

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah / Ouargla
Faculté Des Sciences Appliquées
Département De Génie Mécanique



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de
Master Académique**

Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique

Présenté par :
CHEBOUAT Ahmed Chaker et CHEBOUAT Fayçal

**Sensibilité des capteurs solaires plats pour différents
parameters thermo - mécaniques**

Soutenu publiquement le :
15/06/2023

Devant le jury :

Dr. Guermit Taher	MCB	Président	U.K.M. Ouargla
Dr. Kabdi Zakaria	MCB	Examineur	U.K.M. Ouargla
Dr. Kina Med Saleh	MAA	Encadreur	U.K.M. Ouargla

Année universitaire : 2022-2023



Dédicace

J'exprime ma gratitude les plus sincères et les plus Profonds à Dieu tout puissant qui m'a donné la force et la patience pour pouvoir accomplir ce travail à terme. Je dédie ce travail à :

Mon père.

Ma mère.

Mes frères et sœurs.

Mes oncles et tantes.

Mes cousins et cousines.

A toutes mes amis, et mes collègues de la promotion de licences en génie mécanique

En fin je dédie ce travail à toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont apporté leurs aides.

A tout, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail

REMERCIEMENTS

En premier lieu nous tenons à remercier Dieu, pour Nous avoir donné la force

à accomplir ce travail

Notre promoteur **Dr: K. M.SALAH*** Nous tenons à lui exprimer nos*

remerciements pour son soutien et ses conseils.

Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui Contribuent de

près ou de loin pour leurs soutiens et les Conseils dont nous avons bénéficiés

tout le long de ce

Travail et tout le personnel de l'Université Kasdi Merbah Ouargla

Résumé:

Dans le cadre d'une démarche énergétique, un modèle a été développé décrivant le comportement thermo-dynamique d'un capteurs solaire solaire plan à simple vitrage couplé à une masse de béton. La technique des différences finies a été utilisée pour résoudre les équations des différents mécanismes de transfert de chaleur de la boucle solaire (panneau solaire- masse à béton) sous un climat semie aride. l'étude de sensibilité amène à conclure que le capteur solaire plan a simple vitrage avec une sélection d'absorbeur en cuivre assure une bonne adaptation thermique, et avec un rendement élevé qu'avec les autre types de combinaison

Mots clés: Absorbeur thermique, Capteur solaire plan, Modèle dynamique simplifié, Sensibilité thermo mécanique.

Abstract:

As part of an energy process, a model is developed describing the thermo-dynamic behavior of a flat solar collector with single glazing coupled to a mass of concrete. The finite difference technique was used to solve the equations of the different heat transfer mechanisms of the solar loop (solar panel-mass to concrete) under a semi-arid climate. the sensitivity study leads to the conclusion that the single-glazed flat solar collector with a selection of copper absorbers ensures good thermal adaptation, and with higher efficiency than with other types of combination

Key words: Flat solar collector, Simplified dynamic model, Thermal absorber Thermo-mechanical sensitivity.

الملخص

كجزء من عملية الطاقة، تم تطوير نموذج يصف السلوك الديناميكي الحراري لمجمع شمسي مسطح بزجاج مفرد مقترن بكتلة من الخرسانة. تم استخدام تقنية الفروق المحدودة لحل معادلات آليات نقل الحرارة المختلفة للحلقة الشمسية (كتلة الألواح الشمسية إلى الخرسانة) في ظل مناخ شبه جاف. تؤدي دراسة الحساسية إلى استنتاج مفاده أن مجمع الطاقة الشمسية المسطح ذو الزجاج الواحد مع مجموعة مختارة من ماصات النحاس يضمن تكييفًا حراريًا جيدًا ، وبكفاءة أعلى من الأنواع الأخرى من التركيبات.

الكلمات المفتاحية: مجمع الطاقة الشمسية المسطح، الحساسية الميكانيكية الحرارية، نموذج ديناميكي مبسط، ممتص حراري.

Sommaire

Dédicace	I
Remerciements.....	II
Résumé:	III
Liste des Figures	VI
Liste des Graphes	VII
Liste des tableaux	VIII
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités sur les capteurs solaires	
1. Bases théoriques.....	4
1.1. Les capteurs plans.....	4
1.2. Les capteurs à concentration.....	4
2. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique plan	4
3. Différents composants du capteur solaire	5
3.1. L'absorbeur.....	5
3.1.1. Deux fonctions incombent à l'absorbeur.....	5
3.2. La couverture transparente	6
3.3. L'isolant thermique	6
3.4. Le fluide caloporteur	7
4. Classification des capteurs solaires thermiques	7
4.1. Capteur plan vitré	8
4.2. Avantages et inconvénient des capteurs plans vitrés.....	8
4.3. Capteur plan non vitré	8
4.4. Avantages et inconvénient des capteurs plans non vitrés:.....	9
5. Le capteur à tubes sous vide	9
6. Le capteur solaire à eau	10
7. Inclinaison d'un capteur solaire	10
8. Rendement d'un capteur solaire.....	11
8.1. Comparaison de rendement de capteurs solaires.....	11
Chapitre II: Modélisation d'un capteur solaire plan	
1. Modélisation dynamique d'un capteur solaire plan à eau	13
1.1. Model du capteur.....	13
2. Modèle numérique du capteur	20

2.1. Calcul des coefficients des échanges thermiques	20
2.1.1 Echange par convection libre entre la vitre et l'ambiance extérieure	20
2.1.2. Echange par convection libre entre la vitre et air confiné	20
2.1.3. Echange par convection libre entre l'air confiné et l'absorbeur	20
2.1.4. Echange par convection entre le tube (ou l'isolant) et le fluide caloporteur	21
2.1.5. Echange par rayonnement entre la vitre et le ciel.....	22
2.1.6. Echange par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur	22
3. Température nodale du fluide chauffant	23
3.1. Température de sortie du fluide de la masse en béton.....	23
4. Calcul des puissances des composés du capteur	24
4.1. Puissance absorbée par le vitrage	24
4.2. Puissance absorbée par la plaque absorbante	25
5. Comportement thermique du capteur	25
5.1. Calcul du bilan thermique du capteur	25
5.2. Puissance utile récupérée par le fluide	27
5.3. Calcul du rendement du capteur	28
6. Application numérique	30
Chapitre III : Résultats et Discussion	
Conclusion.....	33
Références bibliographiques	

Liste des Figures

Figure I.1: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire.....	05
Figure I.2: Les différentes modèles, types et materiel des absorbeurs	06
Figure I.3: La couverture transparente d'un capteur solaire.....	06
Figure I.4: Capteur plan vitré.....	08
Figure I.5: Capteurs plan non vitré.....	09
Figure I.6: Capteur à tubes sous vide.....	10
Figure I.7: Courbe de rendement de trois différents capteurs solaires.....	11
Figure II.1: Mécanismes d'échange thermique du capteur solaire.....	17
Figure II.2: Distribution des températures des différents composés d'un capteur solaire plan à simple vitrage.....	18

Liste des Graphes

Grphe II.1: température ambiante extérieure(7 jours consécutives foides)..... 29

Grphe II.2: radiation solaire sur une surface horizontale (7 jours consécutives foides)..... 29

Grphe III.1: Température des sorties du fluide du capteur solaire sous différente..... 32

Liste des tableaux

Tableau I.1: Avantages et inconvénient des capteurs plans vitrés.....	08
Tableau II.1: Avantages et inconvénient des capteurs plans non vitrés.....	15
Tableau II.2: Paramètre thermo-physique de fonctionnement du collecteur solaire.....	16
Tableau II.3 Valeurs Géométriques des éléments la construction.....	17
Tableau II.4: Paramètre thermo-physique de la masse de béton.....	17
Tableau II.5: Paramètres thermo- mécaniques des absorbeurs considérés.....	30
Tableau III.1: Rendement du capteur à differente selection.....	30

Nomenclature

λ : conductivité(W/m. (°K)

ρ : masse volumique (kg/m³)

c_p : chaleurs spécifique (J/kg.°K)

φ : Flux de chaleur (W)

λ_c : Conductivité thermique (W/m.° K)

Q : Puissance transmise (W)

h_c : Coefficient de transmission thermique par convection, W/m²°K.

S: Surface d'échange considérée m².

T_1 : Température la plus chaude (°K)

T_2 : Température la plus froide (°K)

T_p : Température à la paroi du solide (° K)

T_f : Température du fluide (°K)

Σ : Déviation de la distribution du rayonnement direct (Wm°K)

ε : l'émissivité du corps

T: Température moyenne absolue de l'air à la surface du solide; (°K)

ΔT : Différence de température entre la surface et l'air: (°K)

L: Longueur géométrique (m)

Q_{ech} Énergie échangée. (W)

Nu: Nombre de Nusselt

Pr : Nombre de Prandtl

Ra: Nombre de Rayleigh

ω : L'angle horaire du soleil [degré]

Introduction Générale

Introduction générale :

Le développement rapide des méthodes modernes d'utilisation de l'énergie solaire a conduit au développement de plusieurs types de systèmes de captages solaires, tels que des capteurs solaires à tubes plats, tubes à vide et à tubes paraboliques cylindriques.

A présent on s'intéresse à l'utilisation de l'énergie solaire qui est un immense gisement d'énergie naturelle gratuite. Les applications de l'énergie solaires sont très diversifiées. Quelque soit l'application, le principe de captation de l'énergie solaire est toujours utilisé.

Dans l'utilisation de l'énergie solaire, la faible densité de l'énergie et la fourniture instable de cette dernière est due aux variations des conditions atmosphériques. Du point de vue rendement thermique en général, la plus grande part des recherches sont plus avancées vers l'amélioration de la qualité productive des capteurs solaire à eau et capteurs photovoltaïques, mais rares sont les études sur les capteurs solaires utilisant l'air comme fluide caloporteur, car ce dernier a un coefficient de transfert de chaleur par conduction-convection entre l'absorbeur et le fluide caloporteur beaucoup plus faible que celui de l'eau.

On distingue principalement trois modèles de capteurs plans solaire:

- 1) Les capteurs plans auto vidangeables : les plus fiables, parce qu'ils sont soumis à des variations de températures moins importantes que les capteurs sous pression.
- 2) Les capteurs plans sous pression à circulation forcée dans lequel circule un liquide caloporteur spécifique, anti- corrosion et anti- gel.
- 3) Les capteurs plans à circulation d'air pour le chauffage direct de l'air ambiant des pièces.

On tenant compte des stratégies de régulation de températures pour différentes usage d'énergie solaires, il est souhaitable de tenir compte du dynamisme des capteurs. [2]

Dans l'état de l'art des modélisations dynamique des capteurs solaire pour une meilleure balance des mécanismes thermiques favorisant la reliabilité des stratégies de control d'accomplir des corrélations thermiques appropriés d'accouplement du system pour des différentes usages sous différentes conditions climatique.(Schnieders, [2], déclare que le capteur solaire à plaques plates est le plus utilisé par les installations de chauffage solaire pour assurer la quantité et la qualité de la demande en énergie thermique. En simulant ces types de collecteurs par des modèles à état stationnaire, il peut être crucial que les capteurs solaires atteignent rarement un état stable pendant le fonctionnement en raison de leurs grandes constantes de temps et de la variabilité des forces motrices. (Zima, et Dziewa, [3], ont proposé un modèle mathématique unidimensionnel pour simuler les processus transitoires qui se produisent dans les capteurs solaires à plaques plates liquides, et le modèle a été expérimentalement mis en œuvre et vérifié; la méthode prend en compte les paramètres distribués du capteur solaire, notamment pour: le couvercle en verre, l'air confiné entre le vitrage

et l'absorbeur, le fluide chauffant utilisé et l'isolation. Les résultats de calcul ont montré une convergence satisfaisante des températures de fluide mesurées et calculées à la sortie du capteur. On tenant compte des stratégies de régulation de températures pour différentes usage d'énergie solaires, il est souhaitable de tenir compte du dynamisme des capteurs. [2]

Pour notre étude paramétrique de sensibilité thermo mécanique d'un capteur solaire et vue que le coefficient de transfert de chaleur par convection forcée est grande pour un capteur plan à eau que ce d'n capteur à air, nous adaptons un modèle d'un capteur solaire plan a simple vitre couplé a une masse de béton . Le deuxième chapitre, un modèle dynamique unidimensionnel gouvernant le mécanisme d'échange thermique du capteur est développé pour une simulation à court et long terme sous un climat semi aride pour différentes sélections des éléments de construction du collecteur solaire .

*Chapitre I : Généralités sur
les capteurs solaires*

1. Bases théoriques:

La conversion du rayonnement solaire en énergie calorifique, électrique ou chimique, elle est devenu soutenable pour les systèmes énergétiques. L'énergie solaire, c'est une des sources d'énergies renouvelables majeures au côté de la biomasse, de l'énergie hydraulique ou de l'énergie éolienne [1].

L'énergie solaire thermique est l'énergie thermique du rayonnement solaire. Elle est captée dans le but d'échauffer un fluide (liquide ou gaz). L'énergie reçue par le fluide peut être ensuite utilisée directement (eau chaude sanitaire, chauffage, etc.) par des capteurs solaires de différentes constructions.

Les capteurs solaires plans à air transforment l'énergie radiante du soleil en énergie thermique extraite par l'air en écoulement dans le capteur. Cette énergie est utilisée dans différentes applications solaires, comme par exemple, le séchage des grains ou du bois, le chauffage des locaux industriels ou à usage d'habitation, ainsi que dans la réfrigération solaire.

Plusieurs types de capteurs à air ont été construits et testés à travers le monde. L'objectif principal étant de collecter le maximum d'énergie solaire à un coût minimum.

1.1. Les capteurs plans :

Trois fonctions incombent à ces capteurs, absorber le rayonnement solaire, le transformer en chaleur et transmettre cette chaleur au fluide caloporteur. Pour absorber au maximum l'énergie rayonnée du soleil, il suffit d'une surface plane placée de façon judicieuse ; cette surface doit être dotée du coefficient d'absorption de la couche superficielle le plus élevé possible.

1.2. Les capteurs à concentration :

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

2. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique plan:

Dans la figure ci-dessous, représente un dispositif qui convertit le rayonnement solaire en chaleur pour le transmettre à un fluide. Il en existe plusieurs types (capteur sans vitre, capteur avec vitre, capteurs sous vide) dont le plus courant est le capteur plan solaire vitré avec une température de sortie du fluide caloporteur pouvant atteindre 100°C, (figure I.1).

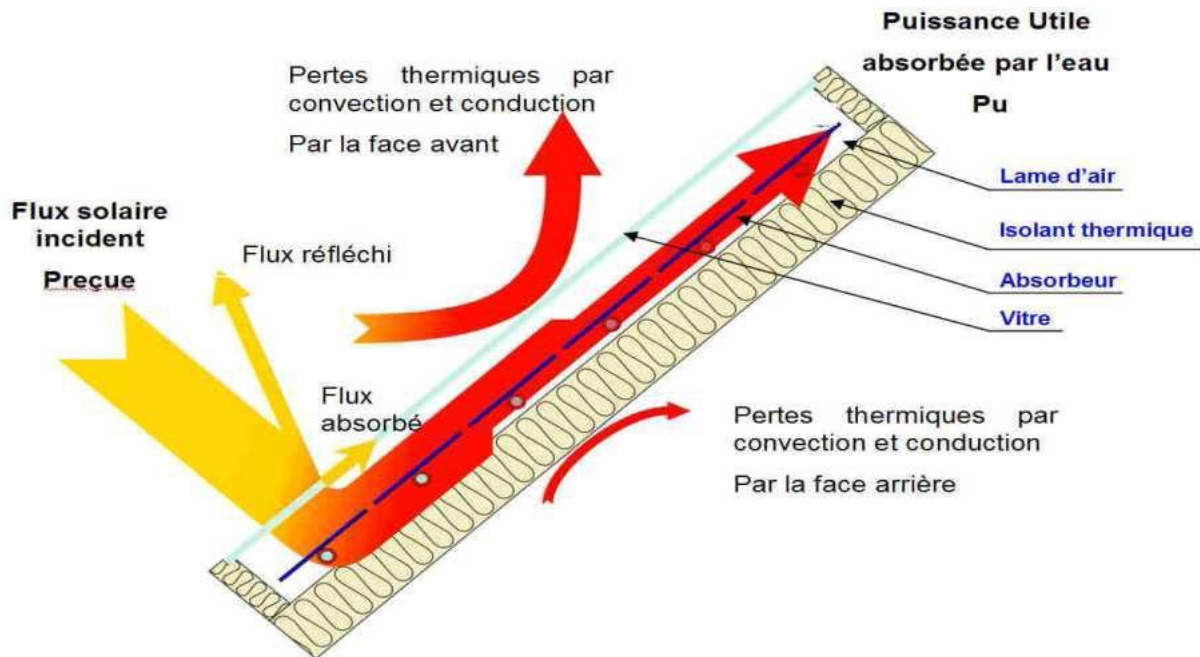


Figure I.1: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire.

(La technologie des CESI Quai Sol 2012)

3. Différents composants du capteur solaire:

Le capteur solaire plan se compose essentiellement des éléments suivants :

- Une plaque opaque qui absorbe le rayonnement solaire et transmette au fluide caloporteur.
 - Une isolation thermique arrière est latérale.
- une couverture transparente généralement en verre à simple ou à double qui assure l'effet de serre et évite le refroidissement de l'absorbeur en protégeant de vent.

3.1. L'absorbeur:

L'absorbeur est un composant d'un capteur thermique tel un panneau solaire qui a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, et de le convertir en chaleur via un fluide caloporteur dans le but de réaliser un gain d'économie d'énergie. L'absorbeur est généralement un corps noir absorbant le rayonnement du soleil lié mécaniquement ou dans la même structure à un réseau irriguant de l'eau. Il peut prendre la forme d'une plaque de métal, d'un serpentin vitré ou non, d'un tube sous vide, d'une bâche en plastique, ou d'un simple réservoir en plastique/métal, (figure I.2).

3.1.1. Deux fonctions incombent à l'absorbeur :

- Absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible

- Transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

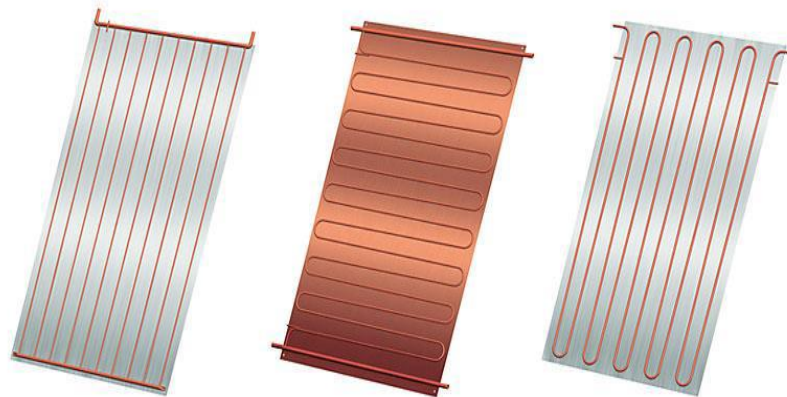


Figure I.2: Les différents modèles, types et matériel des absorbeurs.

3.2. La couverture transparente:

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le verre comme couverture transparente .

Un tel dispositif représente donc un véritable piègé au rayonnement solaire, qui peut être amélioré en munissant le capteur d'une double couverture, (figure I.3).

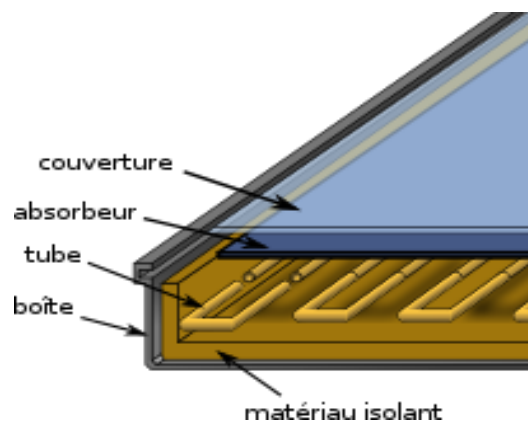


Figure I.3: La couverture transparente d'un capteur solaire.

3.3. L'isolant thermique:

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

Dans le cas des capteurs thermiques vitrés, il est aussi intéressant de remplacer l'isolation entre la vitre et l'absorbeur par de l'air! En effet, l'air a un grand pouvoir d'isolation, il est ainsi utilisé dans le double vitrage. Toujours dans l'objectif d'obtenir de meilleurs rendements, certains fabricants utilisent d'autres gaz comme l'argon ou le xénon, et lorsque cela est possible, on préférera même utiliser dans le vide

3.4. Le fluide caloporteur:

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

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

Le bon compromis par rapport à ces critères est un mélange d'eau et de glycol (utilisé dans le liquide de refroidissement des automobiles), même s'il n'est pas rare de trouver des systèmes fonctionnant à l'eau pure ou tout simplement à l'air selon l'utilisation.

4. Classification des capteurs solaires thermiques:

On peut classer les capteurs solaires thermiques selon la température de fonctionnement: Capteurs à faible température, Moyenne température et haute température. Suivant ce classement il existe essentiellement trois types des capteurs solaires thermiques:

- Capteur plan vitrés.
- Capteur plan non vitré.
- Capteur à tube sous vide.

4.1. Capteur plan vitré:

C'est le modèle le plus répandu. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur est placé l'absorbeur, un serpentin contenant le fluide à réchauffer. Pour que le serpentin absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée.

Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche). La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur, (figure I.4).

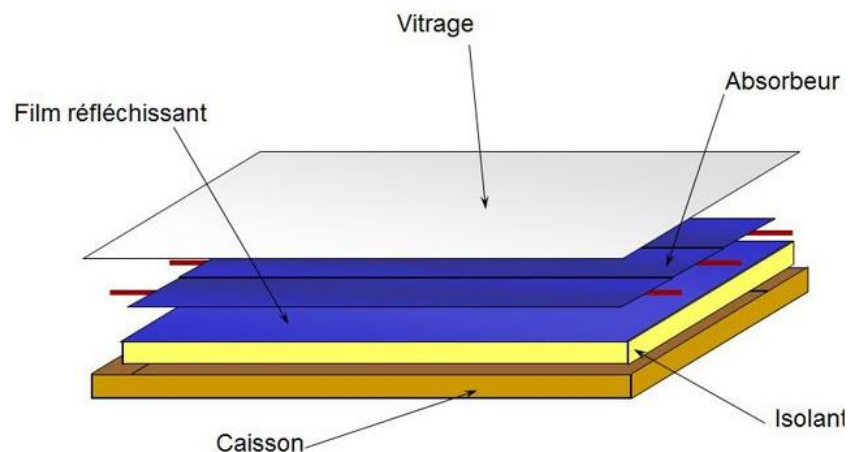


Figure I.4: Capteur plan vitré

4.2. Avantages et inconvénient des capteurs plans vitrés:

Tableau I.1: Avantages et inconvénient des capteurs plans vitrés.

Avantages	Inconvénients
Longueur de la durée de vie. Efficacité énergétique.	Ne convient qu'à hautes températures. La température interne peut monter très rapidement dans l'absence de circulation de fluide caloporteur.

4.3. Capteur plan non vitré:

Nettement moins répandu que le capteur vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication. C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air. Performant l'été, il présente une grande sensibilité

au vent froid l’hiver par son absence de vitrage. Il faut prévoir en général, une fois et demi plus de surface de capteurs pour égaler la production de capteurs plans vitrés. On arrive finalement à un prix unitaire de l’installation équivalent avec le capteur vitré, (figure I.5).



Figure I.5: Capteurs plan non vitré.

4.4. Avantages et inconvénient des capteurs plans non vitrés:

Tableau I.2: Avantages et inconvénient des capteurs plans non vitrés.

Avantages	Inconvénients
<p>Coût moindre.</p> <p>Rendement élevé pour des températures <40°C.</p> <p>L’absorbeur peut constituer lui-même le toit des bâtiments</p>	<p>Fonctionne uniquement pour des faibles températures</p>

5. Le capteur à tubes sous vide:

C’est le type de panneaux High-Tech. Encore pas trop développé en France, il commence à faire une percée. Il est constitué d’une série de tubes transparents sous vide qui isolent l’absorbeur. On fait le vide dans ces tubes, comme dans les bouteilles isothermes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique.

L’intensité du vide est d’une importance décisive pour l’interruption du mécanisme de transfert de chaleur. Il peut être rempli de gaz inerte, et certains de xénon, afin de réaliser une réduction significative du coefficient de déperdition. Ce type de capteurs réagit avec moins d’inertie que les capteurs conventionnels. Ils s’échauffent plus rapidement, ils permettent de mieux tirer parti

des petites périodes d'ensoleillement, ils permettent de mieux profiter de l'éclairement du soleil du matin et du soir. Les déperditions étant réduites par rapport à celles d'un capteur plan vitré, le rendement est nettement supérieur, (figure I.6).

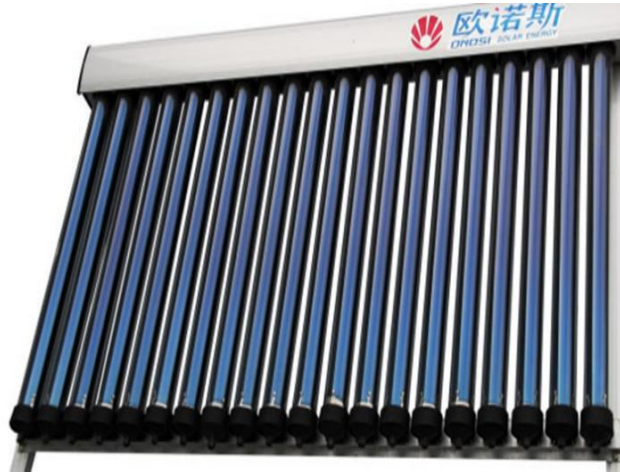


Figure I.6: Capteur à tubes sous vide.

6. Le capteur solaire à eau:

On peut distinguer deux types de systèmes: Le système de circulation à basse pression et le système de circulation à haute pression.

- **Le système à basse pression** : on emploie ce système pour le chauffage des piscines, le chauffage d'eau industrielle et pour le chauffage dans les foyers domestiques.

- **Le système à haute pression**: dans ce système, le circuit d'eau est généralement constitué de tubes en cuivre et de plaque métallique qui augmentent la surface d'absorption. Les ailettes sont normalement en acier, en aluminium ou en cuivre, et ayant des épaisseurs de l'ordre de 0.25 mm pour le cuivre, 0.5 pour l'aluminium et 2 mm pour l'acier, à cause des différences de conductivité thermique. L'espacement entre les tubes dépend de l'épaisseur des ailettes.

7. Inclinaison d'un capteur solaire:

L'inclinaison du capteur doit avoir un écart optimal suivant les coordonnées géographiques du lieu considéré.

L'énergie produite dans des conditions réelles sera en général nettement inférieure à celle qui aurait été produite dans des conditions standards. Elle dépendra essentiellement de 3 facteurs :

- ❖ le rayonnement global journalier, c'est-à-dire l'ensoleillement
- ❖ la température de l'ambiance extérieure
- ❖ la position des panneaux solaires (orientation et inclinaison).

- ❖ Une baisse de la l'inclinaison optimale entraine Un écart de 10° par rapport à production de moins de 2% ;
- ❖ De Un écart de 20° entraine une baisse d'environ 6%;
- ❖ Un écart de 30° entraine une baisse d'environ de 14%;
- ❖ Un écart de 40° entraine une baisse de près 25%

8. Rendement d'un capteur solaire

Le rendement d'un capteur solaire, conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique ou photovoltaïque dépend de sa forme, de la technique choisie et de la façon dont on réduit les pertes de chaleur à la surface de celui-ci. On a le rendement optique et instantané.

8.1. Comparaison de rendement de capteurs solaires:

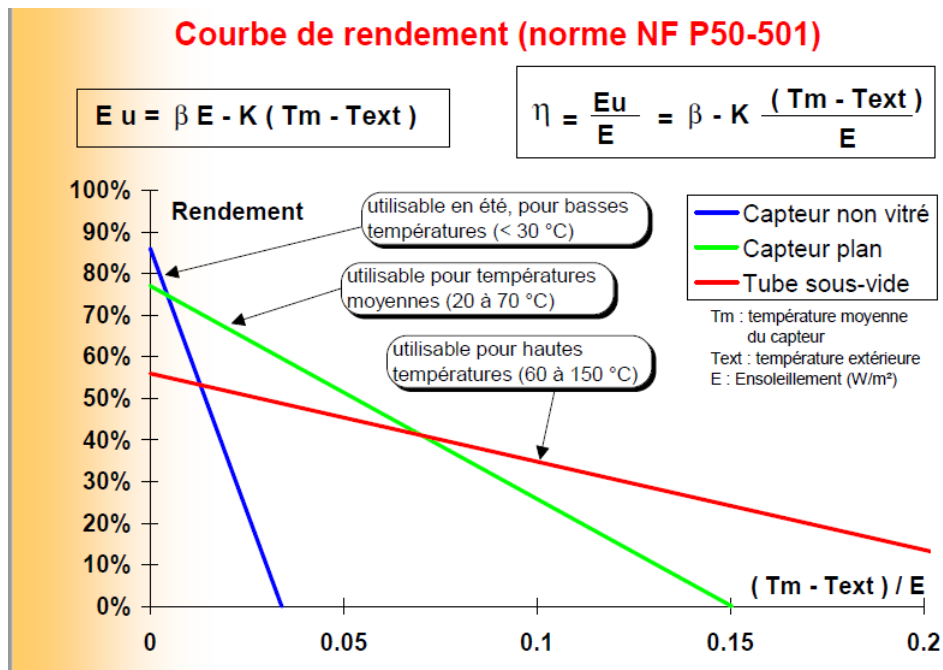


Figure I.7: Courbe de rendement de trois différents capteurs solaires

***Chapitre II: Modélisation
d'un capteur solaire plan***

1. Modélisation dynamique d'un capteur solaire plan à eau:

1.1. Model du capteur:

Sous un climat semi aride caractérisé par des conditions de température de large amplitude allant de -7°C à 16°C en moyenne, les capteurs solaires plan vitré à eau sont généralement conçus pour le chauffage des bâtiments que les capteurs avec tube à vide qui sont employés dans zones strictement froide. Le coefficient de convection conduction de l'eau est plus Important que ce de l'air

Le model choisi dans la Figure II.1, représente la distribution des températures des différentes composés d'un capteur solaire plan à simple vitrage qui est un châssis sous forme de coffre couvert par un isolant au fond et sur son coté arrière et latéraux, d'un absorbeur en tubes de cuivre munis d'une couche sélective noire, dans lequel circule le fluide caloporteur (eau glycol) et d'une vitre simple en verre ordinaire. L'eau chaude circulant la boucle solaire (capteur et masse à béton), qui est l'élément chauffant, est traitée comme une source ponctuelle représentée par l'unique élément capacitif dont la température est T_{fd} ;

Un bilan énergétique pour un intervalle de temps Δt peut être exprimé comme suit: Le flux de chaleur de tous les nœuds voisins vers le nœud (i) pendant Δt est égal à l'augmentation de l'énergie interne du matériau associé à ce nœud (i), c'est-à-dire:

$$Mcp_i \left(\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \right) = UA_{i-1,i} (T_{i-1}^n - T_i^n) + UA_{i,i+1} (T_{i+1}^n - T_i^n) \quad (\text{II.1.a})$$

Réorganisation de l'équation ci-dessus en:

$$\left(\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \right) = \frac{((UA_{i-1,i} T_{i-1}^n + UA_{i,i+1} T_{i+1}^n) - (UA_{i-1,i} + UA_{i,i+1}) T_i^n)}{Mcp_i} \quad (\text{II.1.b})$$

$$\text{on laisse: } S_i = (UA_{i-1,i} T_{i-1}^n + UA_{i,i+1} T_{i+1}^n) / Mcp_i \quad (\text{II.2})$$

$$\lambda_i = (UA_{i-1,i} + UA_{i,i+1}) / Mcp_i \quad (\text{II.3})$$

$$\omega_i = (T_i^{n+1} - T_i^n) / \Delta t \quad (\text{II.4})$$

L'équation (II.1.b) devient:

$$(T_i^{n+1} - T_i^n / \Delta t) = \omega_i = S_i - \lambda_i T_i^n \quad (\text{II.5.a})$$

cette équation peut être écrite comme:

$$T_i^{n+1} = (1 - \lambda_i \Delta t) T_i^n + S_i \Delta t \quad (\text{II.5.b})$$

L'analyse de la stabilité, [4], appliquée à cette solution explicite, conduit à restreindre le choix du pas de temps. C'est-à-dire que le terme $(1 - \lambda_i \Delta t)$ de l'équation doit être positif ou égal à zéro. Ainsi:

$$\Delta t \leq 1/\lambda_i \quad (\text{II.5.c})$$

Dans le cas du modèle de simulation, la taille de pas de temps maximale autorisée est de 2,5 secondes, ce qui prend trop de temps de calcul pour une simulation à long terme. Cependant, une augmentation de la taille du pas de temps admissible peut être obtenue sans perte de précision en introduisant un facteur de pondération σ_i , c'est-à-dire en choisissant une solution implicite.

L'équation (II.5.b) devient:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \omega_i \Delta t \quad (\text{II.5.d})$$

Réolvons pour ω_i , on a:

$$\omega_i = \frac{S_i - \lambda_i T_i^n}{1 + \lambda_i \sigma_i \Delta t} \quad (\text{II.6})$$

Le facteur de pondération σ_i peut être obtenu en faisant correspondre les équations analytiques et numériques implicites de ω_i à savoir:

$$\frac{(1 - e^{-\lambda_i \Delta t}) S_i - \lambda_i T_i^n}{\lambda_i \cdot T_i^n} = \frac{S_i - \lambda_i T_i^n}{1 + \lambda_i \cdot \sigma_i \Delta t} \quad (\text{II.7})$$

résolvons pour σ_i on a:

$$\sigma_i = \frac{1}{(1 - e^{-\lambda_i \Delta t})} - \frac{1}{\lambda_i \Delta t} \quad (\text{II.8})$$

de cette équation, σ_i prend toujours des valeurs dans la gamme [0,1] quelle que soit la valeur du produit $(\lambda_i \Delta t)$. Une fois que la valeur de ω_i est calculée, la température prédite du nœud(i) pour un pas de temps Δt est donné comme:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \omega_i \Delta t \tag{II.9}$$

La procédure décrite ci-dessus est utilisée pour calculer à chaque pas du temps, la température nodale du vitrage, l'air confiné, l'absorbeur, et le fluide chauffant qui circule à travers le circuit de la boucle solaire.

Pour un capteur à faible inertie thermique, les dimensions géométriques de fonctionnement du collecteur solaire sont données dans le Tableau II.1, et les paramètres thermo-physiques de fonctionnement du collecteur solaire sont données dans le Tableau II.2. [2 et 3]

Tableau. II.1 : Dimensions géométriques de fonctionnement du collecteur solaire.

Elément	Dimensions		
Vitrage simple	A_{ver}	1.60	m^2
	nb_{ver}	1	/
	e_{ver}	0.005	m
Ecartement verre-absorbeur	$ec_{ver,absr}$	0.02	m
Absorbeur	A_{absr}	1.60	m^2
Tubes	d_i	0.018	m
	d_e	0.02	m
	nb_{tub}	10	/
	w_{tub}	0.018	m
Soudure	e_{sd}	0.005	m
	l_{sd}	0.02	m
Isolation	A_{lat}	0.60	m^2
	A_{bas}	0.60	m^2
	A_{arr}	1.60	m^2

Tableau II.2: Paramètre thermo-physique de fonctionnement du collecteur solaire.

Elément	Valeurs thermo- physique		
Verre ordinaire	c_{pver}	840	J/kg °K
	ρ_{ver}	2700	kg/m ³
	λ_{ver}	0.93	W/m °K
	τ_{ver}	0.92	/
	α_{ver}	0.81	/
	ε_{ver}	0.94	/
	k_{ver}	0.28	/
Air confiné	c_{pairc}	1300	J/Kg °K
	ρ_{ver}	1.2	Kg/m ³
	λ_{rc}	0.025	W /m °K
Absorbeur à Couche sélective noire Tube en cuivre Soudure	$c_{pcuivre}$	398.0	J/Kg °K
	ρ_{cuivre}	8900	Kg/m ³
	λ_{cuivre}	386.0	W /m °K
	α_{cuivre}	0.88	/
	ε_{absr}	0.15	/
	λ_{sd}	5.0	W /m °K
Fluide caloporteur(Eau glycolée)	c_{peau}	4178.8	J/Kg °K
	ρ_{eau}	1.0	Kg/m ³
	λ_{eau}	1.00,624	W /m °k m ²
	ϑ_{eau}	0.7 E - 6	m ² /s
	Pr	4.68	/
Isolant Polystyrène expansé	c_{pio}	15	J/Kg °K
	ρ_{iso}	20	Kg/m ³
	λ_{iso}	0.04	W /m. °K

Tableau II.3 Valeurs Géométriques des éléments la construction

- Surface	S_{msb}	100	m^2
- Epaisseur	e_{msb}	5	cm
Isolant sous la masse:	e_{iso}	2	cm

Tableau II.4: Paramètre thermo-physique de la masse de béton

masse en béton lourd	λ_{msb}	1,75	W/m °K
	ρ_{msb}	2000	kg/m ³
	CP_{msb}	880	J/kg °K
	ϵ_{msb}	0.95	

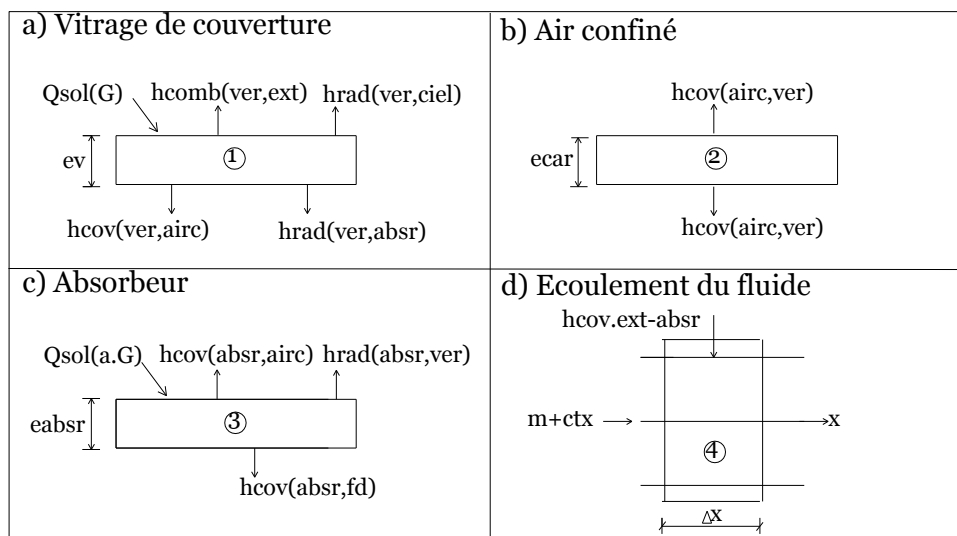


Figure. II.1: Mécanismes d'échange thermique du capteur solaire.

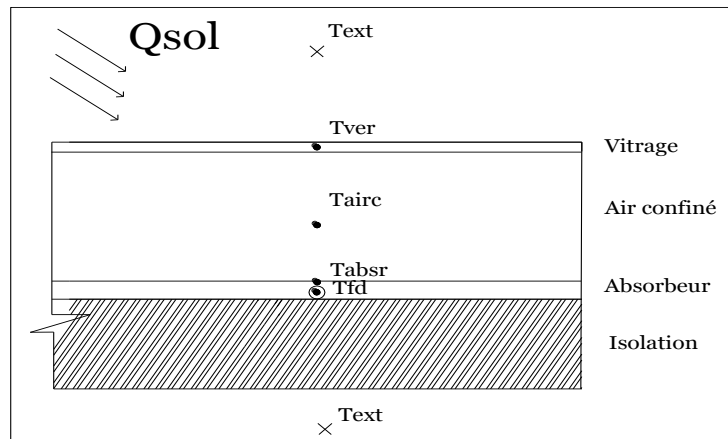


Figure. II.2: Distribution des températures des différents composants d'un capteur solaire plan à simple vitrage.

Dans la modélisation, 4 nœuds représentant une capacité unique de chaque composant du capteur solaire sont considérés: principalement pour: le couvercle en verre ordinaire, l'air intérieur confiné de l'espace du collecteur, l'absorbteur, le fluide chauffant du circuit; ils sont utilisés à cet égard pour établir le modèle dynamique unidimensionnel d'un capteur solaire à plaque plate à simple vitrage pour un climat semi aride. Le processus transitoire est simulé en tenant compte des hypothèses suivantes:

- les propriétés physiques des matériaux sont supposées constantes;
- les surfaces d'échange de chaleur rayonnantes sont supposées grises et plates;
- le verre est opaque au rayonnement infrarouge;
- la vitesse du fluide est uniforme;
- les pertes thermiques du fond et sur les surfaces latérales du capteur sont supposées être négligeables;
- l'air dans l'écartement du capteur est supposé stagnant et transparent;
- la température de la plaque absorbante est supposée égale à celle des tubes;
- pertes de chaleur par le tuyau en cuivre reliant le collecteur au à la masse de béton vers l'ambiance extérieur sont supposés négligeables.

Les échanges convectifs du capteur plan (Figure II.2) interviennent entre :

- La vitre et l'ambiance extérieure.
- La vitre et la plaque de l'absorbteur via l'air.
- Le tube de l'absorbteur et le fluide caloporteur.
- Le fluide caloporteur et l'isolant.

- L'isolant et l'ambiance extérieure.

Les échanges radiatifs du capteur plan (Figure. II.2) interviennent entre :

- La vitre et le ciel
- La vitre et la plaque de l'absorbeur via l'air.
- Irradiation à courte ondes du soleil sur la vitre et l'absorbeur.

Le modèle est établi à partir du bilan thermique d'une capacité unique incluant le verre de la vitre, l'air confiné dans l'espace intérieur du panneau, la plaque de l'absorbeur et le fluide caloporteur (eau glycol), en utilisant la méthode de modélisation améliorée et validée par les deux derniers auteurs.[2]

- Le panneau solaire est orienté vers le sud avec l'angle d'inclinaison optimal de 30 °.

Les paramètres de fonctionnement du capteur tirés des travaux de ces derniers chercheurs pour un capteur à faible inertie thermique sont donnés dans les Tableaux II.1 et II.2.

Le modèle développé dans cette étude décrit les caractéristiques dynamiques à court et à long terme d'un capteur solaire plan. L'approche utilisée pour la modélisation consiste à établir un modèle pour chaque composant du système en fonction de ses caractéristiques physiques. Le transfert de chaleur à travers le système est calculé en supposant un flux de chaleur à une dimension. Les valeurs des paramètres sont déterminées pour correspondre au modèle pour une variété de différentes configurations du système.

La méthode des différences finies est appliquée dans la simulation pour évaluer la distribution de la température à chaque intervalle de temps. Le modèle de simulation est implémenté dans un code informatique et des étapes de débogage sont effectuées pour identifier le comportement thermo-dynamique du capteur simulé.

L'échange thermique nodal unidimensionnel est utilisé et résolu par la méthode des différences finies implicites.

- les valeurs d'entrée horaires sont la température ambiante extérieure, irradiation solaire direct et diffus, Graphe II.1- II.2, et la vitesse du vent.

Les conditions aux limites sont les suivantes: le rayonnement solaire (direct + diffus) et la température ambiante extérieure. Les températures initiales sont de 12 ° C

2. Modèle numérique du capteur:

a. Nœud de la couverture en verre :

$$\begin{aligned}
 M_{cp_{ver}} \left(\frac{dT_{ver}}{dt} \right) &= A_{ver} [h_{rad(ver,ciel)}(T_{ciel} - T_{ver}) + \\
 &h_{comb(ver,ext)}(T_{ext} - T_{ver}) + h_{rad(ver,absr)}(T_{absr} - T_{ver}) + h_{cov(ver,airc)}(T_{airc} - T_{ver})] + \\
 &UA_{lat,ext} \cdot \tau^0 \cdot (T_{ext} - T_{ver}) + \\
 &A_{ver} \left(1 + \frac{\tau_{ver}(1-\alpha_{absr})}{1-\alpha_{ver}(1-\alpha_{absr})} \right) \alpha_{ver} G
 \end{aligned} \tag{II.1}$$

b. Nœud de l'air confiné :

$$\begin{aligned}
 M_{cp_{airc}} \left(\frac{dT_{airc}}{dt} \right) &= A_{ver} h_{cov(ver,airc)}(T_{ver} - T_{airc}) + \\
 &A_{absr} h_{cov(absr,airc)}(T_{absr} - T_{airc}) + A_{lat,ext} U_{loss} \cdot \tau^0 (T_{airc} - T_{ext})
 \end{aligned} \tag{II.2}$$

c. Nœud de l'absorber :

$$\begin{aligned}
 M_{cp_{absr}} \left(\frac{dT_{absr}}{dt} \right) &= A_{ver} h_r(ver,absr)(T_{ver} - T_{absr}) + \\
 &A_{absr} h_c(absr,airc)(T_{airc} - T_{absr}) + A_{tub} h_c(absr,fd)(T_{fd} - T_{absr}) + (UA_{bas} + UA_{lat}) \tau^0 (T_{ext} - \\
 &T_{absr}) + A_{absr} \left(\frac{\tau_{ver} \alpha_{absr}}{1-\alpha_{ver}(1-\alpha_{absr})} \right) G
 \end{aligned} \tag{II.3}$$

d. Nœud de l'eau chauffant en circulation :

$$\begin{aligned}
 (d_{i(tub)}/4) \rho_{fd} \rho_{cp_{fd}} ((\partial T_{fd}/dt) + \vartheta \partial T_{fd}/dx) &= h_c(absr,fd)(T_{absr} - T_{fd}) + \dot{m}_{cp_{fd}}(T_{fd} - \\
 &T_{col(entr)})
 \end{aligned} \tag{II.4}$$

2.1. Calcul des coefficients des échanges thermiques :

2.1.1 Echange par convection libre entre la vitre et l'ambiance extérieure:

$$h_{comb(ver,ext)} = 3.8v_{vent} + 5.62 \quad [5] \tag{II.5}$$

2.1.2. Echange par convection libre entre la vitre et air confiné:

$$h_{c(ver,airc)} = Nu. 2. \lambda_{airc}/b \tag{II.6}$$

2.1.3. Echange par convection libre entre l'air confiné et l'absorbeur:

$$h_{c(airc,absor)} = Nu. 2. \lambda_{airc}/b \tag{II.7a}$$

$h_{c(ver,airc)}$ et $h_{c(airc,absor)}$ sont calculés par la même valeur de Nu et Gr;

Corrélation suivante proposée pour le calcul du nombre de Nusselt, [6] .

$$Nu = \left[0.006 - 0.017 \left(\frac{\beta}{90} \right) \right] \cdot Gr^{1/3} . \quad (III.7b)$$

$$Gr = \frac{g \cdot (T_{absr} - T_{ver})}{\vartheta^2 T_{ext}} b^2 \quad (II.7c)$$

où:

β : angle d'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale.

λ_{air} : conductivité thermique de l'air.

ϑ : viscosité cinématique

b: distance entre la vitre et l'absorbeur.

g: accélération gravitationnelle

2.1.4. Echange par convection entre le tube (ou l'isolant) et le fluide caloporteur:

L'échange de chaleur entre le tube et le fluide chauffant en circulation se fait par convection forcée.

Les corrélations appliquées sont:

- écoulement laminaire : (Re < 2100)

Gz < 100 :

$$Nu = 3.66 + \frac{0.085 \cdot Gz}{1 + 0.047 Gz^{2/3}} \left[\frac{\mu_f}{\mu_p} \right]^{0.14} \quad (II.8a)$$

Pour Gz > 100 :

$$Nu = 1.86 \cdot Gz^{1.3} \left[\frac{\mu_f}{\mu_p} \right]^{0.14} + 0.87(1 + 0.015 Gz^{1/3}) \quad (II.8b)$$

- écoulement transitoire ou : (2100 < Re < 10000)

$$Nu = 0.116(Re^{2:3} - 125) Pr^{\frac{1}{3}} \left(1 + \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right) \cdot \left[\frac{\mu_f}{\mu_p} \right]^{0.14} \quad (II.9)$$

- écoulement turbulent : Re > 10000

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} Pr^{1.3} \left[\frac{\mu_f}{\mu_p} \right]^{0.14} \quad (II.10)$$

Avec :

$$Re = v \cdot D/v \quad (\text{Nombre de Reynolds sans dimension}) \quad (II.10a)$$

$$Gz = \text{Re. Pr. } D/L \quad (\text{Nombre de Gratez sans dimension}) \quad (\text{II.10b})$$

où:

ρ : Masse volumique.

\bar{v}_{fld} : Vitesse moyenne du fluide.

D : Diamètre du tube.

μ : Viscosité dynamique.

ν : Viscosité cinématique.

L : Longueur du tube.

μ_f : Viscosité dynamique de l'eau à la température considérée.

μ_p : Viscosité dynamique de l'eau au niveau de la paroi à la température considérée.

Alors:

$$h_{\text{cov(absr, fld)}} = \text{Nu. } \lambda_{\text{cuivre}}/e_{\text{tub}} \quad (\text{II.11})$$

$$h_{\text{cov(absr, iso)}} = \text{Nu. } \lambda_{\text{iso}}/e_{\text{iso}} \quad (\text{II.12})$$

e_{tub} et e_{iso} étant respectivement les épaisseurs du tube et de l'isolant inférieure du collecteur.

2.1.5. Echange par rayonnement entre la vitre et le ciel:

$$h_{\text{rad(ver, ciel)}} = \varepsilon_{\text{ver}} \sigma (T_{\text{ver}}^2 + T_{\text{ciel}}^2) (T_{\text{ver}} + T_{\text{ciel}}) \quad (\text{II.13})$$

où: σ la constante de Stefan-Boltzman = $5.678 \times 10^{-8} \text{W. m}^{-2}. \text{K}^{-4}$

ε_{ver} est l'émissivité du couvercle en verre ordinaire

Le coefficient de transfert de chaleur par les surfaces extérieures vue par le ciel:

Ou la température du ciel est exprimée par une relation simple qui relie la température du ciel à la température de l'air extérieur local donnée par [7]:

$$T_{\text{ciel}} = 0.0552. T_{\text{ext}}^{3/2} \quad (T_{\text{ciel}} \text{ et } T_{\text{ext}}) \text{ en } (^\circ\text{K}) \quad (\text{II.13a})$$

2.1.6. Echange par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur:

$$h_{\text{rad(ver, absr)}} = \frac{\sigma(T_{\text{ver}}^2 + T_{\text{absr}}^2)(T_{\text{ver}} + T_{\text{absr}})}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{ver}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{absr}}} - 1} \quad (\text{II.14})$$

$\varepsilon_{\text{absr}}$ est l'émissivité de l'absorbeur

3. Température nodale du fluide chauffant :

L'eau chaude circulant la boucle solaire, qui est l'élément chauffant, est traitée comme une source ponctuelle représentée par l'unique élément capacitif dont la température est T_{fd}

Pour une simplicité saké, qu'un seul nœud de température est considéré.

$$S_{fd} = (\dot{m}c_{pfd} \cdot T_{fd(ent)} + UA_{fd,1} T_{pl_1}^n + UA_{fd,pl(sinf)} \cdot T_{pl(sinf)}) / Mc_{pfd} \quad (II.10)$$

$$\lambda_{fd} = (UA_{fd,1} + UA_{fd,pl(sinf)}) / Mc_{pfd} \quad (II.11)$$

$$\sigma_{fd} = \frac{1}{(1 - e^{-\lambda_{fd} \Delta t})} - \frac{1}{\lambda_{fd} \Delta t} \quad (II.12)$$

$$\omega_{fd} = \frac{S_{fd} - \lambda_{fd} \cdot T_{fd}^n}{1 + \lambda_{fd} \cdot \sigma_{fd} \cdot \Delta t} \quad (II.13)$$

$$T_{fd}^{n+1} = T_{fd}^n + \omega_{fd} \cdot \Delta t \quad (II.14)$$

3.1. Température de sortie du fluide de la masse en béton :

L'apport de chaleur auxiliaire à la masse en béton à partir du collecteur solaire peut être exprimé comme suit:

$$Q_{éch} = \zeta \dot{m}c_{pfd} (T_{fd(ent)} - T_{msb(1)}) \quad (II.15)$$

Où: ζ est l'efficacité thermique de la masse en béton donnée par:

$$\zeta = 1 - e^{-NTU} \quad (II.16)$$

Où:

$$NTU = \frac{UA_{msb,fd}}{\dot{m}c_{pfd}} \quad (II.17)$$

$Q_{éch}$ peut également être exprimé comme:

$$Q_{éch} = \dot{m}c_{pfd} (T_{fd(ent)} - T_{fd(sor)}) \quad (II.18)$$

En faisant correspondre les deux expressions (II.15, et II.18) de $Q_{éch}$, on obtient la température du fluide en fonction de la température d'entrée et de la température du premier nœud de la masse en beton:

$$T_{fd(sor)} = \zeta T_{msb(1)} + (1 - \zeta) T_{fd(ent)} \quad (II.19)$$

4. Calcul des puissances des composés du capteur:

4.1. Puissance absorbée par le vitrage :

- Paramètres optiques :

L'étude de la transmission, de la réflexion et de l'absorption du flux incident sur la couverture d'un capteur solaire joue un rôle capital dans l'amélioration de la performance du collecteur. Le rayonnement solaire (G) frappant l'interface d'une surface vitrée à un angle d'incidence (θ_1) sera partiellement réfracté (I_t) avec un angle (θ_2) et partiellement réfléchi avec un angle (θ_1).

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin (\theta_1) \quad (\text{II.20})$$

n_1 et n_2 étant les indices de réfraction des deux milieux.

Le pouvoir réflecteur (R_f) d'une surface plane entre l'air ou le vide et le matériau est

donné par l'expression :

$$R_f = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2[\theta_2 + \theta_1]} + \frac{\text{tg}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{tg}^2[\theta_2 + \theta_1]} \right] \quad (\text{II.21})$$

$$\theta_2 = \text{Arc sin} \left[\frac{n_1}{n_2} \sin (\theta_1) \right] \quad (\text{II.21a})$$

Pour une lame de verre d'épaisseur (e_{ver}), les coefficients de transmission, d'absorption et de réflexion du au rayonnement direct sont donnés par les relations suivantes :

a. Le coefficient de transmission (η_{dir}) :

Le coefficient de transmission (η_{dir}) est le produit d'un coefficient (η_{rf}) relatif à la réflexion partielle du rayonnement incident, et d'un coefficient (η_{ab}) relatif à l'absorption dans le milieu transparent. On a:

$$\eta_{\text{dir}} = \eta_{\text{ab}} \cdot \eta_{\text{rf}} \quad (\text{II.22})$$

$$\eta_{\text{rf}} = \frac{1 - r_f}{1 + r_f} \quad (\text{II.22a})$$

$$\eta_{\text{ab}} = \exp \left(\frac{K_{\text{ver}} \cdot e_{\text{ver}}}{\cos (\theta_2)} \right) \quad (\text{II.22b})$$

où:

K_{ver} : coefficient d'extinction du verre.

e_{ver} : épaisseur de la vitre.

θ_2 : angle de réfraction.

b. Le coefficient de réflexion (ρ_{dir}) :

Il est donné par :

$$\rho_{\text{dir}} = r_f + \frac{(1-r_f)\eta_{\text{acb}}^2 \cdot r_f}{1-(r_f \cdot \eta_{\text{ab}})^2} \quad (\text{II.23})$$

c. Le coefficient d'absorption ($\alpha_{\text{dir(ver)}}$) :

Il est exprimé par :

$$\alpha_{\text{dir(ver)}} = 1 - \eta_{\text{dir}} - \rho_{\text{dir}} \quad (\text{III.24})$$

- La puissance absorbée par la vitre est alors :

$$P_{\text{ver}} = \alpha_{\text{dir(ver)}} \cdot P_{\text{dir}} + \alpha_{\text{dif(ver)}} \cdot P_{\text{dif}} \quad (\text{II.25})$$

4.2. Puissance absorbée par la plaque absorbante :

$$P_{\text{absr}} = P_g \cdot \eta_{\text{ver}} \cdot \alpha_{\text{absr}} \left(1 + (\rho_{\text{ver}} \rho_{\text{absr}}) + (\rho_{\text{ver}} \rho_{\text{absr}})^2 + (\rho_{\text{ver}} \rho_{\text{absr}})^3 + \dots + (\rho_{\text{ver}} \rho_{\text{absr}})^n \right) \quad (\text{III.26a})$$

$$P_{\text{absr}} = \frac{P_g \cdot \eta_{\text{ver}} \cdot \alpha_{\text{absr}}}{1 - \rho_{\text{ver}} \rho_{\text{absr}}} \quad (\text{II.26b})$$

L'absorbeur est opaque à couche de surface sélective donc :

$$P_{\text{absr}} = \frac{P_g \cdot \eta_{\text{ver}} \cdot \alpha_{\text{absr}}}{1 - (1 - \alpha_{\text{absr}}) \rho_{\text{ver}}} \quad (\text{II.26c})$$

5. Comportement thermique du capteur :

5.1. Calcul du bilan thermique du capteur

a) Le bilan thermique par unité de surface d'un capteur s'écrit :

$$P_{\text{absr}} = P_u + P_{\text{arr}} + P_{\text{stk}} \quad (\text{II.27})$$

où:

P_{absr} : Puissance absorbée à la surface de l'absorbeur.

P_u : Puissance utile.

P_{arr} : Puissance perdue par convection et conduction et rayonnement vers l'arrière du capteur et par convection, conduction et rayonnement vers la face avant du capteur.

P_{stk} : Puissance stockée sous forme de chaleur dans les différents éléments du capteur.

Pour un capteur à inertie thermique négligeable ou dans le cas d'un régime thermique permanent, $P_{stk} = 0$.

b) Les pertes thermiques :

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, et se divisent en trois catégories, les pertes vers l'avant, vers l'arrière et les pertes latérales. Les pertes vers l'avant sont dues à la convection et aux échanges radiatifs entre les différentes parties du capteur.

- Le coefficient des pertes vers l'avant est défini comme suit:

$$U_{av} = \frac{1}{R_i + R_e} \quad (II.28)$$

La résistance intérieure R_i s'opposant aux transferts entre la surface de captation (la surface de l'absorbeur) et la surface intérieure du verre est:

$$R_i = \frac{1}{h_{cov(absr,ver)} + h_{rad(absr,ver)}} \quad (II.28a)$$

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

$$R_e = \frac{1}{h_{cov(ver,amb)} + h_{rad(ver,ciel)}} \quad (II.28b)$$

Il en résulte que :

$$U_{av} = \left[\frac{1}{h_{cov(ver,ciel)} + h_{rad(ver,ciel)}} + \frac{1}{h_{cov(absr,ver)} + h_{rad(absr,ver)}} \right]^{-1} \quad (II.28c)$$

- Le coefficient des pertes par l'arrière (par le fond) du capteur sont dues à la conduction par l'isolation arrière.

$$U_{arr} = \frac{\lambda_{iso}}{e_{iso}} \quad (II.29)$$

λ_{iso} et e_{iso} étant respectivement la conductivité thermique et l'épaisseur de l'isolant.

Le coefficient de ces pertes est moins important que celui des pertes par l'avant lorsque le capteur étant bien isolé à l'arrière.

- La valeur du coefficient des pertes thermiques latérales est inférieure à celle du coefficient des pertes arrière, (la surface latérale du capteur étant peu importante).

$$U_{lat} = \frac{\lambda_{iso} \cdot A_{lat}}{e_{iso} \cdot A_{cap}} \quad (II.30)$$

où:

A_{lat} : Surface latérale du capteur.

A_{cap} : Surface du capteur.

- Le coefficient de pertes thermiques global vers l'extérieur :

$$U_g = U_{av} + U_{arr} + U_{lat} \quad (II.31)$$

5.2. Puissance utile récupérée par le fluide:

Il y a plusieurs équations qui caractérisent cette puissance, parmi les quelles:

$$P_u = \left((\tau\alpha)_{eff} \cdot P_g - U_g \cdot (T_{absr} - T_{ext}) \right) \cdot A_c \quad (II.32)$$

T_{absr} étant la température de l'absorbeur. En réalité elle est difficile à estimer car il y a des gradients de température sur l'absorbeur.

$(\tau\alpha)_{eff}$: Coefficient d'absorption effectif.

$$P_u = F' \left((\tau\alpha)_{eff} \cdot P_g - U_g \cdot (T_{fd(cap)} - T_{ext}) \right) \cdot A_{cap} \quad (II.32 a)$$

F' est un Paramètre constructif, du capteur (efficacité du transfert).

$$F' = \frac{1/U_g}{w_{tub} \left[\frac{1}{U_g} \cdot (d_e + (w_{tub} - d_e) \cdot F) + \frac{e_{sd} \cdot d_e}{l_{sd} \lambda_{sd}} + \frac{1}{d_i \cdot h_{ver,fd}} \right]} \quad (II.33a)$$

e_{sd} , l_{sd} , et λ_{sd} , étant respectivement l'épaisseur, la largeur et la conductivité thermique de la soudure.

$$P_u = F_R \left((\tau\alpha)_{eff} \cdot P_g - U_g \cdot (T_{fd(ent)} - T_{ext}) \right) \cdot A_{cap} \quad (II.34)$$

Où $T_{fd(ent)}$: Température d'entrée du fluide

F_R : Efficacité globale de l'échange thermique du capteur, définie par:

$$F_R = \frac{\dot{m}_{cp(fd)}}{U_g \cdot A_{cap}} \left[1 - \exp \left[\frac{-F \cdot U_g \cdot A_{cap}}{\dot{m}_{cp(fd)}} \right] \right] \quad (II.35a)$$

Le rendement de l'ailette F est donné par la relation suivante:

$$F = \frac{\tanh\left(m \cdot \left(\frac{w_{\text{tub}} - d_e}{2}\right)\right)}{m \cdot \left(\frac{w_{\text{tub}} - d_e}{2}\right)} \quad (\text{II.35b})$$

$$m = \sqrt{\frac{U_g}{\lambda_{\text{absr}} e_{\text{absr}}}} \quad (\text{II.35c})$$

où:

λ_{absr} : conductivité thermique de l'absorbeur.

e_{absr} : épaisseur de l'absorbeur.

w_{tub} : distance entre les tubes.

d_e : diamètre extérieur du tube.

5.3. Calcul du rendement du capteur:

Le rendement global du capteur est défini comme étant le rapport de la puissance utile sur la puissance incidente.

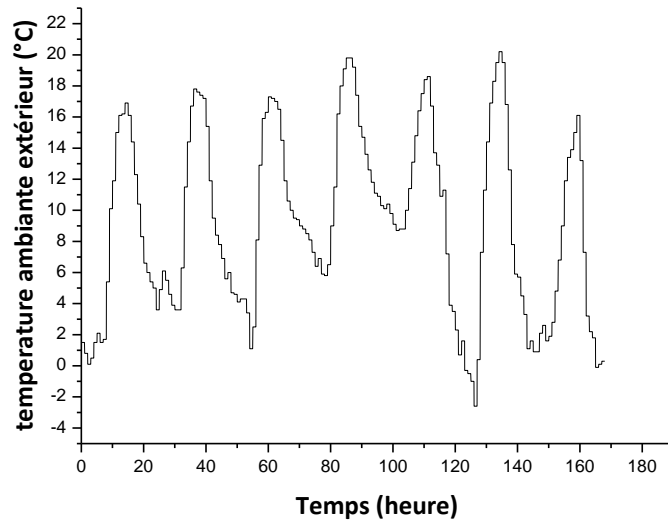
$$\eta = \frac{P_u}{P_g \cdot A_{\text{cap}}} \quad (\text{II.36a})$$

$$\eta = \frac{((\tau\alpha)_{\text{eff}} \cdot P_g - U_g \cdot (T_{\text{fd(ent)}} - T_{\text{ext}}))}{P_g} \quad (\text{II.36b})$$

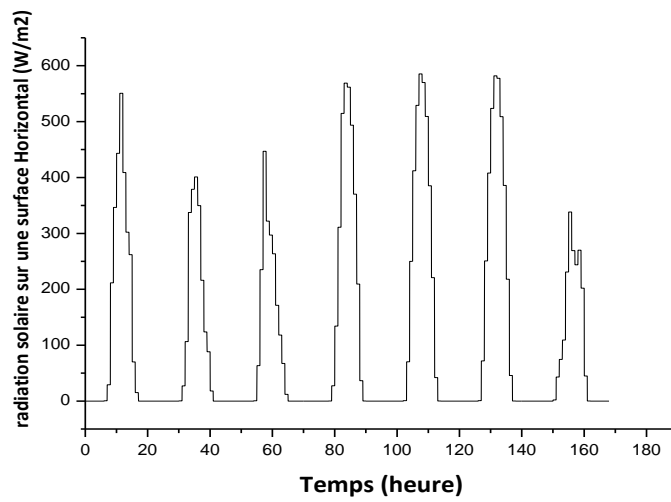
Il ya aussi un autre rendement optique représenté par le rapport entre la puissance reçue par plaque et la puissance incidente:

$$\eta = F_R [\eta_0 - U_g (T_{\text{fd(ent)}} - T_{\text{ext}})] \quad (\text{II.37a})$$

$$\eta_0 = \frac{P_{\text{absr}}}{P_g} \quad (\text{II.37b})$$



Graphe II.1: température ambiante extérieure
(7 jours consécutives foides)



Graphe II.2: radiation solaire sur une surface horizontale
(7 jours consécutives foides)

6. Application numérique:

Selection des parametres thermo mécaniques du capteur **Tableau II.5 et II.6**

Tableau II.5: Paramètres thermo- mécaniques des absorbeurs considérés

1ASDER_types_capteurs_solaires

Matière	Conductibilité en W/m.°C	Masse volumique kg/m ³	Coefficient de dilatation en mm pour 1m et 100°C
Aluminium	230	2700	2,38
Cuivre	380	8930	1,65
Plastiques	0.2-0.4	1000 à 1500	7 à 20

Tableau II.6 Revêtement sélectif sur les absorbeurs de 200 μm

1ASDER_types_capteurs_solaires

Revêtement	Absorption α	Emission ε
Peinture noire	0,92 à 0,97	0,95
Chrome noir sur cuivre	0,95	0,14
Chrome noir sur acier	0,91	0,07

Chapitre III :
Résultats et Discussion

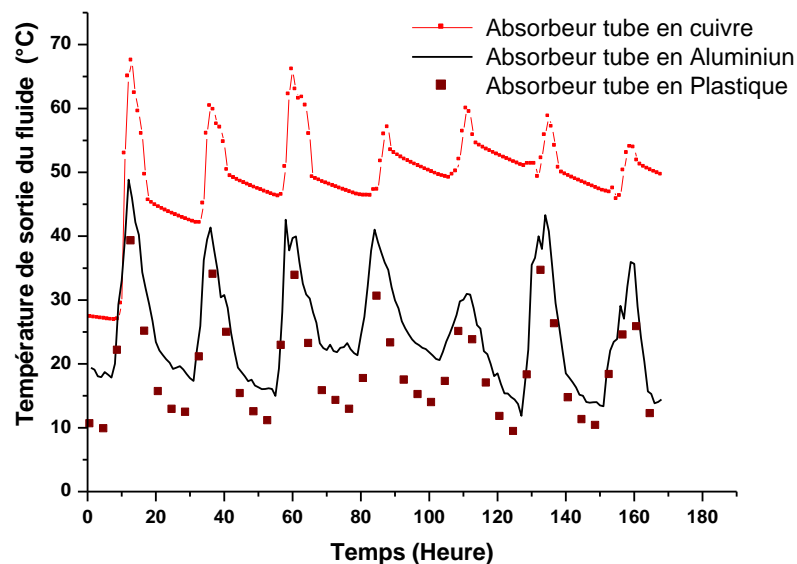
Résultats et Discussion:

Sous des conditions climatiques semi aride pour 7 jours consécutives les plus froide en mois de Janvier, le panneau solaire plan a simple vitrage ordinaire, menu d'un absorbeur en cuivre avec la couche sélectif de $200 \mu\text{m}$, sur la Graphe III.1, cette sélection a une grande influence sur l'exposition de l'élément de la régulation de température en augmentant le rendement du capteur **Tableau III.1 et Graphe III.1** , en produisant de un eau chaude de qualité, et ne provoque pas de sur chauffage, la température maximales atteinte est de 70°C par conséquent le résultat est l'adaptation appropriée à la régulation thermique du system.

Dans la même figure, la sélection avec un absorbeur en aluminium ou en plastique avec une couche sélectif de $200 \mu\text{m}$ les température maximales atteintes est de 50°C et 40°C respectivement provoque des chutes de température plus remarquable que ce de la première combinaison **Graphe III.1** .

Tableau III.1: rendement du capteur à differente selection

Matière	Reendement
Cuivre	0.92
Aluminium	0.85
Plastiques	0.78



Graphe III.1: Température des sorties du fluide du capteur solaire différente sélection

Conclusion

CONCLUSION :

Le modèle développé dans cette étude de sensibilité thermo mécanique décrit les caractéristiques dynamiques à court et à long terme d'un capteur solaire plan. L'approche utilisée pour la modélisation consiste à établir un modèle pour chaque composant du capteur en fonction de ses caractéristiques physiques. Le transfert de chaleur à travers le système est calculé en supposant un flux de chaleur à une dimension. Les valeurs des paramètres sont déterminées pour correspondre au modèle pour une variété de différentes configurations.

La méthode des différences finies est appliquée dans la simulation pour évaluer la distribution de la température à chaque intervalle de temps. Le modèle de simulation est implémenté dans un code informatique et des étapes d'essai sont effectuées pour identifier le comportement thermo -dynamique du capteur simulé. Par conséquent l'étude de sensibilité a amène a conclure que le capteur solaire plan a simple vitrage avec une sélection d'absorbeur en cuivre assure une bonne adaptation thermique, et avec un rendement élevé qu'avec les autre types de combinaison.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Joly, J.P, Energie solaire : les bases théoriques pour la comprend 2018.
- [2] Schnieders, J. Comparison of the energy yield predictions of stationary and dynamic solar collector models and the models accuracy in the description of a vacuum tube collector, Solar Energy 61 (3) 179-190, 1997.
- [3] W Zima and P Dziewa, Modelling of liquid flat-plate solar collector operation in transient, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy states Volume 225, Issue 1, 2011.
- [4] Hirt, C.W., Heuristic stability theory for finite-difference equations Journal of Computational Physics Volume 2, Issue 4, June 1968, Pages 339-355
- [5] Green, A.A., The influence of operating conditions on the thermal performance of non concentrating, solar collectors. Phd, Thesis, University College Cardiff, UK, 1984.
- [6] Duffie, J.A ., Backman, W.,A., Solar Energy Thermal Processes, Interscience Publication John Wiley, 1981
- [7] Swinbank, W.C., (1963) Long-Wave Radiation from Clear Skies, the Royal Meteorological Society, 89, 339-348. 1963