

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abd Elhafid Boussof -Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique et Electromécanique



N°Ref :.....

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme

de MASTER

Spécialité : Energétique

Amélioration des performances d'un capteur Solaire à air double passe Muni des ailettes

Réalisé par :

- Mlle DAAS Asmaa

Soutenu devant le jury :

Dr. BOUBEGHAL Abd Elwahab

Dr. ZERARI Khalil

Dr. FAKIRI Fethallah

Président

Examineur

Promoteur

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

J'exprime mes gratitudes, mes reconnaissances et mes sincères remerciements à Monsieur FAKIRI FETHALLAH pour m'avoir encadré tout le long de mon projet. La patience, le soutien et le temps trop précieux m'ayant été accordé, c'est avéré concluant, et m'a été finalement d'un grand apport.

*Il y'a lieu de remercier également Monsieur BOUBEGHAL ABD ELWAHAB pour avoir bien la bonté d'accepter de présider ce jury, et Monsieur ZERARI KHALIL
Pour avoir examiné ce mémoire.*

Toutes mes considérations à mes dignes et respectables Professeurs qui méritent autant d'égard, pour m'avoir donné le meilleur d'eux-mêmes afin d'arriver à ce stade du savoir.

Table des matières

Introduction générale	14
Généralités sur rayonnement solaire et les capteurs solaires à air	17
Chapitre I	18
I.1 Introduction	18
I.2 Source de l'énergie solaire	19
I.2.1 Principe des centrales solaires thermodynamiques	20
I.2.2 Composition des rayons de soleil	21
I.3 Rayonnement solaire	22
I.4 Les différents types de rayonnement solaire	23
I.4.1 Le rayonnement direct	23
I.4.2 Le rayonnement diffuse	23
I.4.3 Le rayonnement réfléchi (albédo)	24
I.4.4 Le rayonnement solaire global	25
I.5 Le réseau météorologique Algérien	26
I.6 Généralités sur les capteurs solaires thermiques	27
I.7 Capteurs solaires à air	27
I.7.1 Différentes types des capteurs solaires plans à air	28
I.7.2 Applications des capteurs solaires plans à air	31
I.8 Conclusion :	34
Etude énergétique d'un capteur solaire à air double passe muni des ailettes	35
Chapitre II	36
II.1 Introduction :	36
II.2 Principe de fonctionnement du capteur solaire à air	36
II.3 Équations de bilan thermique du capteur	37
II.3.1 Hypothèses simplificatrices	38
II.3.2 Équation bilan thermique du capteur solaire	39
II.3.3 Expressions des coefficients de transfert de chaleur	42
II.4 Résolution numérique	44
II.5 Rendement de capteur	47
II.6 Bilan électrique d'un capteur solaire à air double passe	48
II.7 Conclusion	49

Résultats de Simulation et discussions d'un capteur solaire à air double passe muni des ailettes.....	50
Chapitre III.....	51
III.1. Introduction	51
III.2. La méthode des différences finies	52
III.2.1. Etapes de la méthode des différences finies	52
III.3. La méthode des éléments finis	52
III.4. La méthode des volumes finis (MVF).....	52
III.5. Principe de la méthode des volumes finis	53
III.5.1. Distribution des volumes de contrôle	53
III.5.2. Présentation du code de calcul	55
III.5.3. Pré - processeur GAMBIT.....	56
III.5.5. Post-processeur FLUENT	58
III.6. Résolution numérique.....	58
III.6.1. Paramètre de contrôle de la convergence	58
III.6.2. Critère de convergence	58
III.3.3. Géométrie du problème	59
III.3.3.3. Choix du maillage	60
III.5.3. Validation du modèle numérique	61
III.6. Résultats	62
III.6.1. Profils de vitesse axiale dans des sections particulières du canal rectangulaire.....	63
III.6.2. Effets de la variation du nombre de Reynolds sur la vitesse de l'écoulement.....	65
III.6.3. Effets de la variation du nombre de Reynolds sur le coefficient de friction local.....	67
III.7. Aspect thermique.....	69
III.7.1. Profil de température totale dans des sections différentes.....	69
III.8. Rendement du capteur solaire double passe muni des ailettes	71
III.8. Conclusion.....	72
Conclusion générale	73
Conclusion Générale	74
.....	76
Recherche Bibliographique.....	76
Bibliographie	77

Liste des Figures

Figure 1. Spectre du rayonnement solaire.	20
Figure 2. Rayonnement solaire reçu par la terre.	21
Figure 3. Composition d'un spectre électromagnétique.	22
Figure 4. Le pyrhéliomètre mesurer les rayons directs.	23
Figure 5. Pyranomètre avec double	24
Figure 6. Albédo-mètre.	25
Figure 7. Pyranomètre.	26
Figure 8. Composants du rayonnement soleil au sol.	26
Figure 10. Les composants principaux d'un capteur solaire à air.	28
Figure 11. Capteur solaire simple passe.	29
Figure 12. Schémas d'un capteur solaire à air double passe.	30
Figure 13. Types d'absorbeur perméable.	31
Figure 14. Différents Types d'absorbeur.	31
Figure 15. Chauffage et climatisation des habitations.	32
Figure 16. Séchage solaire.	33
Figure 17. Capteur solaire à air montée en série pour assurer le chauffage d'une serre horticole en verre.	33
Figure 18. Présentation schématique des transferts thermiques [21].	37
Figure 19. Circuit thermique équivalents.	48
Figure 20. Volume de contrôle pour la résolution.	54
Figure 21. Schéma deux dimensionnel illustrant un volume élémentaire entourant un nœud P.	54
Figure 22. Volume de contrôle pour la résolution en volumes finis.	55
Figure 23. Structure de base du code "FLUENT".	58
Figure 24. Domaine d'étude.	59
Figure 25. Influence du maillage sur la vitesse axiale.	60
Figure 26. Validation des résultats numériques, expérimentaux et théoriques de Sopian et al.	61
Figure 27. Contour de la vitesse axiale pour différente hauteur h=0.0254m et h=0.0580m.Re=2×10⁴	62
Figure 28. Contour de la vitesse axiale pour différente hauteur h=0.0254m et h=0.0580m.Re=2×10⁴ e=0.0254m les ailettes épais.	63

Figure 29. Profils de vitesse axiale adimensionnelle en amont en aval d'un capteur solaire double passe	63
Figure 30. Profils de vitesse axiale adimensionnelle en amont en aval d'un capteur solaire double passe pour des ailettes épais	64
Figure 31. Profils de la vitesse axiale à ($x=0.6095$ m), pour les deux hauteurs d'ailettes traitées ($h=0.0254$ m et $h=0.0508$ m) avec épaisseur mains et épais.....	65
Figure 32. Effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils de la vitesse axiale du capteur solaire double passe, ($x=0.6095$ m $h=0.0254$ m et $e=0.00635$ m). ...	66
Figure 33. Effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils de la vitesse axiale du capteur solaire double passe, ($x=0.6095$ m $h=0.0508$ m et $e=0.00635$ m). ...	66
Figure 34. Effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils de la vitesse axiale du capteur solaire double passe, ($x=0.6095$ m $h=0.0508$ m et $e=0.0254$ m).	67
Figure 35. Variation du coefficient de friction le long des parois vitrage et de l'absorbeur pour ($Re=10000$ $h=0.0254$ m $e=0.00635$ m)	68
Figure 36. Variation du coefficient de friction la longueur du l'absorbeur pour ($Re=20000$ $h=0.0254$ m, $h=0.0508$ m $e=0.00635$) et ($h=0.0508$ m $e=0.0254$ m).	68
Figure 37. Distribution de champ de température totale, pour les trois cas étudiés ($h=0.0254$ m, $h=0.0508$ m avec $e=0.00635$ m) et ($h=0.0508$ m $e=0.0254$ m)	69
Figure 38. Profils de la température totale en amont des premières ailettes transversal ($x_1=0.6095$ m, $x_2=0.7012$ m, $x_3=0.9143$ m, $x_4=1.0685$ m ;) pour la formes d'ailette traitées.....	70
Figure 39. Profils de la température totale en amont et en aval de la première chicane ($x_1=0.6095$ m ; $x_2=1.0685$ m) pour différente hauteur et épaisseur d'ailette traitée. ...	71
Figure 40. Rendement en fonction du débit.....	71

Liste des Tableaux

Tableau 1. Albédo solaire de différentes surfaces.	25
Tableau 2. Les stations automatiques qui mesurent le rayonnement.	27
Tableau 3. Les différents coefficients et le terme source S	45
Tableau 4. Tableau du maillage de test.	61

Table des symboles

Symbols	Notation	Unité
D	Diamètre	m
T	Température	K
T _v	Température de la vitre	K
T _f	Température du fluide	K
T _a	Température d'air	K
T _c	Température de la conduction	K
T _{ab}	Température d'absorbeur	K
T _p	Température de la plaque	K
l	Largeur	m
L	longueur	m
t	Temps	s
e	épaisseur	m
Q	Densité de flux	W.m ³
Q _c	Flux conductif	W.m ³
Q _r	Flux radiatif	W.m ³
Q _m	Débit massique	Kg.s ⁻¹
v	Vitesse	m.s ⁻¹
V _f	Vitesse du fluide	m.s ⁻¹
C _p	Chaleur massique	J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹
h	Coefficient d'échange convectif	W.m ⁻² .K ⁻¹
h _k	Coefficient d'échange convectif du composant k	W.m ⁻² .K ⁻¹

h_{arri}	Coefficient d'échange convectif du plaque arrière	$W.m^{-2}.K^{-2}$
λ	Conductivité thermique	$W.m^{-1}.K^{-1}$
λ_{ab}	Conductivité thermique d'absorbeur	$W.m^{-1}.K^{-1}$
λ_{ail}	Conductivité thermique d'ailette	$W.m^{-1}.K^{-1}$
ρ	Masse Volumique	$Kg.m^{-3}$
ρ_k	Masse volumique du composant k	$Kg.m^{-3}$
μ	Viscosité	$Kg.m^{-1}.s^{-1}$
τ	Coefficient de transmission	$W.m^{-2}.K$
Γ	Capacité thermique	$J.mol^{-1}.K^{-1}$
σ	Constante de Stephan Boltzmann	$W.m^{-2}.K^{-4}$
\emptyset	Puissance	W
S	Surface	m^2
n	Nombre de séries	
N	Nombre d'ailettes	
N_u	Nombre de Nusselt	
P_r	Nombre de Prandlt	
R_e	Nombre de Reynolds	
α	Coefficient d'absorption	
ε	Emissivité thermique	
ε_{ab}	Emissivité thermique d'absorbeur	
ε_p	Emissivité thermique de la plaque	
η	Rendement	
δ	Erreur d'estimation	
\mathcal{F}	Facteur de forme	

ملخص

بشكل عام، جامع الطاقة الشمسية مزدوج المرور مع الزعانف لديه القدرة على تحسين كفاءة جمع الحرارة مقارنة بمستشعر المرور الواحد بالزعانف. تزيد الزعانف من سطح التبادل الحراري للسائل والمتشعب. لذلك، يمكن لجهاز الاستشعار التقاط المزيد من الطاقة الحرارية من الإشعاع الشمسي، مما يحسن الأداء العام للنظام. ومع ذلك، من المهم ملاحظة أن الكفاءة الفعلية لجامع شمسي معين ستختلف حسب العوامل المذكورة أعلاه. لذلك، يوصى باستشارة الدراسات التجريبية لتقييم كفاءة جامع شمسي معين أو مقترح بدقة.

الكلمات المفتاحية: الجامع الشمسي مزدوج التمرير، زعانف، سطح التبادل الحراري، الإشعاع الشمسي.

Résumé

Dans l'ensemble, un capteur solaire à double passage avec ailettes a le potentiel d'améliorer l'efficacité de la collecte de chaleur par rapport à un capteur à simple passage muni des ailettes. Les ailettes augmentent la surface d'échange thermique du fluide et le collecteur. Par conséquent, le capteur peut capturer plus d'énergie thermique du rayonnement solaire, ce qui améliore les performances globales du système. Cependant, il est important de noter que l'efficacité réelle d'un capteur solaire spécifique variera en fonction des facteurs susmentionnés. Par conséquent, il est recommandé de consulter des études expérimentales pour évaluer avec précision l'efficacité d'un capteur solaire particulier ou proposé.

Mots clé : capteur solaire à double passage, ailettes, surface d'échange thermique, rayonnement solaire.

Abstract

Overall, a dual-pass solar collector with fins has the potential to improve the efficiency of heat collection compared to a single-pass sensor with fins. The fins increase the heat exchange surface of the fluid and the manifold. Therefore, the sensor can capture more thermal energy from the solar radiation, which improves the overall performance of the system. However, it is important to note that the actual efficiency of a specific solar collector will vary depending on the above factors. Therefore, it is recommended to consult experimental studies to accurately assess the efficiency of a particular or proposed solar collector.

Key words: dual-pass solar collector, fins, heat exchange surface, solar radiation.



Introduction générale

Introduction générale

Il est bien connu depuis plus d'un siècle, que les scientifiques se penchent sur l'étude des écoulements avec transfert de chaleur par différents modes de convection (naturelle, forcée et mixte). Celles-ci, s'impliquant dans de nombreux phénomènes naturels ou processus industriels. Parmi les différents domaines industriels où l'on trouve leur application on peut citer, par exemple, les processus de dépôt de vapeurs chimiques, ainsi que le refroidissement des réacteurs nucléaires et des systèmes électroniques.

Les transferts thermiques ont servi à limiter les contraintes dans la conception et le fonctionnement des équipements utilisés dans une variété d'industries et récemment dans l'industrie électronique. Au cours des deux dernières décennies, l'étude de transfert de chaleur sur les sources discrètes de chaleur est devenue un sujet de grand intérêt en raison des progrès dans l'industrie électronique.

La thermodynamique nous a montré qu'elle est essentiellement basée sur deux principes mesurant la variation d'énergie entre un état initial et un état final. Dans la majorité des cas, cette variation est due à des échanges de travail et thermique (chaleur). Pratiquement, le travail s'applique sur les fonctions d'états qui ont la propriété de ne dépendre que des états initial et final. Ainsi on n'étudie pas la nature et la durée de l'interaction du système avec l'extérieur qui est à l'origine de la variation de l'état du système. Lorsqu'on parle de « transferts thermiques », on cherche à expliquer la façon dont les transferts de chaleur se font ainsi que leur vitesse.

Le second principe de la thermodynamique spécifie que le transfert de chaleur se fait du corps chaud vers le corps froid, ou de façon équivalente d'une température élevée vers une température plus basse. Le système ne sera donc pas en équilibre thermique durant le transfert. L'approche qu'on va poursuivre est essentiellement phénoménologique, c'est à dire d'origine expérimentale, et macroscopique. Ainsi on parle de transfert thermique pour décrire un échange de chaleur lié à une différence de température. Plusieurs modes de transfert vont être étudiés mais dans tous les cas on peut définir la puissance transmise entre deux points de températures différentes $T_1 > T_2$. [1]

Le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes dès qu'existe entre eux une différence de température et cela quel que soit le milieu, (même le vide), qui les sépare. De ce fait, les transferts thermiques ont, aussi bien dans le domaine des sciences pures que dans celui des applications technologiques, un rôle souvent essentiel. Ce rôle devient même déterminant lorsqu'il est à l'origine des techniques utilisées (échangeurs, moteurs thermiques, utilisation de l'énergie solaire, ...).

Dans l'étude du transfert thermique, on distingue trois modes de transmission de la chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement. Le premier phénomène, la conduction, a lieu dans les solides. La convection se rencontre spécialement dans les fluides. L'apport de chaleur par rayonnement peut avoir lieu dans tous les milieux transparents aux ondes électromagnétiques.

Le rayonnement est le transfert d'énergie électromagnétique d'un milieu à haute température vers un autre milieu à basse température sans aucun support matériel (il peut s'effectuer dans le vide). En général, tout corps opaque ou partiellement opaque porté à une température supérieure à zéro Kelvin rayonne de l'énergie dans toutes les directions. Cette énergie est transportée sous forme d'une onde électromagnétique dont la propagation n'exige pas du support matériel. Ce type de transport de chaleur est analogue à la propagation de la lumière et il ne nécessite aucun support matériel, contrairement aux écoulements. Les gaz, les liquides et les solides sont capables d'émettre et d'absorber les supports matériels.

Le travail présenté dans ce mémoire vise une étude des performances d'un capteur solaire double passe à air muni des ailettes ondulées.

Pour mener à bien ce travail, trois chapitres ont été proposés :

- Le premier chapitre concerne une présentation générale de rayonnement solaire, et les capteurs solaires à air.
- Le deuxième chapitre est dédié à une présentation des équations de bilan thermique des différents éléments du capteur solaire à air double passe. Les résultats issus de la résolution numérique de ce modèle implémenté dans un code Fortran, seront comparés avec ceux obtenus avec le logiciel GAMBIT.
- Enfin, le troisième chapitre est consacré à la simulation numérique et l'interprétation des résultats.

**Généralités sur
rayonnement solaire et
les capteurs solaires à air**

les capteurs solaires à air

Chapitre I

I.1 Introduction :

L'énergie solaire est la plus populaire dans le monde car elle dépend d'une source permanente et gratuite, peut être utilisée dans plusieurs domaines comme source énergie. Elle peut être exploitée dans la production d'énergie électrique grâce à des panneaux photovoltaïques, elle peut être exploitée en énergie thermique pour le chauffage, le refroidissement et le séchage grâce à des capteurs solaire thermiques. La technologie solaire offre un grand potentiel en matière de fourniture des besoins énergétiques de la planète. Cependant, l'utilisation de cette énergie reste dans le monde encore limité et coûteux. Le facteur principal est lié au coût initial élevé de la construction du système.

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique émis par le soleil qui peut être capté et transformé en énergie utile, telles que la chaleur et l'électricité, en utilisant une variété de technologies. Toutefois, la faisabilité technique et le fonctionnement économique de ces technologies à un endroit précis dépend de la ressource solaire disponible.

L'introduction d'un capteur solaire à air double passe joue un rôle crucial dans l'efficacité et les performances globales du système. Un capteur solaire à air double passe est

conçu pour collecter l'énergie solaire et transférer cette chaleur à un flux d'air circulant à travers le capteur. Lorsque le flux d'air passe à travers le capteur, il absorbe la chaleur du rayonnement solaire, ce qui le réchauffe et permet ensuite de l'utiliser à des fins de chauffage ou de ventilation.

Cependant, pour optimiser le fonctionnement d'un capteur solaire à air double passe, des améliorations peuvent être apportées. Ces améliorations visent à augmenter l'efficacité de collecte de chaleur, à minimiser les pertes de chaleur et à optimiser le transfert de chaleur du capteur au système de distribution.

Il existe différentes méthodes pour améliorer les performances d'un capteur solaire à air double passe, telles que l'utilisation de revêtements sélectifs, l'isolation thermique adéquate, la réduction des pertes par convection, l'utilisation de fluides caloporteurs, le contrôle de la circulation d'air, le nettoyage régulier des surfaces d'absorption, l'orientation et l'inclinaison optimales du capteur, ainsi que le surdimensionnement du système pour une production de chaleur plus constante.

En mettant en œuvre ces améliorations, on peut améliorer considérablement l'efficacité et les performances d'un capteur solaire à air double passe, ce qui permet une utilisation plus efficace de l'énergie solaire et une réduction des coûts énergétiques.

I.2 Source de l'énergie solaire :

La principale source d'énergie est le soleil, c'est une étoile du système solaire la plus proche de la terre qui est située à une distance d'environ 150 millions de kilomètres de la terre, le soleil libère d'énormes quantités d'énergies qui, après avoir parcouru cette distance atteignent la surface de la terre, il produit un rayonnement qui peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un corps noir à 5800°k.

Ce rayonnement émis par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques, et reste environ 8 minute à nous atteindre. Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, Les 98% de l'énergie émise se situent dans la bande de longueur d'onde comprise entre 0.25 et 3 μm .^[2]

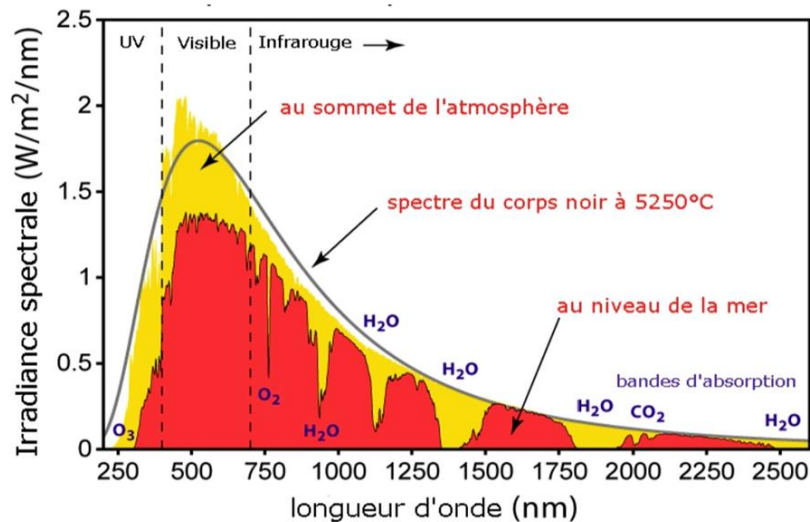


Figure 1. Spectre du rayonnement solaire.

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie appelée éclairage énergétique, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques.[2]

I.2.1 Principe des centrales solaires thermodynamiques :

L'énergie solaire est une ressource dont une majeure partie reçue par la terre, 1361 W/m² en entrée dans l'atmosphère, est absorbée par l'atmosphère, ou réfléchi, mais dont une quantité très importante atteint néanmoins la surface terrestre (Figure. 2), à savoir en moyenne 1 W/m² sans prendre en compte les nuages (Figure. 1). Toutefois, le rayonnement atteignant la surface terrestre est dilué et ne se répartit pas de façon égale. De plus, les radiations sont réparties sur tout le spectre électromagnétique, et presque la moitié est dans l'infrarouge (Figure. 1). C'est pourquoi le rayonnement doit être concentré pour que son énergie puisse être exploitée. Dans cette logique, on remarquera également que seul le rayonnement solaire direct (DNI : Direct Normal Irradiation) est exploitable pour une utilisation de chaleur à haute température produite par concentration optique du rayonnement.[3]

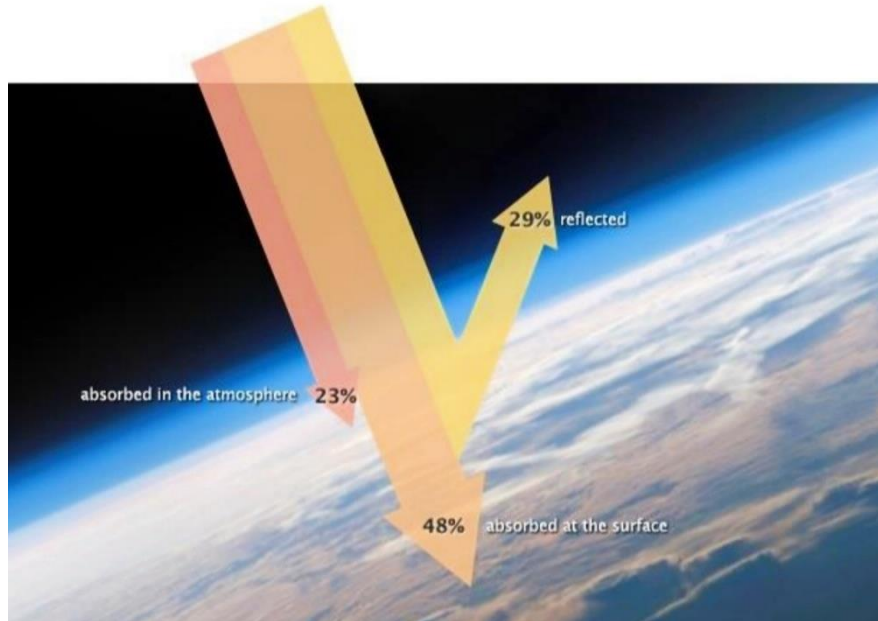


Figure 2. Rayonnement solaire reçu par la terre.

I.2.2 Composition des rayons de soleil :

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface extérieure dont la température est d'environ 6000 °K. A une telle température, 40% de l'énergie est émise dans le domaine visible (gamme de longueur d'onde allant de 0,3 μm (violet bleu) à 0,7 μm (rouge). La décomposition du rayonnement solaire peut être réalisée en projetant un faisceau lumineux sur un prisme de verre ou sur un réseau de diffraction. Tout un éventail de couleurs apparaît, du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune.[4]

Chacune de ces couleurs est associée à un rayonnement d'une certaine longueur d'onde. William Herschell (Vers 1800) qui étudiait le rayonnement solaire, avait placé un thermomètre derrière un tel prisme. Il s'aperçut qu'il indiquait une élévation de température (et donc qu'il recevait de l'énergie) non seulement dans le domaine visible mais également dans la région au- delà du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui représente 50% du rayonnement émis par le soleil. Les 10% restant du rayonnement solaire total sont émis à l'opposé du domaine visible, à des longueurs d'onde plus petites que celles du violet (l'ultra-violet). [4]

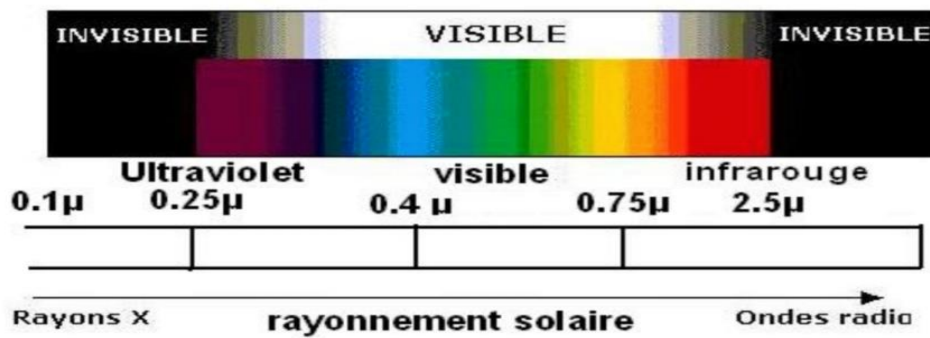


Figure 3. Composition d'un spectre électromagnétique.

La lumière décrite par le spectre électromagnétique comme une onde qui a une longueur d'onde particulière. Aujourd'hui, la nature de cette lumière soit l'ondulatoire ou corpusculaire étaient expliqués par la mécanique quantique. La mécanique quantique, définit le photon comme toutes les autres particules de la mécanique quantique comme les électrons, protons etc., est plus exactement la photo comme un "paquet d'onde", ce paquet d'ondes est défini comme des ondes qui peuvent interagir d'une manière qui les rend spatialement localisée (de la même façon comme une onde carrée qui résulte de l'addition d'un nombre infini d'ondes sinusoïdales), ou peuvent alternativement apparaître simplement comme une vague.

I.3 Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est de très loin la principale source d'énergie naturelle de la Terre. Les autres sources : flux de chaleur géothermique généré par l'intérieur de la Terre, radioactivité naturelle et rayonnement cosmique, sont toutes négligeables au regard du rayonnement solaire. Leur somme représente moins de 1% du rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire est une influence primordiale sur de très nombreux phénomènes, naturels ou non, ainsi que sur d'autres aspects de la vie et de la société humaine. Le climat en est un premier exemple. Le rayonnement solaire apporte de la chaleur aux objets, comme une pièce vitrée, les parois d'un bâtiment, une carlingue d'avion, etc. Il en résulte une augmentation de la température intérieure, ce qui peut être agréable et apporter un confort supplémentaire. Mais, si le rayonnement est trop intense et la température trop élevée, et si l'objet a été mal conçu au regard du bilan de chaleur, le résultat peut être néfaste. Le rayonnement solaire permet la croissance des plantes par photosynthèse, qui est une conversion du rayonnement en énergie chimique. Grâce à ce processus bioénergétique, les organismes synthétisent de la matière organique.

Le rayonnement solaire participe à la décomposition des composés chimiques, ce qu'on appelle la photolyse. La photolyse se produit continuellement dans la partie basse de l'atmosphère, y compris au niveau du sol. Elle transforme des polluants atmosphériques, dits primaires comme les hydrocarbures et les oxydes d'azote (NOx), en ozone et autres composés oxydants. Ces polluants, dits secondaires, ont des effets néfastes sur la santé humaine et sur les végétaux. Les fluides caloporteurs dans les panneaux solaires thermiques sont réchauffés par le rayonnement solaire. La chaleur ainsi générée est utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire ou pour le chauffage, dans l'habitat.[5]

I.4 Les différents types de rayonnement solaire :

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé vers le sol, On distingue plusieurs composantes :

I.4.1 Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est défini comme le rayonnement provenant du disque solaire sans exposition à la diffusion dans l'atmosphère, mais sa direction est constante et reçu directement sur une surface terrestre sans rencontre d'obstacle ou des parois. Surtout les nuages car ils sont le plus grand obstacle au rayonnement solaire. L'instrument qui mesure ce type de rayonnement est appelé pyréliomètre. Il installe de façon que sa surface réceptrice

Soit orientée perpendiculairement aux rayons solaires, sur un support à la hauteur d'un mètre et demi du sol. Son axe de rotation doit être parallèle à celui de la terre.

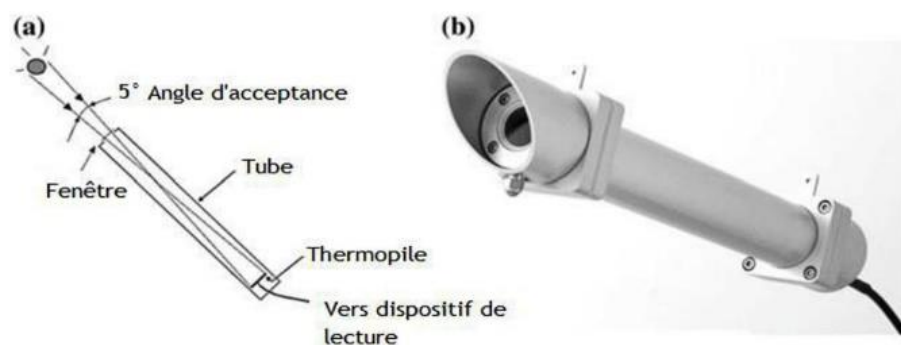


Figure 4. Le pyréliomètre mesurer les rayon directs.

I.4.2 Le rayonnement diffuse :

Le rayonnement diffusé est défini comme le rayonnement qui a été diffusé dans l'atmosphère. Et cela se produit lorsque le rayonnement frappe de petits corps dans

l'atmosphère tels que des gouttelettes d'eau, des particules d'air, des cristaux de glace ou des aérosols, ce qui entraîne la dispersion du rayonnement solaire dans différentes directions. C'est le rayonnement parvenant de toute la voûte céleste à l'exception du disque solaire. Il s'agit du rayonnement de l'atmosphère dont la longueur d'ondes varie de 0.3 à 5 microns, , reçu sur une surface horizontale.



Figure 5. Pyranomètre avec double

Les molécules d'air sont beaucoup plus petites que les longueurs d'onde de la lumière visible qui les frappent. Par conséquent, plus de longueurs d'onde bleues et plus courtes de la lumière sont diffusées que les longueurs d'onde rouges et plus longues de la lumière. C'est la raison pour laquelle le ciel apparaît bleu pendant la journée. L'instrument qui mesure ce type de rayonnement est appelé pyranomètre.

I.4.3 Le rayonnement réfléchi (albédo) :

Le rayonnement réfléchi est la composante de l'éclairement qui est réfléchi par le sol. Cette composante dépend essentiellement de la couleur de la surface réfléchissante intervenant dans la quantité du rayonnement réfléchi. Nous mesurons le rayonnement réfléchi à l'aide d'un Pyranomètre de façon que son organe sensible soit orienté vers le sol ou vers la surface émettrice. La fraction (ou le pourcentage) de rayonnement réfléchi appelée albédo. L'albédo varie considérablement d'un endroit à un autre sur Terre, selon le type de surface (par exemple, terre ou eau), l'étendue de la couverture de neige ou de végétation et l'angle du rayonnement solaire entrant. Les glaciers et les calottes glaciaires ont des albédos élevés, reflétant 80% à 90% du rayonnement atteignant leurs surfaces. L'albédo des nuages varie en fonction de leur épaisseur, avec un albédo moyen de 55 %. L'eau reflète une petite quantité de rayonnement solaire.



Figure 6. Albédo mètre.

On représente quelque valeur de L'albédo selon la surface du sol :

Tableau 1. Albédo solaire de différentes surfaces.

Surface	Albédo solaire
Mer chaude	0,05
Lune	0,07
Forêt tropicale	0,12
Mer froide	0,15
Pierre, ciment, sol cultivé	0,15 à 0,25
Herbe verte	0,25
Sable clair	0,37
neige tassée	0,60
Vénus	0,64
Neige fraîche	0,85
Nuage	0,80

I.4.4 Le rayonnement solaire global :

C'est l'énergie rayonnante totale de soleil qui atteint une surface de la terre, il est aussi le rayonnement solaire parvenant de la voûte céleste et du disque solaire sous un angle solide L reçu sur un plan horizontal. Il est appelé aussi irradiation. Il est mesuré avec un radiomètre (pyranomètre), qui est un instrument composé de disque blanc et deux coupelles fabriqués en verre installés à la tête d'instrument. Il est la somme des différents composants du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus.



Figure 7. Pyranomètre.

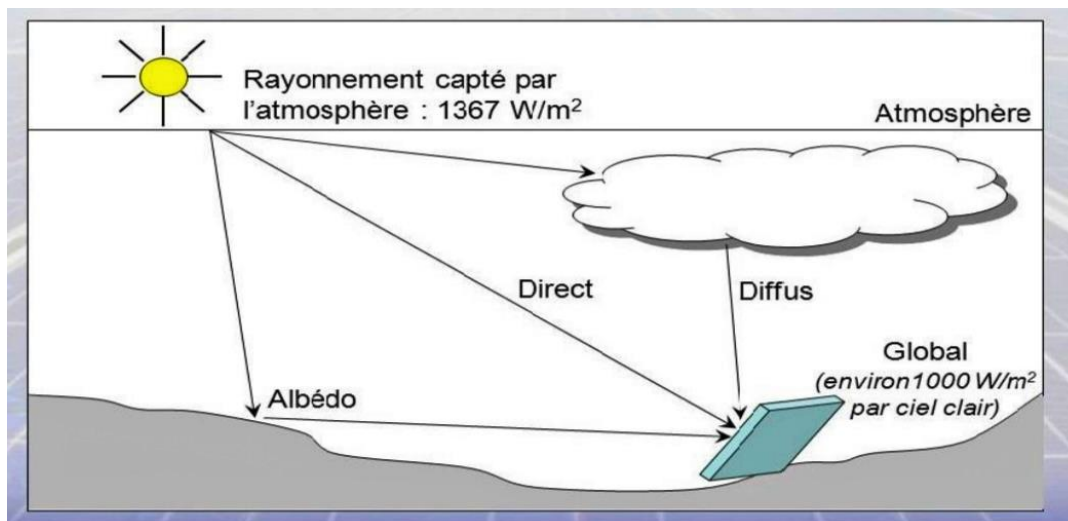


Figure 8. Composants du rayonnement de soleil au sol.

I.5 Le réseau météorologique Algérien :

La mesure du rayonnement solaire en Algérie est réalisée par l'Office National de la Météorologie (O.N.M) à travers son réseau constitué de quatre-vingt et une (81) stations météorologiques mesurant la durée d'insolation. Parmi celles-ci, seules sept (07) stations ont assuré entre les années 1970 et 1989 la mesure des composantes diffuses et globales reçues sur le plan horizontal. De plus, ces séries de mesures comportent des données manquantes causées par des périodes plus ou moins longues de non fonctionnement des appareils de mesure. Les informations récoltées en 2011 indiquaient que seules trois (03) stations à savoir Oran, Tamanrasset et Ksar Chellala assuraient d'une manière régulière la mesure du rayonnement solaire sur le plan horizontal. Huit autres stations automatiques mesurent le rayonnement depuis 2009 et qui sont : Alger (aéroport), Oran (Sénia), In amenas, Ghardaïa, Annaba, Tamanrasset, Tlemcen et Constantine.[6]

Tableau 2. Les stations automatiques qui mesurent le rayonnement. [6]

Station	Lat(degrés minutes)	Lon(degrés minutes)	Alt(m)
Alger (Dar el Beida)	36°43	3°15E	25
Annaba	36°50	7°49E	3
Oran	35°16	00°38W	90
Tlemcen Zenata	35°01	01°27W	249
Ghardaïa	32°24	3°48E	468
Tam (aéroport)	22°48	05°27E	1362
Ain Amenas	28°03	09°38E	561
Constantine	36°17	06°37E	694

I.6 Généralités sur les capteurs solaires thermiques :

Les capteurs solaires thermiques (ou capteur héliothermique ou collecteur solaire) sont des outils ou des dispositifs utilisés pour convertir l'énergie solaire transmise par rayonnement à chaleur utilisable par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (gaz ou liquide). Cette énergie calorifique peut ensuite être utilisée pour le chauffage de bâtiments, pour la production d'eau chaude sanitaire ou encore dans divers procédés industriels.

Le premier panneau solaire a été construit en 1954 par les laboratoires Bell. Il a été appelé batterie solaire mais c'était juste un effet d'annonce car il était trop coûteux à produire. Ceux sont les satellites qui ont réellement fait avancer l'énergie solaire dans les années 1960 lors de la course à l'espace. [7]

I.7 Capteurs solaires à air :

Le capteur solaire à air, convertit l'énergie d'irradiation solaire en énergie thermique pour les fluides (l'air, MCP, ...etc.) dans les applications solaires thermiques. Pour les applications solaires thermiques, l'irradiation solaire est absorbée par un collecteur solaire sous forme de chaleur qui est ensuite transférée dans le fluide de travail (air, eau ou huile). La chaleur transportée par le fluide de travail peut être utilisée soit pour fournir de l'eau chaude domestique/ chauffage, soit pour charger un réservoir de stockage d'énergie thermique à partir duquel la chaleur peut être absorbée pour une utilisation ultérieure (la nuit ou les jours nuageux). L'objectif principal étant de collecter le maximum d'énergie solaire à un coût Minimum. La Figure 5 ci-dessous présente les composants principaux d'un capteur solaire à air. [8]

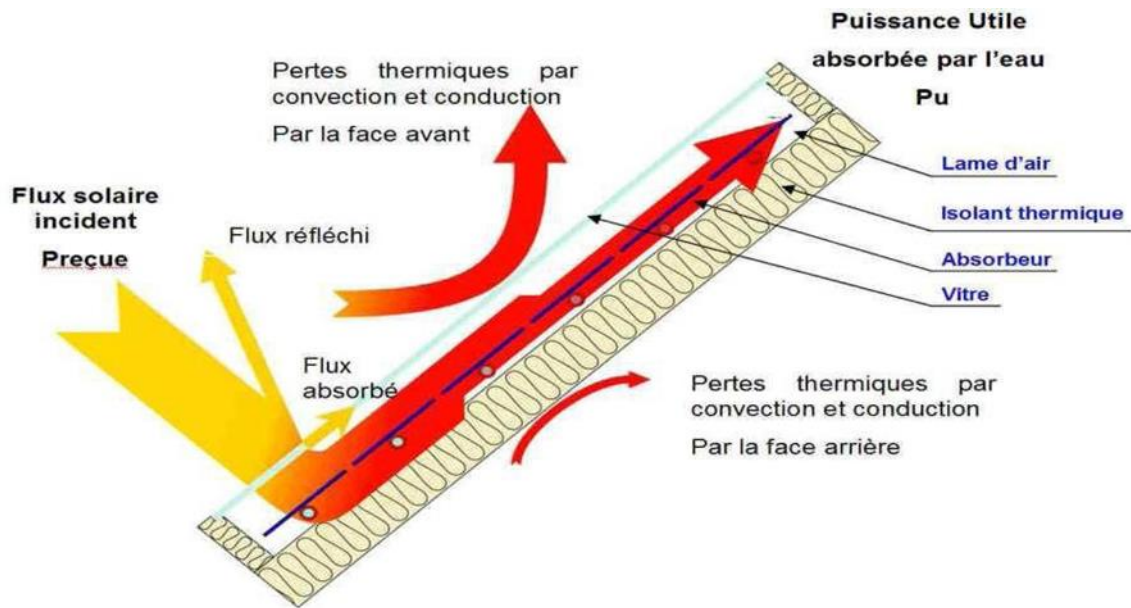


Figure 10. Les composants principaux d'un capteur solaire à air.

I.7.1 Différents types des capteurs solaires plans à air :

Les types de capteurs solaires sont très divers même si leur composition reste approximativement le même. On distingue cinq catégories de capteurs plans à air :

- 1- Capteur solaire simple passe.
- 2- Capteur solaire plan double passe.
- 3- Capteurs à absorbeur plan.
- 4- Capteurs à absorbeur perméable.
- 5- Capteurs à absorbeur à géométrie variable.

I.7.1.1 Capteur solaire simple passe :

Capteur solaire simple passe est un type des capteurs solaires à air le plus courant et le plus simple. Ce type des capteurs solaires se compose principalement d'un canal d'écoulement d'air, d'un couvercle transparent, d'un absorbeur et d'un matériau isolant au bas de l'absorbeur, comme illustré à la figure. La plaque d'absorption est placée au bas du canal d'écoulement d'air, et le dessus du canal est recouvert d'une feuille transparente à une ou plusieurs couches, telle que du verre. L'absorbeur est fabriqué à partir d'un matériau hautement conducteur tel que l'aluminium avec des valeurs d'absorption solaire élevées. Généralement, une plaque noire est utilisée pour un taux d'absorption solaire élevé et comme plaque absorbante sélective. Le canal de circulation d'air est isolé sur le fond et les côtés latéraux pour éviter la

perte de chaleur dans l'environnement. Les matériaux d'isolation peuvent être de la laine de verre, de la laine de roche ou du polyuréthane. Le rayonnement solaire traverse le couvercle transparent et est absorbé par la plaque absorbante. La température de la plaque absorbante augmente puisque son fond est isolé. La chaleur est transférée de la plaque absorbante chauffée à l'air circulant dans le canal. Dans le capteur solaire à passage unique à flux unique, il y a une entrée et une sortie pour que l'air entre et sorte directement du canal. C'est pourquoi ce type des capteurs solaires est nommé "single flow single passe".[9]

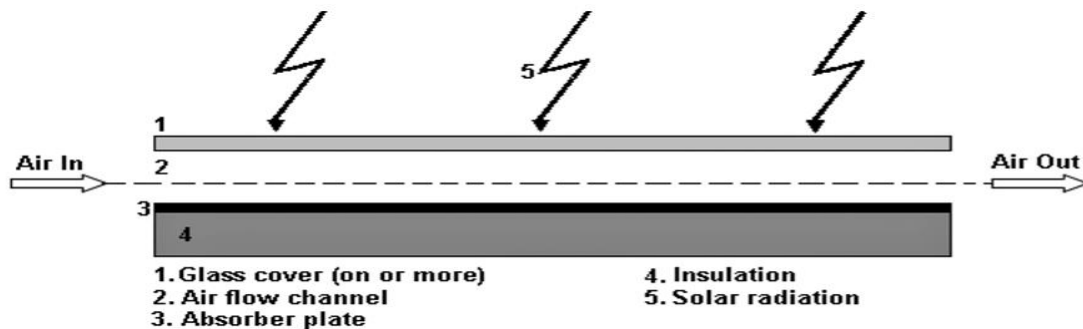


Figure 11. Capteur solaire simple passe.

I.7.1.2 Capteur solaire plan double passe :

Il y a deux canaux de circulation d'air qui se chevauchent dans un capteur solaire à double passe à flux unique. L'air s'écoule du canal supérieur, change de direction à l'extrémité du canal et pénètre dans le canal inférieur. Il coule directement à travers le canal inférieur. C'est pourquoi ce type des capteurs solaires est nommé « simple flux double passe ». Deux constructions différentes d'un capteur solaire à double passe sont rapportées dans la littérature. La figure (a) en illustre une. Comme on peut le voir, il y a deux canaux de circulation d'air qui se chevauchent.

Ces canaux sont séparés les uns des autres par un verre (ou une feuille transparente) et un absorbeur est placé au fond du canal inférieur. L'air s'écoule de la première et de la seconde feuille transparente et est reçu par l'absorbeur. La face inférieure de l'absorbeur est isolée. Dans la deuxième conception, la plaque absorbante est placée comme un séparateur entre les canaux supérieur et inférieur, comme illustré à la figure. Le canal d'écoulement d'air supérieur est formé par le couvercle en verre et la plaque absorbante où le canal d'écoulement d'air inférieur est situé entre la même plaque absorbante et la plaque inférieure isolée.[9].

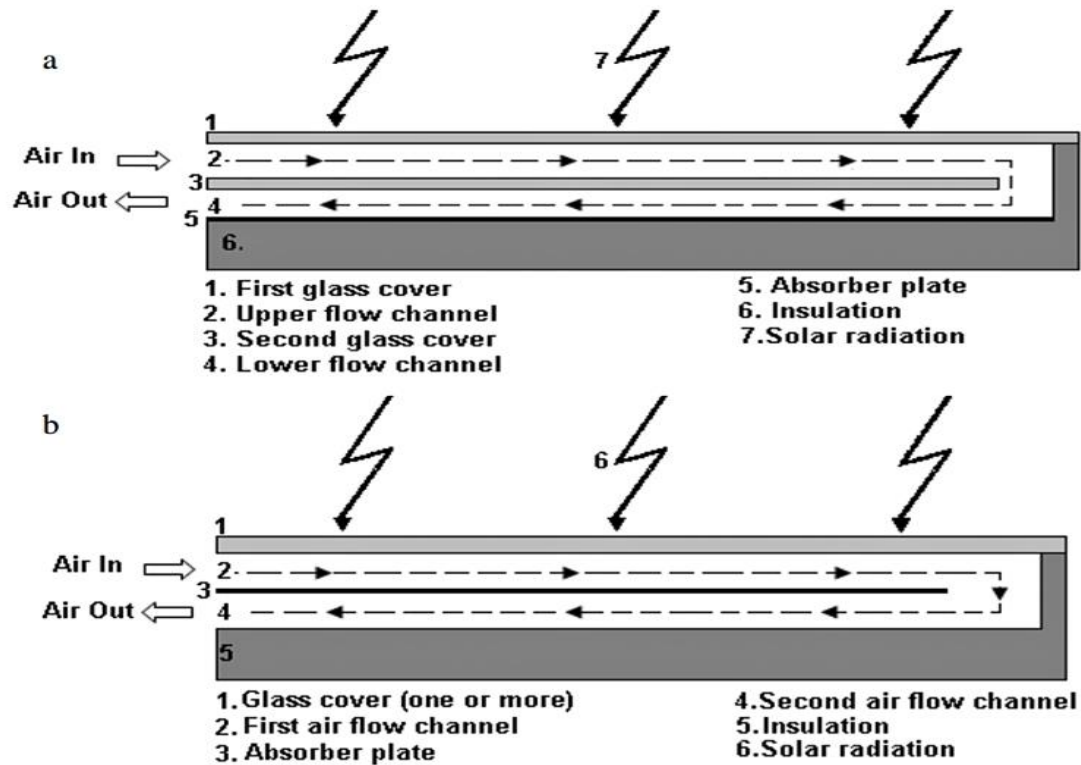


Figure 12 .Schémas d'un capteur solaire à air double passe.

I.7.1.3 Capteur solaire à absorbeur plan : [10]

Pour ce type de capteurs, l'absorbeur est une plaque en tôle plane, leur variété réside dans le nombre de vitres qui les composent et dans le nombre des veines d'écoulement d'air.

I.7.1.4 Les capteurs à absorbeur perméable :

Dans ce type de capteur, l'absorbeur est une matrice perméable. Ainsi l'énergie solaire incidente pénètre dans la masse de l'absorbeur. Le capteur à absorbeur perméable se compose toujours d'un caisson isolé. Dans ce type de capteur, l'air pénètre dans l'espace vitre absorbeur où il commence à s'échauffer par convection sous le vitrage. Ensuite l'air continue de s'échauffer par passage dans la matrice absorbante. [11]

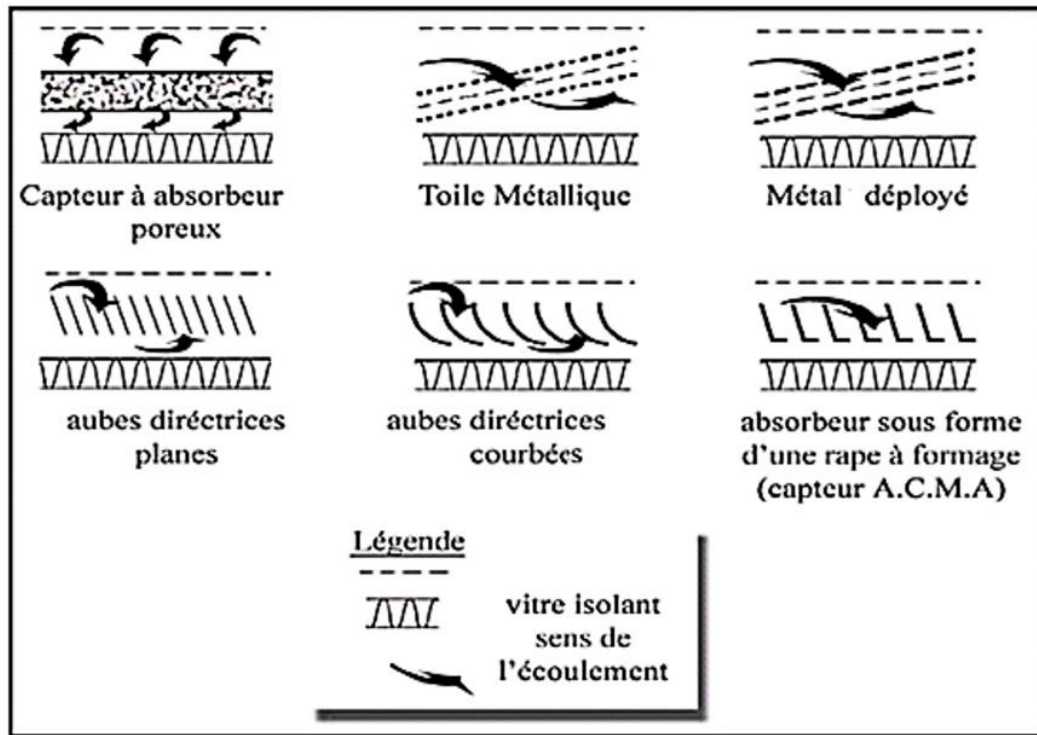


Figure 13. Types d'absorbeur perméable

I.7.1.5 Capteurs à absorbeur à géométrie variable :[12]

Si l'on veut utiliser le vitrage comme une garde pour réduire les pertes de chaleur il faut que le transfert de chaleur ait lieu entre le dos de l'absorbeur et l'air .l'absorbeur constitue alors la paroi frontale du canal d'air et le revêtement intérieur de l'isolation constitue le fond du canal .on peut augmenter la surface d'échange de chaleur soit en donnant un pouvoir émissif élevé au dos de l'absorbeur et à la face interne de l'isolation ,soit en donnant à l'absorbeur une surface striée ou rainurée .Les formes les plus utilisées sont les suivants :

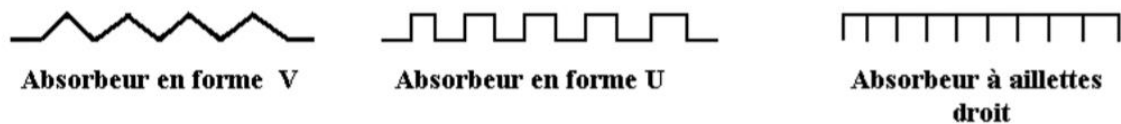


Figure 14. Différents Types d'absorbeur.

I.7.2 Applications des capteurs solaires plans à air : Il y a plusieurs applications de cet Type des capteurs, on mentionne ce qui suit :

I.7.2.1 Chauffages et climatisation des habitations :

À travers le monde, la grande majorité des installations des capteurs solaires sont utilisées pour produire de l'eau chaude sanitaire pour des maisons individuelles. En fin 2012, 78 % des installations en services étaient dédiées à cet usage.

Les capteurs solaires sont aussi utilisés pour des systèmes combinés (eau chaude sanitaire et chauffage de bâtiment), pour le chauffage de piscines, pour des centrales de chauffage solaire, pour des procédés industriels ou encore pour de la climatisation solaire ainsi que le séchage des produits agroalimentaires et biologique. [8]

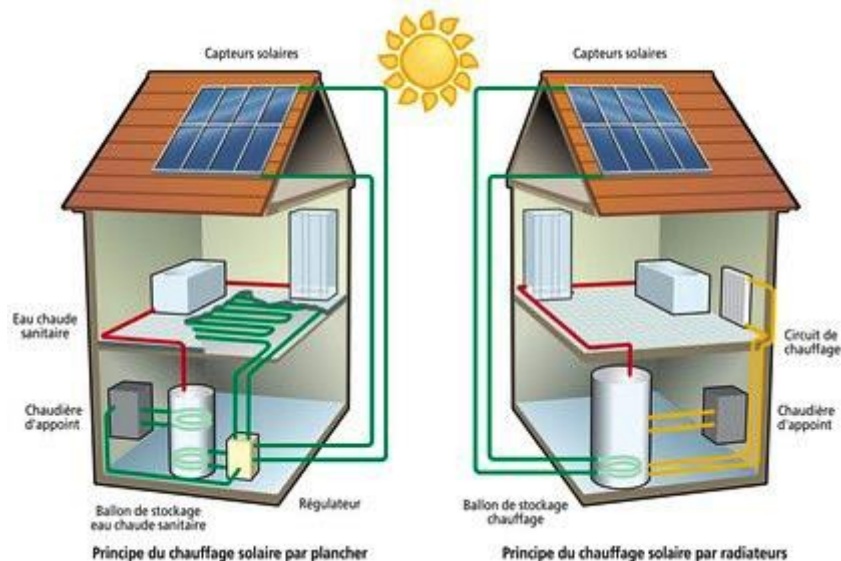


Figure 15. Chauffage et climatisation des habitations.

I.7.2.2 Séchage :

Dans le domaine de l'industrie agro-alimentaire, le séchage est un procédé important dans la transformation des produits alimentaires, mais son inconvénient est qu'il s'agit d'un procédé très consommateur d'énergie, ce qui explique le recours important aux séchoirs solaires directs ou indirects qui dépendent des énergies renouvelables et de l'énergie solaire. Le capteur solaire est un des principaux composants du séchoir solaire type indirect, donc l'amélioration des performances du capteur sert directement à minimiser la durée et le coût des opérations de séchage.

La technologie de séchage est la plus largement utilisée dans les pays en développement afin de conserver davantage de denrées alimentaires comme les céréales, les légumes et les viandes.... Le taux de séchage est contrôlé par les facteurs externes tels que le rayonnement solaire et la température ambiante et des facteurs internes tels que la teneur en humidité initiale et la qualité et la masse de produit.



Figure 16. Séchage solaire.

I.7.2.3 L'agriculture :

Pour satisfaire les conditions requises pour le développement et l'accroissement des plantes sous serres en plastique ou en verre durant les périodes d'Hiver où la température extérieure est très basse. L'utilisation des capteurs solaires plans à air permis de produire de l'air chaud à une température convenable en fonction des conditions environnantes (Fig.12).

Durant la journée, le chauffage de la serre horticole est assuré par un débit d'air provenant directement des capteurs solaires. Par contre, durant la nuit, l'air chaud provient de la chaleur sensible stockée durant la journée, à proximité des serres dans une batterie parfaitement calorifugé, constituée de sable comme galets de pierre, qui emmagasine la chaleur durant la journée ou le soleil est disponible.[13]



Figure 17. Capteur solaire à air montée en série pour assurer le chauffage d'une serre horticole en verre.

I.7.2.4 Production de l'énergie mécanique :

Dans les pays arides, ou dans les régions isolées, il peut être très intéressant de réaliser des installations à partir d'une machine solaire, soit pour pomper l'eau, soit pour une production d'électricité. On peut utiliser un moteur à air chaud dont le principe est le suivant : l'air atmosphérique est comprimé dans un cylindre par un piston et chauffé par l'intermédiaire d'un capteur à air. L'air chauffé, en se détendant, pousse le piston. Celui-ci en revenant comprime l'air dont le reste de chaleur est évacué à une source froide ; et ainsi de suite.[11]

I.8 Conclusion :

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la Terre sous forme de rayonnement électromagnétique afin d'exploiter correctement ce rayonnement, des capteurs solaires ont été produits qui convertissent ces rayonnements en énergie utilisable cette conversion s'effectuant à l'aide d'un fluide caloporteur circulant au travers de ses capteurs, qui est l'air.

Dans ce chapitre, nous avons abordé tout ce qui précède, où nous avons défini le rayonnement et mentionné son principe et ses types, et nous avons également fourni des informations détaillées sur les capteurs solaires à air, qui est le sujet principal de notre mémoire, en particulier les capteurs solaires à air à double passe.

Après ces informations théoriques, nous passerons à l'aspect mathématique de ce type de capteurs solaires, et c'est ce que nous aborderons dans notre prochain chapitre, car nous détaillerons sur le bilan thermique des capteurs solaires à air.

**Etude énergétique d'un
capteur solaire à air
double passe muni des
ailettes**

ailettes

double passe muni des

Chapitre II

II.1 Introduction :

Les écoulements de fluides, que ce soit en régime laminaire ou turbulent, sont décrits par le système d'équations aux dérivées partielles (E.D.P). Ainsi, tous les phénomènes physiques sont régis par ce système formé par les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie qu'il convient de résoudre pour connaître les caractéristiques du champ thermique et dynamique d'écoulement.[14]

Un capteur solaire sera soumis à de nombreuses contraintes climatiques et de fonctionnement tout au long de sa vie. Il est donc nécessaire que ces capteurs ne tombent pas en panne lorsqu'ils rencontrent ces types de contraintes. Les tests de fiabilité et de durabilité ont été conçus pour reproduire les conditions extrêmes les plus probables auxquelles un collecteur sera soumis. Pour l'amélioration du rendement instantané de cet équipement, nous allons étudier dans cette partie du mémoire l'effet de quelques paramètres opérationnels sur la performance du capteur solaire à air.

II.2 Principe de fonctionnement du capteur solaire à air :

Un capteur solaire à air a pour rôle de convertir l'énergie solaire incidente en une énergie thermique à basses et moyennes températures et de la transférer à l'air qui la traverse. Sa technologie repose sur le pouvoir absorbant d'une surface sélective ou non sélective (absorbeur). En absorbant les rayons solaires, l'absorbeur cède à l'air une partie de cette

énergie reçue, et réémet une autre partie dans l'infrarouge. Le meilleur absorbeur est donc une surface fortement absorbante dans le visible et faiblement émissive dans l'infrarouge.

Une couverture alvéolée en polycarbonate est placée au-dessus de l'absorbeur. Celle-ci est transparente aux rayonnements solaires visibles et opaque à l'infrarouge qu'elle absorbe et réémet vers l'absorbeur. Elle permet de piéger les rayonnements entre ce dernier et la couverture et d'augmenter ainsi la température de l'absorbeur. C'est ce qu'on appelle 'effet de serre'. Pour ce qui est de l'isolant latéral et arrière, elle est assurée par des parois recouvertes d'isolants thermiques. Les échanges thermiques entre les constituants du capteur peuvent avoir lieu convection, conduction et rayonnement. Deux types de paramètres de fonctionnement, intérieurs et extérieurs au système, interviennent dans son fonctionnement.[8]

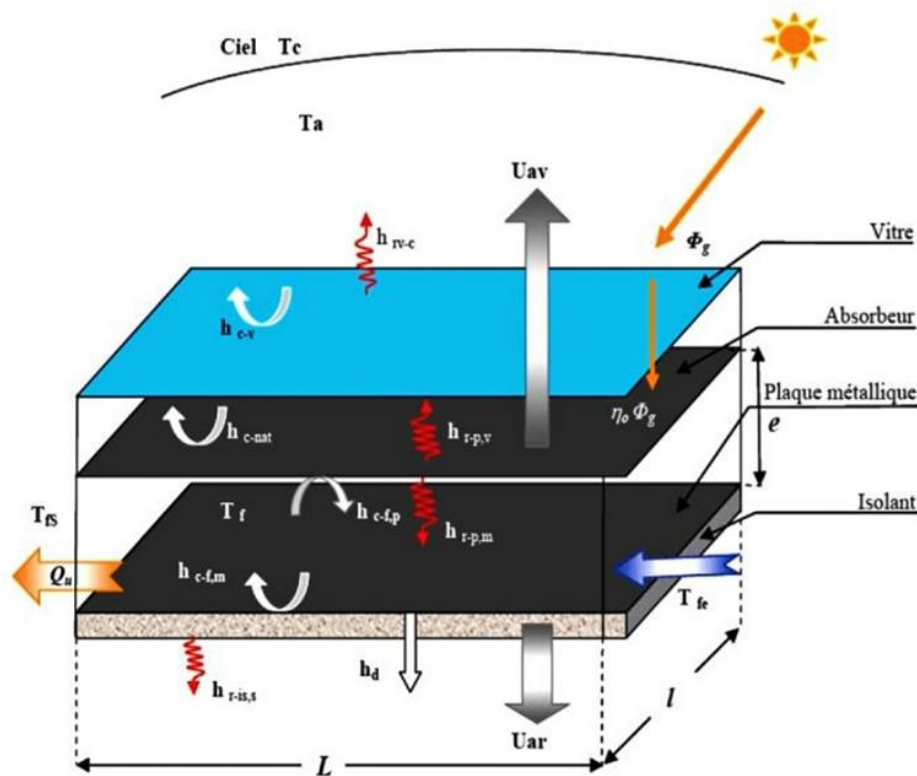


Figure 18. Présentation schématique des transferts thermique [21].

II.3 Équations de bilan thermique du capteur :

Pour chaque composant (k) du capteur solaire plan double passe à air, l'équation générale de bilan thermique peut s'écrire :

$$\rho_k \frac{\partial h_k}{\partial t} + \text{div}(\vec{Q}_c + \vec{Q}_r) = 0 \quad (\text{II.1})$$

L'indice k correspond aux composants du capteur v, f₁, ab, f₂ et i_s. \vec{Q}_c et \vec{Q}_r sont respectivement les vectrices densités de flux conductif et radiatif.

En posant $\rho_k \cdot h_k = \Gamma_k \cdot T_k(x, y, z; t)$, l'équation () s'écrit :

$$\Gamma_k \left\{ \frac{\partial T_k(x, y, z, t)}{\partial t} + \text{div}[\vec{V}_k \cdot T_k(x, y, z; t)] \right\} + \text{div}(\vec{Q}_c + \vec{Q}_r) = 0 \quad (\text{II.2})$$

Avec $\Gamma_k = \rho_k \cdot Cp_k$ la chaleur massique du composant (k).

\vec{V}_k Désigne la vitesse du fluide ; $\vec{V}_k = \vec{0}$ pour les composants solides.

Les paramètres influents sur le fonctionnement du capteur sont de deux natures différentes :

- Les paramètres intrinsèques qui sont les caractéristiques propres du capteur à savoir ses propriétés physiques et géométriques du capteur et celles du fluide caloporteur qui le traverse.
- Les paramètres extrinsèques qui regroupent l'ensemble des conditions clim

II.3.1 Hypothèses simplificatrices :

Les équations de bilan qui seront établies par la suite reposent sur les hypothèses Simplificatrices suivantes :

- Les transferts thermiques latéraux sont supposés négligeables
- Les conductions thermiques verticale et axiale sont supposés négligeables, chaque composant est représenté par une seule température.
- L'écoulement d'air est supposé laminaire, représenté par une vitesse moyenne
- Les coefficients d'échange convectif extérieur et intérieur sont supposés constants sur toute la longueur du capteur.
- Les pertes de charges sont négligées.
- Pour absorber un maximum d'énergie, l'absorbeur est représenté par une tôle d'acier peinte en noir.

II.3.2 Équation bilan thermique du capteur solaire :

- **Au niveau de la vitre (v) :**

La vitre reçoit le rayonnement direct et diffus sur sa face supérieure et échange par convection et par rayonnement avec le milieu ambiant, le fluide caloporteur et l'absorbeur. Son bilan thermique s'écrit :

$$(\rho C_p e)_v \frac{\partial T_v}{\partial t} + h_w(T_v - T_a) - h_{c,v-f}(T_{f_1} - T_v) + \sigma \varepsilon_v(T_v^4 - T_c^4) - \alpha_v G(t) - \sigma F_{v-ab}(T_{ab}^4 - T_v^4) = 0 \quad (II.3)$$

- h_w : coefficient d'échange par effet du vent.

- $h_{c,v-f}$: coefficient d'échange par convection forcée entre la vitre et le fluide caloporteur dans le sens aller.

- σ : constante de Stephan Boltzmann.

- F_{v-ab} : facteur de forme entre la vitre et l'absorbeur :

$$F_{v-ab} = \frac{1}{\frac{1-\varepsilon_{ab}}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{F_{v-ab}} + \frac{1-\varepsilon_v}{\varepsilon_v}} \quad (II.4)$$

- $\alpha_v \cdot G(t)$: rayonnement solaire absorbé par la vitre avec α_v le coefficient d'absorption de la vitre.

- ε_v : émissivité de la vitre.

Avec $F_{v-c} = \varepsilon_v$

F_{v-c} :Facteur de forme entre la voûte céleste, assimilée à un corps noir infini et la surface externe de la vitre définie par :

$$F_{v-c} = \frac{1}{\frac{A}{S_c} \cdot \frac{1-\varepsilon_c}{\varepsilon_c} + \frac{1}{F_{v-c}} + \frac{1-\varepsilon_v}{\varepsilon_v}} \quad (II.5)$$

- **Au niveau du fluide caloporteur (f_1) :**

Le fluide caloporteur (air) échange de la chaleur avec l'absorbeur et la vitre, son équation de bilan s'écrit :

$$(\rho C_p e)_{f_1} \left(\frac{\partial T_{f_1}}{\partial t} + V_f \frac{\partial T_{f_1}}{\partial x} \right) + h_{c,v-f} (T_v - T_{f_1}) - h_{c,ab-f} (T_{f_1} - T_{ab}) = 0 \quad (\text{II.6})$$

$h_{c,ab-f}$: Coefficient d'échange entre le fluide et l'absorbeur

$h_{c,v-f}$: Coefficient d'échange entre le fluide et la vitre.

• **Au niveau de l'absorbeur (ab)**

La principale pièce maîtresse du capteur est l'absorbeur ; il doit absorber un maximum d'énergie afin d'augmenter la température de l'air, son bilan thermique s'écrit :

$$(\rho C_p e)_{ab} \frac{\partial T_{ab}}{\partial t} + h_{c,vf_1-ab} (T_{ab} - T_{f_1}) + \sigma \mathcal{F}_{ab-v} (T_{ab}^4 - T_v^4) - \alpha_{ab} \tau_v G(t) - h_{c,f-ab} (T_{f_2} - T_{ab}) - \sigma \mathcal{F}_{ab-p} (T_p^4 - T_{ab}^4) = 0 \quad (\text{II.7})$$

Avec ;

- $h_{c,f-ab}$: le coefficient d'échange par convection forcée entre le fluide et l'absorbeur.
- \mathcal{F}_{ab-v} et \mathcal{F}_{ab-p} sont respectivement les facteurs de forme absorbeur-vitre et absorbeur-plaque arrière :

$$\mathcal{F}_{ab-v} = \frac{1}{\frac{1-\varepsilon_{ab}}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{F_{ab-v}} + \frac{1-\varepsilon_v}{\varepsilon_v}} \quad (\text{II.8})$$

$$\mathcal{F}_{ab-p} = \frac{1}{\frac{1-\varepsilon_{ab}}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{F_{ab-p}} + \frac{1-\varepsilon_p}{\varepsilon_p}} \quad (\text{II.9})$$

- τ_v : coefficient de transmission de la vitre
- α_{ab} : coefficient d'absorption de l'absorbeur.

• **Au niveau du fluide caloporteur (f_2)**

Le fluide caloporteur (air) en phase retour échange avec la plaque isolante (p) et l'absorbeur

(ab) par convection, son bilan thermique s'écrit :

$$(\rho C_p e)_{f_2} \left(\frac{\partial T_{f_2}}{\partial t} + V'_f \cdot \frac{\partial T_{f_2}}{\partial x} \right) + h_{c,ab-f} (T_{f_2} - T_{ab}) - h_{c,p-f} (T_p - T_{f_2}) = 0 \quad (\text{II.10})$$

• **Au niveau de l'isolant (p)**

La plaque isolante du capteur échange par rayonnement avec l'absorbeur, et par convection avec l'air circulant dans le canal retour.

$$(\rho C_p e)_p \frac{\partial T_p}{\partial t} + h_{c,p-f} (T_p - T_{f_2}) + \sigma \mathcal{F}_{p-ab} (T_p^4 - T_{ab}^4) - h_{arri} (T_a - T_p) = 0 \quad (\text{II.11})$$

Équation bilan thermique au niveau du fluide caloporteur (f1) et de l'absorbeur (ab) avec ailette :

Pour le fluide caloporteur (f) :

$$(\rho C_p e)_{f_1} \left(\frac{\partial T_{f_1}}{\partial t} + V_f \frac{\partial T_{f_1}}{\partial x} \right) + h_{c,v-f} (T_v - T_{f_1}) - h_{c,ab-f} (T_{f_1} - T_{ab}) - \frac{N}{S} Q_n = 0 \quad (\text{II.12})$$

Et pour l'absorbeur (ab) :

$$\begin{aligned} (\rho C_p e)_{ab} \frac{\partial T_{ab}}{\partial t} + h_{c,vf_1-ab} (T_{ab} - T_{f_1}) + \sigma \mathcal{F}_{ab-v} (T_{ab}^4 - T_v^4) - \alpha_{ab} \tau_v G(t) \\ - h_{c,f-ab} (T_{f_2} - T_{ab}) - \sigma \mathcal{F}_{ab-p} (T_p^4 - T_{ab}^4) + \frac{N}{S} Q_n = 0 \end{aligned} \quad (\text{II.13})$$

$h_{c,ab-f}$: Étant le coefficient d'échange entre le fluide dans le sens aller et l'absorbeur.

Ces équations $\alpha_{ab} \tau_v G(t)$ représente le rayonnement solaire absorbé par l'absorbeur, avec τ_v le coefficient de transmission de la vitre et α_{ab} le coefficient d'absorption de l'absorbeur, N le nombre d'ailettes, S_n la surface de l'ailette, l la longueur de l'ailette et Q_n le flux évacué par les ailettes, donné par la relation suivante :

$$Q_n = (2\lambda_{ab} S_n l h_{c,f_1-ab})^{\frac{1}{2}} (T_{ab} - T_{f_1}) t h(\lambda_{ail} e_{ail}) \quad (\text{II.14})$$

$$\lambda_{ail} = \left(\frac{2l h_{c,f_1-ab}}{\lambda_{ab} S_n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.15})$$

II.3.3 Expressions des coefficients de transfert de chaleur :

Le coefficient d'échange de rayonnement et de convection simplifie la formule mathématique des équations du bilan thermique et permettent de surveiller le comportement du capteur. Donc l'utilisation de ces coefficients est fort pratique. En effet, les échanges s'effectuent selon les trois modes connus : convectif, radiatif et conductif. Pour dresser un inventaire complet des transports il faut regarder la structure et le mode d'écoulement du fluide dans le capteur. Dans notre étude, nous avons négligé le transfert de chaleur par conduction.

a. Coefficients de transfert thermique entre la couverture et l'extérieur :

On distingue deux types d'échanges thermiques entre la couverture et l'extérieur : l'un par rayonnement et l'autre par convection forcée et/ou naturelle.

➤ Coefficient d'échange par rayonnement :

Le coefficient d'échange par rayonnement entre la voûte céleste et la vitre est donné par l'expression suivante :

$$h_{r,v-c} = \sigma \varepsilon_v (T_c + T_v)(T_c^2 + T_v^2) \quad (\text{II.16})$$

Avec

σ : La constante de Stephan Boltzmann ($\sigma = 5,673 \times 10^{-8} \text{ W /m}^2 \cdot \text{K}^4$).

T_v : La température de la vitre.

T_{ci} : La température équivalente de la voûte céleste.

Cette dernière est inaccessible à partir d'une mesure directe. Cependant, à partir de certaines expériences, les auteurs préconisent des relations empiriques :

$T_{ci} = (T_a - 6)$ Pour une altitude $z = 1 \text{ km}$

Ou $T_{ci} = 0.0552(T_a)^{1.5}$

Dans la suite de nos calculs, nous adopterons cette dernière expression pour le calcul de T_{ci} .

➤ Coefficient d'échange par convection :

Le coefficient d'échange entre le milieu extérieur et la vitre est donné par la formule de Mac Adams suivante :

$$h_{vent} = 5,7 + 3,8 V \quad (II.17)$$

Avec V la vitesse du vent en m/s.

b. Coefficient de transfert entre la vitre et l'absorbeur :

Il s'établit deux échanges thermiques entre la vitre et l'absorbeur. L'un par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur et l'autre par convection forcée avec le fluide.

➤ **Echange par rayonnement :**

Le coefficient d'échange par rayonnement est donné par la formule suivante :

$$h_{r,v-ab} = \mathcal{F}_{ab-v}(T_{ab} + T_v)(T_{ab}^2 + T_v^2) \quad (II.18)$$

Avec T_{ab} la température de l'absorbeur, T_v celle de la vitre et ε_v , ε_{ab} respectivement les coefficients d'émission de la vitre et de l'absorbeur.

➤ **Echange par convection :**

Le fluide caloporteur échange de la chaleur par convection d'une part avec la vitre et d'autre part avec l'absorbeur.

La nature du fluide et le régime d'écoulement sont considérés pour déterminer les corrélations pour le calcul du nombre de Nusselt, et dans notre cas le régime d'écoulement est laminaire. Pour le calcul du nombre de Nusselt, nous avons donc utilisé la relation suivante :

$$Nu = 0.664Re^{0.5}Pr^{0.33} \quad (II.19)$$

Avec $Re = \frac{\rho VD}{\mu}$ et $Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda}$

Le coefficient d'échange est donné par :

$$h_{c,v-f_1} = \frac{\lambda}{D} Nu \quad (II.20)$$

Dans ce cas, nous avons utilisé le même coefficient d'échange pour le verre et l'absorbant, car le liquide est en contact avec les deux sur la même longueur et la même surface.

$$h_{c,v-f_1} = h_{c,ab-f_1} \quad (II.21)$$

c. Coefficient d'échange entre l'absorbeur et la plaque :

Il s'établit deux échanges thermiques entre l'absorbeur et plaque arrière : un échange par rayonnement et un échange par convection forcée.

L'échange par rayonnement entre les deux plaques est donné par la formule suivante :

$$h_{r,p-ab} = \frac{\sigma}{\frac{1-\varepsilon_{ab}}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{F_{ab-p}} + \frac{1-\varepsilon_p}{\varepsilon_p}} (T_{ab} + T_p)(T_{ab}^2 + T_p^2) \quad (\text{II.22})$$

Avec T_p la température de la plaque arrière, T_{ab} la température de l'absorbeur et ε_p , ε_{ab} respectivement les coefficients d'émission de la plaque arrière et de l'absorbeur.

II.4 Résolution numérique :

Récapitulatif des équations de bilan thermique :

$$\left\{ \begin{array}{l} (\rho C_p e)_v \frac{\partial T_v}{\partial t} + h_w(T_v - T_a) - h_{c,v-f}(T_{f_1} - T_v) + \sigma \varepsilon_v(T_v^4 - T_c^4) - \alpha_v G - \sigma \mathcal{F}_{v-ab}(T_{ab}^4 - T_v^4) = 0 \\ (\rho C_p e)_{f_1} \left(\frac{\partial T_{f_1}}{\partial t} + V \frac{\partial T_{f_1}}{\partial x} \right) + h_{c,v-f}(T_v - T_{f_1}) - h_{c,ab-f}(T_{f_1} - T_{ab}) = 0 \\ (\rho C_p e)_{ab} \frac{\partial T_{ab}}{\partial t} + h_{c,f_1-ab}(T_{ab} - T_{f_1}) + \sigma \mathcal{F}_{ab-v}(T_{ab}^4 - T_v^4) - \alpha_{ab} \tau_v G(t) - h_{c,f-ab} - (T_{f_2} - T_{ab}) - \sigma \mathcal{F}_{ab-p}(T_p^4 - T_{ab}^4) = 0 \\ (\rho C_p e)_{f_2} \left(\frac{\partial T_{f_2}}{\partial t} + V \frac{\partial T_{f_2}}{\partial x} \right) + h_{c,ab-f}(T_{f_2} - T_{ab}) - h_{c,p-f}(T_p - T_{f_2}) = 0 \\ (\rho C_p e)_p \frac{\partial T_p}{\partial t} + h_{c,p-f}(T_p - T_{f_2}) + \sigma \mathcal{F}_{p-ab}(T_p^4 - T_{ab}^4) - h_{arri}(T_a - T_p) = 0 \end{array} \right. \quad (\text{II.23})$$

Un code numérique Fortran basé sur la méthode de Gauss Seidel a été développé en utilisant un schéma de différence avancé pour les conditions de stockage et un schéma décentré pour les conditions de transfert. Ce symbole conduit au couplage des équations ci-dessus, et nous prenons en compte le rayonnement car il est chargé de lui donner un caractère non linéaire. Les cinq équations ci-dessus peuvent s'écrire sous la forme suivante :

$$a_{tk} \cdot \frac{\partial T_k}{\partial t} = -a_{xk} \cdot \frac{\partial T_k}{\partial x} + \sum_{j=1}^{J_k} h_{c,jk} (T_j - T_k) + \sum_{m=1}^{M_k} h_{r,mk} (T_m - T_k) + S_k \quad (\text{II.24})$$

$k = 1,2, \dots, 5$, Pour simplifier, nous avons omis l'indice k de l'équation ci-dessus :

$$a_t \frac{\partial T}{\partial t} = -a_x \frac{\partial T}{\partial x} + \sum_{j=1}^J h_{c,j} (T_j - T) + \sum_{m=1}^M h_{r,m} (T_m - T) + S \quad (\text{II.25})$$

Les coefficients a_t, a_x, h_c, h_r , et le terme source S sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3. Les différents coefficients et le terme source S

Composant k	a_t	a_x	J	h_c	M	h_r	S
Vitre	$(\rho C_p e)_v$	0	2	$h_w, h_{c,v-f_1}$	2	$h_{r,v-c}, h_{r,v-ab}$	$\alpha_v G$
Fluide 1	$(\rho C_p e)_f$	$\alpha_t V$	2	$h_{c,v-f_1}, h_{c,ab-f_1}$	0		0
Absorbeur	$(\rho C_p e)_{ab}$	0	2	$h_{c,f_1-ab}, h_{c,f_2-ab}$	2	$h_{r,ab-v}, h_{r,ab-p}$	$\alpha_{ab} \alpha_v G$
Fluide 2	$(\rho C_p e)_f$	- $\alpha_t V$	2	$h_{c,ab-f_2}, h_{c,p-f_2}$	0		0
Plaque isolante	$(\rho C_p e)_p$	0	2	$h_{c,p-f_2}, h_{c,arriere}$	1	$h_{r,p-ab}$	0
Ailette	$(\rho C_p e)_p$	0	2	$h_{c,p-f_2}, h_{c,arriere}, h_{c-ailette}$	1	$h_{r,p-ailette}$	0

Le composant (k) échange, avec son voisinage, par convection avec J_k composants et par radiation avec M_k composants. Le coefficient d'échange radiatif est donné par la relation :

$$h_{r,mk} = \sigma \cdot \mathcal{F}_{k-l} \cdot (T_m^2 + T_k^2)(T_m + T_k) \quad (II.26)$$

$$a_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} + h_{c_1}(T_1 - T_a) + h_{c_2}(T_1 - T_2) + h_{r_1}(T_1 - T_e) + h_{r_2}(T_1 - T_3) - \alpha_v G = 0$$

$$a_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} + a_2 V \frac{\partial T_2}{\partial x} + h_{c_2}(T_2 - T_1) + h_{c_3}(T_2 - T_3) = 0$$

$$a_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} + h_{c_3}(T_3 - T_2) + h_{c_4}(T_3 - T_4) + h_{r_2}(T_3 - T_1) + h_{r_3}(T_3 - T_5) - \alpha_{ab} \alpha_v G = 0$$

$$a_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} - a_4 V \frac{\partial T_4}{\partial x} + h_{c_4}(T_4 - T_3) + h_{c_5}(T_4 - T_5) = 0$$

$$a_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} + h_{c_5}(T_5 - T_4) + h_{c_6}(T_5 - T_a) + h_{r_3}(T_5 - T_3) = 0$$

1. Après regroupement des termes, on obtient :

$$a_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} + (h_{c_1} + h_{c_2} + h_{r_1} + h_{r_2})T_1 - (h_{c_1}T_a + h_{c_2}T_2 + h_{r_1}T_e + h_{r_2}T_3) - \alpha_v G = 0$$

$$a_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} + a_x \frac{\partial T_2}{\partial x} + (h_{c_2} + h_{c_3})T_2 - (h_{c_2}T_1 + h_{c_3}T_3) = 0$$

$$a_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} + (h_{c_3} + h_{c_4} + h_{r_2} + h_{r_3})T_3 - (h_{c_3}T_2 + h_{c_4}T_4 + h_{r_2}T_1 + h_{r_3}T_5) - \alpha_{ab}\alpha_v G = 0$$

$$a_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} + a_x \frac{\partial T_4}{\partial x} + (h_{c_4} + h_{c_5})T_4 - (h_{c_4}T_3 + h_{c_5}T_5) = 0$$

$$a_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} + (h_{c_5} + h_{c_6} + h_{r_3})T_5 - (h_{c_5}T_4 + h_{c_6}T_a + h_{r_3}T_3) = 0$$

2. Ces équations peuvent s'écrire à nouveau sous la forme :

$$a_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} + b_1 T_1 - S_1 = 0$$

$$a_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} + a_{2x} \frac{\partial T_2}{\partial x} + b_2 T_2 - S_2 = 0$$

$$a_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} + b_3 T_3 - S_3 = 0$$

$$a_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} + a_{4x} \frac{\partial T_4}{\partial x} + b_4 T_4 - S_4 = 0$$

$$a_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} + b_5 T_5 - S_5 = 0$$

Avec :

$$b_1 = h_{c_1} + h_{c_2} + h_{r_1} + h_{r_2}, S_1 = (h_{c_1}T_a + h_{c_2}T_2 + h_{r_1}T_e + h_{r_2}T_3) + \alpha_v G$$

$$b_2 = h_{c_2} + h_{c_3}, S_2 = h_{c_2}T_1 + h_{c_3}T_3$$

$$b_3 = h_{c_3} + h_{c_4} + h_{r_2} + h_{r_3}, S_3 = (h_{c_3}T_2 + h_{c_4}T_4 + h_{r_2}T_2 + h_{r_3}T_5) + \alpha_{ab}\alpha_v G$$

$$b_4 = h_{c_4} + h_{c_5}, S_4 = h_{c_4}T_3 + h_{c_5}T_5$$

$$b_5 = h_{c_5} + h_{c_6} + h_{r_3}, S_5 = h_{c_5}T_4 + h_{c_6}T_a + h_{r_3}T_3$$

3. Discrétisation : Schéma explicite

$$a_1 \frac{T_{1,i}^{n+1} - T_{1,i}^n}{\delta t} + b_1 T_{1,i}^n - S_{1,i}^n = 0$$

$$a_2 \frac{T_{2,i}^{n+1} - T_{2,i}^n}{\delta t} + a_{2x} \frac{T_{2,i}^{n+1} - T_{2,i-1}^{n+1}}{\delta x} + b_2 T_{2,i}^n - S_{2,i}^n = 0$$

$$a_3 \frac{T_{3,i}^{n+1} - T_{3,i}^n}{\delta t} + b_3 T_{3,i}^n - S_{3,i}^n = 0$$

$$a_4 \frac{T_{4,i}^{n+1} - T_{4,i}^n}{\delta t} + a_{4x} \frac{T_{4,i}^{n+1} - T_{4,i-1}^{n+1}}{\delta x} + b_4 T_{4,i}^n - S_{4,i}^n = 0$$

$$a_5 \frac{T_{5,i}^{n+1} - T_{5,i}^n}{\delta t} + b_5 T_{5,i}^n - S_{5,i}^n = 0$$

4. Après regroupement :

$$a_1 T_{1,i}^{n+1} + (\delta t b_1 - a_1) T_{1,i}^n - \delta t S_{1,i}^n = 0$$

$$a_2 T_{2,i}^{n+1} + \left(a_{2x} \frac{\delta t}{\delta x} + \delta t b_2 - a_2 \right) T_{2,i}^n - a_{2x} \frac{\delta t}{\delta x} T_{2,i-1}^n - \delta t S_{2,i}^n = 0$$

$$a_3 T_{3,i}^{n+1} + (\delta t b_3 - a_3) T_{3,i}^n - \delta t S_{3,i}^n = 0$$

$$a_4 T_{4,i}^{n+1} + \left(a_{4x} \frac{\delta t}{\delta x} + \delta t b_4 - a_4 \right) T_{4,i}^n - a_{4x} \frac{\delta t}{\delta x} T_{4,i-1}^n - \delta t S_{4,i}^n = 0$$

$$a_5 T_{5,i}^{n+1} + (\delta t b_5 - a_5) T_{5,i}^n - \delta t S_{5,i}^n = 0$$

Solution :

$$T_{j,i}^{n+1} = \frac{1}{a_j} \left(\left(a_{jx} \frac{\delta t}{\delta x} + \delta t b_j - a_j \right) T_{j,i}^n - a_{jx} \frac{\delta t}{\delta x} T_{j,i-1}^n - \delta t S_{j,i}^n \right)$$

$$j = 1, 2, \dots, 5, i = 1, 2, \dots, N, n = 1, 2, \dots, Nt$$

II.5 Rendement de capteur :

Le rendement est défini comme le rapport de la puissance utile Φ_u extraite du capteur au flux solaire incident G .

$$\eta = \frac{\Phi_u}{G \times A} \tag{II.27}$$

La puissance utile est évaluée à l'aide d'un bilan enthalpie :

$$\Phi_u = C_p q_m (T_s - T_e) \tag{II.28}$$

Avec : T_e et T_s sont respectivement la température d'entrées et du sortie du fluide f_1 et f_2 .
Et q_m est le débit de masse du fluide.

II.6 Bilan électrique d'un capteur solaire à air double passe :

Les différents échanges thermiques qui ont lieux, sont schématisés par le circuit électrique équivalent suivant :

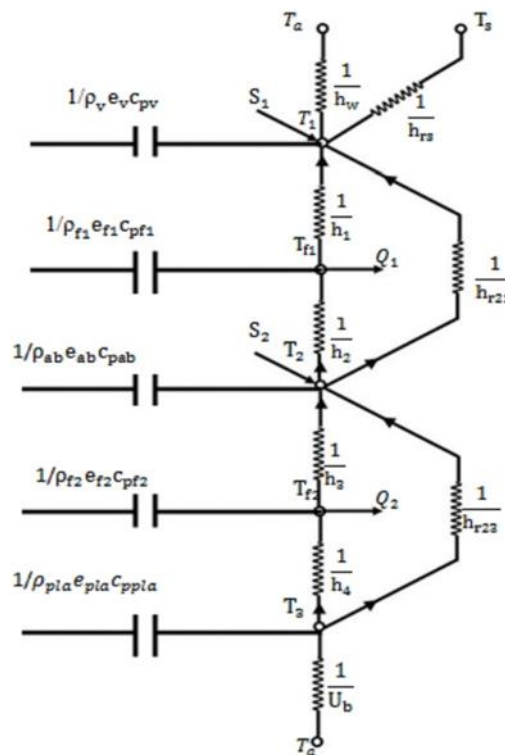


Figure 19. Circuit thermique équivalents.

La méthode de modélisation qui prend en compte l'évolution des températures de tous les éléments du capteur solaire plan à air double passe. Dans le temps et dans l'espace elle consiste à découper le capteur solaire en tranches fictives de longueur δx dans le sens de l'écoulement du fluide caloporteur, et à écrire le bilan des échanges dans chaque tranche. Il est commode pour cela d'utiliser les analogies qui existent entre le transfert de chaleur et les circuits électriques analogiques équivalents.

II.7 Conclusion :

Dans cette partie de notre étude, on a fait une modélisation thermique basé à un bilan énergétique d'un type des capteurs solaires plan à air double passe munie des ailettes. Tout cela pour l'obtenir des équations moins complexe et plus facile à traiter lors de notre étude.

Cette étude de ce chapitre résoudre les problèmes de température utilise un langage informatique Matlab qui permet de détermine les différentes températures pour chaque niveau (vitrage, absorbeur, isolant, ailette) pour injecté dans le code CFD.

Dans notre prochain chapitre, on effectuera une simulation d'un capteur solaire à air à l'aide du logiciel CFD « Gambit, Fluent » et ajoute des ailettes pour améliorer l'échange thermique, ses performances, leur efficacité et interpeler les résultats obtenus avec des perspectives.

Nous avons donc modélisé numériquement sur un logiciel commercial basé sur la méthode des volumes finis, il est toujours le choix de la méthode très importante pour résoudre les problèmes réels, complexe. La solution possible de simuler le comportement thermique et dynamique de cette nouvelle conduite de section rectangulaire muni des chicaneuses poreuses avec une grande précision de calcul. Chapitres suivants donnent la méthodologie sur ce logiciel pour résoudre les calculs de la solution proposée.

**Résultats de
Simulation et
discussions d'un
capteur solaire à air
double passe muni
des ailettes**

des ailettes
double passe muni

Chapitre III

III.1. Introduction :

La simulation numérique du capteur a pris une importance considérable, qui permet de calculer les solutions de ces modèles et donc de simuler la réalité physique. En fixant dans les équations les paramètres définissant les conditions de fonctionnement du système, qui est en général au sens mathématique. Il comporte plus d'inconnus d'équations, pour cette raison et lors de la simulation, ce sont les conditions de fonctionnement qui fixent la valeur des paramètres météorologiques, et les caractéristique du système (dimensions, propriétés de matériaux), donc, la simulation étudie en général le comportement du modèle dans les conditions données.[15]

Nous avons développée trouvé des moyens très précis pour résoudre ces équations, en utilisant des méthodes numériques très spécifiques, où un système d'équations algébriques non linéaires a été produit, basé sur le concept d'équations différentielles discrétionnaires. Ces équations décrivent les propriétés discrètes du fluide à chaque nœud du domaine étudié

Il existe plusieurs méthodes numériques de discrétisation des équations différentielles aux dérivées partielles, les plus utilisées sont : la méthode des différences finis, éléments fins et la méthode des volumes finis.

III.2. La méthode des différences finies :

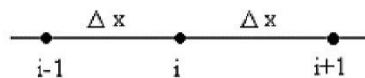
C'est une méthode d'approximation des équations par des développements en séries de Taylor tronquées à l'ordre de précision choisie. On cherche une solution exacte à partir de la discrétisation des opérateurs différentiels $\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial x^2} \dots\right)$ sur un maillage.

III.2.1. Etapes de la méthode des différences finies :

Pour résoudre les équations aux dérivées partielles par la méthode des différences finies, on procède comme suit :

1. Mailler le domaine d'étude (discrétiser le domaine en nœuds).
2. Discrétiser les équations ainsi que les conditions aux limites.
3. Constitue le système d'équation global.
4. Résoudre ce système.

Soit le maillage régulier unidimensionnel :



$$\Delta x = x_i - x_{i-1} = x_{i+1} - x_i$$

III.3. La méthode des éléments finis :

Le principe fondamental de la méthode des éléments finis réside dans le découpage du domaine d'étude en domaines élémentaires de dimension finie. Sur chacun de ces domaines, appelés éléments finis, la fonction inconnue est approchée par un polynôme dont le degré peut varier d'une application à l'autre mais reste en général faible. Ces éléments, triangles ou quadrilatères, rectilignes ou curvilignes, doivent réaliser une partition du domaine d'étude (ils sont disjoints et leur union recouvre le domaine tout entier). Cette partition qui est généralement appelée découpage ou discrétisation du domaine doit respecter un certain nombre de règles qui permettent d'assurer un bon déroulement du calcul.[16].

III.4. La méthode des volumes finis (MVF) :

La méthode des volumes finis a été illustrée pour la première fois par Patankar et Spalding en 1970 et publiée en 1980 par Patankar. La méthode des volumes finis est à l'origine de la majorité des codes de calculs (Fluent, CFD,). La méthode des volumes finis est une technique d'approximation pour résoudre les équations aux dérivées partielles la plus utilisée

dans les sciences de l'ingénieur. C'est une méthode pour résoudre numériquement avec des maillages structurés, les problèmes de la mécanique des fluides formalisés pour les équations de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.[17]

La méthode des volumes finis consiste à discrétiser le domaine de l'écoulement en une multitude de volumes de contrôle (cellules) puis d'effectuer des bilans (de masse, d'énergie, de quantité de mouvement...) sur ces petits volumes. Pour cette raison, la formulation fait apparaître des intégrations de volume. L'avantage de cette technique est qu'elle s'adapte facilement à des géométries complexes qui interviennent dans de nombreux problèmes industriels. La difficulté essentielle réside dans l'estimation des flux aux frontières de chaque volume de contrôle.[17]

III.5. Principe de la méthode des volumes finis :

Le principe de la méthode des volumes finis, consiste à partager le domaine de calcul en un ensemble de petits volumes élémentaires. Chaque volume de contrôle contient un nœud central de telle sorte que l'ensemble de ces nœuds forme une grille. Pour deux nœuds consécutifs, les volumes de contrôle respectifs doivent posséder un coté commun appelé interface et de manière à ce que la réunion de tous les volumes forme le domaine de calcul. Ceci va mettre en évidence la conservation des flux locaux et globaux au sein du volume de contrôle et du domaine. [18]

L'idée principale de cette méthode est d'intégrer les équations différentielles dans le volume de contrôle, afin d'aboutir à une équation algébrique. L'assemblage de toutes les équations, relatives aux différents volumes du domaine, se traduit par un système d'équations algébriques qu'il faudra ensuite résoudre par des méthodes adéquates.[18]

III.5.1. Distribution des volumes de contrôle :

"Fluent" traite plusieurs types de maillages très compliqués qui sont en général importés directement d'autres logiciels de génération de maillages "GAMBIT". Le domaine de calcul est divisé en volume de contrôle en nombre fini et direct (figure IV.2), on dit qu'on génère un maillage. L'opération consiste à définir un certain nombre de nœuds en traçant une grille sur le domaine. Les interfaces sont placées exactement au milieu de chaque deux nœuds consécutifs (trait discontinu). Les sous domaines obtenus représentent les volumes de contrôle avec quatre nœuds voisins par les quatre faces du volume de contrôle.[12]

Le domaine d'étude est divisé en un certain nombre de volumes de contrôles, chaque point du domaine est localisé à l'aide des indices (i, j). Chaque volume de contrôle de

dimension $\Delta x.\Delta y$.1 doit stocker les grandeurs scalaires P et T dans le nœud du maillage qui se situe au centre du volume de contrôle (Figure. 20.) et les grandeurs vectorielles U et V au milieu des segments reliant les deux nœuds adjacents. Les quatre faces sont repérées à l'aide des quatre points cardinaux (e, w, n, s) et les centres des volumes adjacents par E, W, N, S.[18]

Ce volume de contrôle est utilisé pour l'expression des bilans des grandeurs scalaires, appelé volumes de contrôle typique (Figure.21.) et pour l'expression des grandeurs vectorielles, le volume de contrôle décalé vers la droite (Figure.21) et décaler vers le haut (Figure.22).

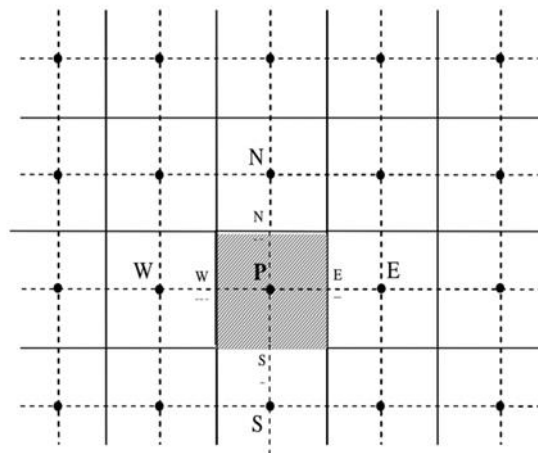


Figure 20. Volume de contrôle pour la résolution.

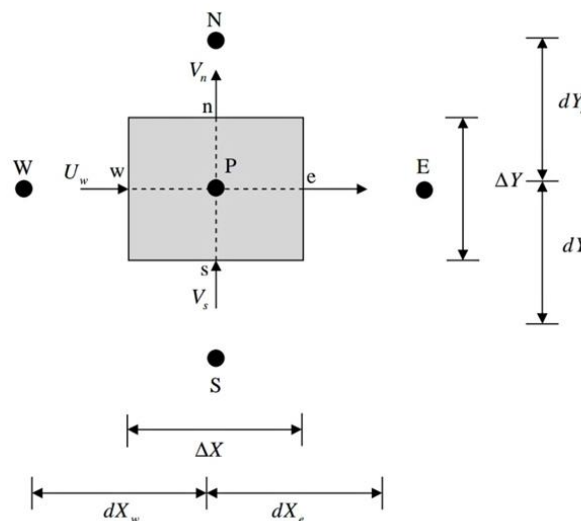


Figure 21.Schéma deux dimensionnel illustrant un volume élémentaire entourant un nœud P.

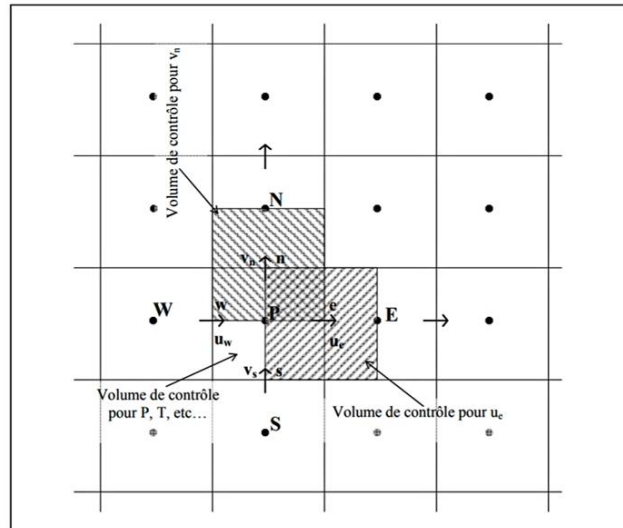


Figure 22. Volume de contrôle pour la résolution en volumes finis.

III.5.2. Présentation du code de calcul :

La mise en œuvre d'un code de calcul est une étape essentielle pour modéliser et évaluer les performances d'un capteur solaire à air à doubles passes. Le code de calcul permet de simuler le comportement thermique du capteur, de prédire les performances et d'optimiser sa conception.

Le code de calcul peut être développé à l'aide de langages de programmation tels que Python, MATLAB, ou tout autre langage adapté à la modélisation thermique. Voici une présentation générale des éléments clés à prendre en compte dans un code de calcul pour un capteur solaire à air à doubles passes :

Géométrie du capteur : Le code doit permettre de définir les dimensions et la configuration géométrique du capteur, y compris la longueur, la largeur, la hauteur et la disposition des canaux d'air.

Modèles de transfert de chaleur : Le code doit inclure des modèles de transfert de chaleur pour estimer les échanges thermiques à l'intérieur du capteur. Cela comprend la modélisation de l'absorption du rayonnement solaire, la conduction thermique à travers les parois du capteur, la convection dans les canaux d'air et les échanges thermiques avec l'environnement extérieur.

Propriétés des matériaux : Le code doit permettre de spécifier les propriétés thermiques des matériaux utilisés dans la construction du capteur, tels que la conductivité thermique, la capacité thermique et la transmittance thermique.

Conditions d'exploitation : Le code doit prendre en compte les conditions d'exploitation du capteur, telles que le rayonnement solaire incident, la température de l'air ambiant, le débit d'air traversant le capteur, etc.

Résolution numérique : Le code doit utiliser des méthodes numériques appropriées pour résoudre les équations de transfert de chaleur, telles que la méthode des différences finies, la méthode des volumes finis ou la méthode des éléments finis.

Analyse des performances : Le code doit fournir des résultats quantitatifs sur les performances du capteur, tels que le rendement thermique, la température de sortie de l'air, les pertes de chaleur, etc. Il peut également inclure des fonctionnalités pour effectuer des analyses paramétriques et optimiser la conception du capteur en variant certains paramètres clés.

Il est important de noter que le développement d'un code de calcul pour un capteur solaire à air à doubles passes peut être complexe et requiert une connaissance approfondie des principes de transfert de chaleur et de la modélisation thermique. Il est recommandé de s'appuyer sur des publications scientifiques, des logiciels spécialisés ou de consulter des experts en la matière pour garantir la fiabilité et la précision des résultats obtenus.

III.5.3. Pré - processeur GAMBIT et FLUENT :

Gambit et Fluent sont deux logiciels largement utilisés dans le domaine de la simulation numérique en ingénierie, y compris pour la modélisation et l'analyse des capteurs solaires à air à doubles passes.

Gambit : Gambit est un logiciel de prétraitement développé par ANSYS. Il est utilisé pour créer des géométries tridimensionnelles complexes pour les simulations numériques. Avec Gambit, vous pouvez générer et manipuler des maillages, définir des conditions aux limites, et préparer les données nécessaires pour l'analyse CFD (Computational, Fluide, Dynamics) ultérieure. Gambit offre une interface graphique conviviale pour faciliter la création de modèles géométriques et de maillages.

Fluent : Fluent est un logiciel de simulation CFD développé par ANSYS. Il permet de résoudre numériquement les équations de Navier-Stokes pour étudier les écoulements de fluides, les transferts de chaleur et les phénomènes de transfert de masse. Fluent offre des fonctionnalités avancées pour modéliser et simuler les capteurs solaires à air à doubles passes. Il permet de définir les conditions initiales et aux limites, de choisir les modèles de turbulence appropriés, d'analyser les transferts de chaleur, les performances énergétiques et les coefficients de perte.

En utilisant Gambit pour la création de la géométrie et la génération du maillage, puis Fluent pour la résolution des équations de transfert de chaleur et d'écoulement, vous pouvez simuler le comportement thermique d'un capteur solaire à air à doubles passes. Ces logiciels offrent une grande flexibilité pour ajuster les paramètres du système, effectuer des analyses paramétriques et optimiser la conception du capteur.

Il convient de noter que Gambit et Fluent sont des logiciels professionnels et complexes, nécessitant une certaine expertise pour leur utilisation. Une bonne connaissance des principes de la CFD, de la modélisation thermique et de l'analyse des écoulements est nécessaire pour obtenir des résultats fiables et significatifs.

- Ecoulements 2D ou 3D.
- Etats permanents ou transitoires.
- Ecoulements incompressibles ou compressibles en incluant toute la vitesse de régimes (subsoniques, transsoniques, supersoniques et hypersoniques).
- Ecoulements non visqueux, laminaires ou turbulents.
- Ecoulements Newtonien ou non.
- Transfert de chaleur forcé, par conduction, par convection ou radiatif.
- Ecoulements avec changements de phases
- Ecoulements en milieux poreux.

Ce code de calcul emploie la méthode des volumes finis comme procédé de discrétisation. Les équations intégrales qui gouvernent l'écoulement, tels que l'équation de continuité, l'équation de conservation de la masse, celle de l'énergie ainsi que d'autres scalaires, comme la turbulence, sont résolues par cette méthode statistique. En utilisant cette technique basée sur un volume de contrôle, "Fluent" traite les étapes suivantes[19]:

- Division du domaine en volumes de contrôle discrets en utilisant une grille (maillage) de calcul.

- Intégration des équations gouvernantes sur les volumes de contrôle individuels afin de construire les équations algébriques pour les variables discrètes dépendantes, (les inconnues), telles que les vitesses, pression, température ...
- Linéarisation des équations discrétisées et résolution du système d'équations linéaires résultant pour pouvoir mettre à jour les valeurs des variables dépendantes (inconnues).

III.5.5. Post-processeur FLUENT :

Ce poste-processeur affiche les résultats des calculs pour les champs des vitesses, des températures, des pressions, ligne des courants... etc.

Ce schéma ci-dessous résume ce que nous avons dit précédemment :

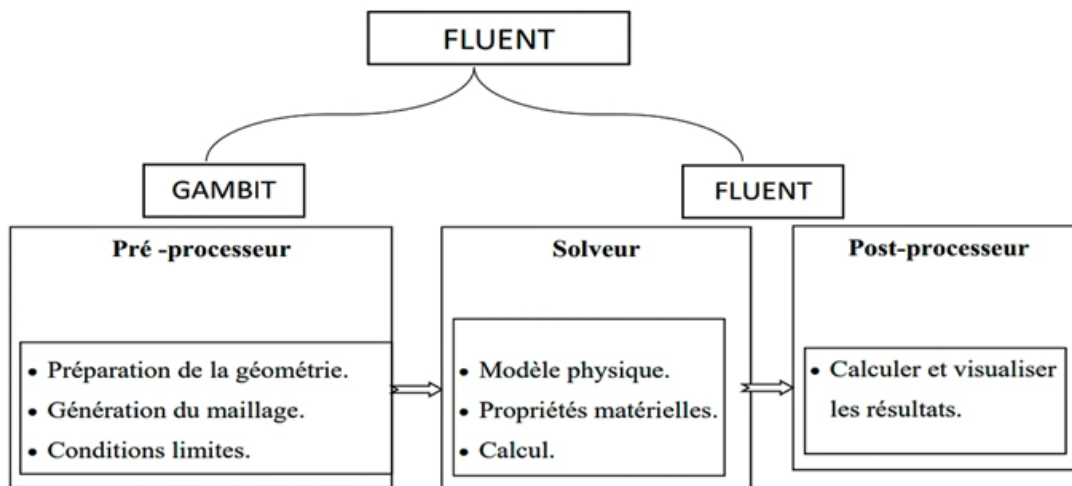


Figure 23. Structure de base du code "FLUENT".

III.6. Résolution numérique :

III.6.1. Paramètre de contrôle de la convergence :

La façon d'obtenir une solution convergée est un des éléments essentiels de prédiction d'écoulement au moyen des codes CFD. Le code "FLUENT" propose différentes techniques pour accélérer le processus de convergence sont augmentées si une bonne estimation de la solution est donnée comme condition initiale. Nous avons recours à plusieurs techniques décrites ci-dessous :

III.6.2. Critère de convergence :

La résolution numérique des problèmes du type CFD nécessite un processus itératif. Pour apprécier la convergence du processus itératif, des critères de convergence doivent être pris en compte. Ainsi, la convergence du processus itératif est déterminée par le concept de

résidu. Après l'étape de discrétisation, l'équation de conservation d'une variable ϕ donnée sur une cellule de centre P peut s'exprimer comme suit :

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (II.29)$$

Où : a_p et ϕ_p représentent les contributions convectives et diffusives, l'indice nb est lié au centre de cellules adjacentes. b représente la contribution de partie constante du terme source ϕ_{nb}

$$R^\phi = \frac{\sum_{\text{domaine}} |\sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b - a_p \phi_p|}{\sum_{\text{domaine}} |a_p \phi_p|} \quad (II.30)$$

Le résidu normalisé a alors pour expression :

$$R^c = \sum_{\text{domaine}} |raux \text{ de création de matière dans le domaine} | \quad (II.31)$$

III.3.3. Géométrie du problème :

Nous présentons dans ce travail étudié les résultats de la simulation numérique obtenus par le code de calcul utilisé. Le problème consiste un capteur solaire double passe muni des ailettes solides l'étude du comportement d'un écoulement d'air en convection forcée turbulente passant dans un capteur solaire double passe muni des ailettes de forme transversale à deux passages de longueur L. Le problème étudié avec toutes les conditions limites, géométriques est retiré par un travail pratique.

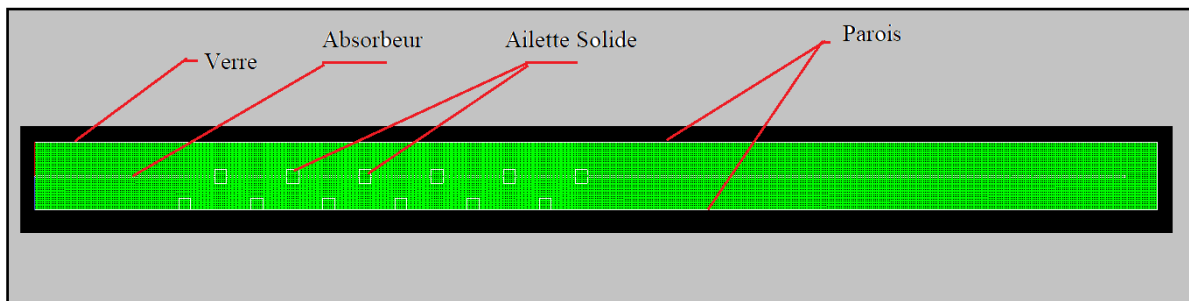


Figure 24. Domaine d'etude.

III.3.3.1. Etude du maillage :

Au cours de ce travail on a remarqué qu'un accès aux bons résultats nécessite une optimisation entre plusieurs paramètres qui influent fortement sur les calculs numériques, parmi lesquels, on peut citer les plus importants et qui sont la qualité et la taille du maillage et les facteurs de sous relaxation. Pour voir cette influence on a changé à chaque fois un paramètre en fixant les autres.

III.3.3.2. Qualité et taille du maillage :

Avant d'étudier l'indépendance, il faut tout d'abord avoir la qualité du maillage qui nous permettons d'avoir des phénomènes physiques plus claire et juste.

III.3.3.3. Choix du maillage :

Des essais numériques avec des grilles de maillages ont été réalisés pour des nombres d'éléments égaux à 6180, 10720 et 81400 correspond respectivement aux couples $(N_x, N_y) = (418 \times 15), (836 \times 20)$ et (1385×50) .

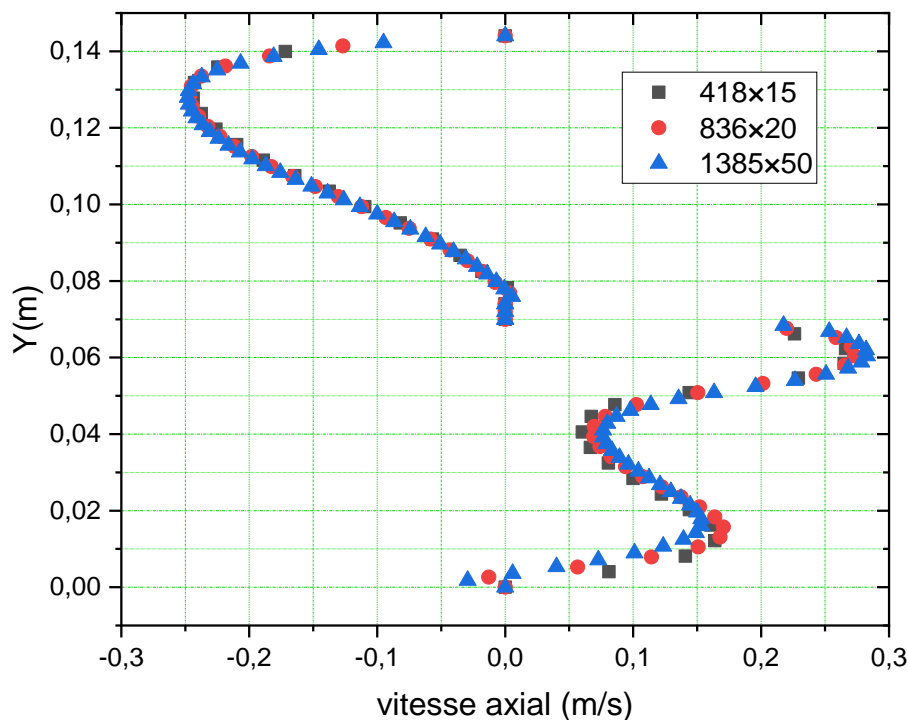


Figure 25.Influence du maillage sur la vitesse axiale.

On a choisi la grille 1285x40 qui est utilisée dans la suite est justifiée parfaitement que la différence entre les valeurs trouvées est inférieure ou égale à 0.92% sur les résultats obtenus.

Tableau 4.Tableau du maillage de test.

Grille	418×15	836×20	1385×50
X	0.6096	0.6096	0.6096
Y	0.074	0.074	0.074
U _{max}	0.2613	0.279	0.280
Erreur	0.86	0.95	0.95

III.5.3. Validation du modèle numérique :

La comparaison entre les résultats de simulation numériques obtenus avec les résultats expérimentaux de Sopian et al [20], présente dans la figure au-dessus. La figure montre la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'air en fonction du débit massique.

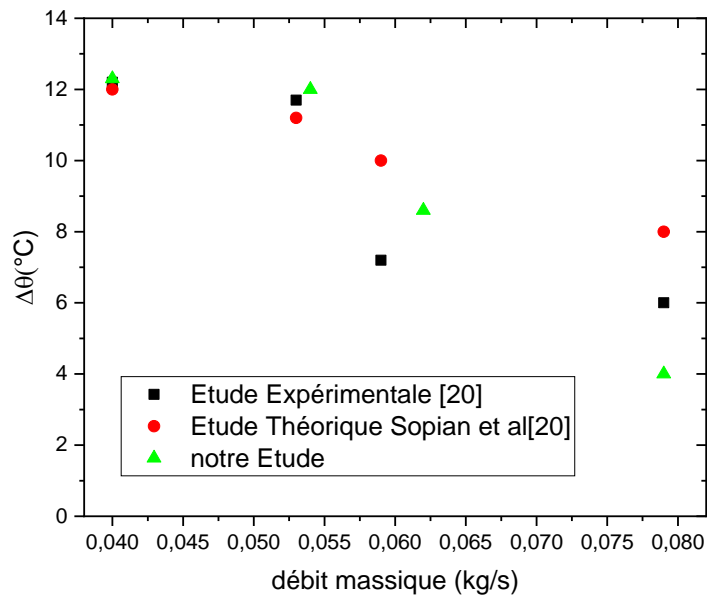


Figure 26.Validation des résultats numérique, expérimentaux et théoriques de Sopian et al.

Les résultats numériques sont assez proches aux résultats théoriques et expérimentaux donnés par Sopian et al [20].Cela donne une validité au notre modèle numérique développé. Toutefois, on peut voir clairement la précision de notre modèle proposé par rapport à celui de Sopian [20].

III.6. Résultats :

Afin de vérifier la convergence de notre calculateur Fluent 6.3, nous présentons l'évolution des résidus de l'itération. De 1000 à 3000 itérations.

Dans cette étude, le domaine de calcul a été choisi pour être plus adapté que le domaine physique pour éliminer les effets d'entrée, sortie du capteur solaire double passe et pour satisfaire la continuité à la sortie du capteur. La stabilité du système numérique. La méthode numérique utilisée dans une étude basée sur l'algorithme le plus simple standard. Les équations de conservation sont discrétisées en volume de contrôle par la méthode des volumes finis. L'ensemble des équations sont résolues itérativement en utilisant une ligne par la méthode de solution en ligne en conjonction avec une forme quadratique de la matrice. La solution est considérée comme convergente lorsque la valeur résiduelle normalisée de l'équation algébrique est inférieure à une valeur prescrite de 10^{-13} .

La première simulation :

Cette figure montre le champ de vitesse axiale pour un capteur solaire double passe muni des ailettes à l'entrée et l'autre à la sortie Les Figures 28. (a), (b) et (c) montrent le champ de la vitesse axiale pour un capteur solaire double passe. Les ailettes transversales en périodicité à type dérivé à $Re=2 \times 10^4$, la hauteur et de $h=0.0254m$; $0.0508m$ avec épaisseur de l'ailette $e=0.00635$ un débit massique de 0.02727046 kg/s.

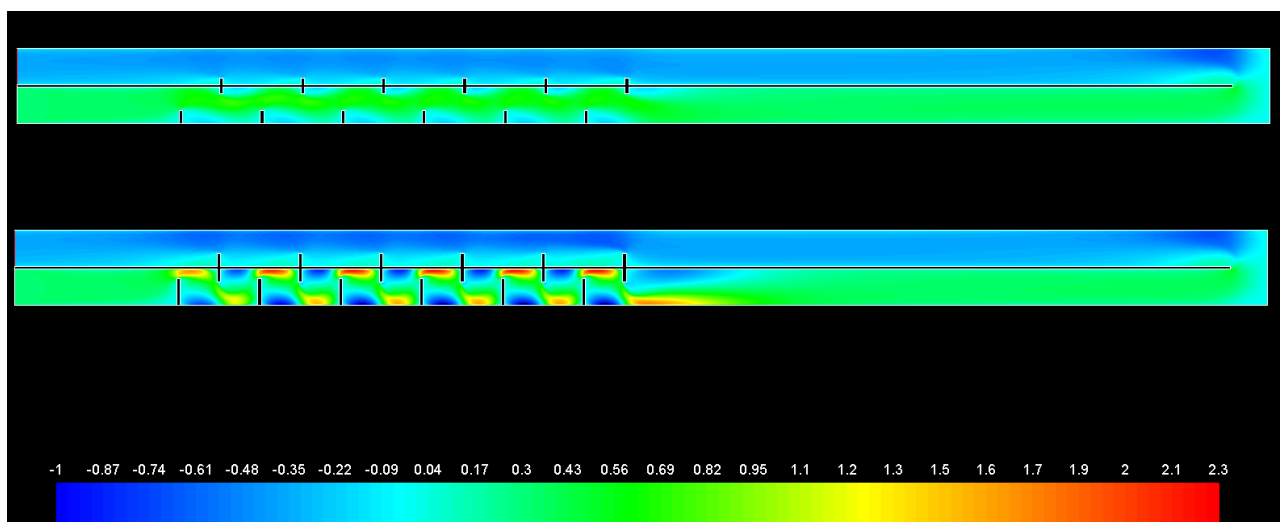


Figure 27.Contour de la vitesse axiale pour différente hauteur $h=0.0254m$ et $h=0.0580m.Re=2 \times 10^4$

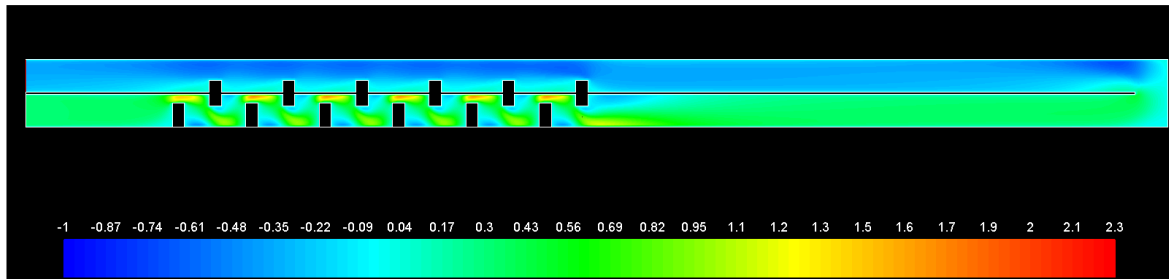


Figure 28. Contour de la vitesse axiale pour $h=0.0580m$, $Re=2 \times 10^4$, $e=0.0254m$ les ailettes épais.

L'écoulement en présence des ailettes transversales solides indique que les caractéristiques communes sont les régions d'écoulement de base et les régions de recirculation en amont et aval lorsque les hauteurs sont très importantes. Le fluide emprisonné par les parois solides du capteur solaire double passe muni des ailettes solides qui créent des zones de recirculation et par conséquent le régime devient très perturbé. Comme le rapport des ailettes transversales augmente, la région d'écoulement de base devient plus petite. Le résultat indique que la zone de collision est réduite à la sortie du capteur solaire double passe.

III.6.1. Profils de vitesse axiale dans des sections particulières du canal rectangulaire :

La variation de vitesse pour les deux cas apparaît clairement sur les contours et sur leurs échelles qui présentent des valeurs positives et négatives.

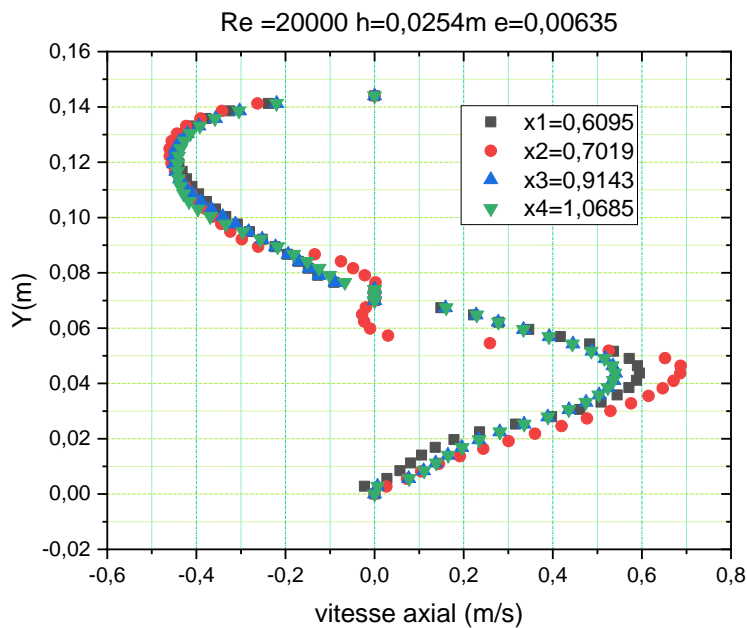


Figure 29. Profils de vitesse axiale adimensionnelle en amont en aval d'un capteur solaire double passe.

Pour bien étudier cette évolution de vitesse axiale dans un capteur solaire double passe muni des ailettes solides avec les deux différentes positions d'ailettes transversales traitées à une hauteur 0.0254m. On a tracé des courbes de vitesse axiale pour ces positions axiales : $x=0.6095m$, $x=0.7019m$, $x=0.9143m$, $x=1.0685m$.

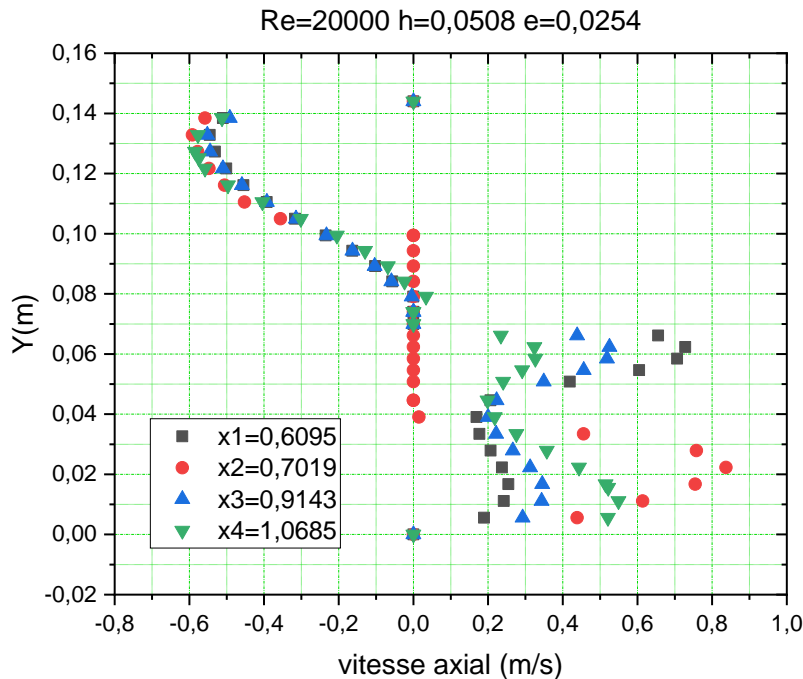


Figure 30. Profils de vitesse axiale adimensionnelle en amont en aval d'un capteur solaire double passe pour des ailettes épais.

Sur les figures 29 et 30. Entre les différentes hauteurs des ailettes solides dans un capteur double passe à des endroits égaux à $x_1=0.6095m$ et $x_2=0.7019m$, $x_3=0.9143m$ et $x_4=1.0685m$ situés en aval de la première et la deuxième ailette et pour les trois cas étudiés ($h=0.0254m$ et $h=0.0508$ avec épaisseur $e=0.00635m$ et $e=0.0254m$), l'écoulement est caractérisé par des vitesses très élevées au plus basse partie inférieure du capteur solaire double passe, qui approche 200% de la vitesse d'entrée, là où on constate une réduction des vitesses axiales et une augmentation dans la première passage du fluide. Dans la partie supérieure du capteur solaire, les vitesses négatives indiquent la présence le sens inverse d'écoulement. Ce qui a été remarqué aussi, l'écoulement en présence la hauteur d'ailette de forme transversale s'accélère de plus en plus de gauche vers la droite en augmentant la taille de la zone de recirculation.

Sur la figure 31 Entre les différentes hauteurs des ailettes transversales solides, à des endroits égaux à $x=0.6095m$, situés en aval de la première ailette transversale et pour les deux

cas étudiés ($h=0.0254\text{m}$, $h=0.0508\text{m}$ avec $e=0.00635\text{m}$ et $e=0.0254\text{m}$), l'écoulement est caractérisé par des vitesses très élevées à l'entrée du capteur solaire double passe, qui approche 150% de la vitesse d'entrée, là où on constate une réduction des vitesses axiales et une augmentation dans la partie supérieure. Dans la partie supérieure du capteur, les vitesses négatives indiquent le sens de l'écoulement et la présence d'une zone de recirculation. Ce qui a été remarqué aussi, l'écoulement en présence la hauteur d'ailette de forme transversal épais s'accélère de plus en plus de gauche vers la droite en augmentant la taille de la zone de recirculation.

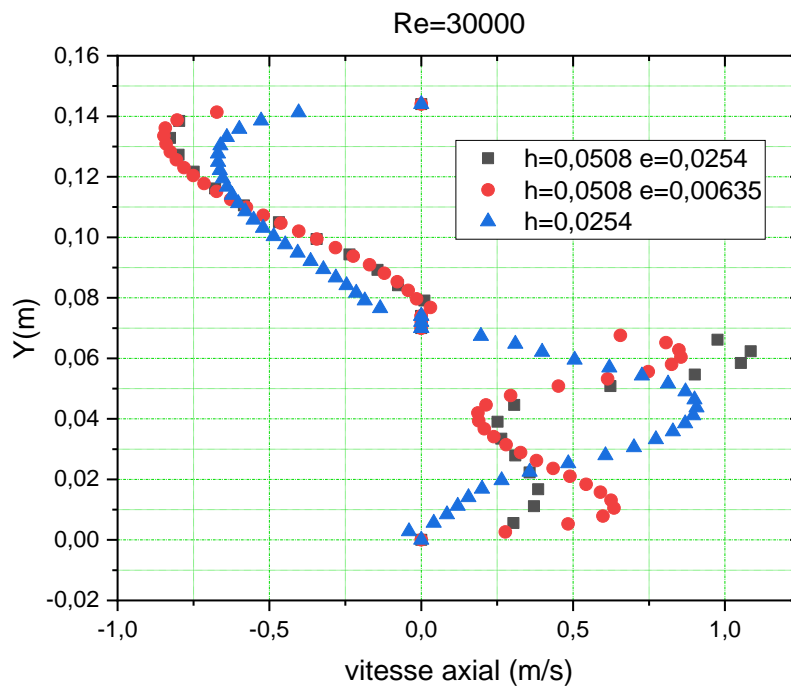


Figure 31. Profils de la vitesse axiale à ($x=0.6095$ m), pour les deux hauteurs d'ailettes traitées ($h=0.0254\text{m}$ et $h=0.0508\text{m}$) avec épaisseur mince et épais.

III.6.2. Effets de la variation du nombre de Reynolds sur la vitesse de l'écoulement :

À la présence d'un capteur solaire double passe muni des ailettes sous forme transversal ($h=0.0254\text{m}$, $h=0.0508\text{m}$ avec $e=0.00635\text{m}$ et $e=0.0254\text{m}$) et pour une section constante du capteur solaire double passe, l'effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils de vitesse axiale dans différentes positions choisie ($x=0.6095\text{m}$), sont montrés dans les figures (32 à.34).

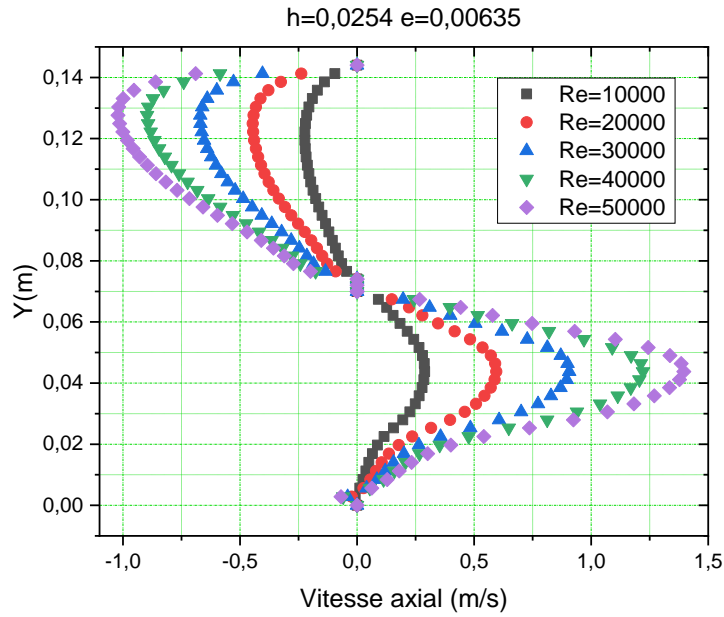


Figure 32. Effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils de la vitesse axiale du capteur solaire double passe, ($x=0.6095$ m $h=0.0254$ m et $e=0.00635$ m).

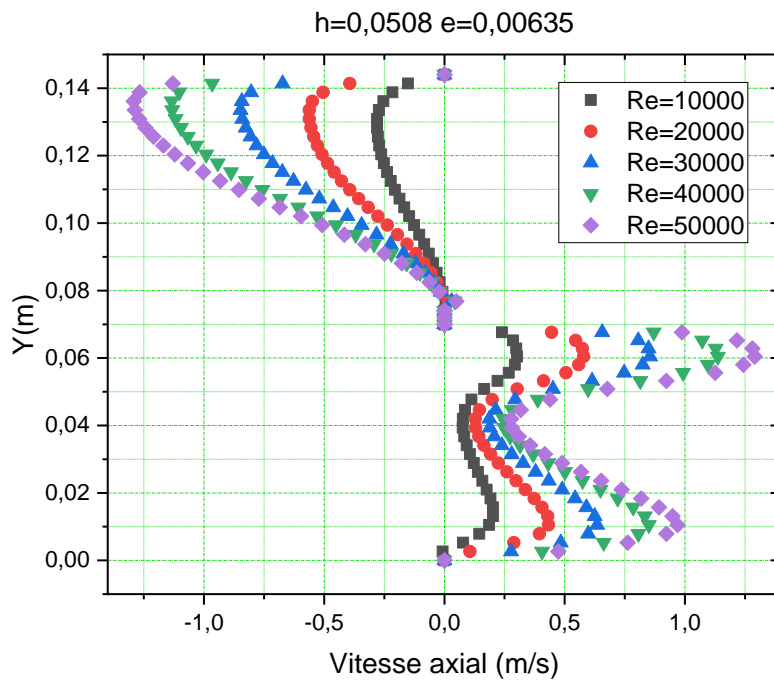


Figure 33. Effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils de la vitesse axiale du capteur solaire double passe, ($x=0.6095$ m $h=0.0508$ m et $e=0.00635$ m).

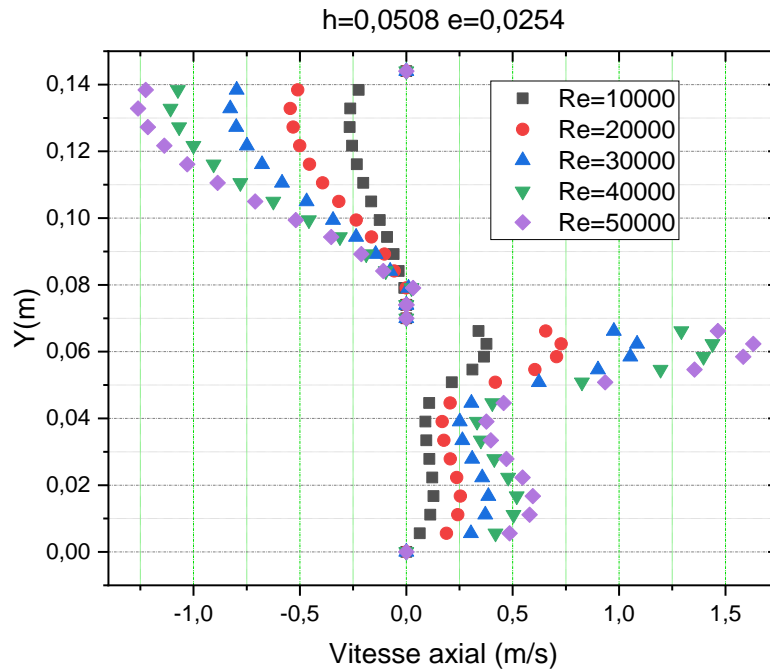


Figure 34. Effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils de la vitesse axiale du capteur solaire double passe, ($x=0.6095\text{m}$ $h=0.0508\text{m}$ et $e=0.0254\text{m}$).

Pour des variations du nombre de Reynolds allant de 10000 à 50000. On constate que l'écoulement d'air s'accélère dans sa direction de la gauche vers la droite sur toute la première passe du capteur solaire double passe et des régions de recyclage est proportionnelle à l'augmentation du nombre de Reynolds en écoulement pour différence hauteur et épaisseur. L'augmentation du nombre de Reynolds entraîne alors une accélération de l'écoulement et causera une augmentation de la vitesse axiale de l'air, d'où la longueur des zones de recirculation est proportionnelle à l'augmentation du nombre de Reynolds. Augmentation l'échange thermique dans le capteur solaire double passe muni des ailettes transversales.

III.6.3. Effets de la variation du nombre de Reynolds sur le coefficient de friction local :

À la présence des ailettes sous forme transversal la hauteur proposé ($h=0.0254\text{m}$, $h=0.0508\text{m}$ avec $e=0.00635\text{m}$) et ($h=0.0508$ avec $e=0.0254\text{m}$) pour une section constante du capteur double passe, l'effet de la variation du nombre de Reynolds sur les profils du coefficient de friction local sur toute la longueur de parois inférieure qui muni des ailettes transversales, son montrés dans les figures (35 et 36) respectivement. Pour un Reynolds allant de 10000 jusqu'à 50000, on constate que le coefficient de friction augmente de manière significative avec le nombre de Reynolds, en introduisant des grandes zones de recirculation.

Il existe alors une proportionnalité entre l'augmentation du coefficient de friction et l'élévation du nombre de Reynolds en écoulement.

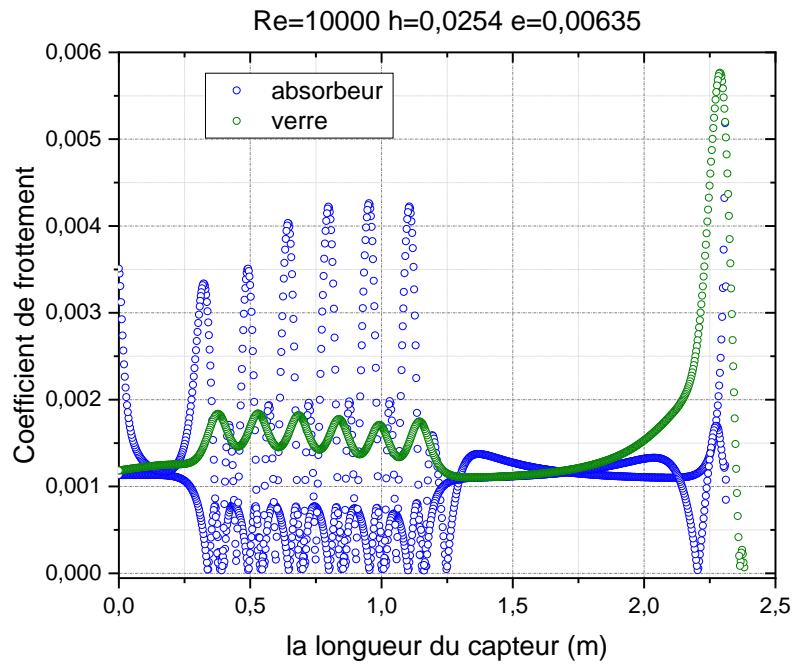


Figure 35. Variation du coefficient de friction le long des parois vitrage et de l'absorbeur pour ($Re=10000$ $h=0.0254m$ $e=0.00635m$).

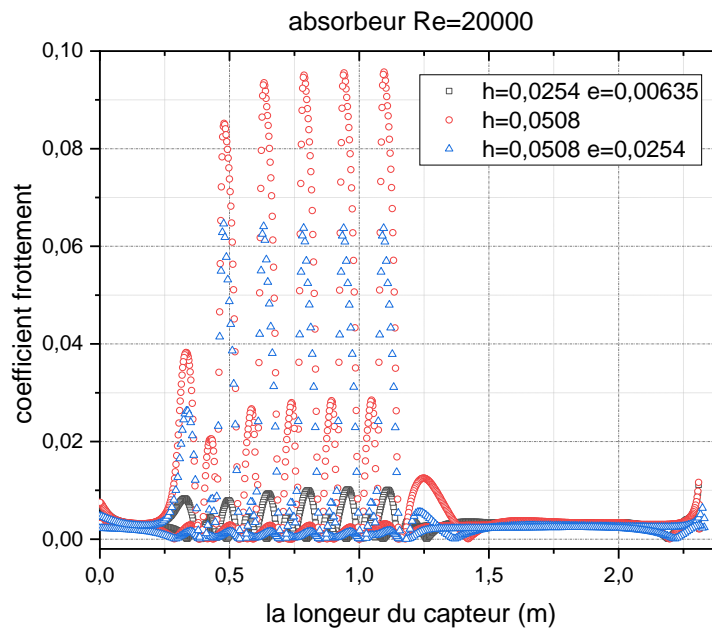


Figure 36. Variation du coefficient de friction la longueur du l'absorbeur pour ($Re=20000$ $h=0.0254m$, $h=0.0508m$ $e=0.00635$) et ($h=0.0508m$ $e=0.0254m$).

III.7. Aspect thermique :

La deuxième simulation :

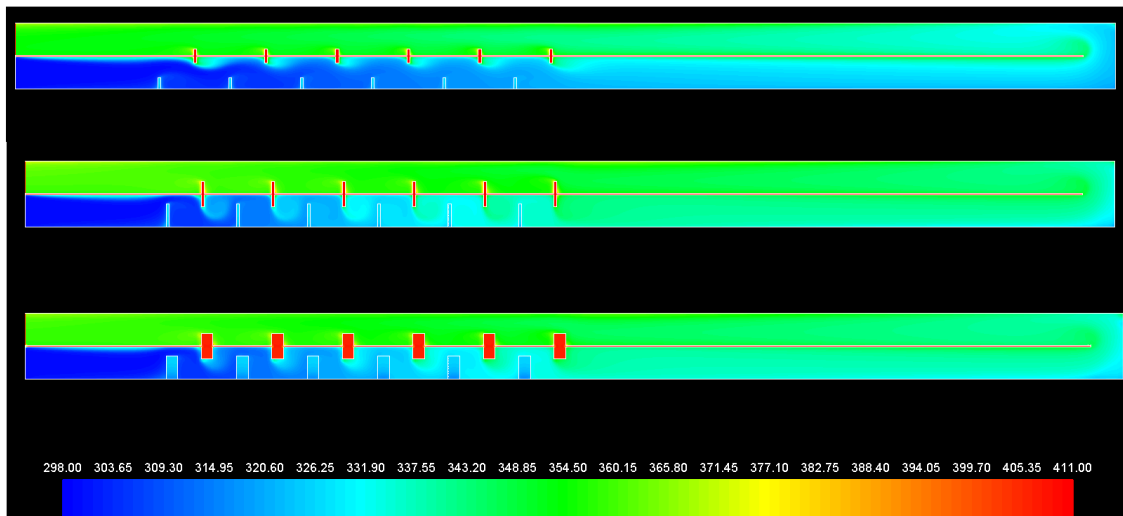


Figure 37. Distribution de champ de température totale, pour les trois cas étudiés ($h=0.0254m$, $h=0.0508m$ avec $e=0.00635m$) et ($h=0.0508m$ $e=0.0254m$)

La figure 37 montre une structure d'écoulement complexe où le fluide est dévié vers les parois supérieure et inférieure avec présence de zones de recirculation en amont et en aval de chaque ailette transversale. Cette structure d'écoulement va influencer considérablement sur la distribution de la température totale et va permettre un meilleur brassage du fluide qui donne un meilleur transfert de chaleur à la sortie du capteur solaire double passe si augmente la hauteur des ailettes et épaisseur de l'ailette c'est-à-dire la surface d'échange augmente comme on le verra par la suite.

Les zones les plus chaudes sont pour la plupart, localisées au voisinage de l'absorbeur et les ailettes transversales.

La température de l'air augmente dès que le fluide se retrouve de nouveau en contact avec l'absorbeur et les ailettes transversal, et ceci se donne un rendement très important du capteur solaire double passe muni des ailettes transversales.

III.7.1. Profil de température totale dans des sections différentes :

La variation de la température totale pour différentes sections cas apparaît clairement sur les contours et sur leurs échelles. Pour bien étudier cette évolution, on a tracé des courbes de température pour ces sections : $x_1=0.6095m$, $x_2=0.7019m$, $x_3=0.9143m$, $x_4=1.0685m$, avec $Re=2 \times 10^4$ et $h=0.0254m$ et $e=0.00635m$ d'ailette transversale solide.

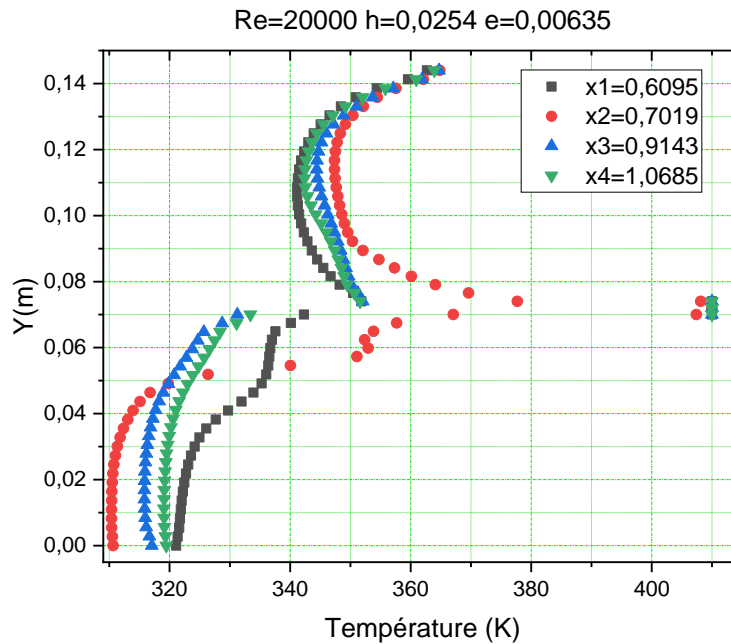


Figure 38. Profils de la température totale en amont des premières ailettes transversales ($x_1=0.6095\text{m}$, $x_2=0.7019\text{m}$, $x_3=0.9143\text{m}$, $x_4=1.0685\text{m}$;) pour la forme d'ailette traitées.

La figure. 39 présente les profils de la température totale en amont de la première ailette transversale dans les trois cas traités ($h=0.0254\text{m}$, $h=0.0508\text{m}$ avec $e=0.00635$) et $h=0.0508\text{m}$ avec $e=0.0254$) pour les deux sections à $x_1=0.6095\text{m}$ et à $x_2=1.0685\text{m}$.

On observe que la présence de la première ailette qui se trouve dans la moitié du capteur solaire double passe (absorbeur) du capteur induit une augmentation de la température totale, paradoxalement, là où on constate des valeurs sensiblement faibles à cause de l'augmentation de débit massique de l'écoulement et surtout au voisinage du passage sous l'ailette et l'absorbeur. Les résultats montrent aussi que l'utilisation des formes transversales et grande hauteur et épaisseur d'ailette influe sur le transfert thermique en amont et en aval de la première ailette transversale.

Ces remarques sont valables pour les types des ailettes épaisses, à ces deux sections, on a constaté aussi que les ailettes minces assurent mieux l'augmentation de température de l'écoulement parce qu'elles contiennent la plus grande zone de recirculation dans la région supérieure de l'absorbeur en aval de la première ailette donc un échange thermique très important.

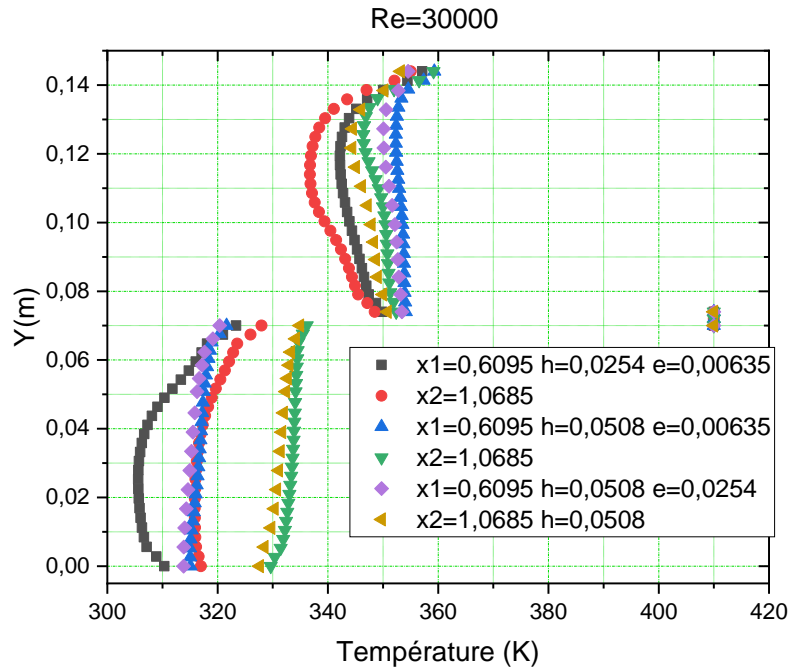


Figure 39. Profils de la température totale en amont et en aval de la première ailette ($x1=0.6095m$; $x2=1.0685m$) pour différente hauteur et épaisseur d'ailette traitée.

III.8. Rendement du capteur solaire double passe muni des ailettes :

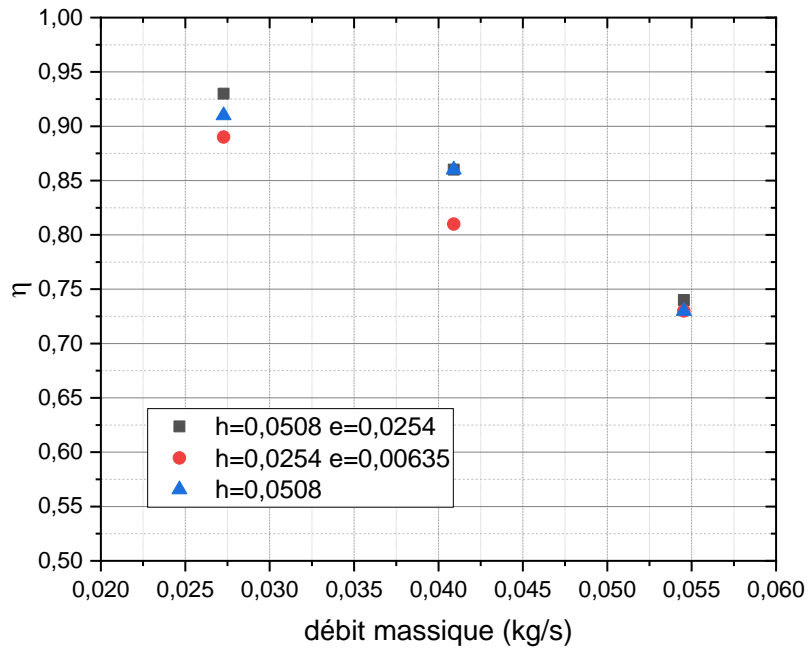


Figure 40. Rendement en fonction du débit.

La performance du capteur solaire double passe muni des ailettes transversales se mesure en termes développements de la température à la sortie du capteur. Dans la figure 40 on voit que l'efficacité thermique augmente avec la diminution du débit massique c'est-à-dire l'échange thermique faible delà d'une valeur de $m = 0,062 \text{ kg/s}$ ($Re = 5 \times 10^4$). L'augmentation de l'efficacité thermique devient importante si le débit entré du capteur solaire très faible. Ont évalué le capteur double passe à air avec le même type d'ailettes placées en périodiquement sur l'absorbeur dans le capteur solaire double passe et la forme de l'ailette.

III.8. Conclusion :

Dans cette étude, nous avons présenté une philosophie sur l'échange thermique dans un capteur solaire double passe muni des ailettes et comparé les résultats obtenus à partir d'un travail similaire et ceux issus du modèle théorique. L'objectif du travail d'améliorer le transport thermique d'air permettant d'alimenter et d'améliorer les systèmes de séchage dans les mobiliers et les entreprises. Pour cela, nous avons proposé une idée sur la dispositif expérimental du capteur solaire double passe muni des ailettes transversales, pour la réalisation au future avec des améliorations.



Conclusion générale

Conclusion Générale

Ce travail présente une philosophie pour étudier les performances d'un capteur solaire à air double passe muni des ailettes transversales possédant un absorbeur avec des ailettes ainsi que l'estimation des échanges thermiques entre air comme caloporteur et les parois du capteur. Nous avons tout d'abord une recherche bibliographique sur les différents types de capteurs solaires double passe et les paramètres pouvant influencer sur leurs performances d'un capteur solaire double passe.

Les modèles théoriques relatifs au capteur double passe muni des ailettes transversales ont été établis et résolus grâce aux outils mathématiques et implémentés en langage Matlab en tenant compte des différents paramètres physiques et thermique du capteur solaire double passe. Les résultats numériques de l'évolution des températures dans le capteur solaire à double passage ont été obtenus par un programme Matlab. Ils ont montré que le nombre de Reynold et la géométrie du capteur solaire influent sur les performances du capteur. Le modèle choisie est validé par une étude expérimentale afin de mettre en évidence la variation de certains paramètres du capteur solaire double passe et la convergence numérique. L'évolution des champs de température du fluide (air) comme un caloporteur en fonction de différents paramètres géométrique du capteur solaire double passe muni des ailettes. L'objectif étant la production de l'air chaud permettant d'améliorer le coefficient thermique du l'air. Les propriétés thermo-physiques de ce dernier ont été caractérisées à l'aide d'une étude expérimentale disponible au laboratoire d'Adrar au Milieu saharien. L'évaluation des performances du capteur a montré une forte influence du débit sur l'efficacité thermique d'un capteur solaire double passe. Le rendement optimal avoisine les 80 %, pour un débit

correspondant à 0,0136351 kg/s, son évolution est proportionnelle au rayonnement solaire (variant de 600 à 900 W/m²).

Dans la réalisation de ce travail, nous étions aussi confrontés à quelques difficultés relatives à plusieurs aspects tels que les erreurs de précisions des différents modèles numériques, des algorithmes choisies pour bien appliquer dans un logiciel de calcul (CFD), de la performance de calcul des ordinateurs ainsi que de la précision des paramètres thermo-physique.

Plusieurs perspectives peuvent s'ouvrir à partir de ce travail, notamment :

- L'analyse deux dimensions du capteur double passe muni des ailettes transversales qui nécessitent des machines plus puissantes et rapides en temps de calcul.
- L'optimisation dimensionnelle du capteur solaire double passe, d'avoir des températures plus élevées à la sortie.
- L'étude d'autres types d'absorbeurs (milieux poreux, les ailettes poreuses, d'autres formes d'ailettes) constitue des axes pertinents à explorer afin d'augmenter les performances et l'inertie du capteur.

En conclusion, l'utilisation d'un capteur solaire à double passe muni des ailettes peut améliorer l'efficacité de collecte de chaleur par rapport à un capteur solaire simple passe sans ailettes. Les ailettes augmentent la surface de contact entre le fluide caloporteur et le capteur solaire, favorisant ainsi un transfert de chaleur plus efficace. Cela peut se traduire par une augmentation de la quantité d'énergie thermique supposée à partir du rayonnement solaire, ce qui améliore la performance globale du système solaire.

Cependant, il est important de noter que l'efficacité réelle d'un capteur solaire dépend de plusieurs facteurs, tels que sa conception, les matériaux utilisés, les conditions environnementales et les pertes thermiques. Il est donc recommandé de consulter les spécifications techniques spécifiques du capteur solaire ou de réaliser des études expérimentales pour évaluer précisément son efficacité.

En fin de compte, l'utilisation de capteurs solaires efficaces et bien conçus est essentielle pour maximiser l'utilisation de l'énergie solaire et réduire la dépendance aux combustibles fossiles. Les capteurs solaires à double passe avec des ailettes offrent une solution prometteuse pour améliorer l'efficacité de collecte de chaleur et contribuer à la transition vers une énergie plus propre et renouvelable.



**Recherche
Bibliographie**

Bibliographie

- [1] M. GACEM, «Comparaion entre l'isolationt thermique extérieur et interieur d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaia,» Memoire de magister de l'universite ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN, Tlemcen, 2011.
- [2] D. BENATIALLAH, «Determination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie,» Thèse de doctorat en science, ADRAR, 2019.
- [3] L. Andre, «Stockage thermochimique de l'énergie solaire concentrée à partir de matériaux innovants par réaction solide-gaz réversibles,» Thèse de Doctorat de l'université de Perpignan , France, 2017.
- [4] A. Choayb, «Etude thermique d'un capteur solaire plan à double passe avec milieu poreux,» Memoir de magister, Tlemcen, 2013.
- [5] L. Wald, Introduction au rayonnement solaire, Paris: Presses des mines, 2020.
- [6] D. Benatiallah, «Etude et simulation de flux solaire avec intégration d'un système d'information géographique (S.I.G) pour la wilaya d'Adrar,» Memoir de magister de l'université de Africane Ahmed Draia, Adrar, 2014.
- [7] L. Kheloui et N. Khelifi, «Etude paramétrique d'un chauffe-eau solaire plan,» Memoir de Master Professionnel , Tizi-Ouzou, 2019.

- [8] R. Siad et S. Djoubri, «Amélioration de l'efficacité thermique d'un capteur solaire à air avec système de stockage d'énergie thermique,» Mémoire de Master Académique, Ouargla, 2021.
- [9] M. Gizem, «UN EXPERIMENTAL STUDY ON ENHANCEMENT OF HEAT TRANSFER IN A SOLAR AIR HEATER COLLECTOR BY USING POROUS MEDIUM,» A Thesis Submitted To The Graduate School Of Engineering And Sciences, IZMIR, 2012.
- [10] A. Zenatti et M. H. A. Taleb, «Capteur solaire en présence d'un absorbeur muni d'ailettes longitudinales,» Mémoire de Master en Energétique, Ain Temouchent, 2022.
- [11] Y. Khalil, «Etude de l'effet de la taille et la position de l'orifice d'un absorbeur incliné d'un capteur solaire à air,» Mémoire de Master d'université Saad Dahlab , Blida, 2021.
- [12] A. M. Amine, «Etude numérique d'un capteur solaire plan à air influence de la forme de la rugosité,» Mémoire de Magister en Génie Mécanique, 2012.
- [13] A. Chettir, «Etude thermique d'un capteur solaire à air muni des chicane,» Mémoire de Master d'université Mohamed Khider , Biskra, 2019.
- [14] T. Bellakhdar et O. E. Benadla, «Amélioration des performances thermique d'un capteur solaire plan à air,» Mémoire de Master en Technologie , Ain-Temouchent, 2020.
- [15] L. Bencherif , «Effet Du Modèle Double Vitrage Sur Les Performances D'un Capteur Solaire,» Mémoire de Master Académique de Physique, Adrar, 2018.
- [16] F. Abbad et A. Manseur, «Simulation Numérique De La Convection Naturelle Dans Des Cavités En Présence D'un Nanofluide,» Mémoire de Master D'université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2019.
- [17] B. Abderrahim, «Etude numérique de l'influence du débit d'air sur l'écoulement dans un capteur plan à air en convection forcé,» Mémoire de Master En Energies Renouvelables, Blida, 2020.
- [18] H. Karima, «Etude Du Transfert De Chaleur A Travers Une Ailette Verticale,» Mémoire de Magister En Génie Mécanique, Cantantine.

- [19] S. A. Marni et A. Ismaili, «Etude Numérique d'un Ecoulement Turbulent à L'intérieur d'un échangeur De Chaleur Muni d'ailettes,» Memoire de Master d'université Belhadj Bouchaib, Ain-Temouchent, 2018.
- [20] M. A. E. A. M. S. E. M. K. Sopian, «Évaluation de l'efficacité thermique d'un capteur solaire à double passage avec un milieu poreux-non poreux,» *Renewable*, vol. 34, pp. 640-645, 2009.
- [21] S. Messaoud, «Etude Dynamique Et Thermique d'un Capteur solaire à air à Double Passe avec Milieu Poreux,» Memoire de Magister en Génie Mécanique, Tlemcen, 2014.
- [22] S. Bahria et M. Amirat, «Influence de l'adjonction des chicanes longitudinales sur les performances d'un capteur solaire plan à air,» 2013.