.

Notre pays constitue un important potentiel solaire, vu sa situation géographique et sa surface saharienne qui représente plus de 70% de sa surface totale où le rayonnement solaire est beaucoup plus important en matière de temps (ensoleillement) et de quantité. L'énergie solaire qui est l'une des énergies les plus facilement exploitables, a connu ces dernières années un grand essor de part la diversité de ses applications et l'intérêt qu'elle suscite à travers le monde. Elle permet d'assurer des conditions de température favorables à la vie et anime les cycles de l'eau, des vents et du carbone dans la biosphère, mais elle peut aussi être utilisée directement pour produire de la chaleur à différents niveaux de température pour divers usages : chauffage et climatisation de locaux, séchage de produits agricoles, production d'eau chaude et de vapeur, production d'électricité par le biais de cycles thermodynamiques, la production d'électricité peut être aussi obtenue directement par la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire au moyen des cellules solaires[1].

Le flux solaire incident en dehors de l'atmosphère est en moyenne de 1 367 W/m^2. L'énergie reçue par la Terre en un an est de $5{,}54 \times 10^{24}$ joules, dont 30 p. 100 sont réfléchis et renvoyés dans l'espace, 23 p. 100 sont utilisés pour le cycle évaporation/précipitation de l'eau et moins de 1 p. 100 pour le cycle du carbone (croissance de la biomasse), des vents et des courants, le reste est absorbé par l'air, les continents et les océans et transformé en chaleur, ce qui représente plus de 62 000 Gtep/an ($1\ tep = 42 \times 10^9$ J), soit plus de 5 600 fois la consommation mondiale d'énergie primaire, on conçoit aisément l'enjeu pour l'humanité de pouvoir transformer quelques dix-millièmes de cette quantité d'énergie pour assurer un développement énergétique durable sur le très long terme, puisqu'un tel

prélèvement, destiné in fine à se dégrader lui aussi en chaleur à basse température, ne changerait aucunement le bilan énergétique de la planète.

Le rendement d'exploitation de cette énergie précieuse ne sera optimale que sauf si les moyens de réception et notamment l'acheminement de celle-ci seront efficaces et qui donneront des ratios d'exploitation thermiques beaucoup plus intéressants, ces moyens de conduction de chaleurs appelés caloriporteurs parmi eux ceux issus de la nanotechnologie à savoir les nanoparticules qui représentent aujourd'hui un enjeu technologique et économique majeur ,elles permettent des innovations très prometteuses dans de nombreux domaines fondamentaux tels que : la sante, l'énergétique ou l'industrie.

Une exploitation plus systématique des sources inépuisables d'énergie (solaire, éolien, géothermie, . . .) n'est pas suffisante pour relever le défit énergétique des générations futures. Toutes les solutions doivent être explorées et la voie des économies d'énergie est une contribution importante à développer [2]

Dans ce travail nous nous sommes intéressées à l'apport potentiel des nanoparticules dans le domaine des transferts thermiques d'une énergie solaire captée par un échangeur solaire en prenant en considération les différents paramètres (quantité fluides à réchauffer, paramètres de rayonnement solaire, pertes thermique de l'installation, orientation et inclinaison des capteurs, rendements, dans le but de faire le choix des fluides caloporteur pour des applications données.

Après une introduction sommaire sur l'importance de l'énergie solaire et ces moyens d'exploitation ce travail se subdivise en 04 chapitres à savoir :

* Le premier chapitre présente une étude bibliographique concernant des généralités sur le capteur solaire et les nanofluides, leurs propriétés et mode de fabrications

* Le deuxième chapitre présent des notions importantes sur le gisement solaire aussi nous avons représenté les différents types de rayonnement et leurs expressions mathématiques.

* Le troisième chapitre présente un modèle mathématique qui défini différents bilans énergétiques pour chaque partie du capteur solaire, les pertes globales d'énergies et les propriétés des nanofluides.

* Le quatrième chapitre, présente le protocole les résultats et interprétation.

En fin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

I.1.CAPTEUR SOLAIRE

I .1.1 Introduction

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la Terre sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est semblable aux ondes radioélectriques mais il possède une gamme de fréquence différente. L'intérêt du solaire est sensiblement le même sur tout le territoire. L'ensoleillement est plus fort dans le Sud, mais dans le Nord, les besoins en chauffage sont plus importants et plus étalés sur l'année. L'énergie peut être récupérée par des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques. Le flux solaire peut être directement converti en chaleur par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques. Cette technique est applicable au chauffage des habitations, des piscines, à la production d'eau chaude sanitaire, ou encore au séchage des récoltes (fourrage, céréales, fruits).

I.1.2 Définition d'un capteur solaire

Le capteur solaire est un échangeur de chaleur qui fonctionne entre une source radiante le soleil et un fluide. Son rôle est la conversion de l'énergie apportée par le rayonnement solaire en énergie calorifique. La chaleur collectée par l'absorbeur est cédée au fluide caloporteur qui circule dans des canalisations qui servent à transporter la chaleur du capteur vers le point d'utilisation. Selon la conversion d'énergie on distingue deux catégories de capteurs solaires :

- Capteurs solaires thermiques.
- Capteurs solaires photovoltaïques (appelé aussi PV), qui reçoivent l'énergie solaire pour la convertir en énergie électrique

Dans notre travail on s'intéressera uniquement au capteur solaire thermique**.**

I.1.3. Les capteurs solaires thermiques

Ce sont des dispositifs conçus pour recueillir l'énergie provenant du soleil et la transmettre à un fluide caloporteur.

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques selon la géométrie, la nature du fluide caloporteur utilisé et le niveau de température qu'ils permettent d'atteindre [3] On peut citer :

I.1.3.1.Capteurs solaires thermiques plans

Ils sont principalement constitués d'un coffre rigide et vitré à l'intérieur duquel une plaque et des tubes métalliques noirs (absorbeur) reçoivent le rayonnement solaire et chauffent un liquide caloporteur, ce coffre est isolé à l'arrière et sur les côtés. (Figure I.1)



Fig. I.1 : Capteur plan [3]

Les capteurs plans ont de nombreux avantages, dont une technologie simple et un coût relativement bas. De plus, certains ont un rendement supérieur aux capteurs tubulaires, résultant du fait que les rayons solaires atteignent plus facilement l'absorbeur [3].

I.1.3.1.1. Composants du capteur plan

Chaque ensemble capteur est constitué :

- D'une couverture transparente
- D'un absorbeur avec circuit échangeur et revêtement de surface
- D'une isolation thermique sur les côtés et à l'arrière de l'absorbeur
- D'un cadre et d'un coffre.

Nous allons étudier chaque élément en particulier, en donnant les indications nécessaires pour réaliser ou choisir un bon capteur. [4]

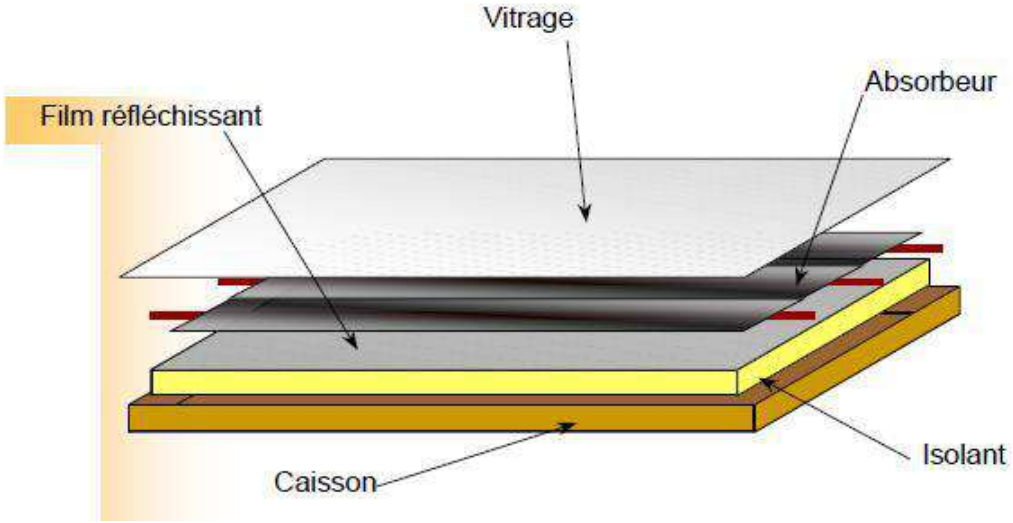


Fig. I.2 : composant du Capteur plan [4]

- **Couverture transparente**

L'utilisation des couvertures transparentes sur la face avant des capteurs solaires plans, est d'une importance primordiale, elle permet de minimiser les pertes thermiques, par la formation d'une lame d'air isolante dans l'intervalle compris entre la vitre et l'absorbeur.
D'autre part permette d'accroître sensiblement le rendement du capteur par l'effet de serre. L'intérêt d'une couverture transparente pour le rayonnement solaire est d'autant plus grand que la température de fonctionnement du collecteur solaire est élevée. C'est donc pour des températures dépassant 70°C que l'on peut envisager d'installer un double vitrage afin d'accroître les performances thermiques.
Les couvertures transparentes habituelles sont pour la plupart en verre, mais on peut trouver aussi des produits de synthèse telle que le polycarbonate, le polyméthacrylate ou bien le polyester armé.

- **Absorbeur**

L'absorbeur est un élément essentiel du capteur solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire et transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de perte [5].

- **Isolation arrière**

Les isolants en face arrière généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses de polyuréthane. L'épaisseur varie de 4 à 8 cm. Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement (maximum de 120°C). [5].

- **Coffre ou le cadre**

Le coffre du capteur renferme les différents actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques [5]. Les coffres de capteurs sont réalisées soit en fine feuille de métal (acier galvanisé, aluminium, inox) avec protection par revêtement stable aux intempéries. Le coffre ou cadre doit permettre d'assurer sa fixation sur la couverture tout en lui permettre de sa déplacer librement. Le vitrage est généralement posé avec un joint (élastomère insensible aux rayonnements ultraviolets et avec un profile mécanique autorisant des opérations de montage et démontage aisées de celui-ci).

I.1.3.1.2.Type de capteur plan

On distingue principalement deux catégories de capteurs plans

- **Les capteurs plans à caloporteur liquide**

Le fluide caloporteur est généralement de l'eau. Ces capteurs se répartissent en deux types, les capteurs plans non-vitrés de structure très simple (réseau de tubes plastiques

noirs), utilisés généralement pour le chauffage des piscines, et les capteurs plans-vitrés dans lesquels le fluide, eau ou antigel, passe dans un serpentin derrière une vitre. Néanmoins le rendement de ces derniers n'est bon qu'en période estivale. [3]

- **Les capteurs plans à caloporteur gazeux**

Le fluide est généralement de l'air. La différence essentielle par rapport aux capteurs à caloporteur liquide est que le coefficient d'échange par convection forcée entre le fluide et l'absorbeur est beaucoup plus faible (on utilise un absorbeur de grande surface, ou encore des ailettes placées sous l'absorbeur). [3]

I.1.3 1.2. Les capteurs tubulaires (capteurs sous vide)

Ils sont constitués de tubes transparents généralement en verre, comportant un espace vide d'air entre la paroi extérieure de chaque tube et son absorbeur, (Figure I.3). Le vide étant un isolant presque parfait, les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur sont ainsi quasiment éliminées. De plus, la forme tubulaire permet de réaliser un vide d'air, conduisant à une meilleure résistance à la pression atmosphérique qu'un vitrage de forme plane.



Fig. I.3 : schéma de tubes transparents en verre [6]

On dénombre quatre familles de capteurs sous vide, et chacune dépend d'une technique spécifique [3]

I .1.3.2.1. Capteur solaire sous vide à circulation directe

La conception de l'absorbeur et des tuyaux de circulation du fluide caloporteur sont similaires à celle d'un capteur plan, sauf que l'ensemble est suffisamment étroit afin d'être glissé à l'intérieur d'un tube en verre. L'air est évacué pour faire le vide, le tube est fermé hermétiquement. Le principe est simple, mais la fabrication est difficile à cause des liaisons verre /métal. (Figure I.4)[3]

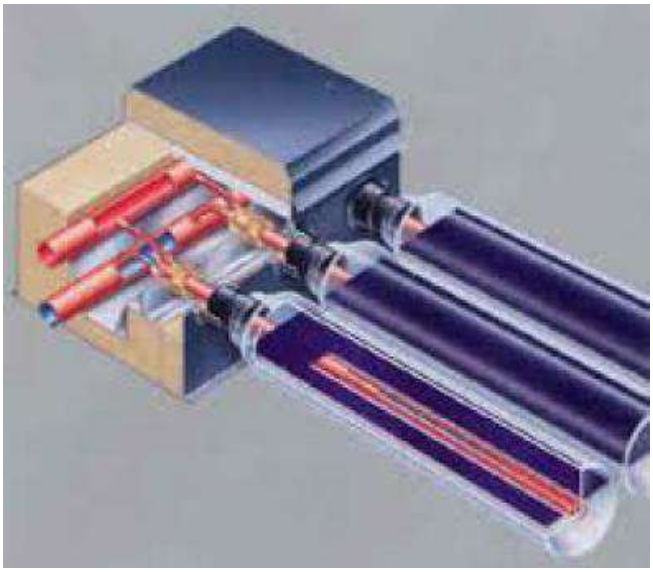


Fig. I.4 : Capteur à tube sous vide à circulation directe [6]

Cette technique à été développée afin d'améliorer les performances d'un capteur plan.

I .1.3.2.2. Capteur à tube sous vide à « caloduc »

Dans ce type de capteur, (Figure I.5), l'échange de chaleur a lieu suivant un mécanisme naturel d'évaporation et de condensation d'un fluide.

La liaison verre-métal entre le tube sous -vide et le caloduc est à sec. Le tube sous vide doit être incliné pour faciliter le phénomène. [3]

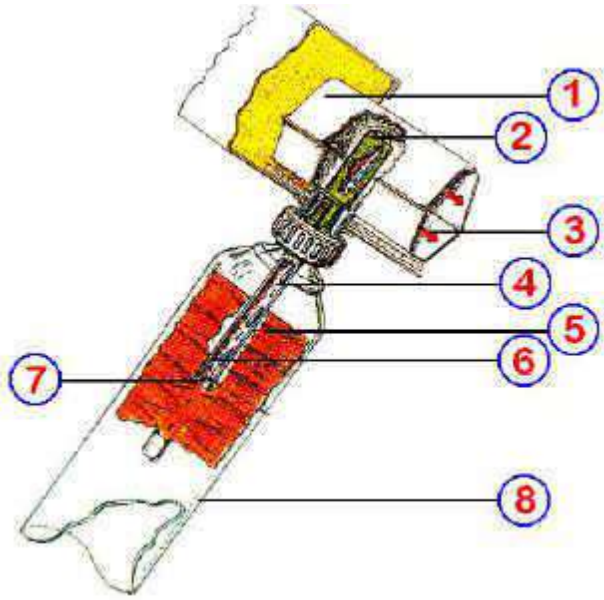


Fig.I.5:schéma de fonctionnement d'un capteur sous vide à caloduc et sa liaison avec le collecteur [6]

1. Collecteur isolé à l'intérieur de l'enveloppe de protection
2. Condenseur du caloduc
3. Circulation de l'eau dans le collecteur
4. Tube acier étanche
5. Absorbeur
6. Liquide descendant
7. Vapeur montante
8. Tube de verre sous vide

I .1.3.2.3. Capteur à tube sous vide à effet « thermos »

C'est le principe d'enveloppe sous vide utilisé pour garder les boissons chaudes dans une bouteille thermos. Le tube intérieur sert d'absorbeur (la surface est traitée pour être absorbante). La chaleur est transmise par la circulation d'un fluide en contact avec l'absorbeur. La fabrication et l'assemblage sont simplifiés (pas de soudure verre/métal), mais les tubes thermos sont fragiles au point de liaison avec le collecteur. (Fig I.6) [3]



Fig. I.6 : Capteur à bouteilles à tubes thermos [6]

I .1.2.1.1.2.7. Capteur à tube sous vide « Schott »

Cette technique utilise le principe thermos. Une partie de la paroi intérieure du tube extérieur est un réflecteur cylindrique, le tube intérieur sert d'une part d'absorbeur et d'autre part en tant qu'échangeur de chaleur avec le fluide caloporteur,
(Figure I.7).L'utilisation des métaux est réduite à des traitements de surfaces du tube et des différentes pièces du collecteur. [3]

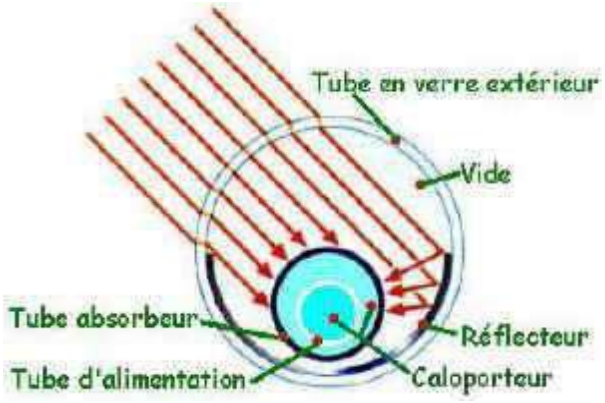


Fig. I.7 : schéma du tube sous vide « Schott » [6]

I.1.4. Performances d'un capteur solaire

La performance d'un capteur solaire dépend de nombreux facteurs (l'intensité du flux solaire, la technologie,…), néanmoins l'irradiation solaire demeure la plus importante. Cette dernière est elle-même étroitement liée à de nombreux paramètres, dont l'heure, la saison, l'altitude, l'orientation, l'état du ciel, etc. [7].

L'amélioration du rendement se base, essentiellement sur la réduction des pertes convectives (isolement par le vide), et par rayonnement (optimisation des corps noirs et de verre). De plus la géométrie des capteurs à tube permet également une surface d'absorption indépendante de l'angle d'incidence du rayonnement solaire. d'autres solutions peuvent contribuer à l'amélioration des systèmes solaires, à savoir :

☐ Les vitres traitées, qui laissent passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer (Fe_2O_3).

☐ Les tubes transparents « sous vide », afin d'éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur.

☐ Des assemblages tube-ailettes, parfaitement solidaires, pour augmenter la surface d'échange, au cas où le fluide caloporteur est de l'air.

☐ Les surfaces nervurées, pour intensifier le transport thermique, en augmentant la surface d'échange. On obtient cet effet par l'application de nervures droites, longitudinales ou inclinées sur des surfaces planes.

☐ Les surfaces sélectives (absorbeur), qui absorbent le rayonnement visible, mais réémettent peu dans l'infrarouge (rayonnement de l'absorbeur, corps noir à basse température).

I.1.5. Les applications

Les applications sont multiples, parmi lesquelles nous pouvons citer :

I.1.5.1. Applications à basses et moyennes températures

I.1.5.1. 1. Le chauffage

Le système solaire permet d'utiliser la chaleur produite pour les besoins d'eau chaude sanitaire, le chauffage d'habitats, [8].

I.1.5.1. 2. 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 [9].

I.1.5.1. 3. 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 [7]

I.1.5.2. Applications à hautes températures

I.1.5.2. 1. L'électricité

Le système de turbine à vapeur pour la production d'électricité présente un danger environnemental, puisqu'il dégage du CO_2 et contribue ainsi au réchauffement climatique. Nous pouvons alors envisager de remplacer la chaudière à gaz qui entraine la turbine par des collecteurs solaires, cylindre paraboliques, qui engendrent des fluides caloporteurs à haute température et par suite produisent de la vapeur d'eau [8].

Il faut également encourager l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'énergie électrique.

I.2.LES NANOFLUIDES

I .2.1. INTRODUCTION

Durant ces dernière années, plusieurs systèmes énergétiques ont été développés dans le domaine industriel produisant un flux de chaleur très élevé, là où les fluides de refroidissement conventionnels (eau, éthylène glycol et l'huile) ne sont pas efficaces. L'idée d'améliorer les propriétés thermo physiques des fluides, est d'introduire des particules solides de très bonnes caractéristiques thermiques et de taille nanométriques au sein du fluide de base. Cette nouvelle génération de fluides porte le nom de <<Nanofluides >>. Ce terme a été introduit par Choi [10] au niveau du laboratoire d'Argonne en U.S. American 1995 et reste couramment utilisé pour caractériser ce type de suspension colloïdale. [11]

I.2. 2.Définition de nanofluide

Les nanofluides sont des solutions colloïdales constituées de particules de taille nanométrique en suspension dans un liquide porteur. Ce type de solution suscite un grand

intérêt depuis la découverte de leurs propriétés thermiques particulières. En effet, les fluides de base souvent utilisés dans les applications de refroidissement ou de chauffage ont des conductivités thermiques très faibles qui limitent leur capacité de transfert de chaleur. L'idée est alors d'insérer au sein des liquides de base des nanoparticules de conductivité très élevée, afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange et ainsi améliorer ces performances thermiques. Les liquides de base généralement utilisés dans la préparation des nanofluides sont ceux d'usage commun dans les applications de transfert de chaleur tels que l'eau, l'éthylène glycol, l'huile de moteur etc… ; Les nanoparticules peuvent être à base de métaux, d'oxydes, de carbures, de nitrures ou de carbone. [12]

I.2.3. Types de nanofluides

Différents types de nanomatériaux ont été utilisés pour fabriquer des nanofluides.

Nous pouvons de manière générale distinguer deux types de nanofluides figure(I.1)

• des nanofluides à base de nanotubes de carbone ;

• des nanofluides contenant des nanoparticules métalliques ou des oxydes.

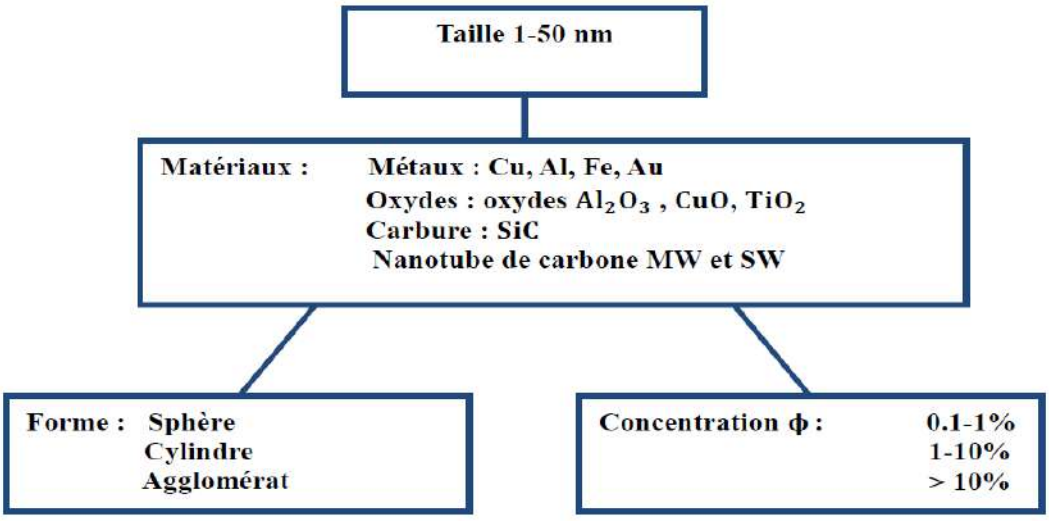


Fig. I.8 : Principales familles des nanofluides [13]

- les solvants plus utilisés sont :
  - ✓ L'eau
  - ✓ L'éthyléneglycol, EG
  - ✓ Les huiles
  - ✓ Le toluène

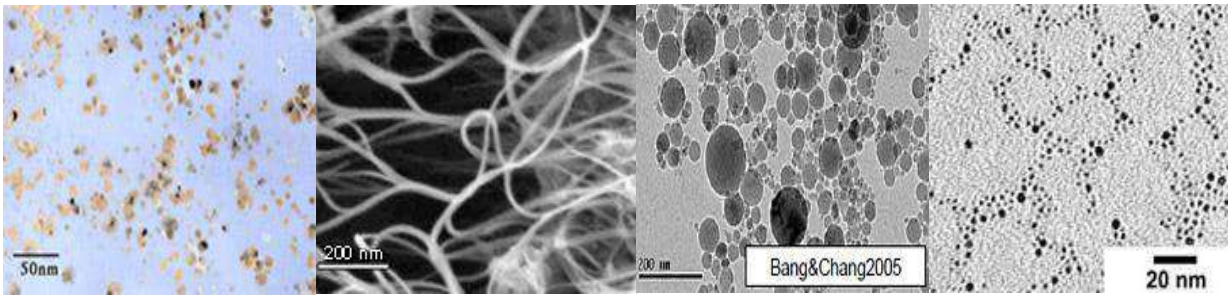


Fig. I.9: Nanofluides vue au microscope électronique : éthylène glycol+cuiv0.5%; eau + nanotube ; eau + alumine ; eau + or à 2nm [14]

I.2.3.1. Nanofluides à base de nanotubes de carbone

Un nanotube de carbone est une structure cristalline particulière du carbone. Ces tubes de quelques nanomètres de diamètre peuvent atteindre plusieurs centaines de micromètres de longueur. Les nanotubes peuvent être constitués d'une seule couche de graphène enroulée sur elle-même et sont alors appelés « nanotube mono feuillet » (SWCNT). Ils peuvent aussi être constitués d'un enroulement de plusieurs couches de graphène et sont alors appelés «nanotube multi feuillets » (MWCNT). (Figure I.2)

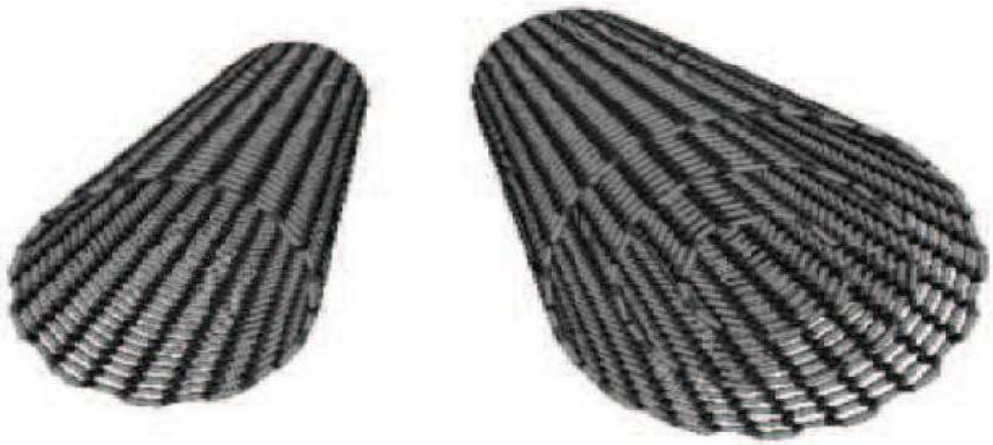


Fig. I.10 : Structures moléculaires d'un nanotube de carbone à paroi simple (à gauche) et d'un nanotube de carbone à parois multiples (à droite). [13]

I.2.3.2. Nanofluides à base de nanoparticules

Plusieurs types de matériaux peuvent être utilisés pour la préparation de nanofluides à base de nanoparticules. Ces nanoparticules peuvent être synthétisées à partir de semiconducteurs, de métaux ou d'oxydes métalliques. Certains oxydes métalliques ont entraîné des augmentations de conductivité thermique de l'ordre de 40% pour des concentrations volumiques inférieures à 1% [15].

D'autres études [16] portant sur la dispersion de nanoparticules de diverses natures ont aussi permis d'atteindre des résultats similaires, proches de ceux obtenus avec des nanotubes de carbone. Là aussi il est difficile de comparer les différentes études expérimentales portant sur les nanofluides car chacune d'entre elles a été menée pour des particules de tailles diverses et des méthodes de préparations différentes. Or la taille des particules et la préparation des échantillons sont des facteurs déterminants qui influent fortement sur les résultats obtenus [16].

Suspensions de particules microscopiques dans un liquide ne sont pas aptes à décrire les comportements obtenus pour la plupart des nanofluides.

I .2.4.Préparation des nanofluides

Les procédés de fabrication de nanoparticules sont nombreux. Ils peuvent être classés en deux catégories :

- Les procédés physiques, comme le broyage mécanique.
- Les procédés chimiques, comme la pyrolyse ou la précipitation chimique.

Par contre pour les nanofluides il existe deux procèdes distinct

I.2.4.1.Procédé en une étape (one-step method) [17]

Consiste à la dispersion des nanoparticules directement dans un fluide de base (synthèse direct dans un fluide de base) et de prévenir l'oxydation des particules de métal pur.

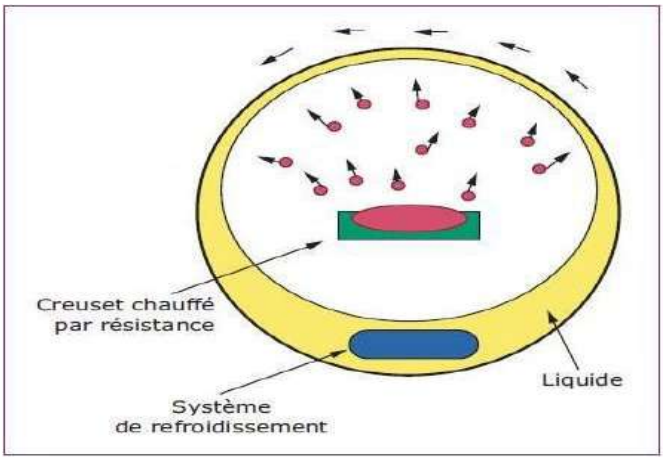


Fig. I.11 Procèdes de synthèse de nanofluide en une seule (Argonne National Laboratory, USA) [14]

I.2.4.2. Procédé en deux étapes (two-ste method) [17]

La première étape consiste à fabriquer les nanoparticules, et dans la seconde étape les nanoparticules sont disperser dans un fluide de base

I.2.5. Les applications de nanofluides [19]

• Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique)

• Refroidissement Electroniques

• Défense

• Espace

• refroidissement des systèmes nucléaires

• L'échangeur de chaleur

• biomédecine

• Autres applications (caloducs, piles à combustible, le chauffage solaire de l'eau, refroidisseurs, réfrigérateurs domestiques, Diesel combustion, Forage, Lubrifiants, stockage thermique, ...).

I.2.6. Les avantage de nanofluides [19]

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.
- Haut dispersion et stabilité avec prédominante mouvement brownien des particules.
- Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.
- Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système.
- Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.

I.2.7. Les inconvénients du nanofluides [19]

• le manque de l'accord des résultats obtenus par différents chercheurs.

• le manque de compréhension théorique des mécanismes responsables de changements des propriétés.

• mauvaise caractérisation des suspensions.

• stabilité des nanoparticules dispersion.

• chute de pression accrue et la puissance de pompage.

• viscosité supérieur, chaleur spécifique Basse.

• Le coût élevé des nanofluides.

• Difficultés dans le processus de product

II.1.Introduction

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes. [6]

II.2. Aspect géométrique

II.2.1. Soleil

Le Soleil fait parti d'un système stellaire d'environ 340 milliards d'étoiles. La plupart sont concentrées dans une région en forme de disque délimitée par des bras qui se repartissent en spirale à partir d'un noyau central. Elle occupe une position périphérique à 28000 années lumière du centre, autour duquel il tourne à une vitesse de 225 km/s.

Il effectue une révolution en 300 millions années. Elle est l'étoile centrale de notre système planétaire, autour duquel tournent dans l'état actuel de nos connaissances 7 planètes, 5 planètes naines et des millions d'astéroïdes. Elle contient plus de 99.8% de la masse totale du Système Solaire. Le Soleil est actuellement constitué de 75% d'**hydrogène** et 25% d'**hélium** en masse et 92,1% d'hydrogène et 7,8% d'hélium en nombre d'atomes. Tous les autres éléments ne représentent pas plus de 0,1%. Ces chiffres varient lentement au fur et à mesure que le Soleil convertit l'hydrogène en hélium par réaction de fusion nucléaire. [20]

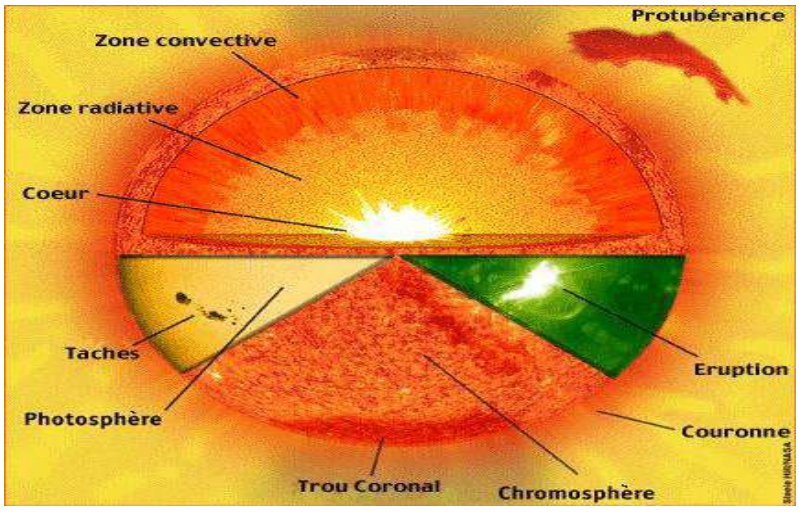


Fig. II.1: Couches externes du Soleil [4]

II.2.2. Terre

La terre a la forme d'un ellipsoïde de révolution aplati. Sa superficie est de 510101.10^3 Km^2, son volume est égal à 1083320.106 Km^3, sa masse vau 6.10^{21} tonne et sa densité moyenne est de 5.52. La terre décrit autour du soleil une ellipse presque circulaire Figure (II.2). Cette est située dans un plan appelé écliptique. L'axe de rotation terrestre fait un angle de 23^0 27' ce qu'on appelle déclinaison. L'intersection du plan de l'équateur avec le plan l'écliptique définit la ligne des équinoxes. L'intersection de cette ligne avec l'orbite terrestre, lors de l'équinoxe de printemps définit le point vernal celui-ci est pris comme origine pour le celui des angles définissants la position relative du soleil par rapport à la terre. [21]

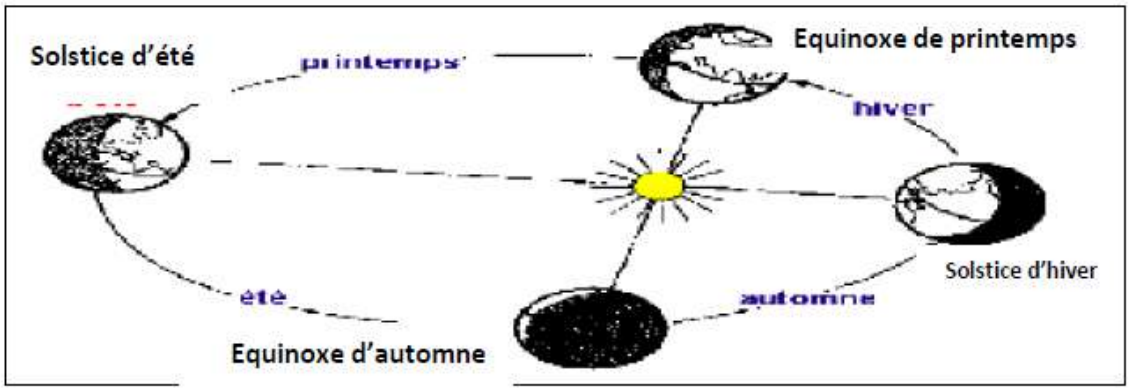


Fig. II-2: Mouvement annuel de la terre autour du soleil [4]

II.2.3.Sphère sélecte

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'oeil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps. Figure (II-3). [22]

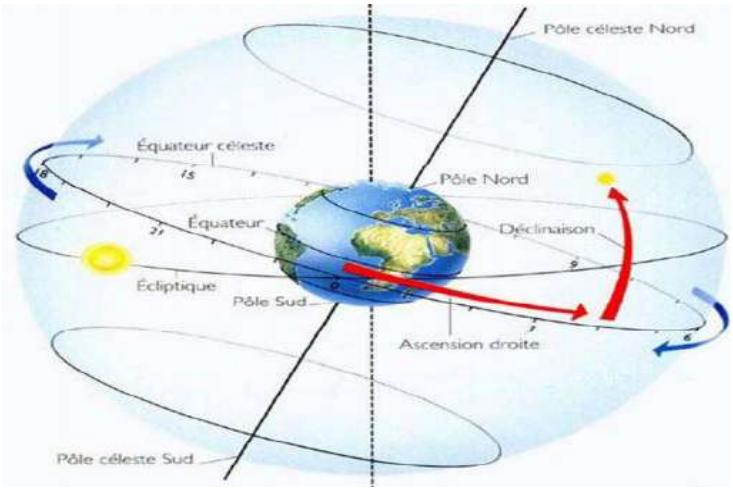


Fig. II.3: Sphère céleste [23]

- **Zénith**

  Est le point ou la verticale ascendante d'un lieu rencontre la sphère céleste. [22]

- **Nadir**

  Est le point de la voute céleste qui se trouve sur sa verticale de l'observateur et directement sous ses pieds (le point opposé s'appelle zénith). [22]

- **Méridien**

  Plan défini par la vertical et parallèle à l'axe de rotation de la terre. Ou bien demi grand cercle de la surface terrestre ou de la sphère céleste limite au pôle. [22]

II.2.4. Mouvement de la terre

La terre est animée d'un mouvement de rotation direct et uniforme d'ouest en est, autour de son axe unissant ses deux pôles. En prennent le soleil comme point de référence, ce mouvement appelé rotation de la terre sur elle même, ce mouvement s'accomplit en une période moyenne de 24 heures. Si l'on distingue sur un papier les différentes positions de coordonnées équatoriales qu'occupe la terre durant toute l'année dans la sphère céleste, et qui joint ces points d'un trait continu, on obtient un cercle appelé l'écliptique [6].

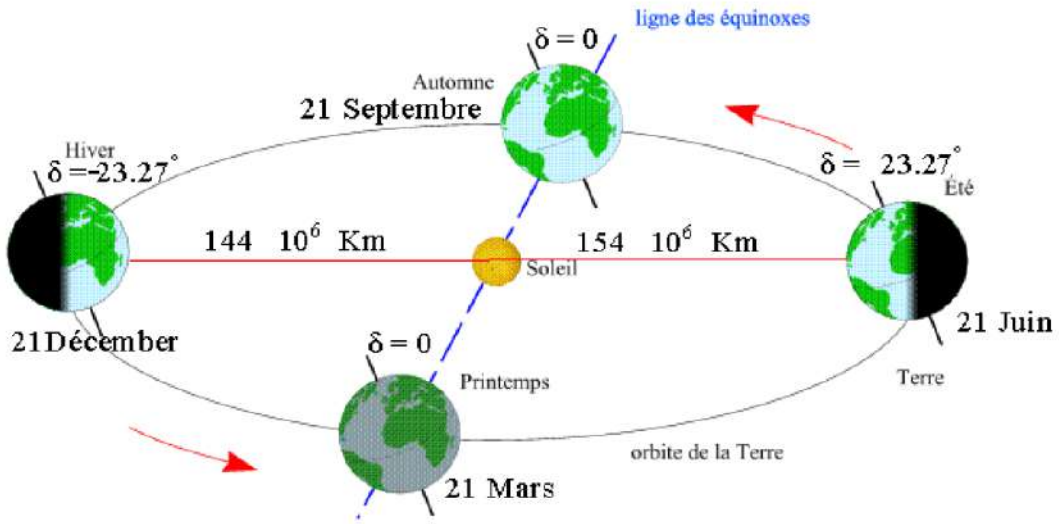


Fig.II.4: Mouvement de la terre autour du soleil [6]

II.2.5.Système de coordonne

II.2.5.1.Les coordonnées géographiques terrestres

Se sont les coordonnées angulaires qui permettent de repérer un point sur la terre

a)Longitude (L)

Est comptée positivement de 0 à +180° vers l'Est et négativement de 0 à -180° vers l'Ouest, à partir du méridien Greenwich. [24]

b) Latitude (Φ)

Permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur.

Elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le nord et négativement de 0 à -90° vers le sud. [24]

c)Altitude

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de la référence théorique (niveau moyen de la mer) on l'exprime généralement en mètre. La figure (I-4). Si dessous montre les coordonnées terrestres. [24]

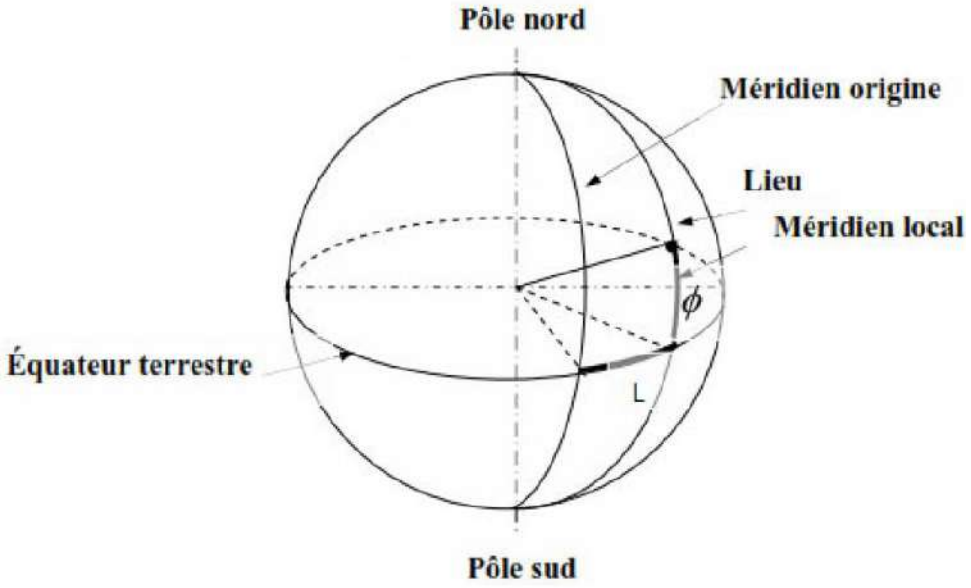


Fig. II.5: Les coordonnées terrestres d'un lieu donné [6]

II.2.5.2. Coordonnées horaires

a) La déclinaison (δ)

C'est l'angle que forme la direction du soleil et le plan équatorial. La déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année comme, elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ses deux valeurs extrêmes au solstice d'été (+23°,27') et au solstice d'hiver. Elle varie selon une loi périodique comme le montre la figure (II-6).

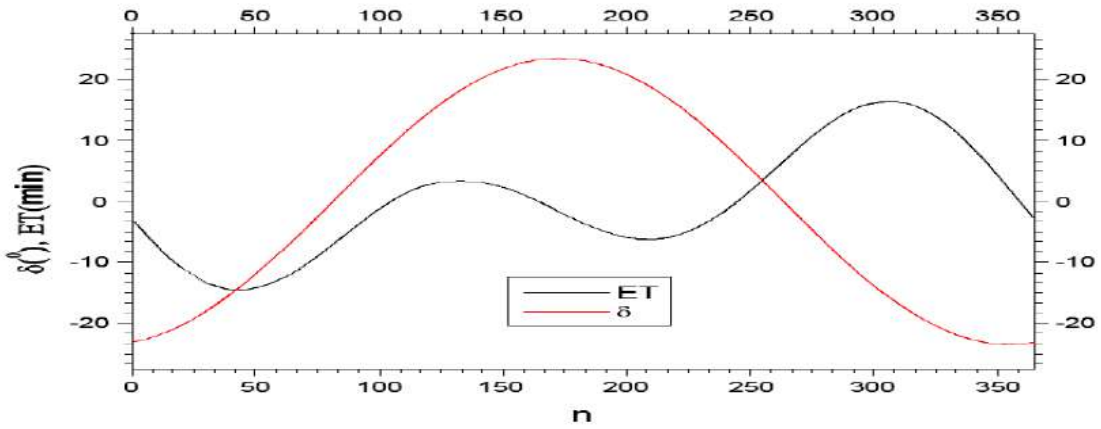


Fig. II .6 : la variation de la déclinaison et l'équation du temps [6]

Son expression est donnée par :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(N+284)\right) \qquad (II.1)$$

N : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1èrejanvier (1 à 366).

b) L'angle horaire (ω)

Est déterminé par la rotation régulière de la terre au tourde son axe. Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de 0 à +360°, une heure sidérale vaut donc 15 d'angle et ω=0° (12h:00) au méridien de Greenwich. [25]

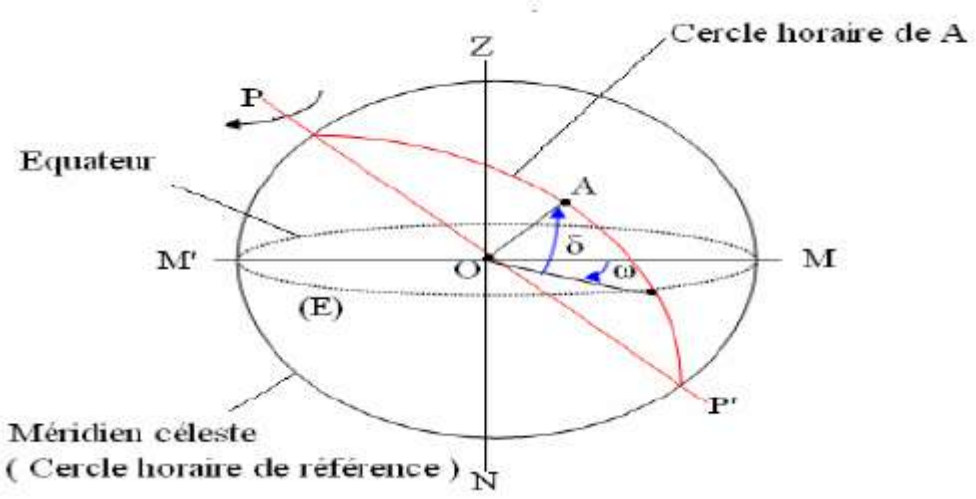


Fig.II.7: Coordonnées horaires [4]

II.2.5.3.Les coordonnées horizontales

Le soleil est repéré par les deux grandeurs suivantes :

a) L'angle de la hauteur solaire (h)

Est l'angle entre la direction du soleil et sa projection .Elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir.

b) L'azimut (a)

Est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud**.** On peut le compter positivement de 0 à +180° vers l'ouest et négativement de 0 à-180° vers l'est. La figure (II-8).

Si dessous Figure 6, montre les coordonnées horizontales. [25]

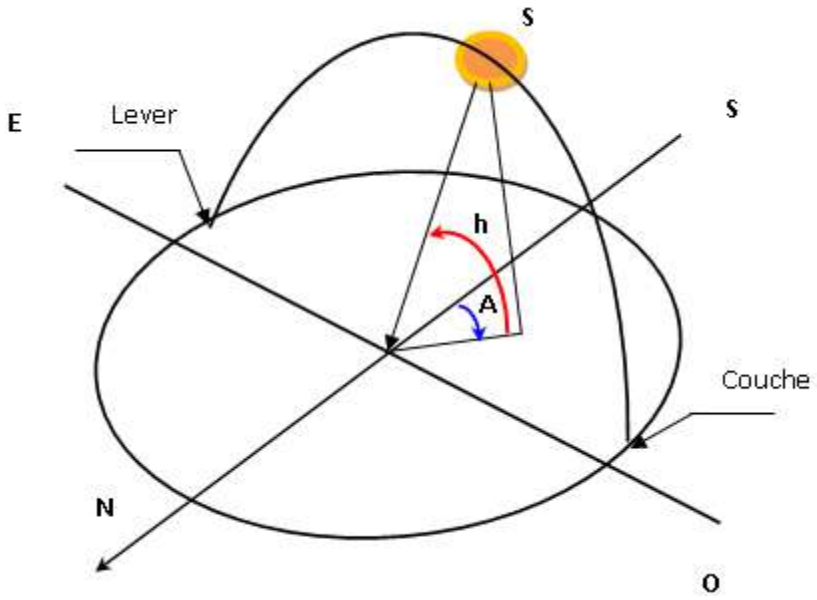


Fig. II.8:Coordonnées horizontales [26]

II.2.6.Temps solaire

II.2.6.1. Temps solaire vrais (TSV)

Le temps solaire vrais, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil, ce temps est indiqué par les cadrans solaires et les héliographes, Il est donné par la relation suivante : [19]

$$TSV = 12 + \frac{w}{15} \qquad (II.2)$$

II.2.6.2. Temps solaire moyen(TSM)

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, Il est donné par la relation suivante : [25]

$$TSM = TSV - Et \qquad (II.3)$$

Ou :

$$Et = 9.87 \sin [2.\frac{360}{365} (N-81) - 7.53\cos [\frac{360}{365} (N-81)] - 1.5\sin [360-365(N-81)]] \qquad (II.4)$$

Et : est l'équation du temps exprimée en minutes.

N: est le numéro du jour dans l'année.

II.2.6.3. Temps civil

Le temps civil est le temps moyen avec l'origine à minuit. [25]

II.2.6.4. Temps universel(TU)

Le temps universel est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine), appelé encore GMT (Greenwich Mean Time). Est donné par la relation suivante : [25]

$$TU = TSM - \frac{L}{15} \qquad (II.5)$$

Où :

L est la longitude .Tel que :

L < 0 : Pour les sites situés à l'Est de Greenwich.

L = 0 : Pour les sites situés au méridien de Greenwich.

II.2.6.5. Temps légal (TL)

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. Est donné par la relation suivante : [25]

$$TL = TU + \Delta h \qquad (II.6)$$

Où :

ΔH : Est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

II.3. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le soleil. En plus des rayons cosmiques, particules animée d'une vitesse et d'une énergie extrême élevées, le soleil émet des ondes électromagnétiques dont le spectre s'étend des ondes radio aux rayons gamme, en passant par la lumière visible. Ce rayonnement transporte l'énergie solaire, indispensable à toute vie terrestre. [27]

II.3.1. Composantes du rayonnement solaire

On subdivise le rayonnement solaire parvenant au sol en trois composantes principales sont :

II.3.1.1. rayonnement direct (d)

Si l'on appelle I_0 l'intensité du rayonnement solaire direct provenant en un point M de la surface de captation, est variable avec la hauteur du soleil h. Cette variation peut être approchée par la formule suivante :

$$I_0 = A \exp\left[-\frac{1}{B} \sinh(h+c)\right] \qquad (II.7)$$

I_0 en W/m² et h en degré

A, B, C dépendent de l'état des troubles atmosphériques, et l'on admet généralement :

Hypothése	A	B	C
Conditions normales	1230	3.8	1.6
Ciel très pur	1220	6	1
Zone industrielle	1260	2.3	3

Tab.III.1 : valeurs des constantes A,Bet C en fonction de la nature du ciel[6]

❖ **Eclairement direct (S)**

Ou éclairement parvenant au sol sous un angle solide limité au seul disque solaire et reçu sur une surface normale à l'axe de cet angle solide. L'expression de l'éclairement direct S (i, γ) sur un plan d'inclinaison i et angle d'orientation **γ** quelconques est donné par :

$$S(i,\gamma) = I_0[\cos(h)\sin(i)\cos(\gamma-a) + \sin(h)\cos(i)] \qquad (II.8)$$

II.3.1.2. rayonnement diffus (D)

Où éclairement diffusé par les composantes de l'atmosphère, provenant de la totalité du ciel à l'exception du disque solaire. La composante verticale du rayonnement directe diffusé parvenant au sol vaut alors :

$$D^* = 0.5\,(Ie-I_0)\sin(h) \qquad (II.9)$$

Ie : est une quantité qui se déduit de la constante solaire égale à 1353w/m2

Finalement, on a la formule suivante :

$$D(i) = \left(\frac{1+\cos(i)}{2}\right) D^* + \left(\frac{1-\cos(i)}{2}\right) P.\,G^* \qquad (II.10)$$

G* : est l'éclairement global reçu par la même surface.

p: albédo du sol avoisinant.

G* est donnés par les relations suivantes :

$G^*_{max} = 1130(\sin(h))^{1.15}$ conditions normales

$G^*_{min} = 995(\sin(h))^{1.25}$ En zone industrielle

$G^*_{moy} = 1080\,(\sin(h))^{1.22}$ par ciel tés pur

II.3.1.3. rayonnement global (G)

Le rayonnement global sur une surface est la somme du rayonnement direct (D) et du rayonnement diffus (d), soit :

$$G = D + d \qquad \text{(II.12)}$$

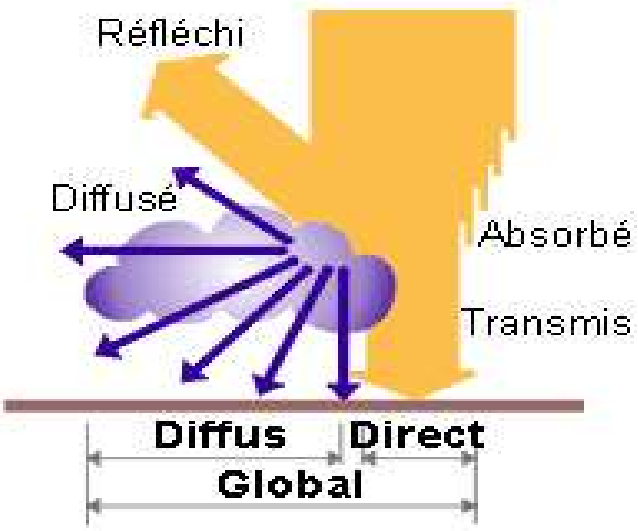


Fig. II.9 : Les composants du rayonnement solaire [28]

II.4.Appareils de mesure

II.4.1.Mesure du rayonnement solaire global

On mesure la puissance du rayonnement solaire globale sur une surface horizontale grâce à un pyranomètre figure (II-10). Un pyranomètre comprend une double coupelle de verre, un thermophile (série de thermocouples) et un système d'enregistrement de la force électromotrice produite par ce thermophile sous l'action d'un rayonnement.

Quand l'instrument est exposé à la radiation solaire, une différence de température est créée entre les secteurs noirs et les secteurs blancs. Cette différence de température est détectée par la thermophile qui convertie l'énergie thermique en énergie électrique. Ce courant peut être mesuré et amplifié et le signal de millivolt est converti par un facteur de calibrage en un flux en watt par mètre carré. Les coupelles de verre filtrent la bande de longueurs d'onde à mesurer (en général de 0,3 à 3mm) et limitent la condensation de vapeur d'eau.

Pour mesurer uniquement le rayonnement diffus, on ajoute un pare-soleil (bande métallique circulaire) qui protège le pyranomètre du rayonnement solaire direct. Le pyranomètre, appelé " solarimètre " dans le passé, fait partie de l'instrumentation classique des parcs météorologiques ; il est placé sur une surface horizontale [29].

II.4.2.Mesure du rayonnement direct

Les radiations solaires directes peuvent être mesurées par un Pyrheliometre figure (II-10). Contrairement au pyranometre un disque noir détecteur est placé à la base du tube dont l'axe est aligné avec la direction des rayons solaire, ainsi la radiation diffusée est bloquée par la surface du détecteur. Le Pyrheliometre est continuellement pointé directement au soleil tout au long du jour. Cette grandeur est nulle lorsque le soleil est occulté par les nuages [29].

La radiation diffusée peut être déterminée par la soustraction de la radiation directe de la radiation globale.



Fig. II.11: Pyrhéliomètre[30]



Fig. II.10 : Pyranomètre [30]

II.5.Programme de calcul du rayonnement solaire global

Un programme informatique a été développé pour simuler le rayonnement solaire direct, diffus et global à MEDEA. Le programme est écrit en langage FORTRAN 90. Il est formé de deux parties essentielles :

La première partie :

Fait le calcul des facteurs géométriques tel que :

*Calcul de la déclinaison et la durée du jour.

*Calcul de l'heure du lever et du coucher du soleil.

*Calcul du temps solaire vrai.

La deuxième partie :

Fait le calcul des paramètres suivants :

*Calcul de l'angle horaire et la hauteur angulaire du soleil.

*Calcul de l'éclairement direct et diffus.

*Calcul de l'éclairement global.

L'organigramme ci-après donne les grands axes de calcul. [6]

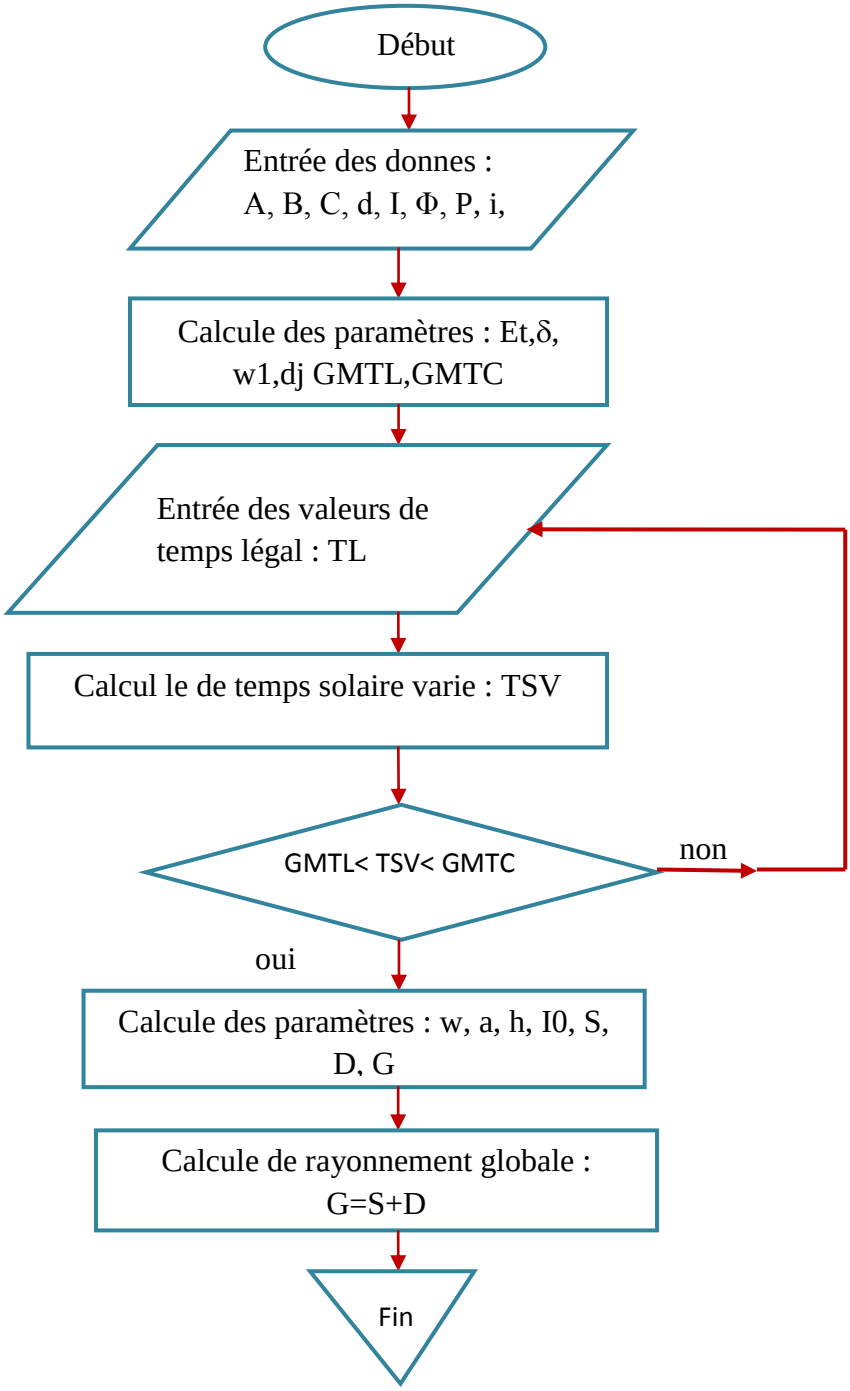


Fig. II.12 : Organigramme du programme de calcul du rayonnement solaire global [6].

II.6.Rayonnement en Algérie

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1Kw/m2. L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les 6Kwh/m2 et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 Kwh/m2.

La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie.

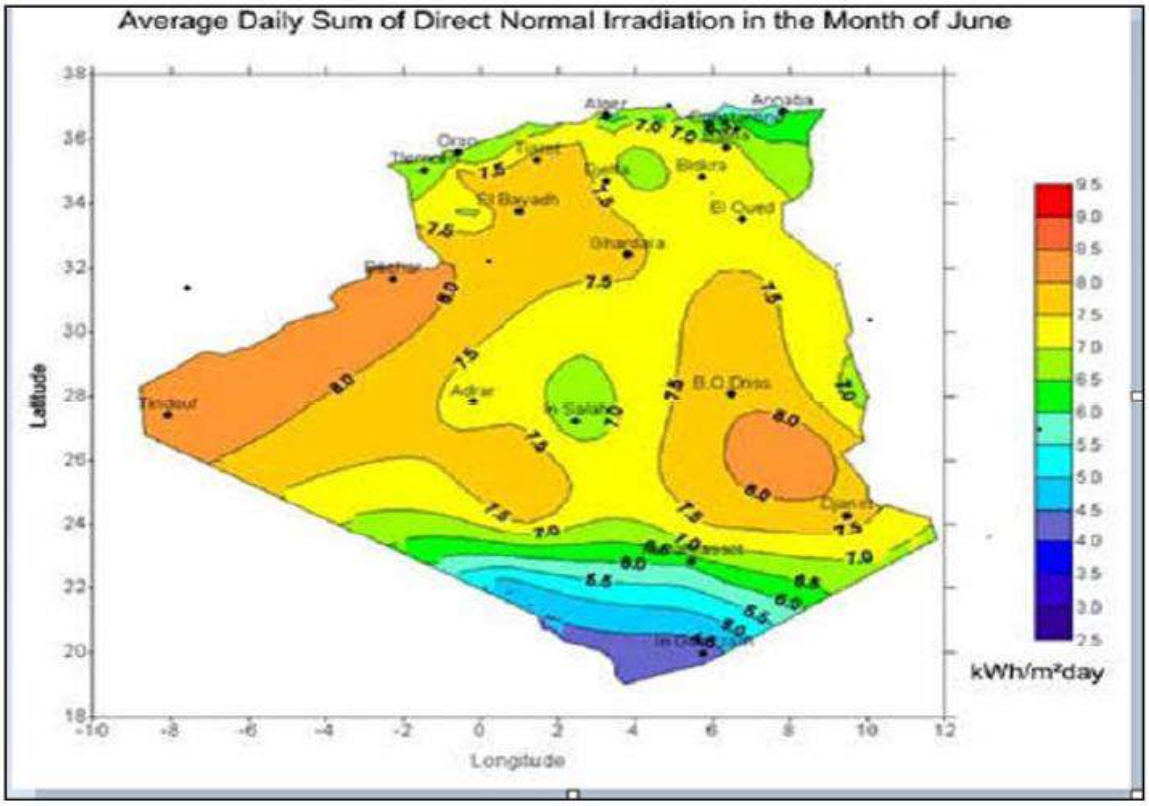


Fig. II.13: Rayonnement en Algérie (Longitude) [31]

III.1 Généralité sur le transfert de chaleur

III.1.1 Introduction

Le transfert de chaleur est un processus d'une grande importance dans le domaine de l'industrie et des technologies. Bien qu'il manifeste sous diverses formes (rayonnement, conduction et convection), cette dernière est la plus visée dans certains domaines bien spécifiés tels que le refroidissement des processeurs et des composantes électroniques, les radiateurs et les échangeurs de chaleur, … etc. [12].

III.1.2 Transfert de chaleur par conduction

La conduction thermique est la propagation de chaleur de molécule à molécule, dans un corps ou dans plusieurs corps contigus et non réfléchissants, sans qu'il y ait mouvement du milieu ou que ce mouvement intervienne dans la transmission. Ce mode de transmission caractérise essentiellement les transferts de chaleur dans les solides ou entre corps solides contigus. La conduction intervient également dans les liquides et les gaz mais sauf dans le cas des liquides très visqueux ou des gaz emprisonnés dans des matériaux poreux, son effet est marginal par rapport à celui de la convection. La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est Proportionnelle au gradient de température :

$$Q\,cd = -\lambda .\, S .\, grad\,(T) \qquad \text{(III.1)}$$

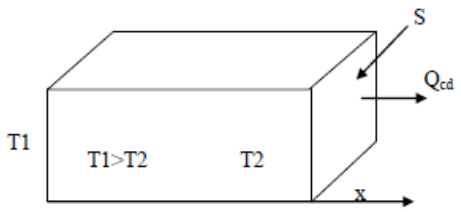


Fig. III.1 *:* Schéma du transfert de chaleur par conduction [32]

III.1.3 Transfert de chaleur par convection

Dans ce cas le transfert de chaleur s'effectue d'un fluide liquide ou gazeux à un corps solide (par exemple entre l'air et une paroi). Les particules se trouvent en mouvement entre elles. On distingue deux types de convection :

III.1.3.1 La convection naturelle

En convection naturelle, les mouvements des particules de fluide ont pour origine les différences de masse volumique induites par un gradient de température imposé, en présence du champ de gravités.

III.1.3.2 La convection forcée

La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoqué par un procédé mécanique (pompe, ventilateur, etc.) indépendant des phénomènes thermiques, c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$Q\ cv = h\ c.\ S.\ (Tp - T\infty) \qquad (III.2)$$

III.1.3.3.La convection mixte

La convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et forcée) quand les vitesses d'écoulement, fictives, dues aux deux types de convections sont considérées séparément, du même ordre de grandeur.

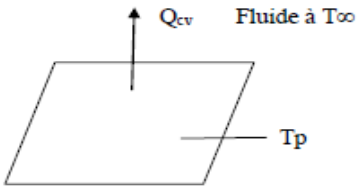


Fig. III.2 : Schéma du transfert de chaleur par convection [32]

III.1.4. Transfert de chaleur par rayonnement

Le rayonnement est le transfert de chaleur d'un corps à un autre corps, sans aucun contact entre eux, par le déplacement d'ondes dans l'espace. Cette de transfert de chaleur concerne les longueurs d'ondes comprises entre 100 µm et 0,01 µm et va de l'infrarouge à l'ultraviolet en couvrant le visible. La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann :

$$Q\ r = S.\ \sigma.\ \varepsilon\ (Tp^4 - T\infty^4) \qquad (III.3)$$

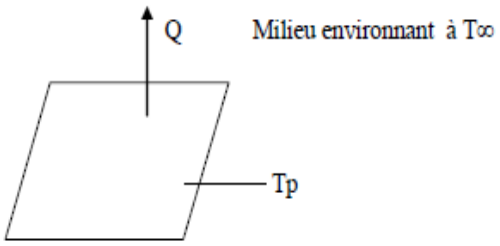


Fig. III.3 : Schéma du transfert de chaleur radiatif [32]

III.1.5 .Les nombres sans dimension [33]

L'étude des problèmes de transfert de chaleur par convection implique la résolution d'équations différentielles qui décrivent la mécanique des fluides, les échanges d'énergie, les transferts de masse. Ces équations sont généralement liées et difficiles à résoudre théoriquement, ce qui conduit à associer à la théorie l'expérimentation permettant de trouver les valeurs des grandeurs recherches. L'expérimentation est souvent menée à une échelle différente de la réalité industrielle. La nécessité de définir des corrélations qui soient applicables à des appareils de tailles différentes opérant dans des situations différentes conduit à l'utilisation de paramètres adimensionnels qui permettent de définir des similitudes.

On peut déterminer les nombres sans dimensions en considérant toutes les forces qui peuvent s'appliquer sur un fluide. Ainsi, on a défini les forces et leurs unités de mesure dans le système international [SI] par rapport aux variables fondamentales :

- les forces d'inertie : $F_a = ma$ $[F_a] = \rho L^2 V^2$
- les forces de viscosité : $F_\mu = \tau s$ $[F_\mu] = \mu L V$
- les forces de gravité : $F_g = mg$ $[F_g] = \rho g L^3$

III.1.5.1.Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est proportionnel au rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité. Il peut être exprimé comme :

$$\frac{Fa}{F\mu} = \frac{forces\ d'inertie}{forces\ de\ viscosité} \qquad \text{(III.4)}$$

$$\frac{\text{Fa}}{\text{F}\mu} = \frac{\rho L^2 V^2}{\mu L V} = \frac{\rho V L}{\mu} = R_e \qquad \text{(III.5)}$$

Le nombre de Reynolds permet de quantifier les écoulements laminaires et turbulents.

Les écoulements à nombre de Reynolds élevé sont générale turbulents, alors que les écoulements où les forces d'inertie sont faibles par rapport aux forces visqueuses sont plus souvent laminaires.

III.1.5.2.Nombre de Prandtl

Le nombre de Prandtl est proportionnel au rapport entre le diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité thermique. Il caractérisé l'importance relative des effets thermiques et visqueux. Il peut être exprimé comme :

$$\text{Pr} = \frac{\mu\ Cp}{\text{k}} \qquad \text{(III.6)}$$

III.1.5.3.Nombre de Nusselt

Le nombre de Nusselt est proportionnel au rapport entre le transfert thermique total et le transfert par conduction. Il peut être exprimé comme :

$$\text{Nu} = \frac{\text{h L}}{\text{k}} \qquad \text{(III.7)}$$

III.1.5.4.Nombre de Grashof

Le nombre de Grashof est proportionnel au rapport entre les forces de gravité par les forces visqueuse. Il peut être exprimé comme :

$$\frac{\text{Fg}}{\text{F}\mu} = \frac{forces\ \ de\ \ gravit\ é}{forces\ \ de\ \ viscosit\ é} \qquad \text{(III.8)}$$

$$\frac{\text{Fg}}{\text{F}\mu} = \frac{g.\beta.\Delta T.L_{c.}^3 \rho^2}{\mu^2} = Gr \qquad \text{(III.9)}$$

III.1.5.5.Nombre de Rayleigh

Le nombre de Rayleigh est proportionnel entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la trainée visqueuse par le taux de diffusion thermique.

Il peut être exprimé comme :

$$Ra = \frac{g}{\upsilon\alpha}(T_s - T_\infty) L^3_c = Gr \cdot Pr \qquad (III.10)$$

- L'élément perturbateur : poussée d'Archimède.
- Les éléments stabilisateurs : la viscosité et la conductivité thermique.

✓ Si Ra < 1710=Ra_c, l'écoulement est stable.

✓ Si Ra ≥ 1710, apparition des rouleaux de Bénard.

Ra_c étant la valeur critique de Rayleigh dans une couche horizontale infinie.

III.2. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement (figure III.4).

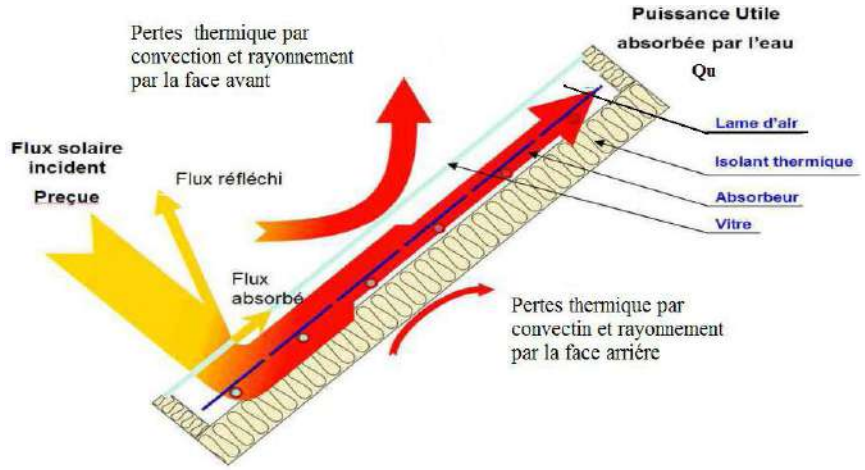


Fig. III.4 : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan vitré [31]

III.2.1.Échanges thermiques au niveau de la vitre

En plus du flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage, il existe un autre flux de chaleur incident Q_v qui sera absorbé par la vitre mais avec peu d'importance.

$$Q_v = \alpha_v . S_v . G \qquad (III.11)$$

Le flux de chaleur échangé par convection entre le vitrage et l'extérieur est donné par l'équation (III.13)

$$Q_{cv.e} = \alpha_{cv.e} . S_v . (T_v - T_e) \quad \text{(III.12)}$$

Te : La température extérieure (K).

$\alpha_{cv.e}$: coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'extérieur.

Ce dernier est dû entièrement à la vitesse du vent (W/ m^2 K).

On pourra utiliser la corrélation de Hottel et Woertz.

$$\alpha_{cv.e} = 5.67 + 3.86V \quad \text{(III.13)}$$

V : La vitesse du vent (m/s).

Le flux de chaleur échangé par rayonnement entre le vitrage et le ciel est donné par l'équation (III.15)

$$Q_{rv\,c} = \boldsymbol{\alpha}_{rv\,c} . S_v . (T_v - T_{ciel}) \quad \text{(III.14)}$$

$\alpha_{rv\,c}$: coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et ciel (W/ m^2K).

$$\alpha_{rv\,c} = \sigma . (Tciel + Tv) . (Tciel^2 + Tv^2) . \varepsilon_v \quad \text{(III.15)}$$

Avec

σ : constante de Stéphane Boltzman σ = 5.67 10^{-8}W/m^2k^4.

Le flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage est donné par l'équation suivante :

$$Q_{rv.a} = \boldsymbol{\alpha}_{rv.a} . S_v . (T_v - T_a) \quad \text{(III.16)}$$

$\alpha_{rv.a}$: coefficient d'échange par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage (W/m^2K).

$$\alpha_{rv.a} = \frac{\varepsilon . (Ta + Tv) . (Ta^2 + Tv^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon ab}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon v}\right) - 1} \quad \text{(III.17)}$$

III.2.2.Échanges thermiques au niveau de l'absorbeur

Le flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et le vitrage est donné par l'équation (III.18)

$$Q_{ca.v} = S_a . \alpha_{ca.v} . (T_a - T_v) \quad \text{(III.18)}$$

$\alpha_{ca.v}$: Le coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'absorbeur (W/m2°K).

$$\alpha_{ca.v} = (1-0.33.(\frac{\beta}{90}).(T_a-T_v)^{0.333} \quad \text{(III.19)}$$

Le flux de chaleur échangé par conduction entre l'absorbeur et l'isolant est donné par l'équation (III.20)

$$Q_{ca.i} = \frac{(Ta-Ti)}{\left(\frac{Lab}{Sabi\ .\lambda i}\right)+\left(\frac{Li}{Sabi\ .\lambda ab}\right)} + \frac{(Ta-Ti)}{\left(\frac{Lab}{Sabil\ .\lambda il}\right)+\left(\frac{Lil}{Sabil\ .\lambda ab}\right)} \quad \text{(III.20)}$$

Le flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (eau) est donné par l'équation (III.21).

$$Q_{ca.f} = \alpha_{c\ a.f}.S_f.(T_a - T_f) \quad \text{(III.21)}$$

Le coefficient d'échange de chaleur interne est donné par:

$$\alpha_{ca.f} = Nu\frac{\lambda eau}{di} \quad \text{(III.22)}$$

Le flux de chaleur incident reçu par l'absorbeur est donné par (III.23) :

$$Q_{\alpha} = \alpha_{\alpha}.\tau_v.S_{\alpha}.G \quad \text{(III.23)}$$

III.3.Le bilan énergétique du capteur

$$P_p = Q_u + Q_p \quad \text{(III.24)}$$

La fraction Pp du flux incident G sont données par :

$$P = \tau\alpha.G \quad \text{(III.25)}$$

III.4. Les pertes

Les déperditions thermiques du capteur sont données sous la forme suivant :

$$Q_p = A_C.(U_{arr}+U_{av}+U_{lat}) \times (T_{pm}-T_a) = A_C \times U_L \times (T_{pm}-T_a). \quad \text{(III.26)}$$

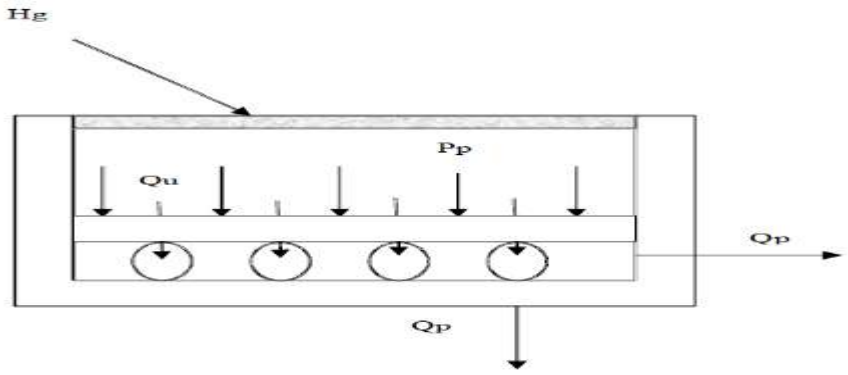


Fig. III.5 : Schéma du bilan énergétique pour un capteur plan [34]

III.5. les Pertes globales d'énergie

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur. Elles se divisent en trois catégories: les pertes vers l'avant, les pertes vers l'arrière et les pertes latérales On défini:

R1: résistance thermique entre le milieu ambiant et la vitre.

R2: résistance thermique entre la vitre et l'absorbeur.

R3: résistance thermique entre l'absorbeur et l'isolant.

R4: résistance thermique entre l'isolant et le milieu ambiant.

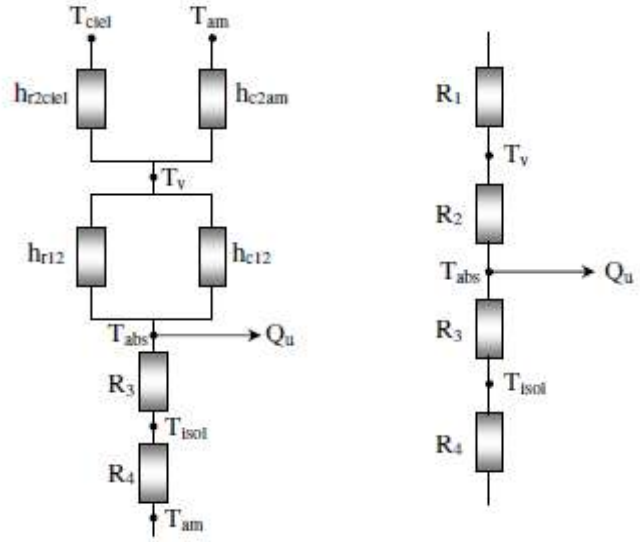


Fig. III.6 : Circuit électrique équivalant relative à un capteur solaire plan [32]

III.5.1.Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du capteur

Ce coefficient est peu important que celui d'avant, vu que le capteur est très bien isolé à L'arrière. Les pertes par arrières (par le fond) du capteur sont dues à la conduction par l'isolation arrière, le coefficient des pertes arrière par unité de surface s'écrit :

$$Uarr = \frac{\Delta i}{ei} \qquad \text{(III.27)}$$

III.5.2.Coefficient de pertes thermiques latérales

La valeur de ce coefficient est inférieure à celle du coefficient de pertes arrière, vu que la surface latérale du capteur est peu importante.

Dans la pratique, la relation des pertes latérales par unité de surface est :

$$U_{lat} = \frac{\lambda i,lat \times A\ lat}{e\ lat \times AC} \qquad \text{(III.28)}$$

III.5.3.Coefficient de pertes thermiques vers l'avant du capteur

Les pertes d'avant sont dues à la convection et aux échanges radiatifs entre différentes parties du capteur. Le coefficient des pertes d'avant est défini comme suit :

$$U_{av} = \frac{1}{Ri + Re} \qquad \text{(III.29)}$$

La résistance intérieure Ri s'opposant aux transferts entre la surface de captation et la surface inférieure du verre est :

$$Ri = \frac{1}{\alpha\ ca.v + \alpha\ r v.a} \qquad \text{(III.30)}$$

La résistance extérieure Re s'opposant aux transferts convectif et radiatif entre la surface extérieure du verre et l'environnement est :

$$Re = \frac{1}{\alpha\ c.e + \alpha\ r\ v.c} \qquad \text{(III.31)}$$

Finalement nous arrivons à :

$$U_{av} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha\ c\ a.v\ +\ \alpha\ r\ v.a} + \frac{1}{\alpha\ c.e + \alpha\ r\ v.c}} \qquad \text{(III.32)}$$

III.6. Puissance utile récupérée par les fluides

Puissance en fonction de Tfe et l'efficacité globale :

$$Q_u = A_c .FR ((\tau\alpha). G - U_L. (T_{fe} - T_e)) \quad [w] \qquad \text{(III.33)}$$

FR est définit comme suit :

$$FR = \frac{\text{puissance utile réelle}}{\text{puissance utile idéale}} = \frac{G.Cp.(Tfs - Tfa)}{(\tau\alpha).G - UL(Tfe - Ta)} \qquad \text{(III.34)}$$

II.7.Rendement instantané d'un capteur

Le rendement global du capteur est définit comme étant le quotient de la puissance utile sur la puissance incidente :

$$\eta = \frac{Qu}{G.Ac} \qquad \text{(III.35)}$$

III.8.LES MODELES THEORIQUES DES NANOFLUIDES

Les propriétés thermophysiques (la masse volumique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique et la conductivité thermique) des solutions sont profondément modifiées par l'ajout des nanoparticules. Des nombreux paramètres caractérisant ces nanoparticules peuvent avoir un effet notable sur les valeurs des paramètres thermophysiques du nanofluide obtenue (la nature des nanoparticules, leur taille, la fraction volumique, la conductivité du fluide de base et celle des nanoparticules, la température du milieu, etc).

III.8.1.La fraction volumique(Ø)

La fraction volumique est la propriété la plus importante du nanofluide, puisque les calcules de toutes les autres propriétés se basent sur la fraction volumique du nanofluide. la fraction volumique est défini comme le volume du solide ou particule (nanoparticules) sur le volume total (nanoparticules+fluide de base). La valeur de la fraction volumique varie entre 0 (fluide de base pure) et 1. La fraction volumique est donnée par la relation suivante :

$$\varphi = \frac{volume\ \ solide}{volume\ \ totale\ \ du\ nanofluide} = \frac{Vs}{Vs+Vf} \qquad \text{(III.36)}$$

Où :

V_s : Volume des nanoparticules solides [m^3].

V_f : Volume du fluide de base [m^3].

III.8.2.Conductivité thermique (K)

La conductivité thermique généralement est une propriété importante, parce qu'elle joue un rôle très important dans le phénomène de transfert de chaleur du fluide ou du solide, la conductivité dépends de la température, ainsi que la fraction volumique du nanofluide, La conductivité thermique d'un nanofluide est calculée selon les deux modèles suivant :

III.8.2.1.Modèle de Maxwell (1873)

Maxwell a présenté son modèle pour calculer la conductivité thermique d'un nanofluide en fonction de sa fraction volumique, mais ce modèle est valable uniquement dans le cas des nanofluides qui contiennent des nanoparticules sphériques, et que cette condition peut être considérée comme un point négative pour le modèle, donc pour l'utilisation de ce modèle on est obligés de considérer seulement les nanoparticules de forme sphériques. Le modèle de Maxwell est donné par la formule suivante :

$$K_{nf}=\frac{Kp+2Kbf-2\Phi\,(Kbf-Kp)}{Kp+2Kbf+\Phi\,(Kbf-Kp)}\,k_{bf} \qquad \text{(III.37)}$$

III.8.2.2.Modèle de Hamilton et Crosser (1962)

Le modèle de Hamilton et Crosser a été établi pour résoudre la limite du modèle de Maxwell. Puisque ce dernier n'est valable que dans le cas des particules sphériques, une chose qui rend le modèle non efficace pour la description du phénomène étudié. Pour cela le modèle de Hamilton et Crosser a été développé pour rendre plus efficace le calcul de la conductivité thermique du nanofluide quelque soit la forme de la nanoparticule, et ça en introduisant la notion du facteur géométrique appelée la sphéricité (ψ). Ce facteur est définit comme étant le rapport de la surface de la sphère ayant le même volume que les nanoparticules sur la surface d'une nanoparticule. La conductivité thermique apparente du milieu est donnée par l'expression suivante :

$$K_{nf}=\frac{Kp+(n-1)Kbf-(n-1)\,(Kbf-Kp)\Phi}{Kp+(n-1)\,Kbf+(Kbf-Kp)\Phi}\;k_{bf}$$

(III.38)

Où :

n **:** est un facteur de forme donnée par : $\boldsymbol{n}$ =**3** / **ψ**

n = 3 pour les particules sphériques et n = 6 pour les particules cylindriques.

Pour (ψ =1) (particules sphériques) le modèle de Hamilton-Crosser est identique au modèle de Maxwell.

III.8.3.Viscosité dynamique(μ)

La viscosité peut être définie comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement .On peut donc parler de la viscosité comme étant une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé. La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient une viscosité dynamique du nanofluide qui peut être influencée énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température du nanofluide . Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité dynamique du fluide de base et la fraction volumique du nanofluide, Pour ce qui suit nous allons citer deux modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

III.8.3.1.Modèle d'Einstein (1906)

La viscosité dynamique d'un nanofluide est donnée par la relation d'Einstein pour un mélange contenant des suspensions diluées de particules fines rigides La relation d'Einstein et la suivante :

$$\frac{\mu nf}{\mu bf} = 1 + 2{,}5\Phi \qquad \text{(III.39)}$$

Cette relation est valable juste pour Φ=0,03.

III.8.3.2.Modèle de Brinkman (1952)

Par contre, Brinkman a généralisé la formule pour qu'elle puisse être utilisée dans une large plage de concentrations volumiques.

$$\frac{\mu nf}{\mu bf} = \frac{1}{(1-\Phi)^{5/2}} \qquad \text{(III.40)}$$

III.8.4.Masse volumique (ρ)

La détermination de la masse volumique d'un nanofluide parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique Φ à une température T donnée, se fait a partir de la définition de la masse volumique d'un

mélange. Dans le cas d'un mélange la masse volumique et donnée par la relation suivante :

$$\rho = \left(\frac{m}{v}\right)_{nf} = \frac{mf+mp}{Vf+Vp} = \frac{\rho fVf+\rho pVp}{Vf+Vp} \quad \text{(III.41)}$$

À partir de là on déduit alors la masse volumique du nanofluide :

$$\rho_{nf} = 1\text{-}\Phi\rho_{bf}+\Phi\rho_p \quad \text{(III.42)}$$

III.8.5.Chaleur spécifique

La chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène $Cp=\frac{dQ}{mdT}$ La chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nanofluide, on peut citer les deux modèles suivants :

III.8.5.1.Modèle du Pak et Cho

Pak et Cho ont utilisé la formule suivante :

$$(Cp)_{nf} = (1\text{-}\Phi)\,(Cp)_{bf}+\Phi(Cp)_p \quad \text{(III.43)}$$

III.8.5.2.Modèle Xuan et Roetzel

Ont travaillé avec la formule ci-dessous [10] :

$$(\rho\,Cp)_{nf} = (1\text{-}\Phi)\,(\rho\,Cp)_{bf} + \Phi\,(\rho\,Cp)_p \quad \text{(III.44)}$$

III.8.6.Coefficient d'expansion thermique

Nous nous intéressons dans le cadre de notre étude aux seuls fluides porteurs incompressibles (masse volumique indépendante de la pression) mais dilatables. Cette variation de masse volumique sous l'action de la température est caractérisée par le coefficient d'expansion thermique : $\beta T=-1\,(\partial\rho/\partial T)\,p$ appelé également coefficient de dilatation isobare.

Par ailleurs, de très nombreux auteurs ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nanofluides et par analogie avec la relation qui détermine la masse volumique l'expression suivante [7] :

$$\beta_{nf}=(1\text{-}\Phi)\beta_{bf}+\Phi\,\beta_p \quad \text{(III.45)}$$

III.9. les propriétés thermophysique des nanofluides

Nous avons résumé, dans le tableau (III.1), toutes les propriétés thermiques et physiques de différentes constitutions pour chaque nanofluide utilisé dans notre simulation numérique.

	Nanoparticule en fluide de base	La chaleur spécifique **Cp** (J/Kg.k)	La masse volumique ρ(Kg/ m^3)	La conductivité thermique **K** (w/m.k)	Le coefficient d'expansion thermique β x 10^{-6}(k^{-1})
Métallique (solide)	**Cu**	383	8954	400	16.7
	Ag	235	10.500	429	19.7
	Au	429	19.300	317	14.2
Oxyde (Métallique)	**Al2O3**	765	3970	36	7.5
	Sio2	745	2220	1.38	6.9
	Tio2	710	4157	8.4	09
	CuO	383	8954	400	18
Liquide non Métallique	**L'eau**	4183	1000	0.613	210

Tab. III.1 : les propriétés thermiques et physiques utilisées [35]

IV.1. L'évolution temporelle du rayonnement solaire

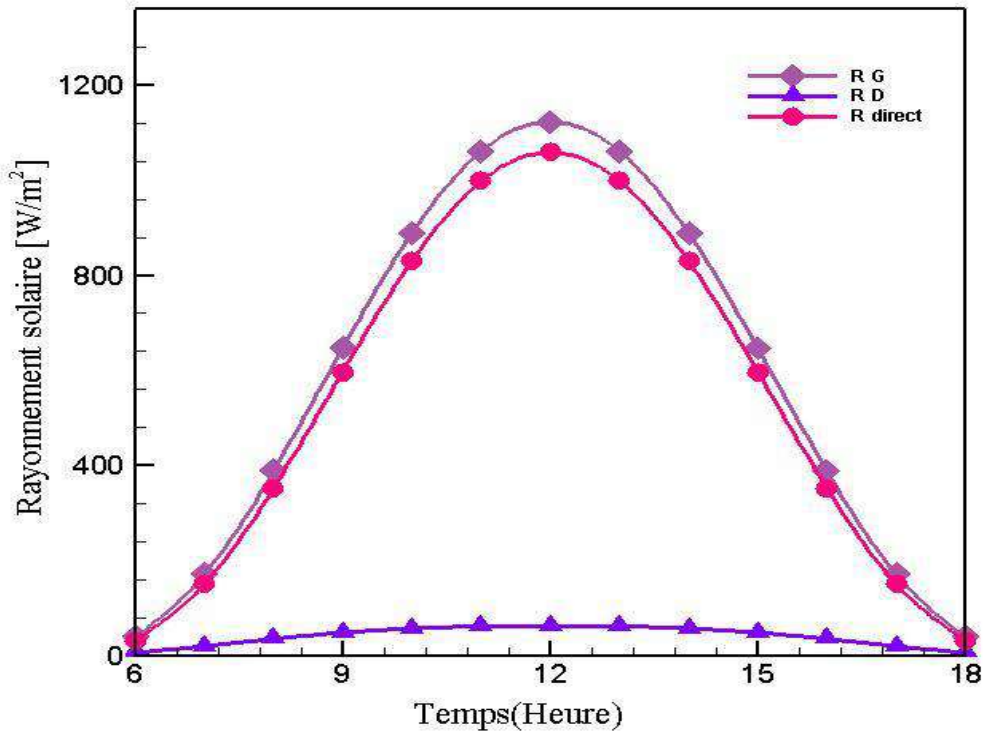


Fig. IV.1: Variation du rayonnement global en fonction de temps

La figure (IV.1) présente l'évolution de l'éclairement global, diffus et direct pendant la journée. Elle montre également, la variation du rayonnement solaire en fonction du temps prend l'allure d'une cloche atteint son maximum à 12^h00, et ces variation sont similaires à la plupart des modèles semi empiriques.

IV. 2. Variation des puissances (perte de chaleur) cas d'utilisation d'un fluide de base (l'eau)

IV.2.1. Effet de la température de l'absorbeur

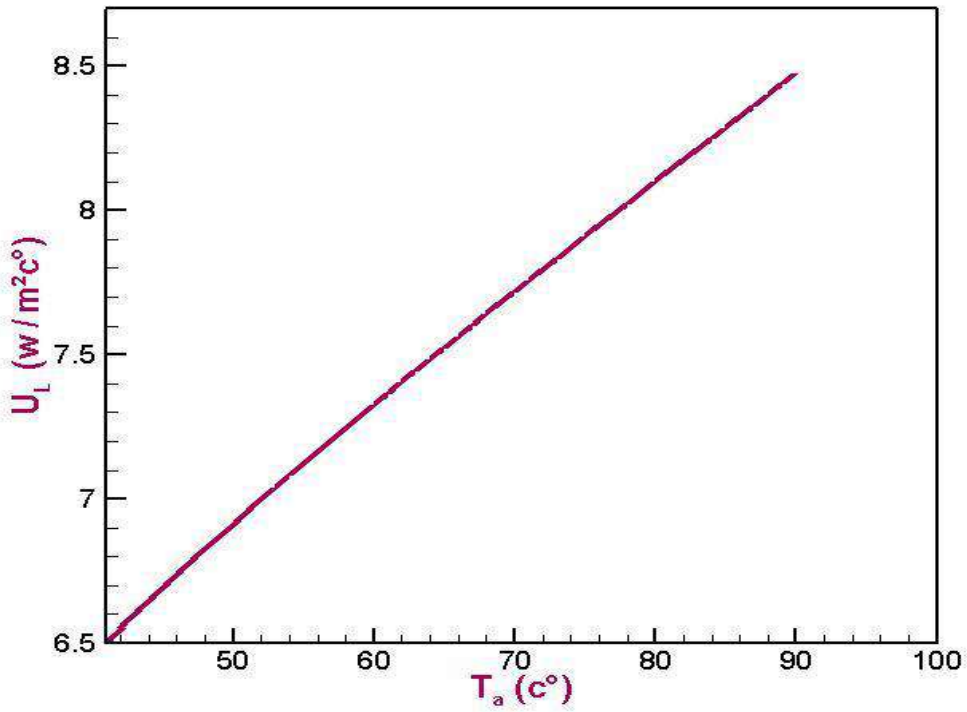


Fig. IV.2 : les pertes de chaleur U_L en fonction de la température de l'absorbeur

D'après la figure (IV.2), on remarque que les pertes thermiques augmentent en fonction de l'augmentation de la température de l'absorbeur. On pourrait réduire les pertes thermiques par convection dans le cas ou l'espace annulaire entre l'absorbeur et l'enveloppe de verre est vide.

IV.2.2. Effet de la température d'entrée

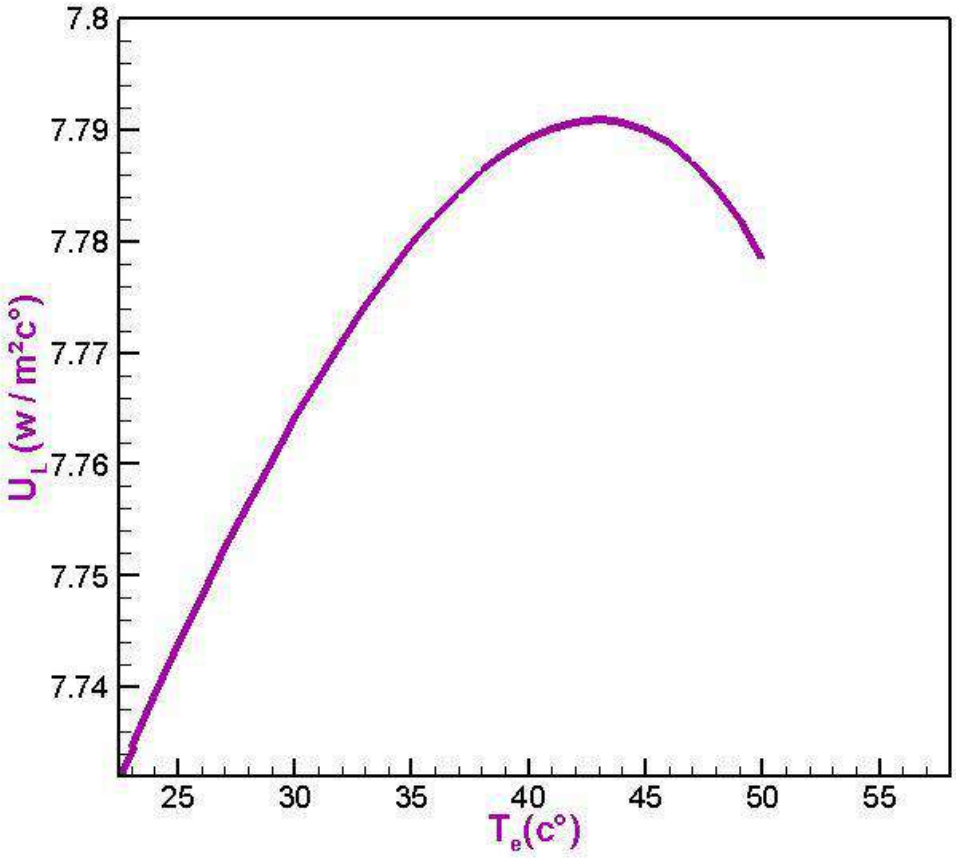


Fig. IV.3 : les pertes de chaleur U_L en fonction de la température entrée Te de l'eau

La courbe ci-dessus obtenue permet de révéler que les pertes en chaleur progressent avec l'augmentation de la température d'entrée de l'eau jusqu'à atteindre un niveau maximum de 7.79 (W/m²°C) à 43°C, puis ces pertes commencent à diminuer ce qui signifie l'augmentation de la quantité de chaleur absorbée.

IV.2.3. Effet de la Vitesse du vent

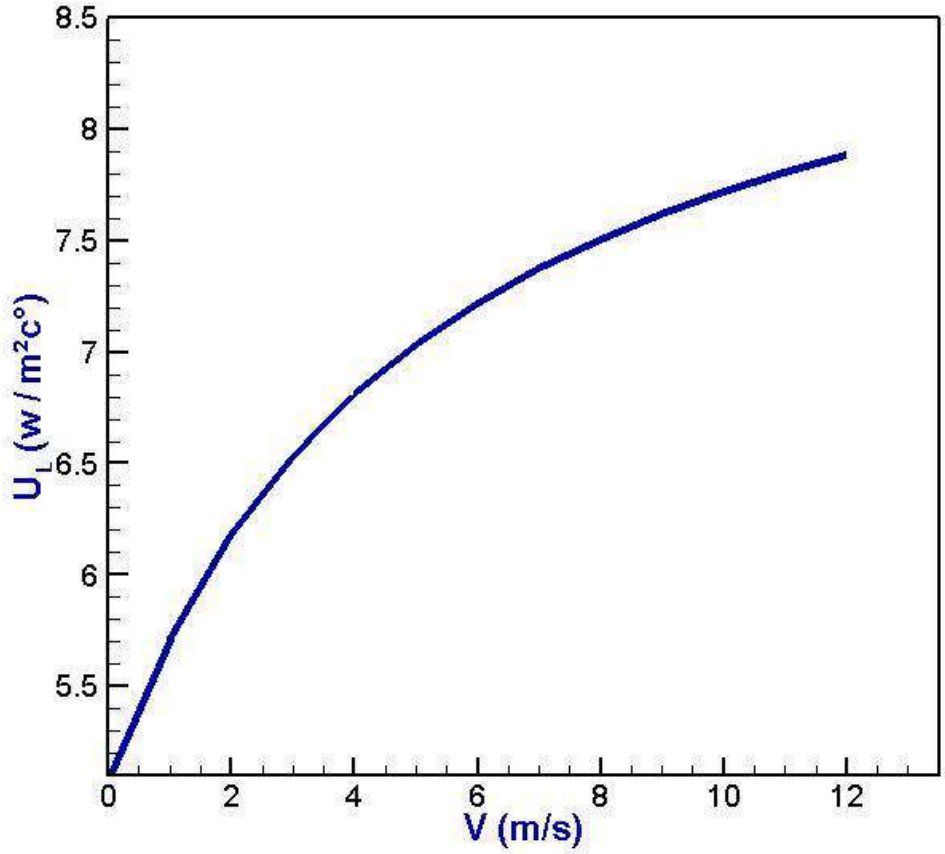


Fig. IV.4 : l'influence de la vitesse du vent sur les pertes de la chaleur vers l'avant

On remarque que La vitesse du vent à tendance à augmenter les pertes de chaleur vers l'avant, ceci peut être expliqué par l'augmentation du coefficient de transfert de chaleur par convection jusqu'à atteindre une vitesse supérieure à environ 14 m/s où les pertes se stabilisent à une valeur d'environ 8.25 W/m²°C

IV.2.4. Effet de la température du vitrage

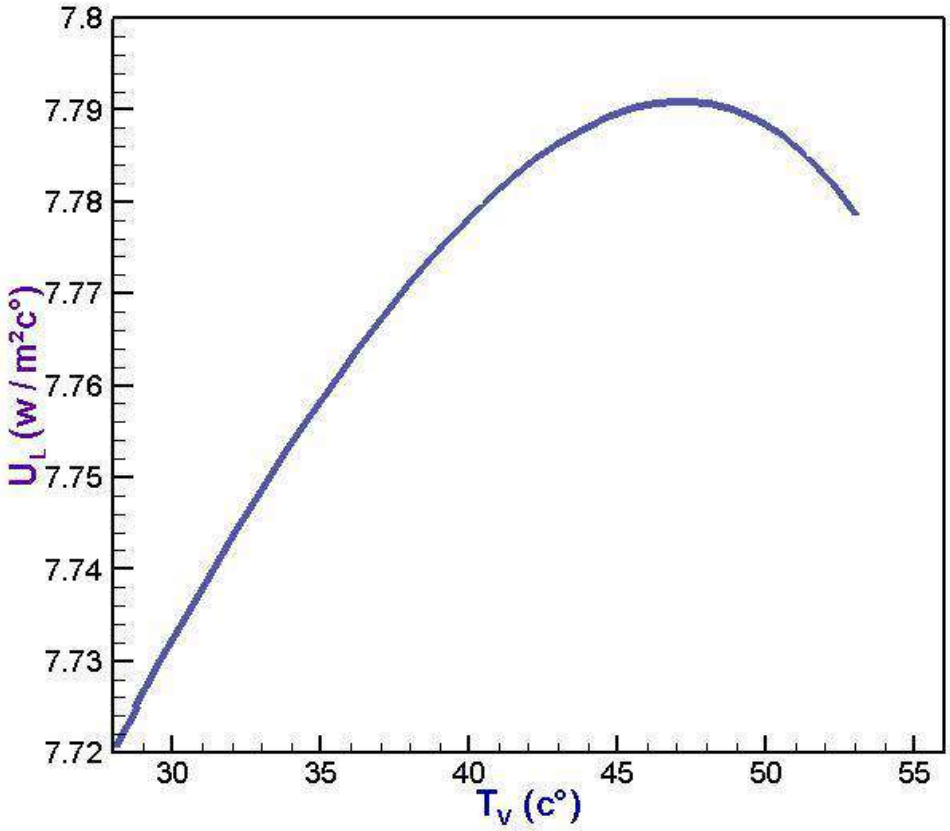


Fig. IV.5 : les pertes de la chaleur vers l'avant en fonction de la température du vitrage.

On observe que les pertes en chaleur vers l'avant augmentent entre 28 et 48°C, passant de 7.72 W/m²°C à une valeur maximale de 7.79 W/m²°C ce qui signifie que les températures du vitrage entravent l'absorption de la chaleur sous l'effet de la convection. Au-delà de cette température, les quantités de chaleurs absorbées commencent à augmenter.

IV.2.5. Effet de l'émissivité du vitrage

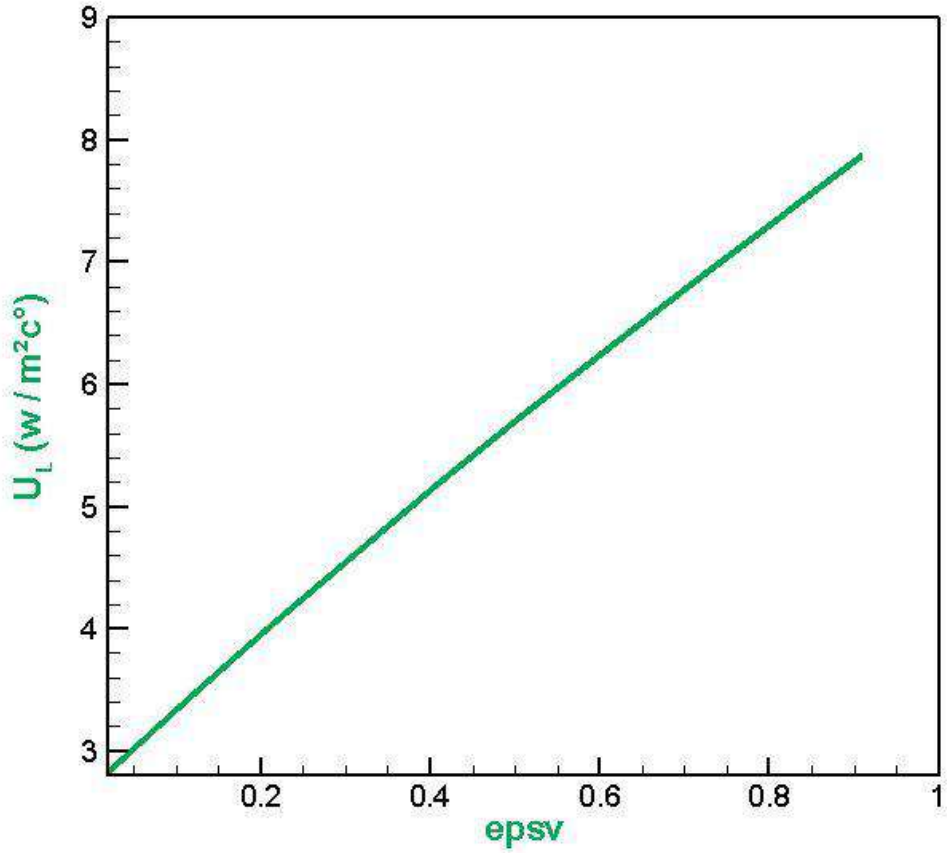


Fig. IV.6 : l'évolution des pertes de la chaleur vers l'avant en fonction de l'émissivité du vitrage

Selon le présent graphe on remarque que les pertes radiatives vers l'avant augmentent avec l'augmentation de l'émissivité du vitrage.

IV.2.6. Effet de l'émissivité de l'absorbeur

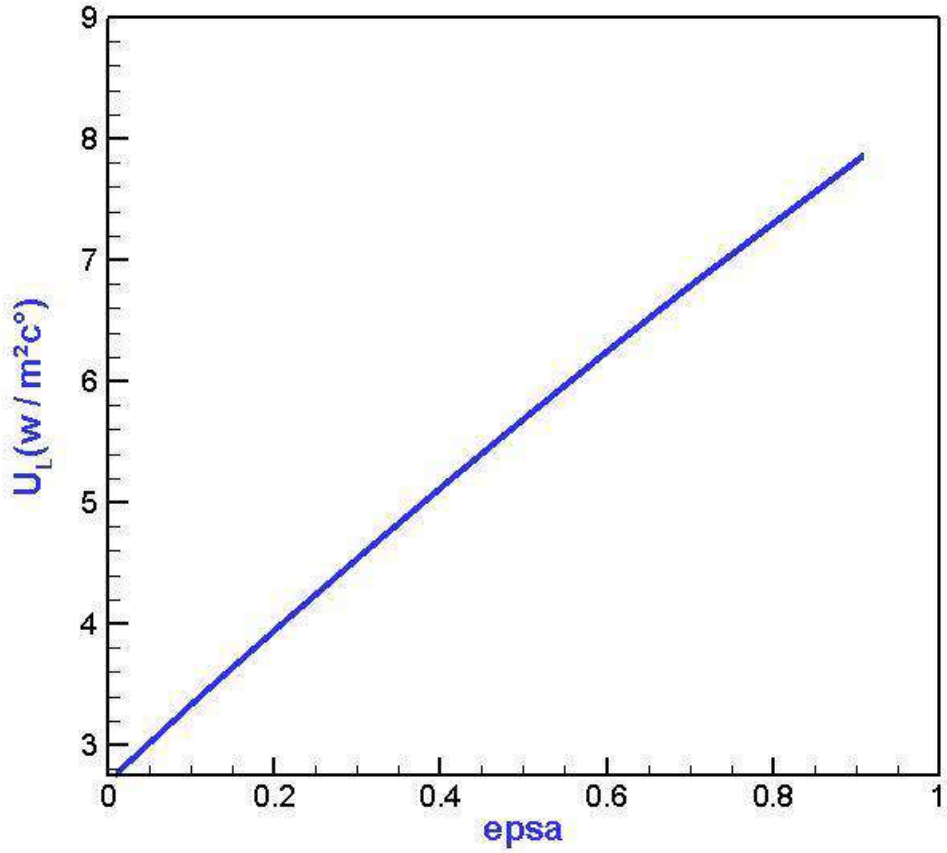


Fig. IV.7 : l'évolution des pertes de la chaleur vers l'avant en fonction de l'émissivité de l'absorbeur

Similairement au précédent graphe il est bien lucide que les pertes de chaleur augmentent avec l'émissivité de l'absorbeur, autrement dit les quantités de chaleurs absorbées sont inversement proportionnelles à l'émissivité de ce dernier.

.

IV.3. variation de la quantité de chaleur du fluide de base (eau)

IV.3.1. Effet de température du fluide entrée

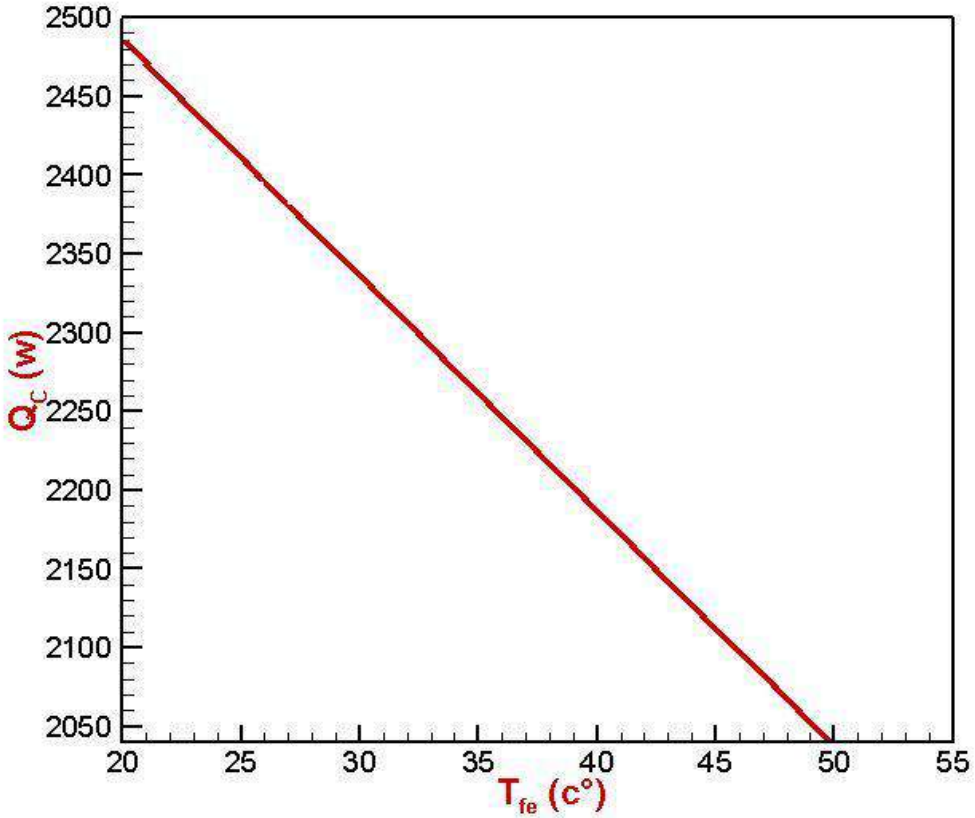


Fig IV.8 : la variation de la quantité de chaleur de l'eau en fonction de la température du fluide entrée.

À partir de la figure ci-dessus, on observe que la relation entre la quantité de chaleur de l'eau et de la température du fluide d'entrée est inversement proportionnelle.

IV.3.2. Effet des pertes de charge

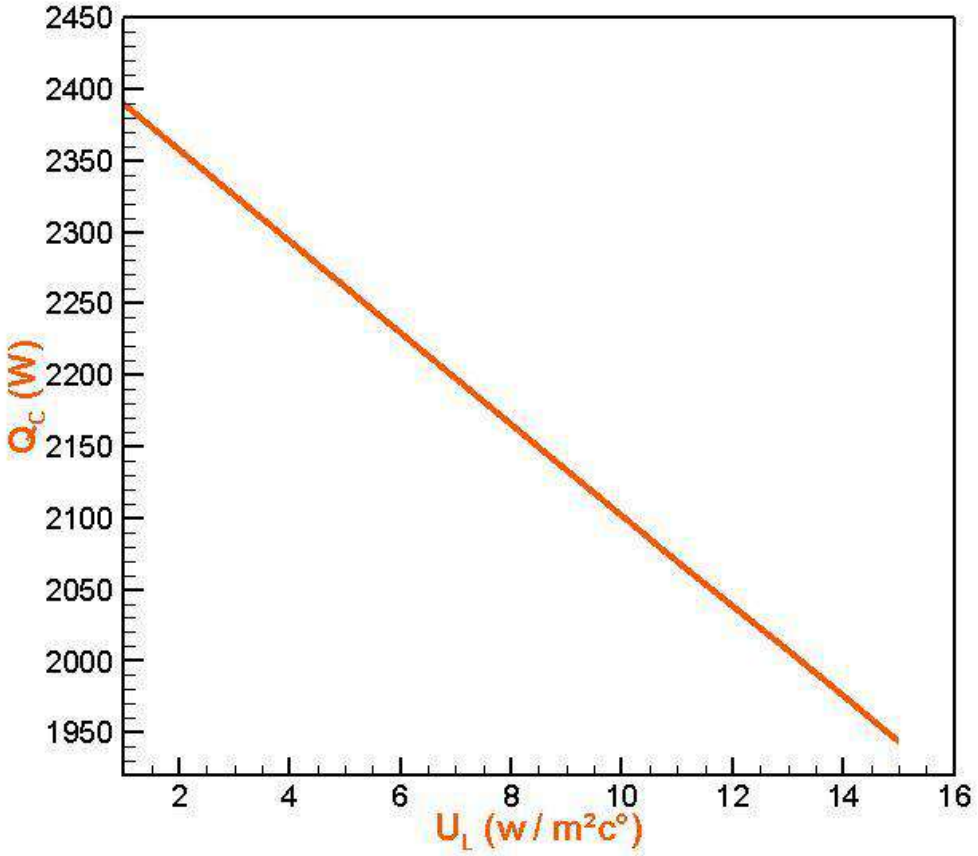


Fig. IV.9 : la Variation de la quantité de chaleur de l'eau en fonction des pertes de charge.

Nous observons une présentation graphique sous forme d'une ligne droite décroissante signifiant une régression nette de la quantité de chaleur suite à l'augmentation des pertes radiatives.

IV.3.3. Effet sur la température du fluide entrée

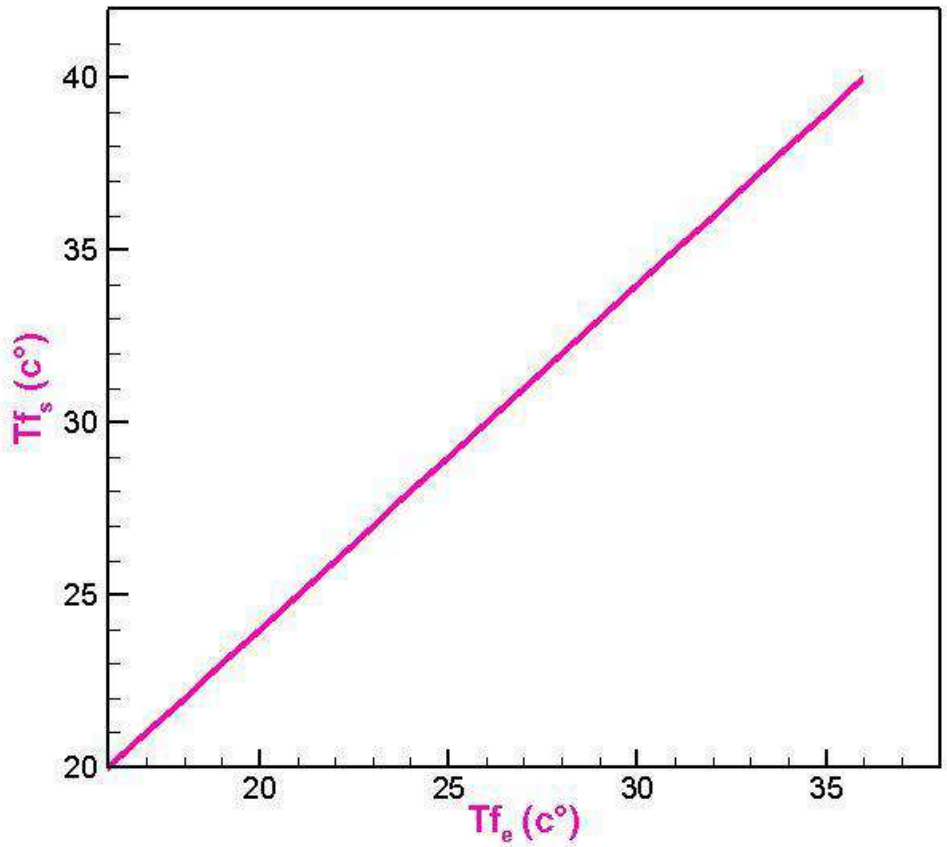


Fig. IV.10 : la Variation de la température du fluide sortie en fonction de la température du fluide entrée

D'après cette figure on remarque que la température du fluide sortie augmente avec l'augmentation de la température du fluide entrée jusqu'à la valeur de la température entrée égale à 35°C avec 40°C de température sortie.

IV.3.4. Effet du débit du fluide

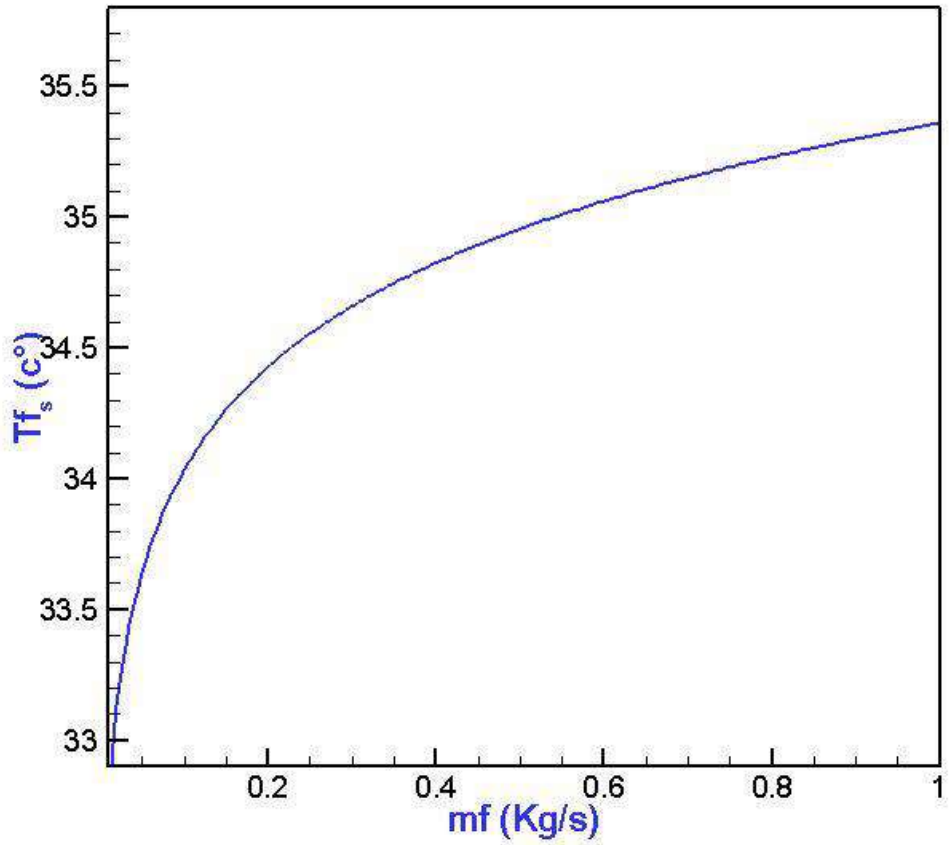


Fig.IV.11 : la Variation de la température du fluide sortie en fonction de débit de fluide.

Selon cette courbe, on remarque que la température du fluide sortie augmente rapidement avec l'augmentation de son débit, passant de 32.3°C à 34.75°C respectivement pour les débits suivants 0 et 0.1 kg/s, au-delà de 0.2 kg/s, la température du fluide sortant commence à se stabiliser à environ 34.9°C

.

IV.4. variation de la fraction volumique des nanofluides

IV.4.1. Effet de la fraction volumique sur la chaleur spécifique des nanofluides

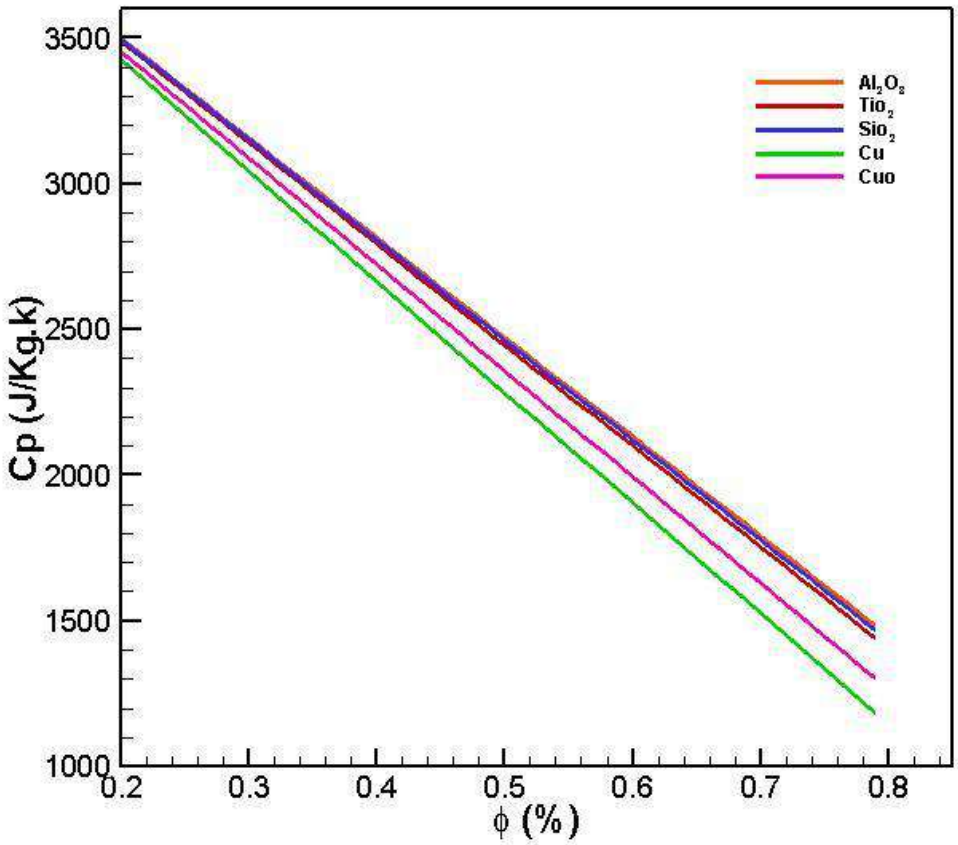


Fig. VI.12 : la variation de la chaleur spécifique (cp) de différents types de nanofluides en fonction de leurs fractions volumique(Φ).

On remarque que la capacité thermique massique (Cp) des nanofluides qui diminue significativement avec l'augmentation de leurs fractions volumiques, cette diminution est beaucoup plus prononcée pour les nanoparticules cuivriques (Cu, CuO).

IV.5.2. Effet de la fraction volumique sur la masse volumique des nanofluides

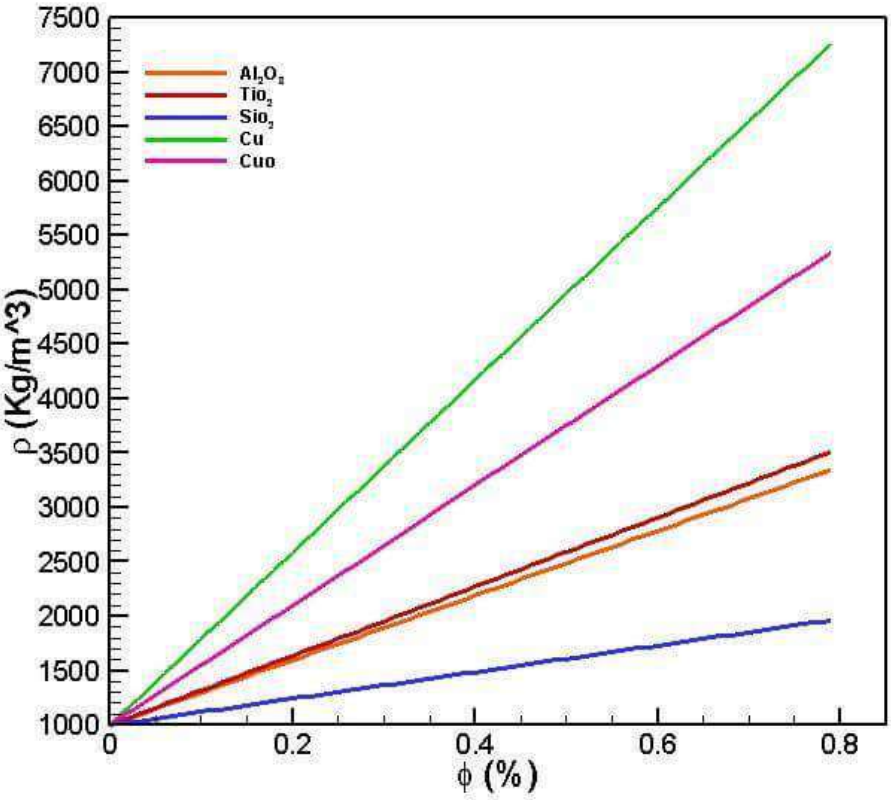


Fig. IV.13 : la variation de la masse volumique (ρ) en fonction de la fraction volumique(Φ) pour déférent type de nanofluides.

A partir de la figure ci dessus ont observe clairement que la masse volumique augmente proportionnellement avec la fraction volumique des nanofluides, elle est beaucoup plus importante pour les caloporteur cuivriques par rapport au autre nanofluides.

IV.4.3.Effet de la fraction volumique sue la conductivité thermique des nanofluide

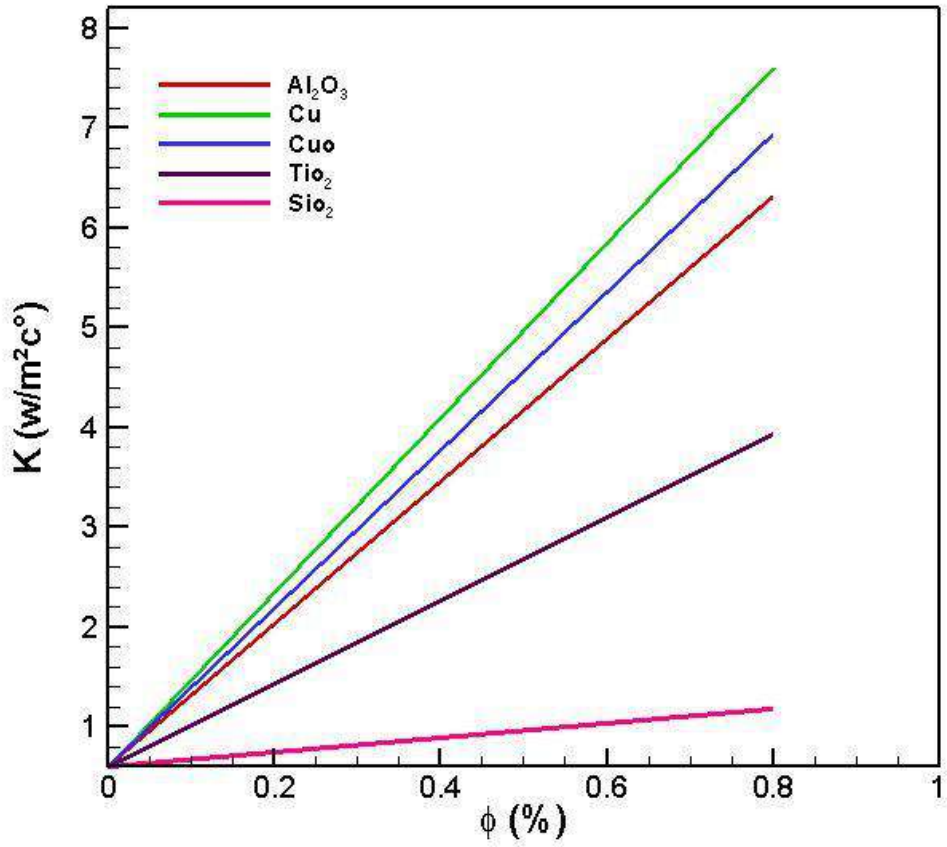


Fig.IV.14 : la variation de conductivité thermique (K) en fonction de la fraction volumique(Φ) pour déférent type de nanofluides.

La conductivité thermique des nanofluides augmente proportionnellement avec leurs fractions volumiques notamment pour les nanofluides cuivriques et Al_2O_3, il est moins importante pour l'oxyde de titane et beaucoup moins pour l'oxyde de silicium

IV.4.4. Effet de coefficient de l'expansion dès nanofluides

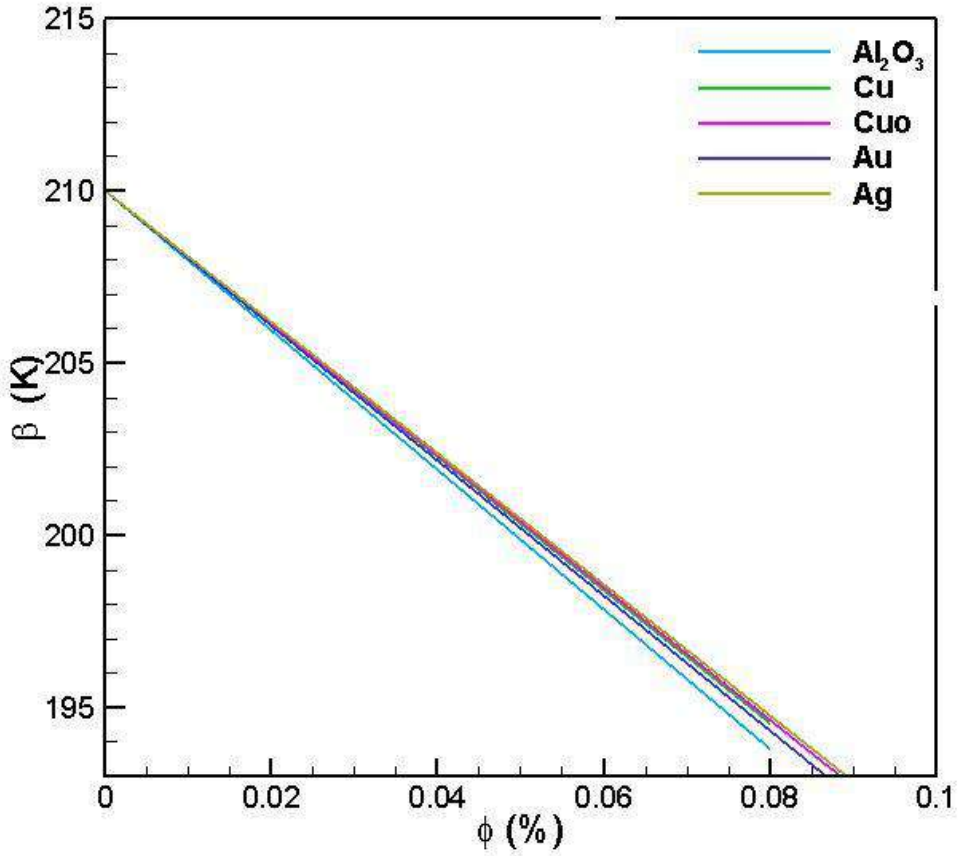


Fig. IV.15 : la Variation de coefficient de l'expansion en fonction de fraction

La figure (IV.15) montrent l'évolution de coefficient de l'expansion pour différents nanofluides (, Al2O3, CuO, Cu, Ag et Au) en fonction de la fraction volumique variant de 0 a 8%, En remarque que le coefficient de l'expansion diminuer avec l'augmentation de fraction.

IV.4.5. Effet de viscosité dynamique dès nanofluides

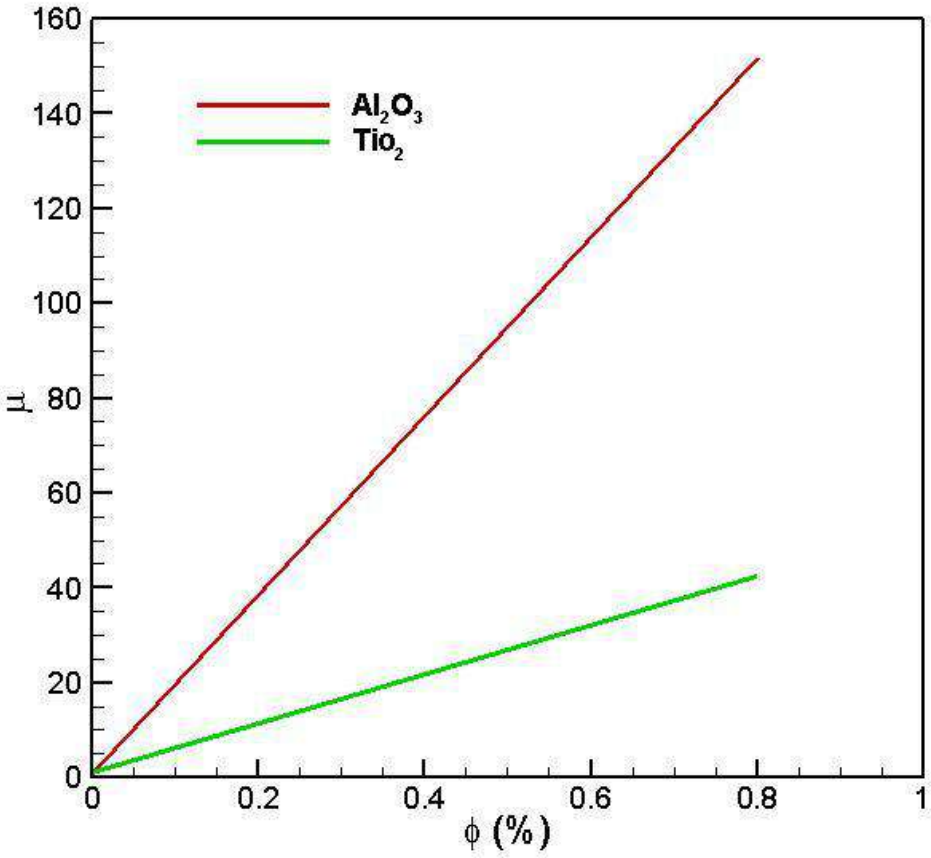


Fig. IV.16 : la Variation de viscosité dynamique en fonction de fraction volumique.

La figure (IV.16) représenté la variation de viscosité dynamique en fonction de fraction volumique des deux nanofluides Al_2O_3 et TiO_2 en remarque augmentation la viscosité dynamique avec l'augmentation de fraction volumique et on observe le nanofluide Al_2O_3 plus efficace par apport à TiO_2.

IV.5.Variation de la température et le Flux solaire des nanofluides en fonction du Temps

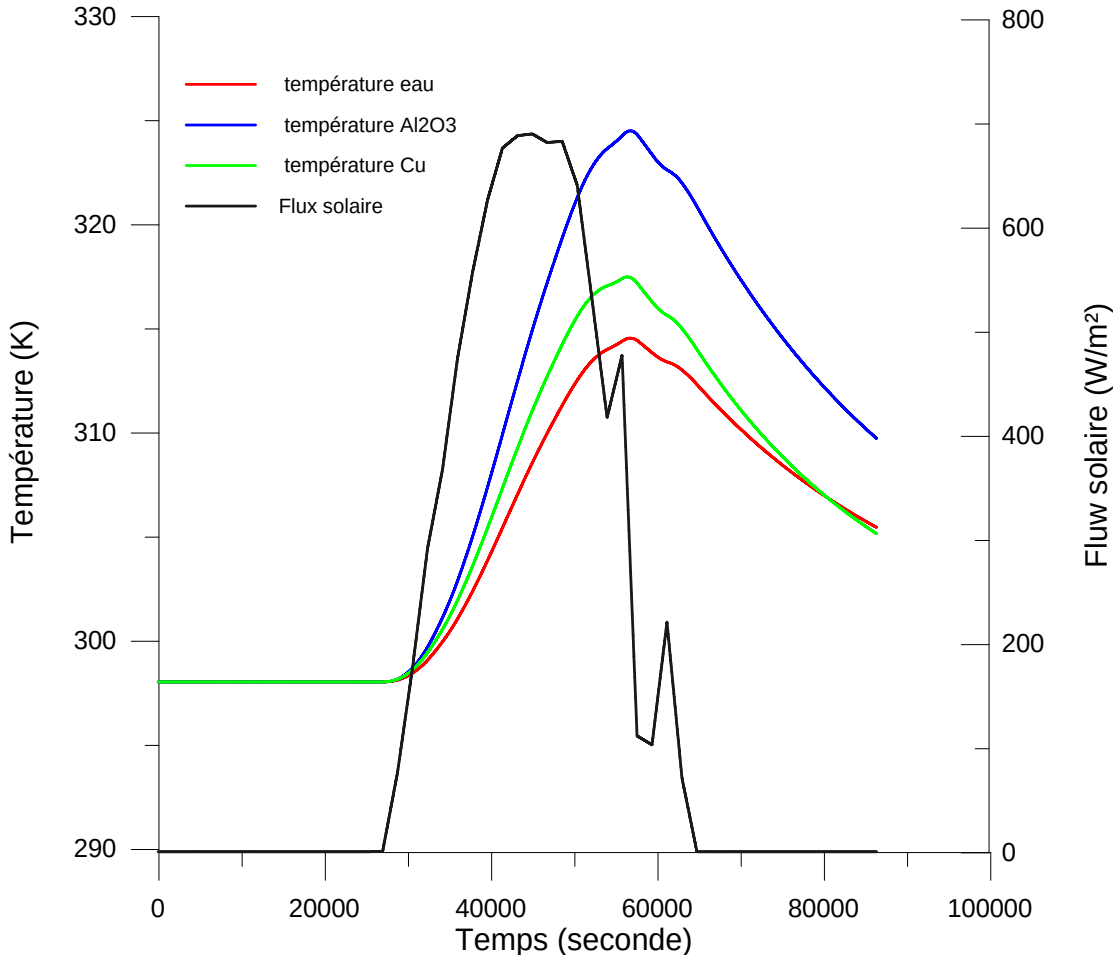


Fig. IV.17. L'évolution journalière de la température de l'eau, Al_2O_3/eau et Cu/eau.

D'après la figure (IV.17), on notre que la température de Al_2O_3 est supérieur à celle de l'eau, l'utilisation de nanofluide provoque une augmentation notable de température en comparant à celle de l'eau cela la est due à une amélioration du coefficient de transfert convectif entre le tube et le fluide caloporteur (nanofluide).

IV.6. la variation du rendement instantanée en fonction du temps

IV.6.1. Le rendement de l'eau

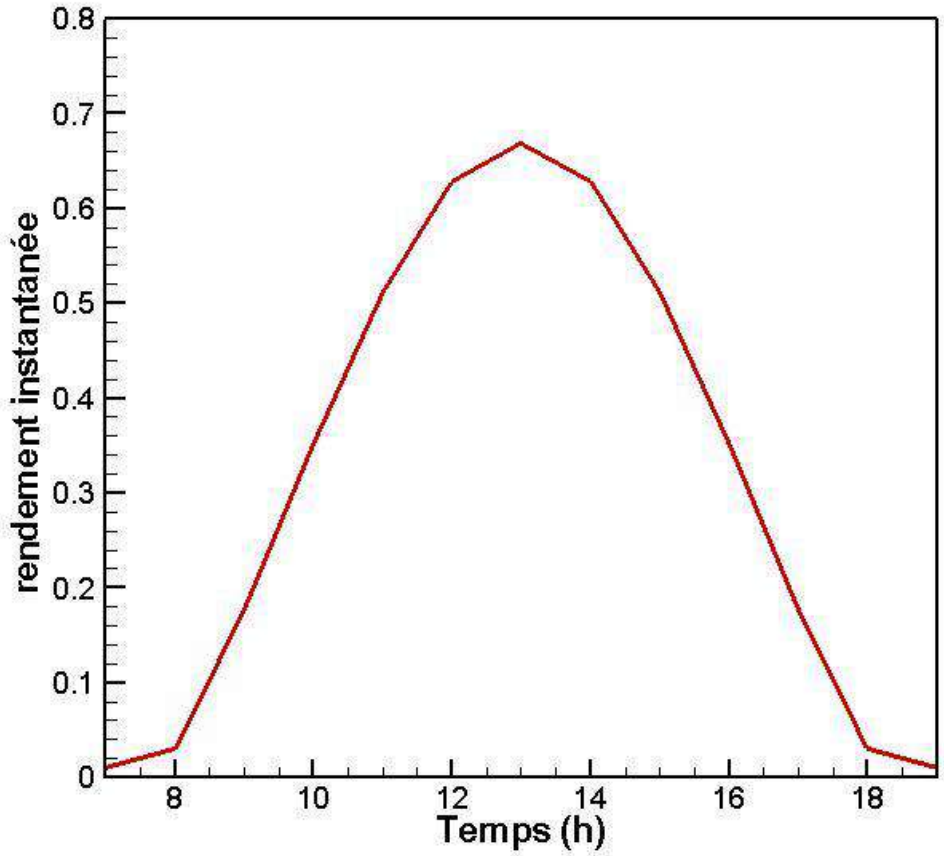


Fig. IV.18. Variation de rendement instantanée de l'eau en fonction de temps

Le rendement hydrique instantané d'une journée (figure IV.18) montre que le Rendement augmente rapidement aux premières heures de la journée entre 8h00 et 13h00 pour atteindre de la valeur maximale 69%, bien que l'irradiation solaire commence à décroitre à Partir de 13h00 global.

IV.6.2 Le rendement de nanofluide

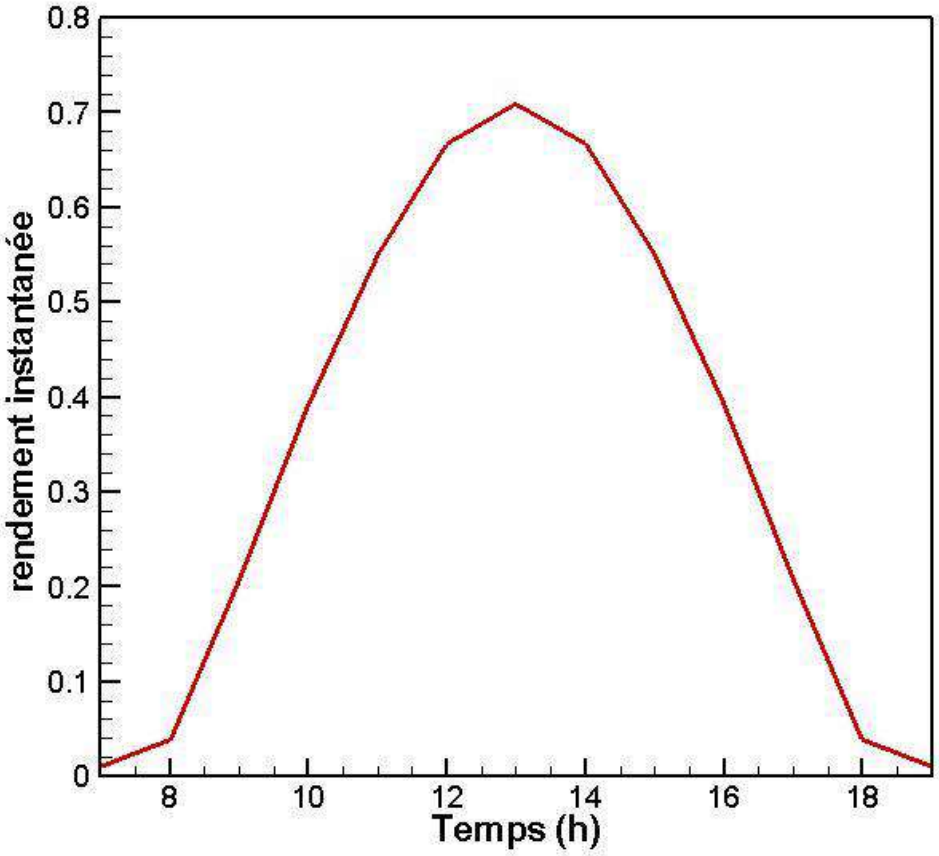


Fig.IV.19. Variation de rendement instantanée de Cu en fonction de temps

Le rendement instantané de nanofluide Cu d'un journée (figure IV.19) montre que le rendement augmente rapidement à partir de 8h00 et 13h00 pour atteindre de la valeur maximale 71% , après 13h00 la radiation solaire commence à décroitre qui signifie l'augmentation de transfert de chaleur.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, La présente étude porte sur la simulation numérique d'un capteur solaire thermique plan utilisant l'eau et les nanofluides comme des fluides caloporteurs. Pour ce faire, nous avons élaboré un code pour simuler le transfert de chaleur au sein du capteur.

Une étude paramétrique relative sur l'impact des paramètres du nanofluide sur les performances du capteur a été menée, a permis de mettre en évidence l'influence des différents paramètres, notamment la concentration en nanoparticules, leur nature par rapport au fluide de base (eau).

Les simulations numériques ont permis de conclure :

- l'utilisation des nanofluides dans un capteur solaire comme un fluide caloporteur donne les meilleures performances thermiques que les fluides de base (eau).
- Le (Cu/H_2O) donne des meilleurs performances et thermique en comparaison avec le (Al_2O_3/H_2O).

Donc on peut considérer que les nanofluides sont des caloporteurs a rendement thermiques beaucoup plus intéressent sur les systèmes de captation solaire par rapport au fluide universel (eau).

Bibliographie

[1] **Mejdoub Amine Khodja** ; Etude de l'espace entre l'absorbeur et la vitre et son influence sur le rendement d'un capteur solaire. These de magister en genie climatique, Constantine 2004.

[2] **A, H, Khedim** ; Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).

[3] **Boutghan Cherifa**, Amelioration des performances d'un collecteur solaire, Universite Mentouri de Constantine 2012

[4] **Mohamed MOGHARBI** ; Daoud HALASSA, Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air, Université Kasdi MERBAH de Ouargla 2011.

[5] **Abdelaoui Med Khimmusti et Guricha Foud** ; Etude expérimentale d'un bassin d'eau utilisé comme capteur solaire plan présent par thème d'ingénieur d'état universite d'Ouargla.

[6] **REDDAH Takieddine** ; Etude et dimensionnement d'un système solaire combiné Application: Logement individuel type F3 à Batna, Université de Batna 2015

[7] **L, Lacas** ; Le guide des énergies douces. Le soleil, la maison solaire, le vent, la biomasse, la géothermie, l'énergie hydraulique, Dargaud Editeur. (1980).

[8] **A, Khedim** ; L'énergie solaire et son utilisation sous forme thermique et Photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire, (2003).

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

[10] **Choi**; S.U.S Enhancing thermal conductivity of fluids with nanopartiles,Developments and Applications of Non-Newtonian Flow,FED –vol 2231/MD-vol 66(1995),pp:99-105.

[11] **Maouassi Ammar,**Intensification des echanges de chaleur par l'utilisation des nanofluides,Universite m'hamed Bougara Boumerdes 2012

[12] **salma Halelfadl**, Caractérisation des propriétés thermo-physiques et d'échanges de chaleur des nanofluides à base de nanotubes de carbone, Université européenne de Bretagne 2014

[13] **REZAIGUIA Issam**, Investigation des échanges convectifs dans diverses configurations, UNIVERSITE CONSTANTINE 1,2014

[14] **LEBBIHI Saci**, refroidissement par convection Naturelle d'une source de chaleur Loclisee au fond d'une enceinte Remplie de nanofluide, Université Mohamed Khider Biskra, 2014

[15].**kanet J. A. Eastman, S. U. S. Choi, S. Li, W. Yu, L. J. Thompson**; Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, Applied Physics Letters 78 (2001) 6.

[16] **Y. Yang, Z. G. Zhang,A. E. Grulke, W. B. Anderson, G. Wu**;Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow, International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005) 1107-1116.

[17] **Amin Behzadmehr Hassan Azarkish** ;An Introduction to the nanofluid universty of Sistan and Baluchestan, 2000.

[18] **RIBIERO João-Paulo,** Dossier Technique de l'ingénieur, nm5115, Nanofluides pour les applications thermiques, 2009.

[19] **Soufi El habib**, Application des NANOFLUIDES pour le refroidissement : étude d'un cas d'une géométrie simple. Université KASDI Merbah d'Ouargla 2013

[20] http://www.rtl.be/info/belgique/sectionmeteo/802497/m-t-o-o-est-le-soleilo juin 2011

[21] http://www.neufplanetes.org/systeme_solaire/earth.html juin 2011

[22] **Droui Beikacern, Fezziioui Naima**, Energie solaire et capteur solaires, Centre Universitaire de Béchar 2001.

[23] **Berdjem Assia , Hambli Dalila**, Simulation numérique d'un bassin d'eau solaire utilisé comme capteur solaire ,Université Dr. Yahia Farés de Médéa,2015.

[24] **Raud René**, capteur solaire thermique concentrateur a conduite manuelle, Association SOLEIL & VAPEUR,juin 2007

[25] **Chiba Younes,** étude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire, mémoire magister en génie climatique, option thermique du Batiment et Refrigeration, université m'entouré Constantine, décembre 2005.

[26] **Mohamed Lakhdar LOUAZENE**, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla, UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR – BATNA, 2008

[27] **R.Bernard, G.Menguy, M.Schwatz,** Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et documentation, paris, 1980.

[28] **HADJ BELKACEMI Mohammed**, Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2011

[29] **Mr Bouna Ould Zeidane**, Contribution to the study of the Grid Connected Photovoltaique System, Mémoire de magister. 2006.

[30] **Benbouza Naima**, Etude du rayonnement solaireDans la région de Batna, UNIVERSITE DE BATNA,2008

[31] **saadi souad,** effet des parametres operationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, universite mentouri de constantine,2010

[32] **bellatreche riyad ,**simulation numirique d'un capteur solaire, université dr : yahia farés de médéa2015

[33] **salhi hicham**, etude numerique de la convection naturelle dans les enceintes: nanofluide ;2015

[34] **rebahi karima,** caractérisation des transferts de chaleur dans les materiaux de construction .mise en marche d'un banc expérimental, Université Mentouri Constantine,2006

[35] **Gladés Bachir**, Contribution à l'étude de la convection naturelle dans les Nanofluides en configuration de Rayleigh-Bénard, 2010