

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : GENIE MECANIQUE
Spécialité : ENERGETIQUE

Thème

*Amélioration des performances thermique d'un capteur solaire plan
à air*

Présenté Par :

- 1) Bellakhdar Toufik
- 2) Benadla Omar Elfarouk

Devant les jurys composés de :

Pr NEHARI Driss	PROF	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr BENZENINE Hamidou	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mr GENDOOUZ Bouhelal	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2019/2020

REMERCIEMENT

*Un grand merci au **Allah** qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

Nous tenons à remercier vivement tout d'abord notre corps professoral et administratif de l'institut de technologie, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

*Nous tenons à remercier sincèrement notre encadreur « **DrHamidou BENZENINE** » qui en tant que Directeur de mémoire, il a toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.*

Nous exprimons nos reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires pour cette mémoire.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce travail.

Mercie à tous et à toute.

Dédicace

Avec un énorme plaisir je dédie ce travail à mes très chers parents votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours.

A mes chers frères et sœurs.

*A mon encadreur **Dr. Hamidou BENZENINE***

A mes très chers amis et mes collègues de génie mécanique, spécialité énergétique.

A tous mes professeurs qui m'ont encadré tous ou long de mon cursus universitaire.

Toufik

Dédicace

Avec un énorme plaisir je dédie ce travail à mes très chers parents votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours.

A mes chers frères et sœurs.

*A mon encadreur **Dr. Hamidou BENZENINE***

A mes très chers amis et mes collègues de de génie mécanique, spécialité énergétique

Omar elfarouk

Résumé :

La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement.

Donc, il est devenu impératif de développer d'autres alternatives d'énergie renouvelables propres, amies de l'environnement comme l'énergie solaire.

Le but de ce travail s'articule sur l'amélioration des performances d'un capteur solaire plan à air en insérant des rugosités de forme rectangulaires au niveau de l'isolant et de l'absorbeur. Une étude numérique utilisant le code de calcul « fluent » a été menée pour étudier le comportement dynamique et thermique de l'écoulement d'air en comparant ces différents cas de capteur solaire plan à air muni des chicanes (sans rugosité, avec rugosité insérées au niveau de l'isolant, avec rugosité insérées au niveau de l'absorbeur).

Abstract :

Much of the energy consumed comes from fossil fuels, the massive use of which can lead to the depletion of these reserves and really threatens the environment. So it has become imperative to develop other clean, environmentally friendly renewable energy alternatives such as solar power.

The aim of this work revolves around improving the performance of a flat air solar collector by inserting rectangular shaped roughnesses at the level of the insulation and the absorber. A numerical study using the "fluent" computer code was carried out to study the dynamic and thermal behavior of the air flow by comparing these different cases of flat air solar collector fitted with baffles (without roughness, with roughness inserted in the air. level of the insulation, with roughness inserted at the level of the absorber).

ملخص:

يأتي الكثير من الطاقة المستهلكة من الوقود الأحفوري ، والذي يمكن أن يؤدي استخدامه المكثف إلى استنفاد هذه الاحتياطيات ويهدد البيئة حقاً.

لذلك أصبح من الضروري تطوير بدائل أخرى للطاقة المتجددة النظيفة والصدقية للبيئة مثل الطاقة الشمسية. يدور الهدف من هذا العمل حول تحسين أداء مجمع الهواء الشمسي المسطح عن طريق إدخال خشونة مستطيلة الشكل في العزل والممتص. تم إجراء دراسة عددية باستخدام الكود الحاسوبي "الطليق" لدراسة السلوك الديناميكي والحراري لتدفق الهواء من خلال مقارنة هذه الحالات المختلفة لمجمع شمسي للهواء المسطح مزود بحواجز (بدون خشونة ، مع خشونة تدخل في الهواء. مستوى العزل ، مع إدخال خشونة على مستوى الممتص).

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralité sur les capteurs solaires plans	
I. Introduction	3
1.2 Caractéristiques techniques des capteurs solaires plans	3
1.2.1 Principe	3
1.3 Différent type du capteur solaire plan :	3
1.3.1 Capteur plan vitré	3
1.3.2 Capteur plan non vitré	4
1.4 Les composant d'un capteur solaire plan :	5
1.4.1 L'absorbeur	6
1.4.2 La couverture transparente	8
1.4.3 L'isolant :	10
1.4.4 Fluide caloporteur	11
1.4.5 Le coffre ou la cadre	12
1.5 Les application	13
1.5.1 Chauffage de l'eau sanitaire	13
1.5.1.1 Le chauffe-eau monobloc	14
1.5.1.2 Le chauffe-eau à auto vidange	14
1.5.1.3 Le chauffe-eau à circulation forcée	15
1.5.2 Système solaire combiné	16
1.5.3 Chauffage des locaux	17
1.5.3.1 Le chauffage par radiateurs conventionnels	17
1.5.4 Le chauffage de l'eau de piscine	18
1.6 Bilan thermique et énergétique d'un capteur solaire	19
1.7 Les fabrications	22
1.8 Conclusion	23
Chapitre 2 : Recherche Bibliographique	
2.1 introduction	24
2.1 Parmi les travaux antérieurs	24

2.2 Conclusion	35
-----------------------	-----------

Chapitre 3 : Modélisation Mathématique

3.1 Introduction	36
3.2 Présentation de configuration géométrique	36
3.3 Description de la géométrie	38
3.4 Modélisation mathématique	38
3.4.1 Le système d'équation	38
3.4.1.2 Conservation de la masse	38
3.4.2 Conservation de la quantité de mouvement	38
3.4.2.1 Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction axiale	38
3.4.3 Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction radiale	38
3.4.3.1 Conservation d'énergie	38
3.4.3.2 Conservation d'énergie dans le fluide	38
3.4.3.3 Conservation d'énergie dans la paroi	39
3.4.4 Energie cinétique turbulente k	39
3.4.5 Energie de dissipation ϵ	39
3.5 Résolution numérique	39
3.6 Hypothèse simplificatrice	39
3.7 Les conditions aux limites	40
3.8 Rappel sur la méthode des volumes finis	40
3.9 Définition de la CFD	41
3.10 Présentation des logiciels « Fluent » et « Gambit »	42
3.11 Conclusion	43

Chapitre 4 : Résultat et Interprétation

4.1 Introduction	44
4.2 Discussion et interprétation	45
4.2.1 Comportement dynamique de l'écoulement en présence et en absence de la rugosité	45
4.2.2 Comportement thermique de l'écoulement en présence et en absence de la rugosité	49
4.3.3 L'influence de la vitesse d'entrée sur les performances des capteur solaire	51

4.3.4 L'influence de la température d'absorbeur sur les performances du capteur solaire	52
4.3.5 Conclusion	53
Conclusion générale	55

Liste de figure

Chapitre 1 : Généralité sur les capteurs solaires plans

Figure 1.1	Capteur plan vitré	4
Figure1.2	Capteur plan vitré	4
Figure1.3	Capteur solaire non vitré	5
Figure 1.4	Les différents composants d'un capteur plan	5
Figure1.5	Diverses formes d'absorbeurs	8
Figure I.6	Transparence du verre	10
Figure1.7	Chauffe-eau solaire individuel avec chauffage d'appoint	13
Figure1.8	Schéma de chauffe-eau mono bloc	14
Figure1.9	Schéma chauffe-eau à auto vidange	15
Figure1.10	Schéma chauffe-eau à circulation forcée	15
Figure1.11	Schéma d'un double système de stockage	16
Figure1.12	Schéma d'un système de stockage combiné	17
Figure 1.13	Schéma du chauffage par radiateur conventionnels	18
Figure1.14	Schéma d'un système de chauffage de l'au de piscine	18
Figure1.15	Bilan thermique d'un capteur solaire	19

Chapitre 2 : Recherche Bibliographique

Figure 2.1	Le réchauffeur d'air solaire à chicane avec ailettes internes fixées et recyclage externe	24
Figure 2.2	Capteur solaire plan a air	25
Figure2.3	Différentes formes des ailettes ajoutées à l'absorbeur	
Figure2.4	(a) Le schéma d'un capteur solaire à double passage avec absorbeur d'ailettes dans le deuxième canal et (b) vue de dessus de l'absorbeur à ailettes décalé.	25
Figure 2.5	Réchauffeur d'air solaire à simple et double passage montrant: (a) le schéma de principe de la configuration expérimentale, (b) le canal de passage inférieur et (c) le canal de passage supérieur	26
Figure 2.6	Schéma du capteur solaire à double passage avec longitudinal	27
Figure 2.7	Schéma d'un capteur solaire plan	28
Figure 2.8	Différents modes d'échange de chaleur au sein du capteur solaire	29

Figure2.9	Schéma de principe des aérothermes solaires sans (A) et avec (B) milieux poreux	30
Figure2.10	(a). Vue en coupe du réchauffeur solaire PV / T à double passage avec ailettes. (b). Vue en coupe du réchauffeur solaire PV / T à double passage sans ailettes	31
Figure 2.11	Un diagramme schématique du banc d'essai	32
Figure 2.12	Diagramme schématique du capteur solaire d'air TE	33
Figure 2.13	Plaque rectangulaire minces orientées parallèlement à l'écoulement	34

Chapitre 3 : Modélisation Mathématique

Figure3.1	La géométrie étudiée (cas 1)	36
Figure3.2	La géométrie étudiée (cas 2)	37
Figure3.3	La géométrie étudiée (cas 3)	37
Figure3.4	Menu principal de Gambit	42
Figure 3.4	Etapas de résolution suivies par Gambit et Fluent	43

Chapitre 4 : Résultat et Interprétation

Figure 4-1	Champ de vitesse axiale pour le type1 :sans rugosités	45
Figure 4-2	Champ de vitesse axiale pour le type2 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'isolant	46
Figure 4-3	Champ de vitesse axiale pour le type3 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'absorbeur	46
Figure 4-4	Champ de pression statique pour le type1 : sans rugosités	47-
Figure 4-5	Champ de pression statique pour le type2 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'isolant	48
Figure 4-6	Champ de pression statique pour le type3 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'absorbeur	48
Figure 4-7	Champ de température pour le type1 :sans rugosités	49
Figure 4-8	Champ de température pour le type2 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'isolant	50
Figure 4-9	Champ de température pour le type3 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'absorbeur	50

Liste de tableau

Chapitre 1 : Généralité sur les capteurs solaires plans

Tableau 1.1	Matériaux utilisés comme absorbeurs	7
Tableau 1.2	Conductivité thermique des isolants utilisés pour les capteurs thermiques	11
Tableau 1.3	Coefficients d'isolation de gaz utilisés comme isolants	11
Tableau 1.4	Les plus grands producteurs de capteurs plans	22

Chapitre 4 : Résultat et Interprétation

Tableau 4.1	L'influence de la variation de la vitesse d'entrée en fonction des paramètres T_{out} , U_{max} et P_{max} pour le cas 1	51
Tableau 4.2	L'influence de la variation de la vitesse d'entrée en fonction des paramètres T_{out} , U_{max} et P_{max} pour le cas 2	51
Tableau 4.3	L'influence de la variation de la vitesse d'entrée en fonction des paramètres T_{out} , U_{max} et P_{max} pour le cas 3	51
Tableau 4.4	L'influence la variation de la température d'absorbeur en fonction de la température maximale à la sortie pour le cas 1	52
Tableau 4.5	L'influence la variation de la température d'absorbeur en fonction de la température maximale à la sortie pour le cas 2	52
Tableau 4.6	L'influence la variation de la température d'absorbeur en fonction de la température maximale à la sortie pour le cas 3	52

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
Pab	Puissance absorbée	[W]
Pu	Puissance utile	[W]
Pp	Puissance perdue	[W]
Pst	Puissance stockée	[W]
G	Eclairement solaire	[W/m ²]
S	Surface de la paroi absorbante	[m ²]
m'	Débit massique du fluide caloporteur	[kg/s]
Cf	La capacité calorifique spécifique du fluide caloporteur	[J/kg.K]
Tfs	Température de fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur	[K]
Tfe	Température de fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur	[K]
hp	Le coefficient global de pertes thermiques du capteur	[W/m ² K]
Tmoyab	Température moyenne de la paroi absorbante	[K]
Ta	Température de l'air ambiante	[K]
Meau	Masse d'eau du capteur	[kg].
Ceau	Capacité calorifique d'eau	[J/kg. K]
T	Température moyenne du capteur	[K]
T	Temps	[S]
Pv	Puissance rayonnée par le soleil et absorbée par la vitre	[W]
Sv	La surface de la vitre	[m ²]
T	Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.	–
α :	Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire	–
αv	Le coefficient d'absorption par la vitre	–
η	Le rendement global	–
η_i	Le rendement interne	–
η_o	Le rendement optique	–
P	Masse volumique	[Kg/m ³]

u , v	Composant du vecteur vitesse	[m/s]
μ_T	La viscosité turbulente	[Kg/m.s]
M	Viscosité dynamique	[Kg/m.s]
V	Viscosité cinématique	[m²/s]
p_k	Représente le terme de production d'énergie cinétique	[W]
$c_{\epsilon 2}, c_{\epsilon 1}, \sigma_t, \sigma_k, c_u$	Coefficient définissant l'équation discrétisée	—
Pr	Nombre de Prandtl	—
Δx	Longueur de volume de contrôle	—
Δy	Hauteur de volume de contrôle	—

Introduction Générale

Introduction générale :

L'énergie c'est le moteur de l'industrie et le développement économique, Sans énergie, c'est tout notre quotidien qui disparaît et sera carrément bouleversé. De nos jours, le monde connaît une industrialisation croissante et en conséquence les besoins en énergie se sont multipliés de façon exponentielle. La plupart de l'énergie consommée aujourd'hui provient des combustibles fossiles comme pétrole, gaz naturel, charbon,...etc.. Cette utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves dans quelques dizaines d'années et menace réellement l'environnement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

Donc, il est devenu impératif de développer d'autres alternatives d'énergies renouvelables propres, amies de l'environnement comme l'énergie solaire.

Dans ce mémoire, justement, on traite l'amélioration de la performance d'un capteur solaire plan à air. Notre étude consiste à simuler trois cas différents de capteur solaire, un cas sans rugosité et deux cas avec rugosité par le logiciel "fluent".

Dans le premier chapitre, on présente des généralités sur le capteur solaire plan à air et leurs différents types ainsi que leurs domaines d'applications.

Le second chapitre traite la description des principaux travaux réalisés sur les capteurs solaires plans à air.

Le troisième chapitre, présentation des trois cas de configuration du capteur solaire à air, la configuration géométrique du problème des différents cas à étudier, ainsi que la modélisation mathématique des phénomènes de transfert thermique qui se manifeste dans ce type des capteurs. Avec des hypothèses et des conditions aux limites et le système d'équation.

Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la simulation numérique et l'interprétation des résultats.

Chapitre 1

*Généralité sur les capteurs
solaires plans*

1 Introduction

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la Terre sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est semblable aux ondes radioélectriques mais il possède une gamme de fréquence différente.

L'intérêt du solaire est sensiblement le même sur tout le territoire. L'ensoleillement est plus fort dans le Sud, mais dans le Nord, les besoins en chauffage sont plus importants et plus étalés sur l'année. L'énergie peut être récupérée par des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques.

Le flux solaire peut être directement converti en chaleur par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques. Cette technique est applicable au chauffage des habitations, des piscines, à la production d'eau chaude sanitaire, ou encore au séchage des récoltes (fourrage, céréales, fruits).[1]

1.2 Caractéristiques techniques des capteurs solaires plans

1.2.1 Principe

Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur (un corps noir caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse). L'absorbeur transfère la chaleur à un fluide caloporteur (généralement de l'eau glycolée) circulant au travers de chacun des capteurs.

Le fluide caloporteur, circulant dans le circuit primaire, achemine alors l'énergie solaire depuis les capteurs vers le(s) ballon(s) de stockage.[2]

1.3 Différents types de capteurs solaires plans

1.3.1 Capteur plan vitré

Le capteur plan vitré est généralement utilisé dans les installations de chauffage de l'eau sanitaire ou des locaux. La température de fonctionnement est généralement comprise entre 30°C et 60°C. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur, on retrouve l'absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur. Le vitrage bloque le rayonnement infrarouge et isole la lame d'air au-dessus de l'absorbeur pour garder la chaleur.

Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche).[3]



Figure 1.1 : Capteur plan vitré [3]

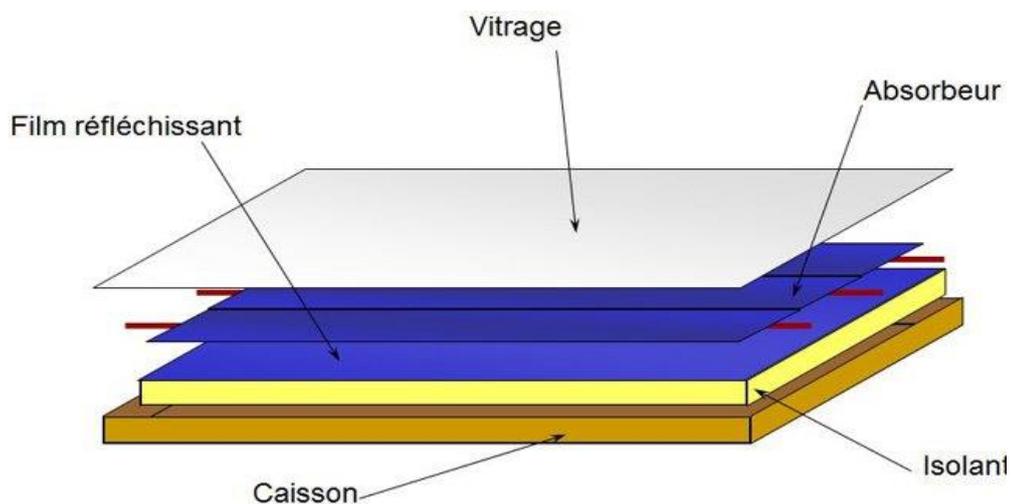


Figure1.2 : Capteur plan vitré [4]

1.3.2 Capteur plan non vitré

Le capteur plan non vitré est beaucoup plus économique mais moins répandu. Très dépendant de la température extérieure, il est généralement utilisé dans les

installations de chauffage de piscine mais peut parfois faire office de système de chauffage de l'eau sanitaire dans les pays chaud. Dans les zones tempérées, la température de fonctionnement est généralement inférieure à 30°C. Il est seulement constitué d'un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur.[3]



Figure 1.3 : Capteur solaire non vitré [3]

1.4 Les composants d'un capteur solaire plan

Un capteur solaire plan est généralement composé d'un coffre, d'un vitrage, d'une isolation, d'un absorbeur et de tubes permettant le passage du fluide caloporteur.

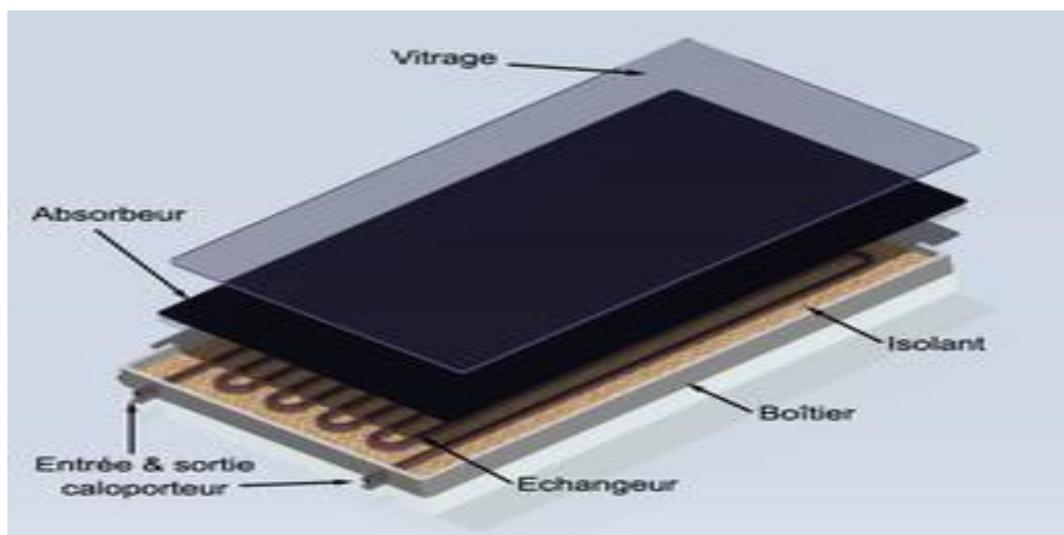


Figure 1.4 : Les différents composants d'un capteur plan [3]

1.4.1 L'absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur.[5]

Il est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le caloporteur.[5]

Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique la quelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine. L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparées aux métaux .[5]

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont de bonnes conductibilités thermiques.[6]

L'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0.2mm d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 mm.[6]

Les canaux contenant le fluide caloporteur ne doivent pas être trop espacés ; ainsi, la transmission de la chaleur de l'absorbeur vers le fluide caloporteur se fait plus efficacement. Dans la pratique, on choisit généralement un intervalle de 100 à 120mm entre les tubes .Cela représente un compromis entre une évacuation optimale de la chaleur, une faible inertie thermique et une utilisation réduite des métaux tout en préservant des coûts de fabrication bas .[6]

Il est fortement nécessaire d'assurer un bon contact entre les feuilles de l'absorbeur et les tubes du fluide caloporteur afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact.[6]

Voici les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs :

<i>Matériaux</i>	<i>Absorptivité</i> $\alpha\alpha^*$	<i>Emissivité</i> $\varepsilon\varepsilon$	<i>Sélectivité</i> $\alpha\alpha^*/\varepsilon\varepsilon$	<i>Température</i> $e\ max\ (^{\circ}C)$
<i>Black nickel</i>	0.88-0.98	0.03-0.25	3.7-32	300
<i>Graphitic film</i>	0.876-0.92	0.025-0.061	14.4-36.8	250
<i>Black copper</i>	0.97-0.98	0.02	48.5-49	250
<i>Black chrome</i>	0.95-0.97	0.09-0.30	3.2-10.8	350-425

Tableau 1. Matériaux utilisés comme absorbeurs.[3]

L'absorbeur se caractérise par deux paramètres [3]:

- le facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité) le rapport du rayonnement lumineux absorbé par le rayonnement lumineux incident.
- le facteur d'émission infrarouge ε (ou émissivité): le rapport entre l'énergie rayonnée dans l'infrarouge lorsque l'absorbeur est chaud et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température.

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité. Cependant, les surfaces métalliques tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé le transforme en par l'effet de décalage de Wien et qui, d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du rayonnement I.R ($\varepsilon < 0.15, \alpha > 0.9$). Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir.[5]

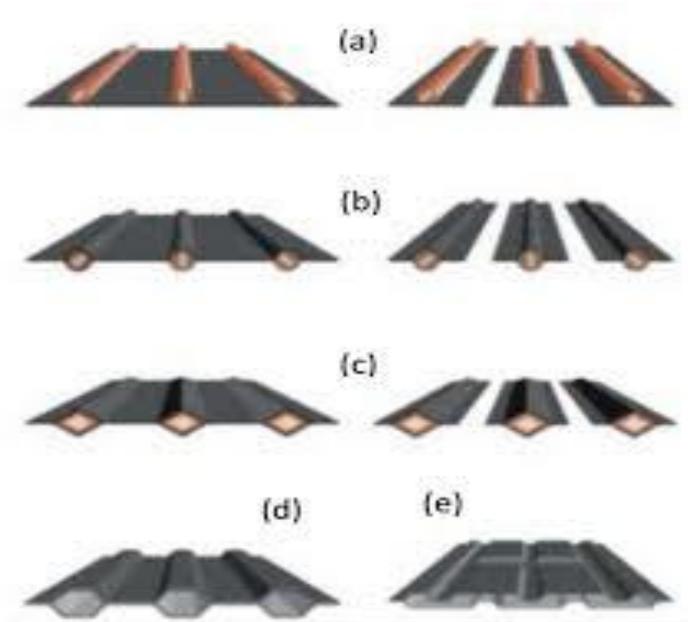


Figure 1.5 : Diverses formes d'absorbeurs [7]

- a) les absorbeurs à plaques ou ailettes de cuivre et tuyauteries de cuivre soudées (les plus utilisés)
- b) les absorbeurs à plaques ou ailettes de cuivre et tuyauteries enchâssées
- c) les absorbeurs à plaques ou ailettes d'aluminium et tuyauteries de cuivre
- d) les absorbeurs à plaques d'aluminium profilées soudées
- e) les absorbeurs à plaques d'acier inoxydable profilées soudées

1.4.2 La couverture transparente

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le verre comme couverture transparente [8].

Un tel dispositif représente donc un véritable piège au rayonnement solaire, qui peut être amélioré en munissant le capteur d'une double couverture.

Comme couvertures transparentes utilisées dans la conception des capteurs solaires plans, on distingue : [9]

- *Le verre*

La propriété physique intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que celui de l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre.[9]

La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées.[9]

Une appellation « verre solaire » existe et fait l'objet d'exigences toutes particulières :[9]

- le verre doit être trempé pour résister sans risques aux charges thermiques et mécaniques.
- il doit présenter un haut degré de transmission solaire caractérisé par une faible teneur en fer.
- il doit être doté d'une surface structurée permettant de réduire les reflets directs.

La qualité du verre est caractérisée par son rendement optique ou taux de transmission ζ qui dépend de la nature et de l'épaisseur du vitrage ainsi que de l'angle d'incidence i et de la nature du rayonnement (direct ou diffus) (valeur habituelle de ζ : 0,91).[9]

Actuellement, un nouveau verre, dit « antireflet », équipe certains capteurs. Ce verre à un taux de transmission de l'ordre de 96% et son effet se marque davantage pour le placement de capteurs à la verticale.[9]

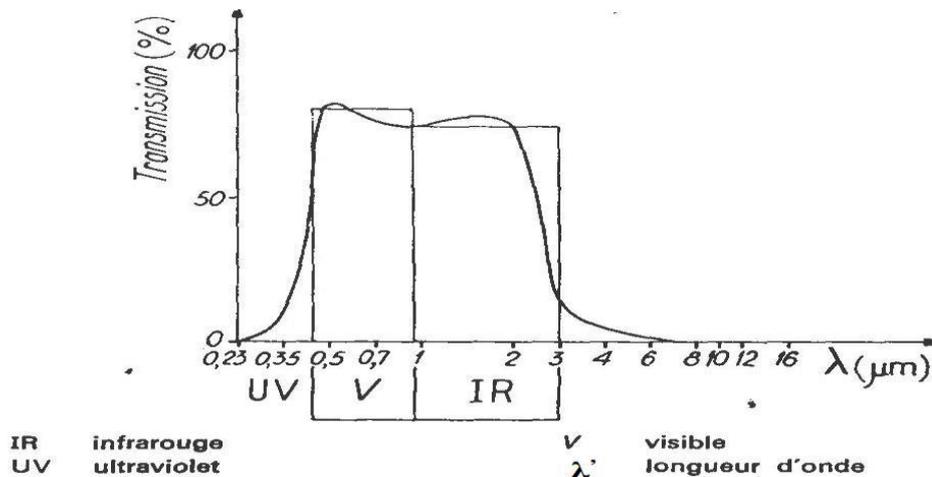


Figure I.6 : Transparence du verre [10]

- **Les polycarbonates**

sont des dérivés de matières plastique à double et à triple lame très fine, reliées entre elles par une multitude de parois pour former des cavités alvéolaires, ces dernières réduisent le mouvement de l'air incarcéré dans cet espace, et permettent de minimiser les pertes thermiques par convection vers l'avant. C'est ce genre de couvertures qu'on utilise dans notre laboratoire. Leur coefficient de transmission au rayonnement solaire, est de l'ordre de 83% sous une incidence normale à l'état neuf, qui diminue légèrement avec le temps (79% au bout de cinq ans). Il faut noter que l'effet de serre est nettement meilleur avec des couvertures transparentes en verre et en particulier avec des plaques alvéolaires à double paroi. Les polycarbonates, en comparaison avec des couvertures en verre, présentent l'avantage d'avoir une bonne résistance aux chocs thermomécanique.[9]

1.4.3 L'isolant

L'isolant thermique permet de limiter les déperditions thermiques, sa caractéristique est le coefficient de conductivité ; plus il est faible meilleur est l'isolant. Les principaux matériaux utilisés pour les capteurs thermiques sont la laine de roche et de verre, des mousses de polyuréthane ou encore de la résine de mélamine. On retrouve parfois des isolants plus naturels.[3]

Quelques isolants utilisés pour les capteurs thermiques :

<i>Matériaux</i>	<i>Conductivité thermique</i>
<i>Laine de roche</i>	0,032 - 0,040 W/m.K
<i>Laine de verre</i>	0,030 - 0,040 W/m.K
<i>Mousses de polyuréthane (étanchéité)</i>	0,022 - 0,030 W/m.K

Tableau 2 : Conductivité thermique des isolants utilisés pour les capteurs thermiques [11]

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

Voici les coefficients d'isolation de gaz utilisés comme isolants

<i>Gaz</i>	<i>Conductivité thermique à 283 k,1 bar</i>
<i>Air</i>	0,0253 W/m.K
<i>Argon</i>	0,01684 W/m.K
<i>Xéno</i>	0,00540 W/m.K

Tableau 3 : Coefficients d'isolation de gaz utilisés comme isolants [12]

1.4.4 *Fluide caloporteur*

Le fluide caloporteur (ou calorporteur) permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là où elle doit être consommée. Un bon fluide caloporteur doit prendre en compte les conditions suivantes : [3]

- être chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors de la stagnation du capteur ;

- posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiques locales ;
- posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans le circuit capteur ;
- posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin de transporter efficacement la chaleur ;
- être non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement ;
- avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation ;
- être facilement disponible et bon marché

Les fluides caloporteurs les plus utilisés sont :

- *l'air*

L'air comme agent de transport de calories a un grand avantage par son abondance et sa gratuité, est par l'absence de problèmes de gel et de corrosion ce qui donne au capteur une grande durée de vie et moins de travaux d'entretien. Mais pour transporter une quantité raisonnable d'énergie il faut utiliser des volumes d'air très importants.

- *l'eau*

Un excellent fluide caloporteur pour sa chaleur massique mais le risque de gel pendant les nuits d'hiver et le risque d'ébullition en cas de haute température posent des problèmes. La naissance des couches de tartre dans les canalisations au fil du temps diminue la quantité de chaleur échangée.

- *les gyltherms :*

Des liquides organiques à base de poly phényles hydrogénés ou d'hydrocarbures linéaires traités pour ne pas présenter les mêmes défauts que l'eau, leur chaleur massique est de 0,5 kcal/kg K. Ces hydrocarbures se détériorent en présence de traces d'eau ou d'air et de combustibles à haute température.

1-4-5 Le coffre ou la cadre

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

1-5 Les application

1-5-1 Chauffage de l'eau sanitaire

Le chauffage de l'eau sanitaire est l'une des technologies solaires les plus accessibles aux particuliers. Le principe est simple : des capteurs thermiques transforment le rayonnement lumineux en chaleur. Le fluide caloporteur circule dans les capteurs thermiques et transporte la chaleur jusqu'à l'eau sanitaire stockée dans un ballon.[3]

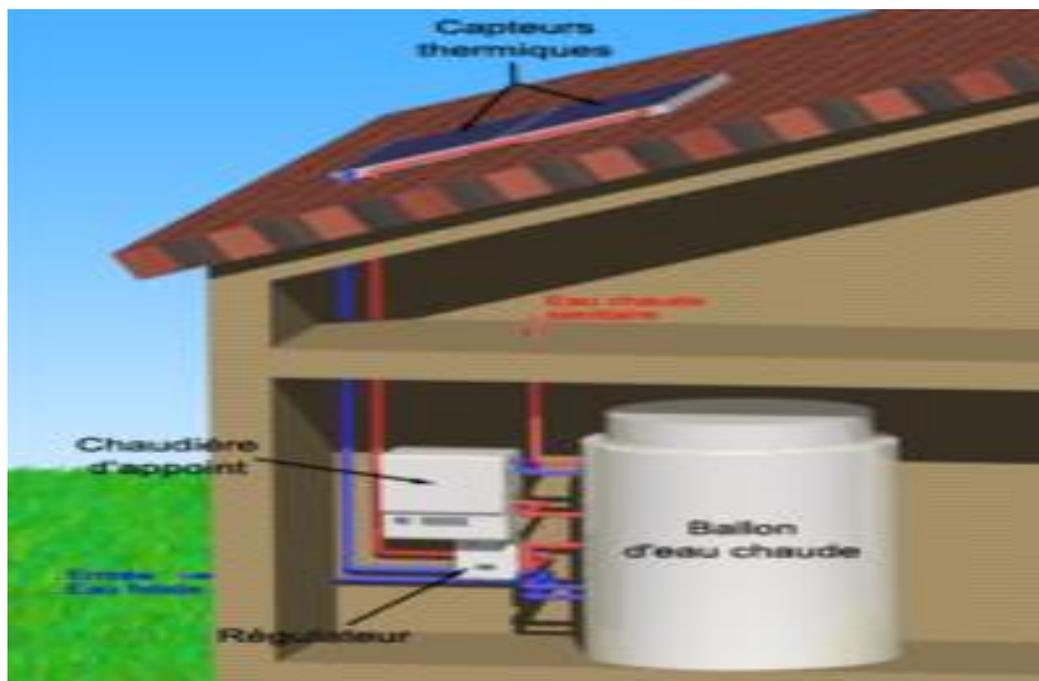


Figure1.7 :Chauffe-eau solaire individuel avec chauffage d'appoint [3]

Bien entendu, plusieurs systèmes permettent de chauffer l'eau sanitaire, avec pour chacun ses avantages et ses inconvénients.

1.5.1.1 Le chauffe-eau monobloc

Est le système le plus simple. Le capteur thermique et le ballon forme un seul ensemble. L'eau sanitaire circule directement dans les capteurs thermiques ; une fois chauffée, l'eau devient moins dense et monte dans le ballon situé légèrement au-dessus du capteur [3].

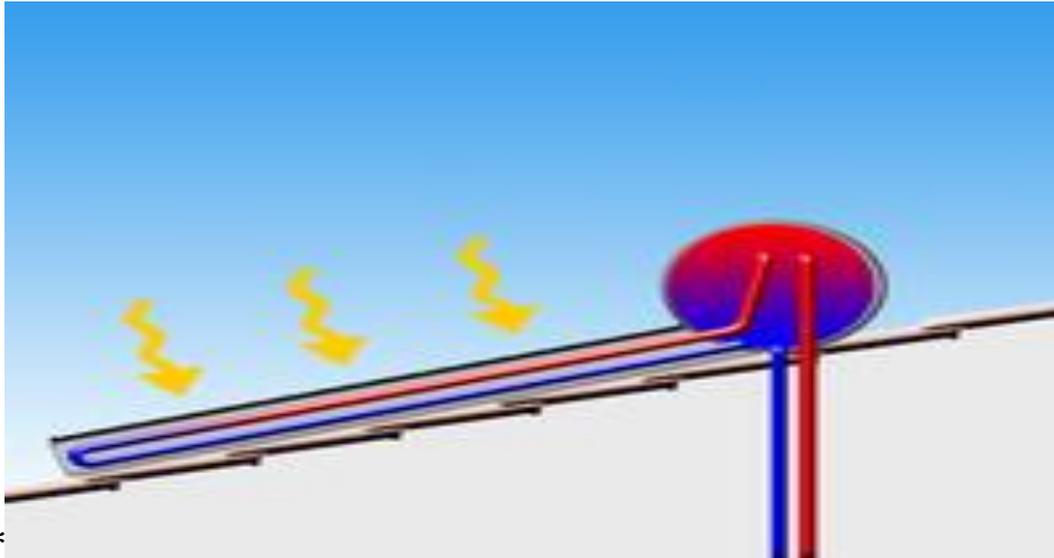


Figure 1.8 : Schéma de chauffe-eau mono bloc [3]

1-5-1-2 Le chauffe-eau à auto vidange

À la capacité de vider les capteurs thermiques lorsqu'ils sont sujets aux risques de gel. Le ballon est toujours situé plus bas que les capteurs thermiques : lorsque le soleil ne chauffe plus, la circulation de l'eau s'arrête et le circuit se vidange automatiquement. Lorsque le soleil réapparaît, la circulation se remet en route.[3]



Figure1.9 :Schéma chauffe-eau à auto vidange [3]

1.5.1.3 Le chauffe-eau à circulation forcée

Utilise un fluide caloporteur qui ne craint pas le gel. Le fluide est chauffé à l'intérieur des capteurs thermiques et transporte la chaleur dans le ballon à travers un échangeur, évitant ainsi un mélange avec l'eau sanitaire.[3]

Une fois refroidi, le fluide retourne dans les capteurs thermiques avec l'aide d'une pompe.[3]



Figure1.10 : Schéma chauffe-eau à circulation forcée [3]

1.5.2 Système solaire combiné

Le système solaire combiné fournit de l'eau chaude et du chauffage grâce à des capteurs solaires, mais aussi grâce à une source d'énergie secondaire qui prend le relais en cas de besoin. Ainsi, le système solaire peut être combiné à un système au gaz, au bois, au fioul, à l'électricité ou encore à une pompe à chaleur. Le SSC permet de couvrir environ 70 % des besoins en eau chaude et 40 % de ceux en chauffage.[3]

Il y a 2 types système combiné :

- le double système de stockage

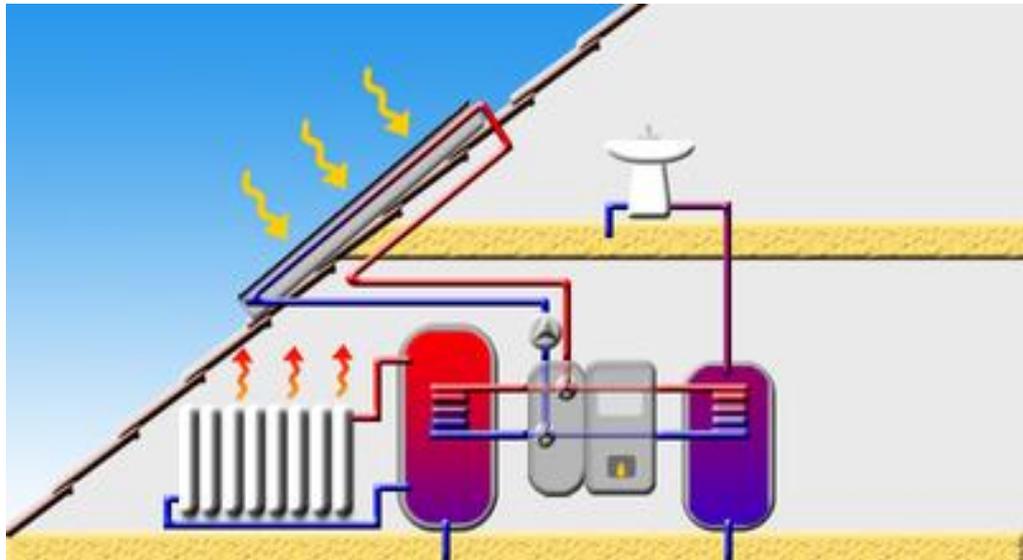


Figure1.11 : Schéma d'un double système de stockage [3]

- système de stockage combiné

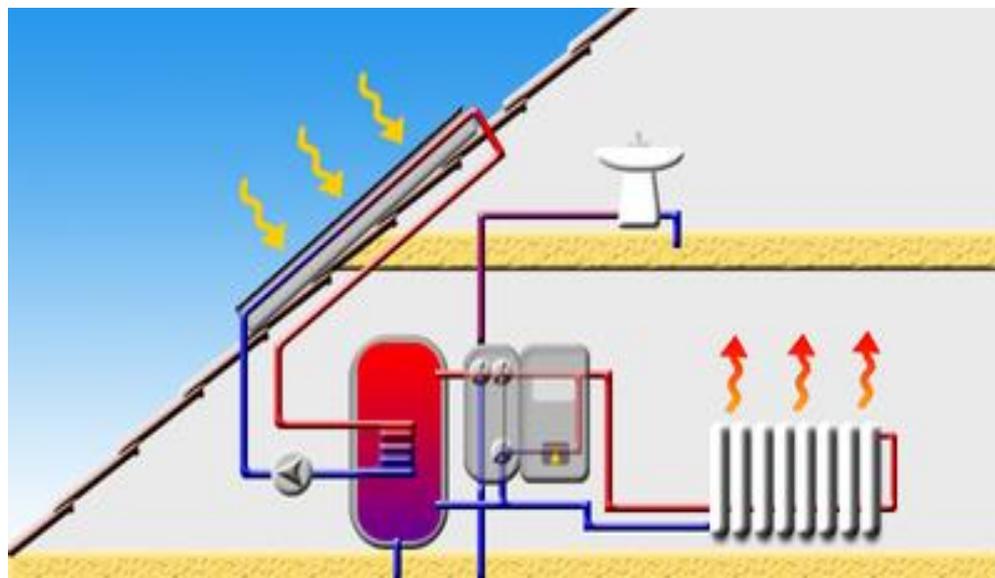


Figure1.12: Schéma d'un système de stockage combiné [3]

1.5.3 Chauffage des locaux

Le chauffage de locaux à partir de capteurs solaires n'est pas encore très développé même si l'évolution des normes d'isolation des bâtiments peut rendre cette technologie plus attractive. Le principal frein est que l'on a principalement besoin de chauffage en hiver, période durant laquelle l'ensoleillement est réduit. Il existe trois manières de chauffer un local par l'énergie solaire thermique : par des radiateurs conventionnels, par une ventilation à air chaud ou par un plancher chauffant.[3]

1.5.3.1 Le chauffage par radiateurs conventionnels

Fonctionne très similairement à un chauffage d'eau sanitaire.

Des capteurs thermiques transforment le rayonnement lumineux en chaleur, le fluide caloporteur circule dans les capteurs thermiques et transporte la chaleur jusqu'à l'eau de chauffage stockée dans un ballon. Ensuite l'eau chaude circule à l'intérieur de radiateurs conventionnels.



Figure1.13 : Schéma du chauffage par radiateurs conventionnels

1.5.4 Le chauffage de l'eau de piscine

Le chauffage de l'eau de piscine se fait en période estivale, période durant laquelle le risque de gel est négligeable. Les capteurs thermiques utilisés sont des capteurs sans vitrage qui nécessitent moins de maintenance, ils sont performants pendant cette période, et surtout sont moins coûteux. L'eau de la piscine est pompée jusque dans l'absorbeur où elle est chauffée, puis retourne dans la piscine. Le système peut également être couplé à un chauffage d'appoint, apportant ainsi plus de confort.[3]

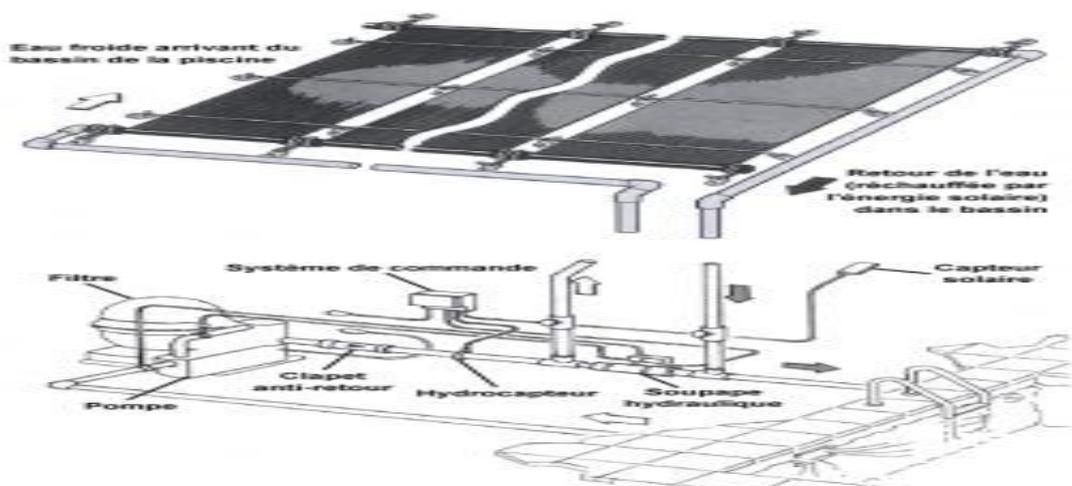


Figure1.14 : Schéma d'un système de chauffage de l'eau de piscine [3]

Avantage :

- moins coûteux que des capteurs vitrés ;
- peu d'entretiens.

Inconvénients :

- grande surface de capteurs ;
- nécessite un traitement chimique de l'eau (régulation du pH, désinfection au chlore...)

1.6 Bilan thermique et énergétique d'un capteur solaire

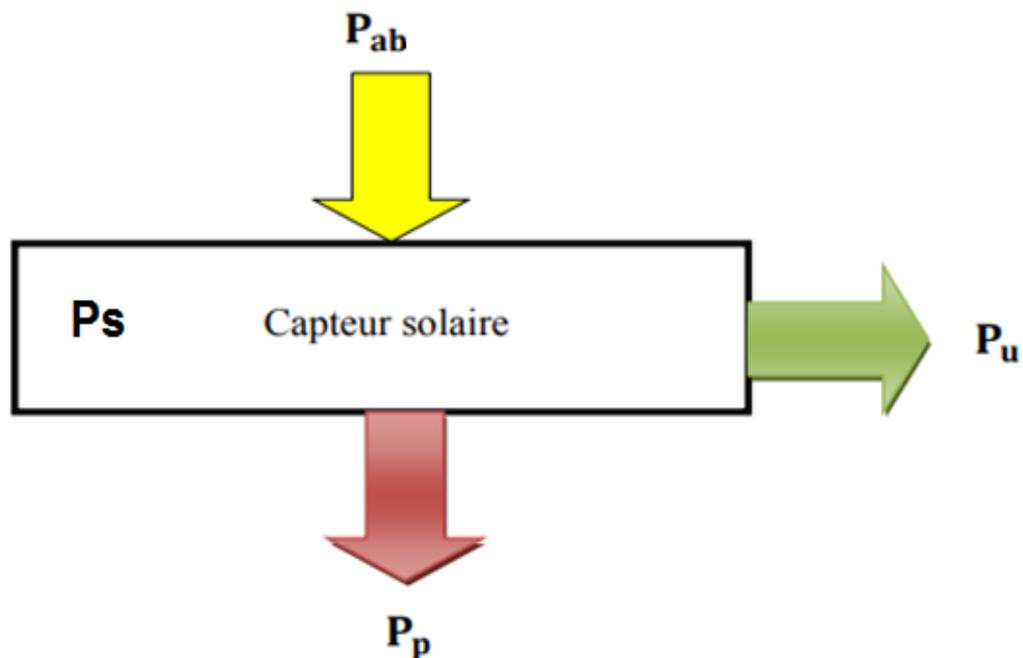


Figure 1.15 : Bilan thermique d'un capteur solaire [13]

Le bilan thermique d'un capteur exprime que la puissance absorbée P_{ab} est répartie entre la puissance utile P_u , la puissance perdue P_p , et la puissance stockée P_{st} , ainsi on peut écrire :

$$P_{ab} = P_u + P_p + P_{st} \quad (1.1) \quad [13]$$

La puissance absorbée **P_{ab}** par le capteur s'écrit :

$$\mathbf{P_{ab}} = \boldsymbol{\tau\alpha GS} \text{ (1.2) [13]}$$

Où :

τ : coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

α : coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire

G : éclairement solaire incident sur le capteur [W/m^2]

S : Surface de la paroi absorbante [m^2]

Si le fluide caloporteur rentre dans le capteur avec un débit massique **m** à une température d'entrée **T_{fe}**, et sort à une température **T_{fs}**, la puissance utile **P_u** sera donnée par : [13]

$$\mathbf{P_u} = \mathbf{m C_f (T_{fs} - T_{fe})} \text{ (1.3) [13]}$$

Où :

m : Débit massique du fluide caloporteur [kg/s]

C_f : La capacité calorifique spécifique du fluide caloporteur [J/kg.K]

T_{fs} : Température de fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur [K]

T_{fe} : Température de fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur [K]

Si l'on considère que le capteur est à une température moyenne **T_{moyab}**, et que l'environnement est à une température, alors la puissance perdue **P_p** du capteur est mise sous la forme : [13]

$$\mathbf{P_p} = \mathbf{h_p(T_{moyab} - T_a) S} \text{ (1.4) [13]}$$

Où :

h_p : Le coefficient global de pertes thermiques du capteur [$\text{W/m}^2\text{K}$]

T_{moyab} : Température moyenne de la paroi absorbante [K] **T_a** : Température de l'air ambiante [K]

S : surface de la paroi absorbante [m^2]

La puissance stockée dans le capteur s'écrit :

$$P_{st} = M_{eau} \cdot C_{eau} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.5) \quad [13]$$

Où :

M_{eau} : Masse d'eau du capteur [kg].

C_{eau} : Capacité calorifique d'eau [J/kg.K]

T : Température moyenne du capteur [K]

t : Temps [S]

La puissance **P_v** rayonnée par le soleil et absorbée par la vitre :

$$P_v = \alpha_v \cdot G \cdot S_v \quad (1.6) \quad [13]$$

Où :

α_v : Le coefficient d'absorption par la vitre

G : l'éclairement solaire [W/m^2]

S_v : La surface de la vitre [m^2]

Les rendements d'un capteur η sont définis par rapport la puissance incidente de la manière suivante :

➤ Le rendement global :

$$\eta = \frac{p_u}{s.g} \quad (1.7) \quad [13]$$

➤ le rendement interne :

$$\eta_i = \frac{p_u}{p_{ab}} \quad (1.8) \quad [13]$$

➤ le rendement optique :

$$\eta_o = \frac{p_{ab}}{s.g} \quad (1.9) \quad [13]$$

Où :

P_u : La puissance utile [W]

P_{ab} : La puissance absorbée [W]

G : éclairement solaire incident sur le capteur [W/m²]

1.7 Les fabrications

<i>ENTREPRISE</i>	<i>PAYS</i>	<i>PRODUCTION ANNUELLE EN 2012 EN m²</i>
GREENONETEC	Autriche	595 000 m ²
FIVE STAR	Chine	350 000 m ²
PROSUNPRO	Chine	340 000 m ²
SOLETROL	Brésil	330 000 m ²
EZINÇ META	Turquie	314 000 m ²
WOLF	Allemagne	159 000 m ²
ERASLANDAR	Turquie	200 000 m ²
PRIME LASER TECH	Grèce	200 000 m ²
RHEEM	Australie	260 000 m ²

Tableau 4 : Les plus grands producteurs de capteurs plans [14]

-

1-8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes attachés à introduire le contexte de notre travail qui se ramène aux capteurs solaires plans. Une description générale de ces derniers, qui est représentée par leurs principes de fonctionnement et leur différents composants et leur application a été donnée. Par ailleurs, le bilan thermique de ces capteurs a aussi été présenté.

Chapitre2

Recherche Bibliographique

2.1 Introduction

En raison de l'insuffisance de l'échange thermique réalisée dans le capteur solaire plan à air entre le fluide et l'absorbeur il est intéressant à apporter des améliorations pour de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique.

2.2 Parmi les travaux antérieurs

Les capteurs solaires plans à air on fait l'objet de nombreux travaux qui peuvent être de nature théorique, numérique ou expérimentale.

Dans ce chapitre, nous proposons une description des principaux travaux réalisés sur les capteurs solaires plans à air.

Ho et H.M. Yeh [15] ont fait une étude théorique et expérimentale pour traiter l'influence du rayonnement solaire sur le rendement du capteur solaire. Ils ont conclu que la surface du capteur est proportionnelle à la quantité d'énergie qu'elle reçoit par rayonnement solaire et à l'échange entre l'absorbeur et le fluide caloporteur. Dans ce cas aussi les pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur augmentent avec la taille de la surface exposée au rayonnement solaire.

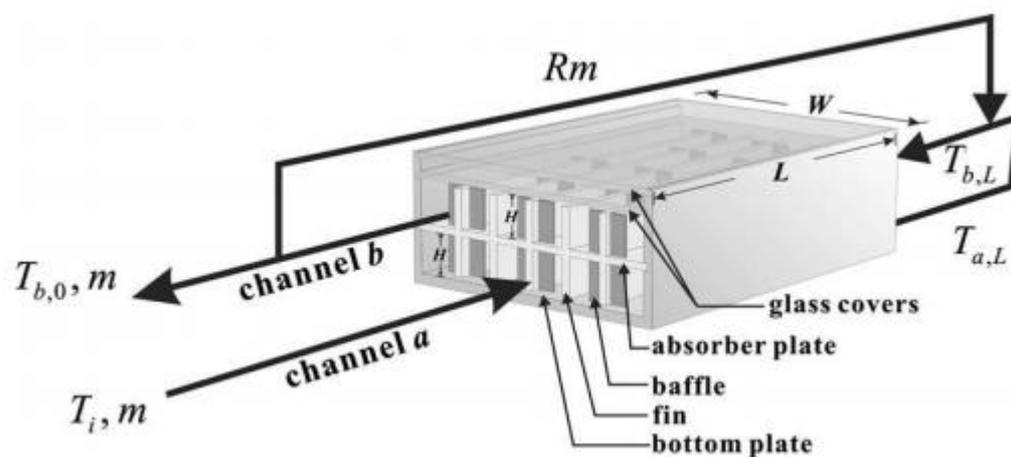


Figure2.1 : Réchauffeur d'air solaire à chicane avec ailettes internes fixées et recyclage externe [15]

A. Zaïd et al [16], ont proposé une étude afin de chercher à améliorer le couple « Rendement -Ecart de température » du capteur en introduisant des chicanes (obstacles) lesquelles sont déposées dans la veine dynamique du capteur.

L'étude a révélé une amélioration sur les transferts thermiques. La température de sortie et le rendement du capteur sont également nettement améliorés.

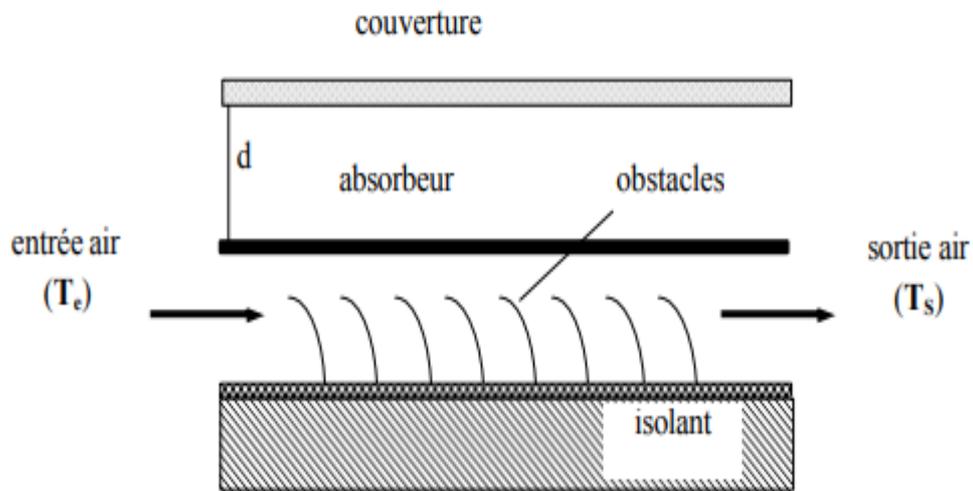


Figure 2.2 : Capteur solaire plan à air étudié par *A. Zaïd et al [16]*

A. Abene et al [17] ont montré dans son article que l'introduction des obstacles dans la veine d'air du canal est un facteur très important pour l'amélioration des performances du capteur. Cependant, ainsi que la forme, les dimensions, l'orientation et la disposition des obstacles s'influent considérablement sur l'efficacité du capteur.

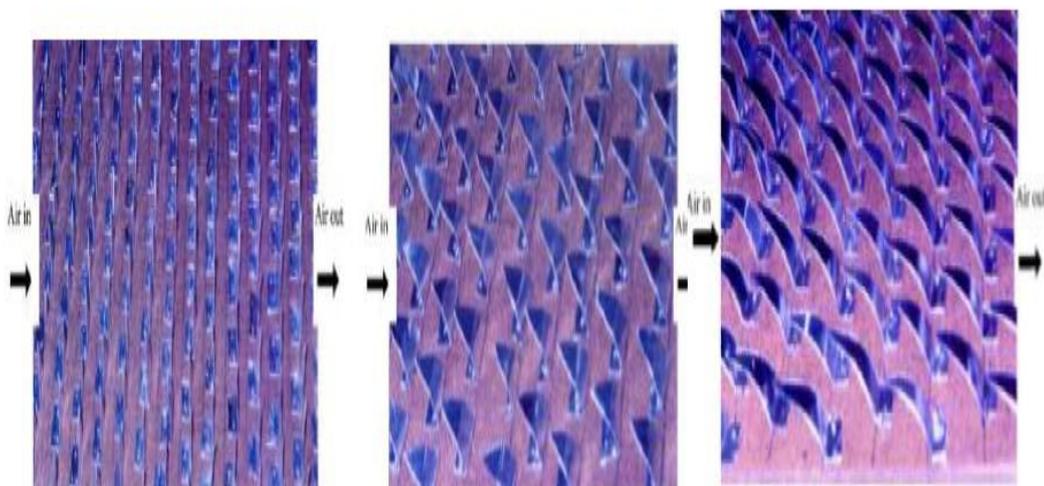


Figure 2.3 : Différentes formes des ailettes ajoutées à l'absorbeur pour améliorer l'efficacité de l'absorbeur [17]

A. Fudholi et al [18], ont fait une étude expérimentale sur l'efficacité thermique d'un capteur solaire double passe à air avec des ailettes placées dans le second canal.

Le changement de paramètres à une influence sur l'efficacité thermique du capteur solaire. L'efficacité thermique a été étudiée en fonction du débit massique et de l'intensité de la radiation solaire. Les résultats de cette étude ont montré que le capteur solaire à air à double passe avec ailettes à une efficacité de plus de 75% pour un débit massique de 0.072kg/s et une radiation solaire de 788W/m² et que l'absorbeur avec ailettes est plus efficace que celui sans ailettes. Aussi, l'efficacité du capteur solaire dépend du débit massique et de la radiation solaire. Pour une radiation solaire variant entre 432W/m² et 788W/m², l'efficacité augmente de 25% et pour un débit massique variant entre 0.04 et 0.083kg/s, l'efficacité augmente de 40%.

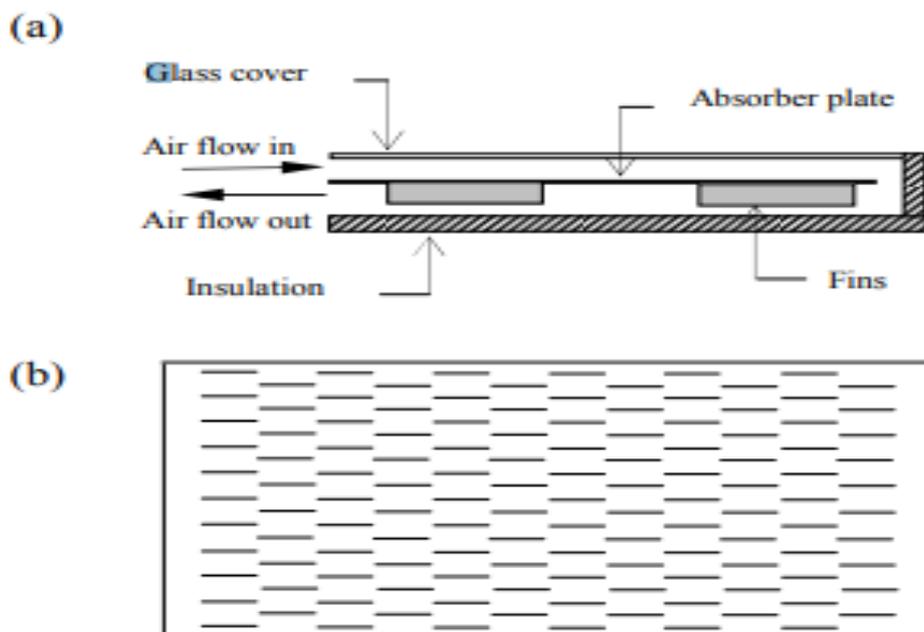


Figure 2.4:(a) Le schéma d'un capteur solaire à double passage avec absorbeur d'ailettes dans le deuxième canal et (b) vue de dessus de l'absorbeur à ailettes décalé.[18]-

A.P. Omojaro et al (2010)[19], ont publié aussi une étude expérimentale sur les performances thermiques des capteurs solaires à air à simple et à double passe en présence d'ailettes. Le résultat montre que, l'efficacité augmente avec l'augmentation du débit massique d'air. Pour le même débit, l'efficacité du double passage est supérieure de 7 à 19,4% à celle du simple passage. Pour un

même débit, ils ont trouvé que l'efficacité du capteur solaire à double passe avec ailettes est plus élevée que celle du capteur solaire à une seule passe. Pour un débit massique de 0.038kg/s, l'efficacité maximale obtenue par le capteur solaire à une seule passe est de 59.62%, et elle atteint 63.74% pour le capteur solaire double passe avec ailettes. L'augmentation du débit massique diminue la différence de températures entrée-sortie du capteur solaire.

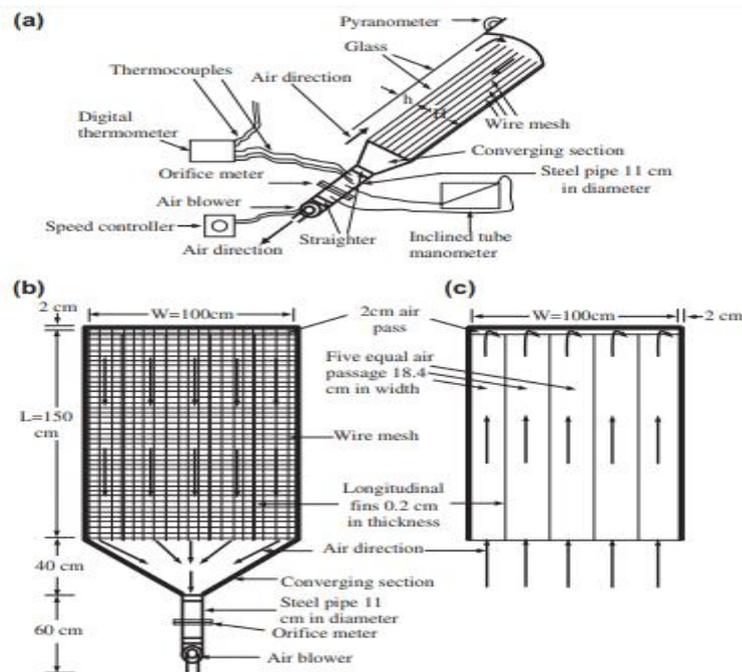


Figure 2.5 : Réchauffeur d'air solaire à simple et double passage montrant : (a) le schéma de principe de la configuration expérimentale, (b) le canal de passage inférieur et (c) le canal de passage supérieur[19]

N. Moummi et al [20], ont réalisé une étude premièrement sur l'écoulement turbulent entre l'absorbeur et la plaque arrière en réduisant les zones mortes par l'utilisation d'obstacles avec des formes rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement, pour améliorer le facteur d'efficacité du capteur solaire. Deuxièmement et pour la même configuration ils ont entrepris une étude sur l'évaluation du coefficient du transfert. En comparant leur travail avec un autre type de capteur sans

plaque, utilisant deux types d'absorbeurs, sélectif et non sélectif, ils ont trouvé que la sélectivité de l'absorbeur ne présente pas une amélioration significative. Ils ont proposé une approximation du coefficient du transfert convectif dans le canal d'air, prenant en compte la géométrie de l'absorbeur et la nature de l'écoulement.

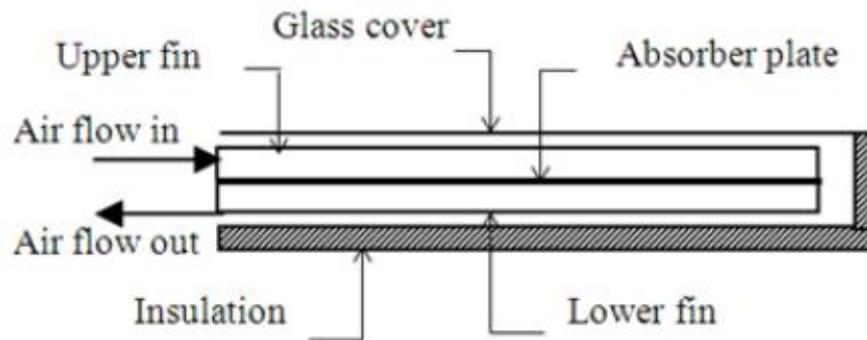


Figure 2.6 : Schéma du capteur solaire à double passage avec longitudinal [21]

T. Koyuncu [21], a proposé une étude expérimentale sur six types de capteurs solaires plans.

- ❖ Modèle 1 : vitre en plastique, absorbeur noir et plat.
- ❖ Modèle 2 : vitre en plastique, absorbeur noir en forme de zigzag.
- ❖ Modèle 3 : vitre simple en plastique, absorbeur noir et plat, l'air passe entre l'absorbeur et la couverture.
- ❖ Modèle 4 : vitre simple en plastique, absorbeur plan.
- ❖ Modèle 5 : vitre simple en plastique, absorbeur noir en forme de zigzag.
- ❖ Modèle 6 : Double couverture en plastique, absorbeur plan noire.

Les rendements des six modèles de capteurs étudiés sont respectivement égaux à 45.88%, 44.23%, 42.11%, 23.39%, 39.05% et 36.94%. Les résultats ont montré que le modèle 1 est le plus efficace. L'auteur conclut également que le nombre de vitres et la méthode de passage de l'air influent considérablement sur l'efficacité du capteur, alors que la forme de la surface de l'absorbeur a peu d'influence sur l'efficacité.

A. Benkhelifa [22], a présenté un modèle mathématique permettant de calculer les pertes thermiques d'un capteur solaire plan (entre l'absorbeur et l'ambiance). Il a conclu que l'augmentation du coefficient de perte thermique dépend de l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur ainsi que sa température et du

coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant, mais l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre diminue les pertes thermiques.

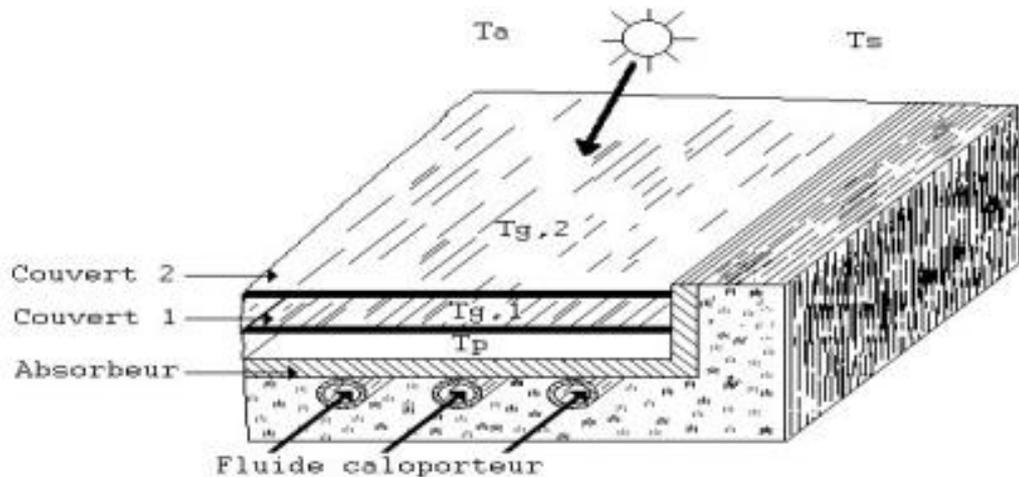


Figure2.7 : Schéma d'un capteur solaire plan étudié par A. *Benkhelifa* [22],

Donation Njomo [23], a mené une étude numérique, d'un capteur possède une couverture transparente externe en plastique, ici plexiglas, dont le rôle de protéger le capteur contre d'éventuel jets de pierre, tandis que la couverture interne en verre réaliser l'effet de serre nécessaire pour réchauffer l'absorbeur .il a conclu que ce capteur avec double couverture de matière différent a des performances meilleures qu'un capteur à deux vitres de même nature. Il a trouvé que la température de sortie du fluide caloporteur et le rendement du capteur diminuent lorsque le débit d'air augmente. Par contre, la température de sortie du fluide caloporteur ne croît pas de manière significative avec l'augmentation de sa température d'entrée, car les pertes thermiques du capteur augmentent rapidement quand la température de l'air à l'entrée augmente. Le rendement thermique journalier du capteur décroît linéairement avec l'augmentation de la température d'entrée du fluide jusqu'à s'annuler.

A. Zerrouki et al [24], ont modélisé les pertes thermiques dans un capteur solaire à air à deux passes schématisées sur la figure ci-contre. Ils ont établi un bilan thermique respectivement sur la couverture transparente, l'absorbeur et l'isolant thermique arrière. Dans cette étude, les auteurs ont présenté une solution mathématique exacte

de ce modèle, et fourni les expressions exactes du coefficient de transfert de chaleur et de la conductance totale du capteur solaire à deux passes en régime permanent.

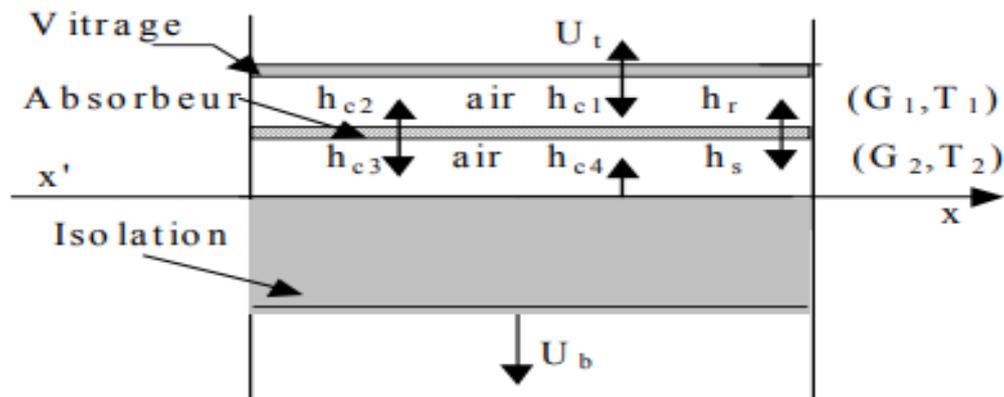


Figure 2.8: Différents modes d'échange de chaleur au sein du capteur solaire[24],

P. Naphon (2005) [25], a proposé une étude numérique sur l'effet d'un milieu poreux sur la performance d'un capteur solaire double passe à air avec plaque chauffante. Les modèles mathématiques décrivant les caractéristiques de transfert de chaleur sont dérivés à partir des équations de conservation de l'énergie. L'effet de la conductivité thermique, des milieux poreux sur les caractéristiques de transfert de chaleur et sur les performances, est pris en considération. De son étude, l'auteur a montré que le capteur solaire avec un milieu poreux possède une efficacité thermique de 25,9 % plus élevée que celle obtenue sans milieu poreux. La conductivité thermique du milieu poreux à un effet considérable sur la performance thermique du capteur solaire double passe à air.

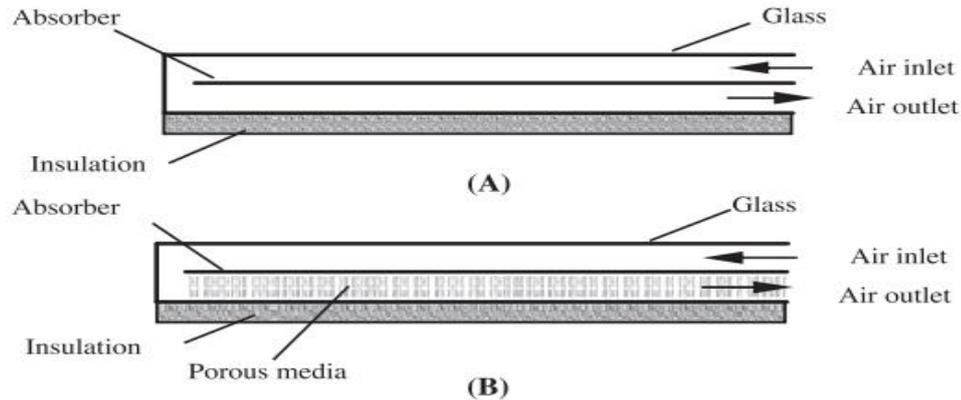


Figure 2.9 : Schéma de principe des aérothermes solaires sans (A) et avec (B) milieux poreux [25],

R. Kumar et M. A. Rosen (2011) [26], ont fait une étude sur la performance d'un capteur solaire à air à double passe sans ailettes et avec ailettes placées dans le canal inférieur. Les ailettes arrangées perpendiculairement à la direction de l'écoulement de l'air pour agrandir l'efficacité et le taux du transfert thermique. Ils ont évalué les effets des paramètres de fonctionnement et les paramètres climatiques, sur la température de sortie de l'air, la température de la cellule, l'efficacité thermique et l'efficacité électrique. Les effets de la présence des ailettes dans le canal inférieur, de la profondeur des canaux, du débit massique et de la température d'entrée d'air sont évalués en termes d'efficacité thermique et électrique. Les résultats obtenus permettent de conclure que la présence des ailettes dans le canal augmente la surface de transfert de chaleur et améliore leurs efficacités thermique et électrique. L'efficacité thermique augmente proportionnellement avec l'irradiation solaire et la température d'entrée de l'air. L'efficacité électrique est affectée par la température des cellules qui dépendent du rayonnement solaire, de la température d'entrée d'air et du débit massique. La profondeur des deux canaux du capteur solaire joue un rôle important dans le transfert de chaleur.

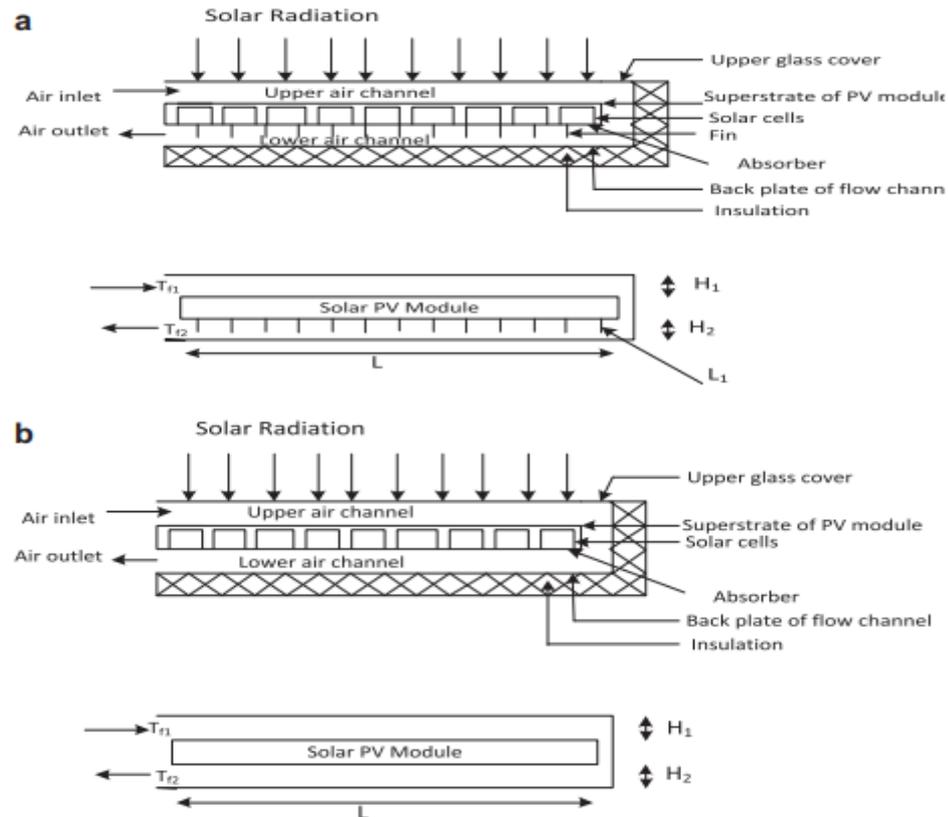


Figure 2.10:(a). Vue en coupe du réchauffeur solaire PV / T à double passage avec ailettes. (b). Vue en coupe du réchauffeur solaire PV / T à double passage sans ailettes [26],

E. A. Musa et al [27] ont fait également une étude du transfert de chaleur du capteur solaire double passe avec milieu poreux avec différentes porosités et cela pour augmenter le transfert de chaleur. L'étude a montré que le débit massique a plus d'effet sur l'élévation de la température en plus le rayonnement solaire a plus d'effet sur les élévations de température à faible porosité. De plus, le nombre de Reynolds a plus d'effet que le nombre de Nusselt à faible porosité. L'utilisation du milieu poreux dans le canal inférieur du capteur solaire à double passe fait augmenter le coefficient de transfert de chaleur. L'augmentation de la porosité du milieu poreux améliore l'efficacité thermique.

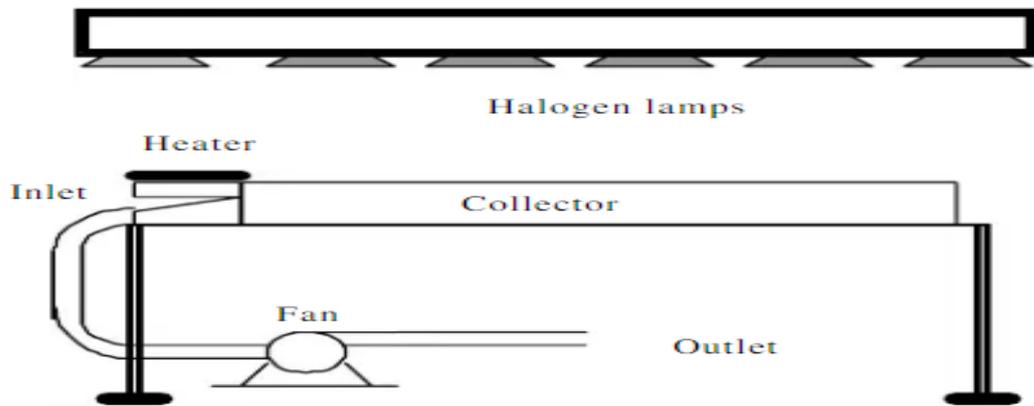


Figure2.11 : Diagramme schématique du banc d'essai [27],

C. Lertsatitthanakorn et al (2008) [28] ont publié une analyse de la performance d'un capteur solaire thermoélectrique (TE) à double passe. Le capteur solaire TE a été composé de verre transparent, d'entrefer, d'une plaque absorbante, de modules thermoélectriques et dissipateur de chaleur à ailettes rectangulaire. La radiation solaire incidente chauffe la plaque absorbante, ainsi une différence de température est créée entre les modules thermoélectriques qui génèrent un courant direct. Une petite partie de la radiation solaire absorbée est donc convertie en électricité, tandis que le reste augmente la température de la plaque absorbante. Une amélioration du système peut être faite par l'utilisation d'un capteur solaire double passe couplé avec la technologie TE. Les résultats montrent que l'efficacité thermique augmente avec l'augmentation du débit massique. Le rendement électrique et l'efficacité de la conversion dépendent de la différence de température entre les côtés chaud et froid des modules TE.

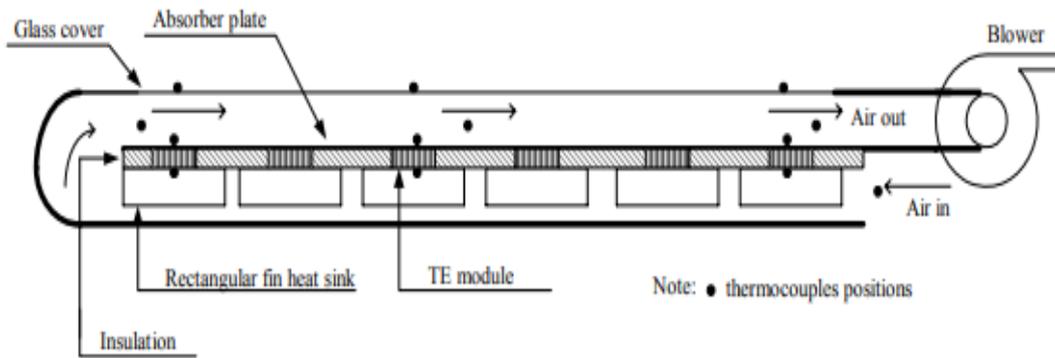


Figure 2.12:Diagramme schématique du capteur solaire d'air TE[14],

S. Youcef-Ali [29] a étudié expérimentalement un capteur solaire, auquel il a ajouté des plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur

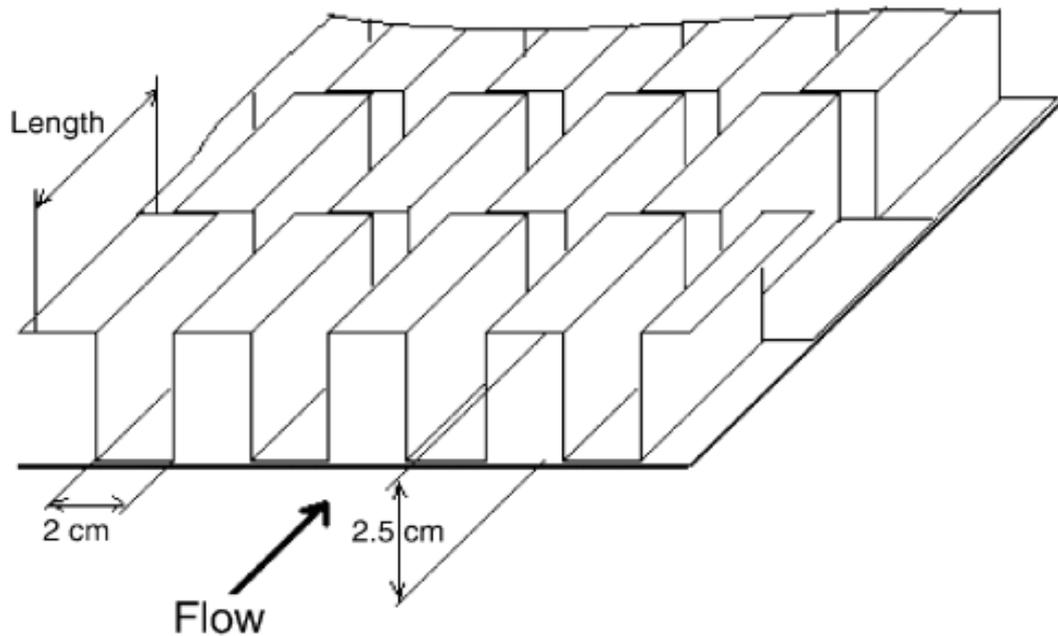


Figure2.13 : Plaque rectangulaire minces orientées parallèlement à l'écoulement[29]

Dans le même travail, il a comparé expérimentalement le cas d'un capteur à doubles couvertures à celui à triples couvertures.

Il a montré que les plaques ajoutées augmentent le transfert thermique entre l'absorbeur et l'air ce qui réduit ses pertes vers l'extérieur, et par conséquent un

rendement supérieur à celui d'un capteur avec un absorbeur plat et simple grâce à l'obtention des quantités de chaleur plus élevées.

D'autre part il a montré que la couverture triple donne des performances plus importantes que celles doubles, qui sont dues à la minimisation des pertes vers l'extérieur.

2.3 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de passer en revue les principaux travaux effectués théoriquement, expérimentalement et numériquement sur les capteurs solaires. Ces travaux s'articulent sur l'objectif d'amélioration de ces performances et permettent d'obtenir de meilleures efficacités thermiques de ces systèmes.

Chapitre 3

Modélisation Mathématique

3.1 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[30].

L'objectif de ce chapitre consiste à présenter la configuration géométrique du problème ainsi que les différents cas étudiés et le code de calcul munie à des hypothèses simplificatrices et des conditions aux limites qui seront également présentés.

3.2 Présentation de configuration géométrique

La présente étude numérique par la méthode des volumes finis est faite pour étudier le comportement dynamique et thermique de l'écoulement d'air dans un capteur solaire plan muni des chicanes sans et avec rugosité rectangulaire (figure 3.1).

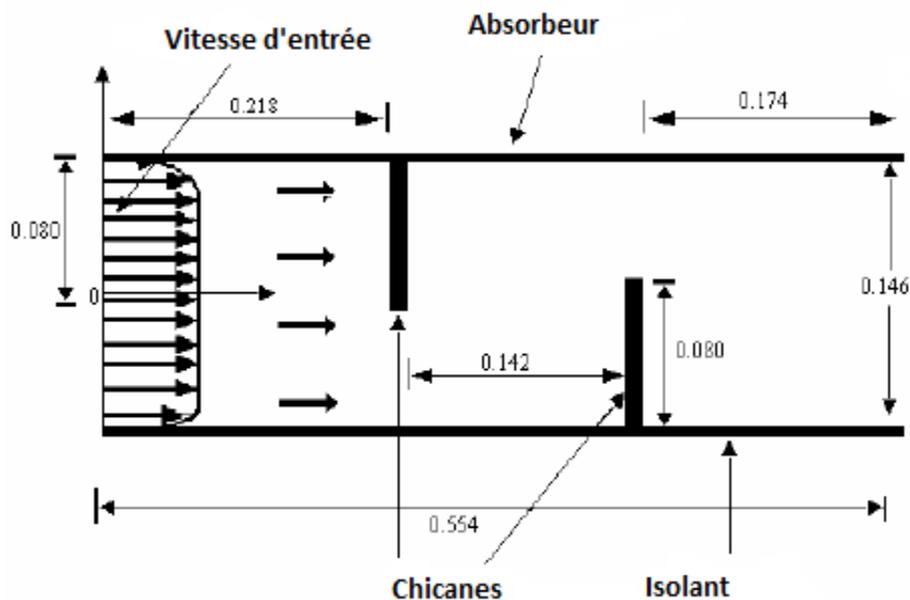


Figure 3.1 : La géométrie étudiée (cas 1)

Nous avons trois cas à étudier :

- modèle sans rugosité figure 3.1
- modèle avec rugosité rectangulaire au niveau de l'isolant

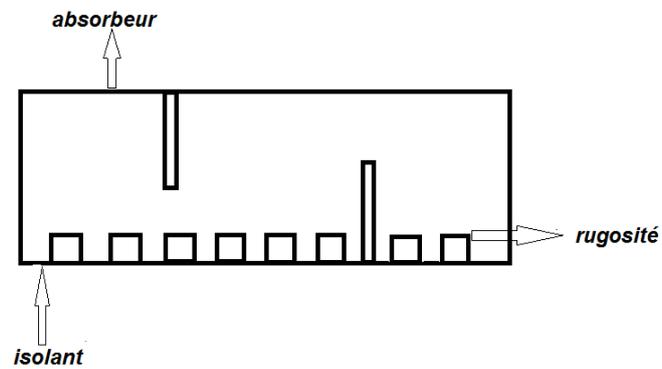


Figure 3.2 : La géométrie étudiée (cas 2)

- modèle avec rugosité rectangulaire au niveau de l'absorbeur

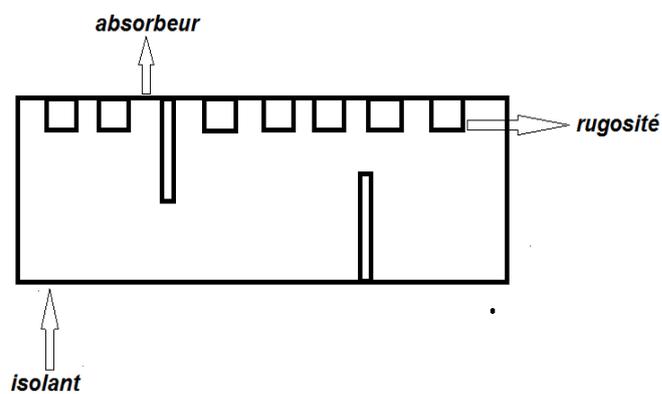


Figure 3.3 : La géométrie étudiée (cas 3)

3.3 Description de la géométrie [31]

- La longueur du capteur : $L = 0.554$ m

- La hauteur des chicanes : $h= 0.08$ m
- L'espace entre l'entrée et la chicane supérieure : $L1= 0.218$ m
- L'espace entre les deux chicanes : $L2= 0.142$ m
- L'espace entre la chicane inférieure et la sortie : $L3= 0.174$ m
- L'espace entre l'absorbeur et l'isolant : $L3= 0.146$ m
- L'épaisseur de la rugosité de la paroi : $\varepsilon_p= 0.02$ et des chicanes : $\varepsilon_{chi}= 0.01$ m

3.4 Modélisation mathématique

Pour étudier les différents phénomènes physiques qui se manifestent dans ce type de capteur, on a modélisé mathématiquement ces phénomènes en tenant compte les hypothèses simplificatrices et les conditions aux limites, les équations simplifiées s'écrivent comme suit.

3.4.1 Le système d'équation [31]

3.4.1.1 Conservation de la masse

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

3.4.1.2 Conservation de la quantité de mouvement

3.4.1.2.1 Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction axiale

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_T) \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (3.2)$$

3.4.1.2.2 Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction radiale

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_T) \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (3.3)$$

3.4.1.3 Conservation d'énergie

3.4.1.3.1 Conservation d'énergie dans le fluide

$$\rho u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] \quad (3.4)$$

3.4.1.3.2 Conservation d'énergie dans la paroi

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3.5)$$

3.4.1.3.3 Energie cinétique turbulente k

$$\rho u \frac{\partial k}{\partial x} + \rho v \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + p_k - \rho \epsilon \quad (3.6)$$

3.4.1.3.4 Energie de dissipation ϵ

$$\rho u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + (c_{\epsilon 1} f_1 p_k - \rho c_{\epsilon 2} f_2 \epsilon) \frac{\epsilon}{k} \quad (3.7)$$

p_k Représente le terme de production d'énergie cinétique

$$p_k = \mu_T \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (3.8)$$

La viscosité turbulente est calculée par :

$$\mu_T = f_u \rho c_u \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.9)$$

Les constantes empiriques du modèle standard sont : $c_u = 0.99, c_{\epsilon 1} = 1.44, c_{\epsilon 2} = 1.44, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, \sigma_t = 0.9, f_1 = f_2 = f_u = 1.0$

3.5 Résolution numérique

Comme vu précédemment, on cherche à simuler le comportement dynamique et thermique dans un capteur solaire plan muni des chicanes sans et avec rugosité rectangulaire.. Pour cela, on va utiliser le logiciel « Fluent » pour la modélisation numérique du fluide.

3.6 Hypothèse simplificatrice

Pour aborder le problème, il est nécessaire d'effectuer un certain nombre d'hypothèses simplificatrices afin d'établir un modèle mathématique simple qui décrit la physique de ce problème, pour cela, on adopte les hypothèses simplificatrices suivantes :

- L'écoulement est bidimensionnel
- Régime d'écoulement turbulent entièrement développé modèle (K- ϵ)
- Les parois inférieure et supérieure de la conduite sont maintenues à une température constante (TW)
- aux parois, la condition de non- glissement est adoptée :

$$u = v = 0$$

- aux parois et en utilisant le modèle k- ϵ à bas nombre de Reynolds, la condition suivante est appliquée : $k = \epsilon = 0$

3.7 Les conditions aux limites [32]

- La vitesse de l'air à l'entrée : $U_0 = 7,8 \text{ m/s}$
- La température de l'air à l'entrée $T_e = 300^\circ\text{K}$
- L'énergie cinétique turbulente à l'entrée $k = 0,005 \cdot U_0^2 = 0,3042 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- L'énergie de dissipation à l'entrée $\epsilon = 0,1 \cdot k^2 = 0,009253764 \text{ m}^2/\text{s}^3$
- La température de l'absorbeur et de la chicane supérieure : $T_{\text{abs}} = 380^\circ\text{K}$
- La température de l'isolant et de la chicane inférieure : $T_{\text{iso}} = 340^\circ\text{K}$
- La pression à la sortie : $P_s = P_{\text{atm}}$
- La température à la sortie : $T_s = 360^\circ\text{K}$

3.8 Rappel sur la méthode des volumes finis

La méthode des volumes finis est une méthode de discrétisation qui convient pour la simulation numérique des différents types d'équations de lois de conservation.[30]

C'est une méthode applicable à toutes les géométries, elle utilise des approximations d'intégrales. Cette méthode consiste à discrétiser le domaine de l'écoulement en une multitude de volumes de contrôle. La méthode permet d'effectuer des bilans de masse, de quantité de mouvement et d'énergie cités précédemment sur tout le domaine de calcul, tel que la mécanique des fluides, le transport de masse et de chaleur ou la pétrochimie.[30]

Le principe de méthode des volumes finis consiste essentiellement :

- La discrétisation du domaine considéré en volume de contrôle ;
- La formulation intégrale des équations différentielles aux dérivées partielles ;
- Le choix d'un schéma représentant la variation de la quantité physique et l'assemblage des diverses équations ;

- Le modèle doit être stable et convergent
- L'intégration des équations gouvernantes sur les volumes de contrôle individuels, afin de construire des équations algébriques pour les variables dépendantes discrètes (les inconnues), telles que les vitesses, pression, températures et les autres scalaires conservés.
- La linéarisation des équations discrétisées.
- La résolution du système d'équations linéaires résultantes.

3.9 Définition de la CFD

(CFD) c'est l'abréviation de (**C**omputational **F**luid **D**ynamics). En français c'est (La mécanique des fluides numérique (MFN)), cette dernière consiste à étudier les mouvements d'un fluide ou leurs effets par la résolution numérique des équations régissant le mouvement du fluide.

Ainsi, la CFD est un outil indispensable à l'ingénieur pour la conception, l'optimisation, le développement de procédés innovants ou l'analyse physique de phénomènes complexes mettant en jeu des fluides. Dans les dernières années la CFD est entrée dans plusieurs domaines comme :

- Calculs de refroidissement des cœurs de réacteurs nucléaires.
- Calculs d'aérodynamique.
- Calculs de pertes de charge singulières ou linéaires.
- Calculs de refroidissement de composants électroniques.
- Calculs d'écoulements subsoniques, soniques ou supersoniques.

3.10 Présentation des logiciels « *Fluent* » et « *Gambit* »

GAMBIT est un logiciel de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et de génération de Maillage. Le logiciel Gambit est un mailler 2D/3D, préprocesseur qui permet de mailler des domaines de géométrie d'un problème de CFD [32].

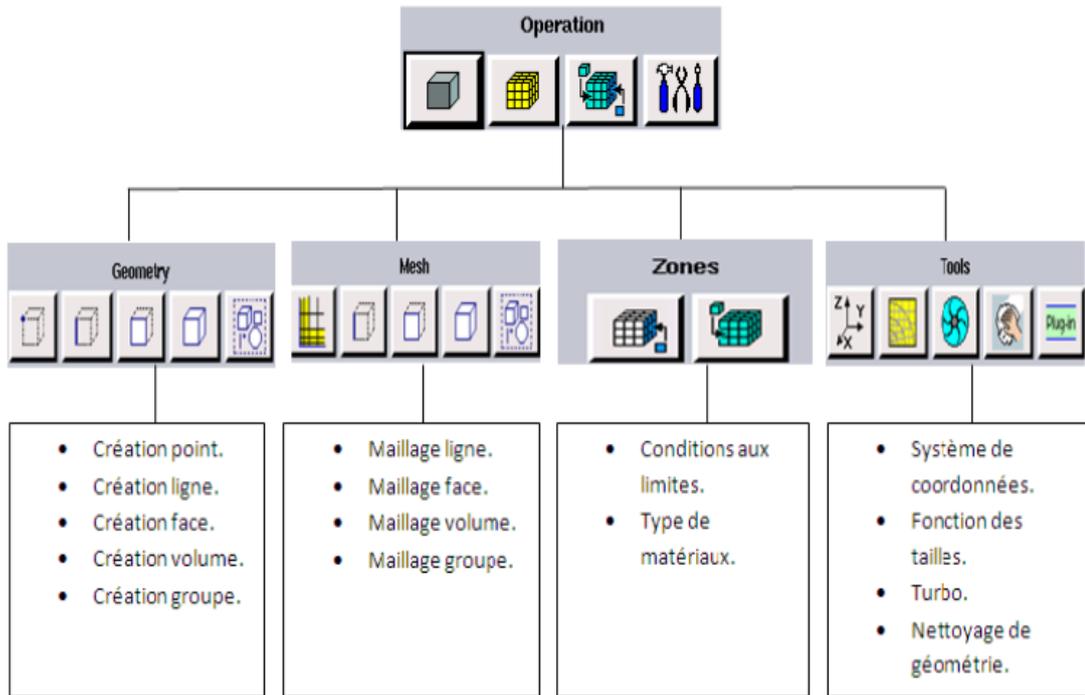


Figure 3.4 : Menu principal de Gambit.[33]

FLUENT est un logiciel qui permet de résoudre et simuler des problèmes de mécanique des fluides et de transferts thermiques par la méthode des volumes finis.[31]

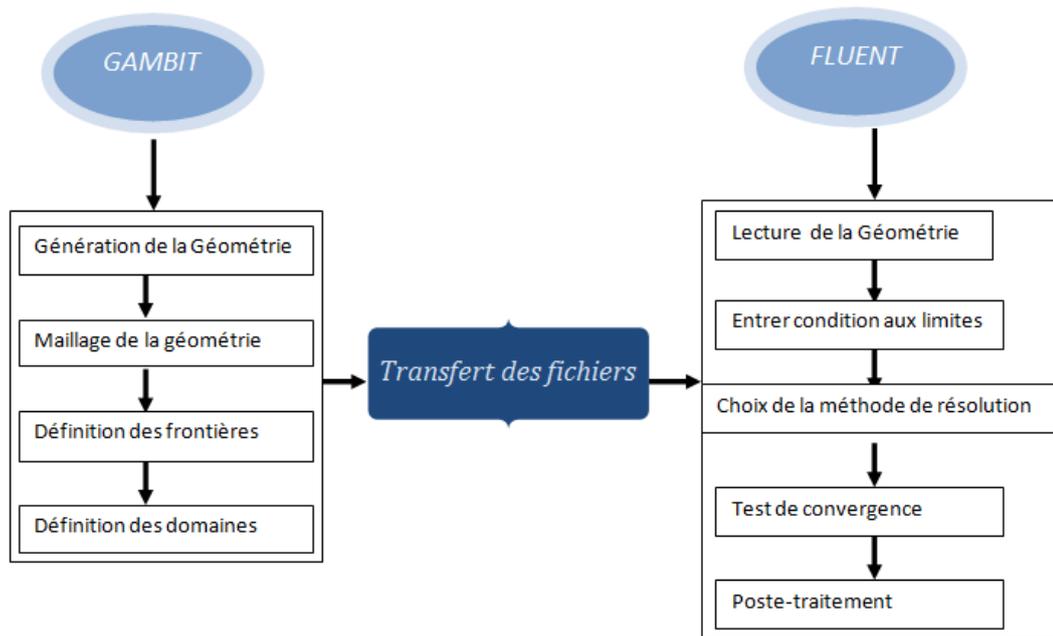


Figure 3.5 : Etapes de résolution suivies par Gambit et Fluent[33]

3.11 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la géométrie étudié et les différents cas traité. Ensuite, on a spécifié les équations mathématiques gouvernantes la problématique, les conditions aux limites et les hypothèses simplificatrices. Enfin, on a spécifié le code de calcul de la résolution numérique.

Chapitre4

Résultats et Interprétations

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter les résultats d'une étude numérique du comportement dynamique et thermique d'un écoulement dans un capteur solaire plan à air. L'objectif de notre travail est d'analyser l'influence de la rugosité sur l'efficacité thermique du capteur solaire en régime turbulent. Les simulations numériques faites par le code de calcul « Fluent » nous a permis d'obtenir l'évolution des températures, de pressions et de vitesses pour toutes les géométries considérées et cela en traitant et en comparant un cas simple (sans rugosité) avec les deux autres cas.

4.2 Discussions et interprétations

Les travaux de simulation ont été effectués pour les trois types suivants :

- 1- capteur solaire sans rugosité.
- 2- capteur solaire avec une rugosité de forme rectangulaire au niveau d'isolant.
- 3- capteur solaire avec une rugosité de forme rectangulaire au niveau d'absorbeur.

4.2.1 Comportement dynamique de l'écoulement en présence et en absence de la rugosité

A. La vitesse axiale

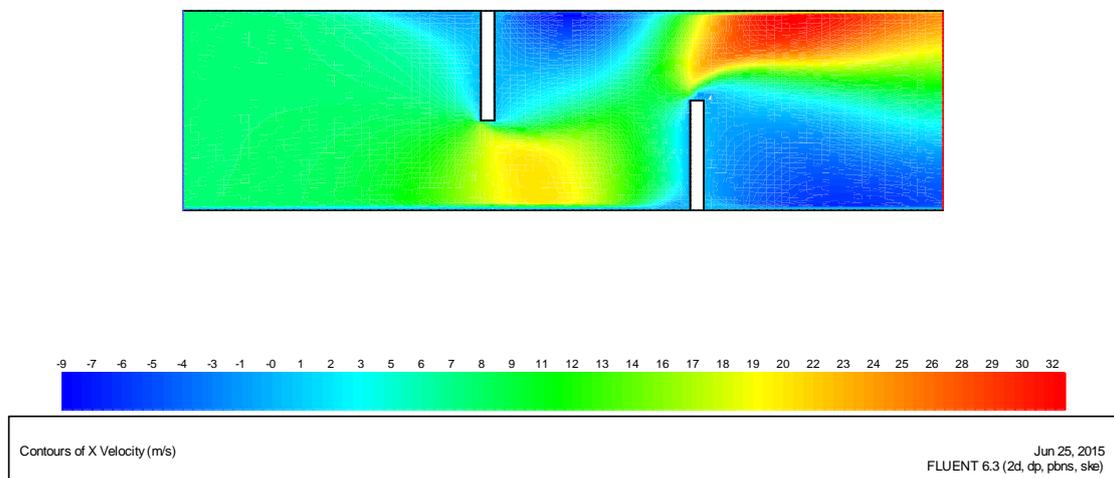


Figure 4-1 : Champ de vitesse axiale pour le type1 : sans rugosités

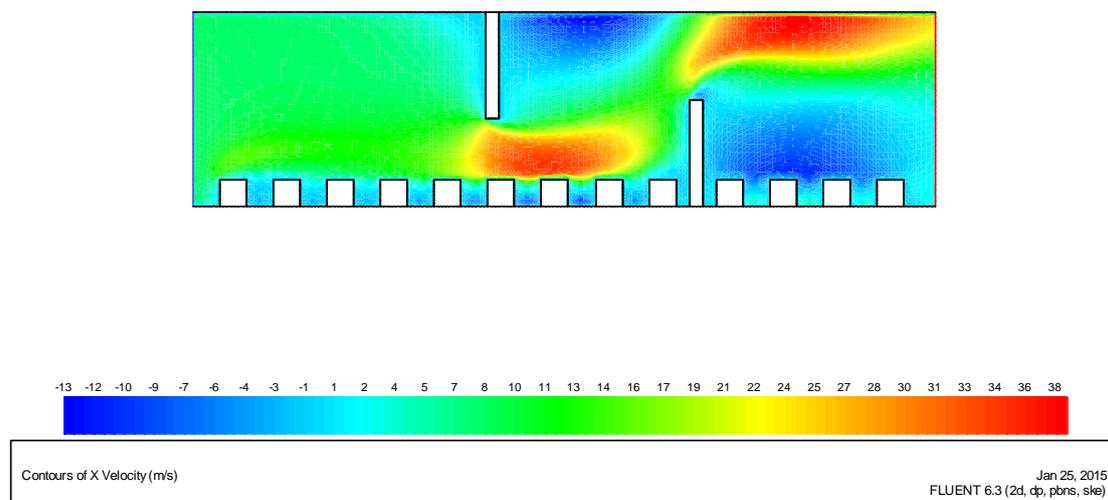


Figure 4-2 : Champ de vitesse axiale pour le type2 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'isolant

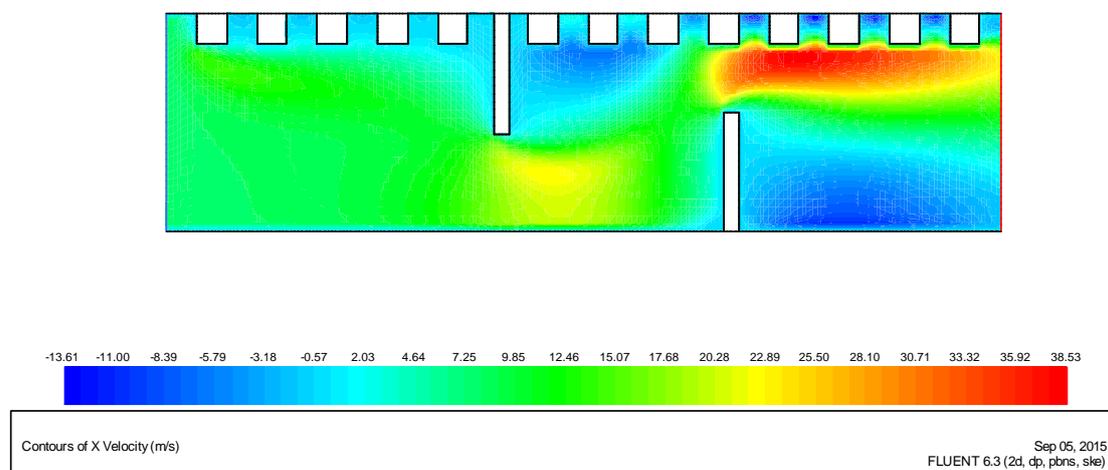


Figure 4-3 : Champ de vitesse axiale pour le type3 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'absorbeur

-Le contour de la composante axiale de la vitesse est donné par les figures 4-1, 4-2 et 4-3. Ces contours montrent que l'écoulement est accéléré à l'entrée de la conduite, ensuite il se ralentit au voisinage de chaque chicane (en amont et en aval d'elles), cela est due à la présence des zones de recirculation, d'où la vitesse négative présente le retour de la particule fluide. L'écoulement est ensuite accéléré au bout de chaque chicane ainsi qu'à chaque sommet de la rugosité, dont l'impact de ces derniers dans l'augmentation de la turbulence et le taux de mélangeage et qui par conséquent induit une meilleure efficacité thermique.

Il est à noter que la vitesse axiale maximale la plus importante est enregistrée pour le cas de type 2 ($U_{\max}=37.5$ m/s) alors que la plus faible est pour le cas de type 1 ($U_{\max}=32$ m/s), cela confirme que le cas simple (sans rugosité) est le moins favorisant de la turbulence

B. La pression

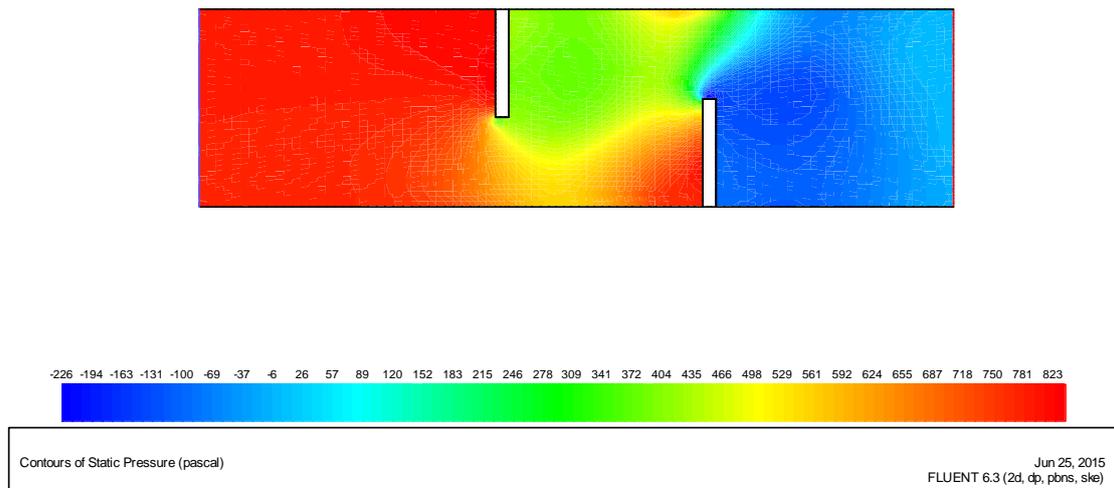


Figure 4-4 : Champ de pression statique pour le type 1 : sans rugosités

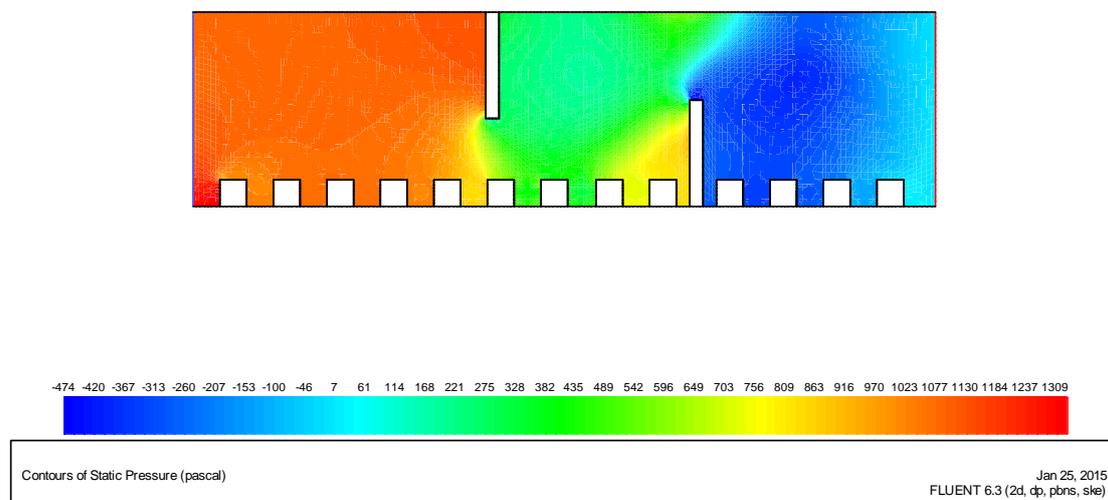


Figure 4-5 : Champ de pression statique pour le type2 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'isolant

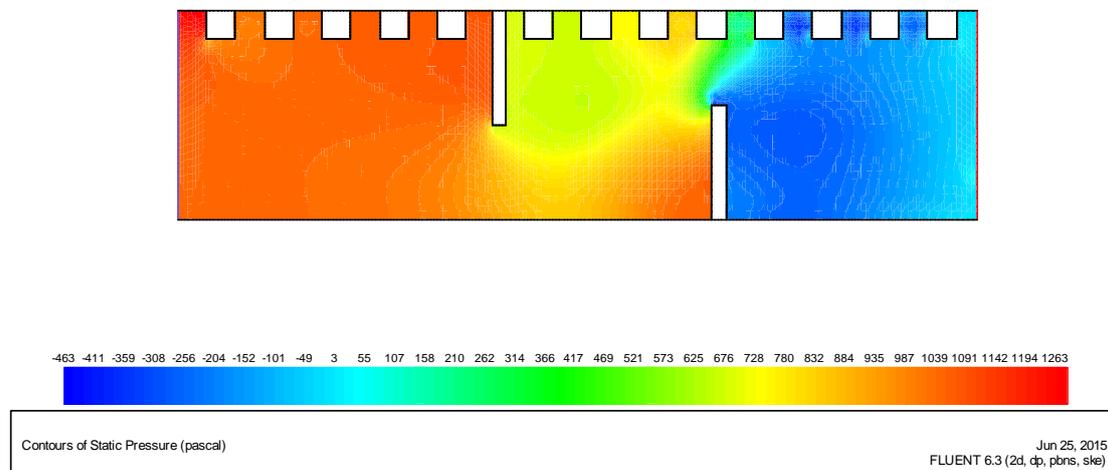


Figure 4-6 : Champ de pression statique pour le type3 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'absorbeur

Le contour de la pression statique pour les différents cas traités est présenté dans les figures 4-4, 4-5 et 4-6.

En analysant ces contours, on distingue la présence de trois différentes zones pour les trois modèles étudiés (en amont de la première chicane, entre les deux chicanes et en aval de cette dernière). Dans la première zone, la pression statique la plus élevée est marquée pour le type 1 (sans rugosité), par contre la pression est moins faible pour les deux autres types. Résultat logique parce que la présence de la rugosité à partir de l'entrée contribue à la naissance de frottement qui induit par conséquent a la perte par pression.

A partir de la deuxième chicane, la pression statique diminue de plus en plus en s'approchant de la sortie de la conduite.

4.2.2 Comportement thermique de l'écoulement en présence et en absence de la rugosité

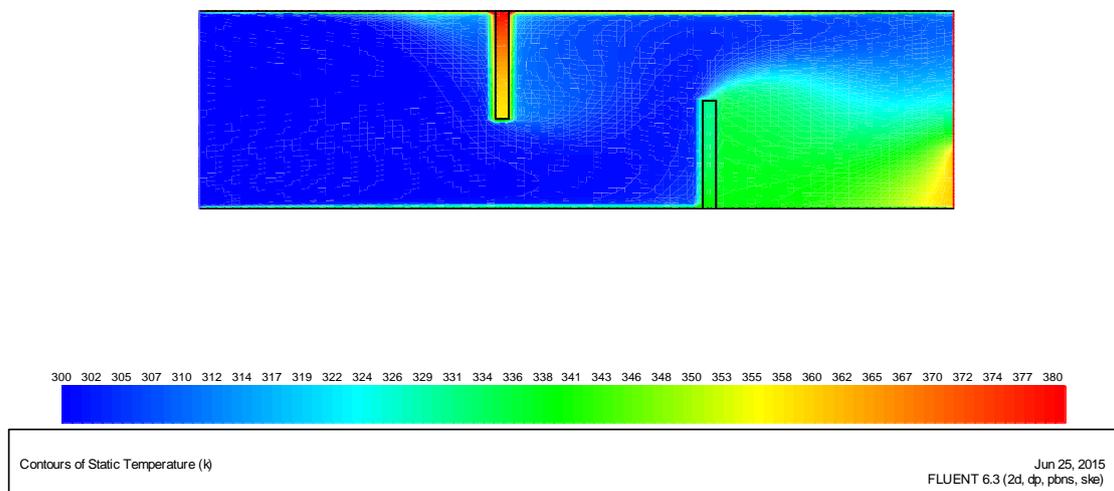


Figure 4-7 : Champ de température pour le type1 : sans rugosité

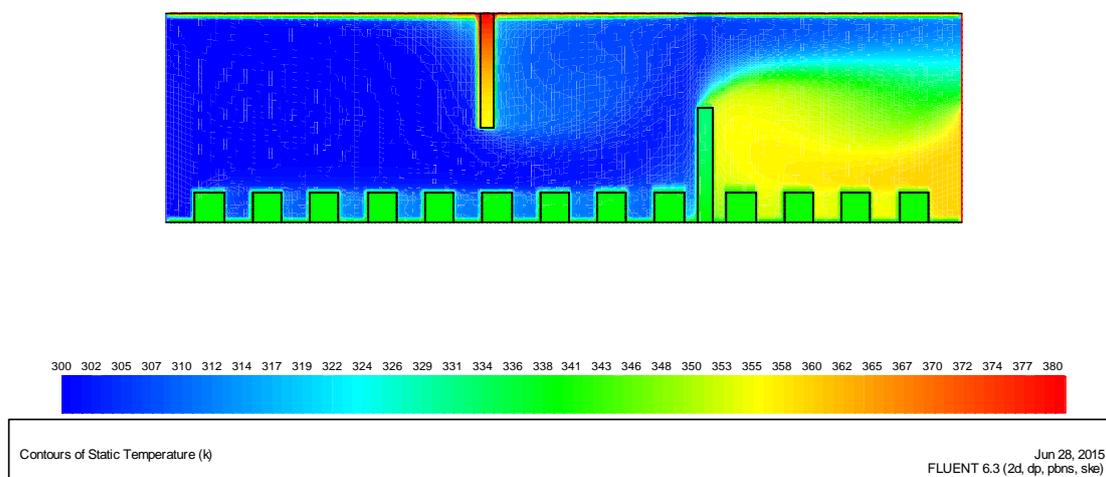


Figure 4-8 : Champ de température pour le type2 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'isolant

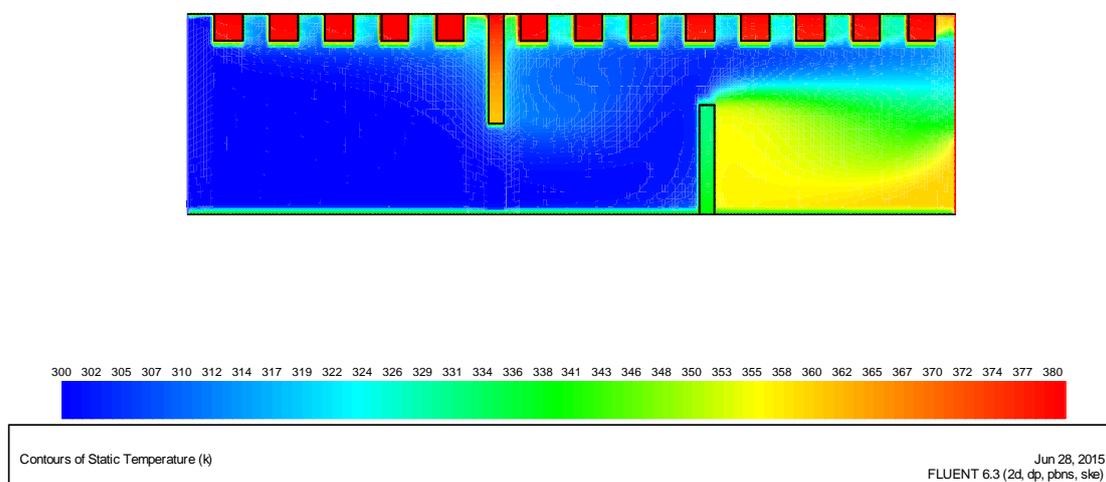


Figure 4-9 : Champ de température pour le type3 : rugosité de forme rectangulaire insérée sur l'absorbeur

Les champs de températures sont donnés par les figures 4-7, 4-8 et 4-9. Le type 1 sans rugosité, la température devient importante juste en aval de la deuxième chicane. Par contre, pour les types 2 et 3 avec rugosité, les températures prennent des valeurs importantes et progressives à partir de l'entrée, au bout de chaque rugosité et en aval de la deuxième chicane.

4.2.3 L'influence de la vitesse d'entrée sur les performances du capteur

A. Type 01 (sans rugosité)

U_{in}	T_{out}	U_{max}	P_{max}
5	340.7962	19.89511	0.8475096
7.8	340.7137	31.19028	1.909855
10	340.6721	40.08209	3.057138
12	340.6402	48.18306	4.348254

Tableau 4.1 : L'influence de la variation de la vitesse d'entrée en fonction des paramètres ' T_{out} , U_{max} et P_{max} ' pour le cas 1

B. Type 02 (avec rugosité au niveau d'isolant)

U_{in}	T_{out}	U_{max}	P_{max}
5	343.5436	23.37887	2.055823
7.8	344.0476	36.71089	7.291382
10	344.0836	47.12938	11.91137
12	344.0376	56.595943	17.11993

Tableau 4.2 : L'influence de la variation de la vitesse d'entrée en fonction des paramètres ' T_{out} , U_{max} et P_{max} ' pour le cas 2

C. Type 03 (avec rugosité au niveau de l'absorbeur)

U_{in}	T_{out}	U_{max}	P_{max}
5	342.2356	21.69476	5.931032
7.8	342.3092	33.86964	14.05568
10	342.4581	43.39043	22.97733
12	342.107	51.74785	32.83395

Tableau 4.3 : L'influence de la variation de la vitesse d'entrée en fonction des paramètres ' T_{out} , U_{max} et P_{max} ' pour le cas 3

D'après le résultat obtenu pour les trois cas étudiés, on remarque que l'effet de la variation de la vitesse d'entrée défère d'un cas à un autre selon le type (01, 02,03).

Pour le type 01 l'augmentation de la vitesse d'entrée(U_{in})provoque une faible diminution de température de sortie (T_{out}), par contre provoque une augmentation de la pression et la vitesse (maximal)à la sortie.

Pour les autres type (02,03), l'augmentation de la vitesse d'entrée (U_{in}) par contre au premier type provoque une augmentation de la température de sortie (T_{out}) jusqu'à 344.0376 (m/s) pour type 2 et 342.45813 (m/s) pour type 3, mais elle diminué sure la vitesse 12 (m/s).

4.2.4 L'influence de la température d'absorbeur sur les performances du capteur

A. Type 01 (sans rugosité)

$T_{absorbeur}$	$T_{out\ max}$
340	359.5013
380	359.5096
430	359.5123
480	359.5268

Tableau 4.4 : L'influence la variation de la température d'absorbeur en fonction de la température maximale à la sortie pour le cas 1

B. Type 02 (avec rugosité au niveau d'isolant)

T absorbeur	T_{out max}
340	359.99634
380	359.99637
430	359.9964
480	359.9965

Tableau 4.5 : L'influence la variation de la température d'absorbeur en fonction de la température maximale à la sortie pour le cas 2

C. Type 03 (avec rugosité au niveau d'absorbeur)

T absorbeur	T_{out max}
340	359.9061
380	360.125
430	360.44827
480	361.7715

Tableau 4.6 : L'influence la variation de la température d'absorbeur en fonction de la température maximale à la sortie pour le cas 3

D'après les résultats obtenus pour les trois cas étudiés, on remarque que l'effet de la variation de la température d'absorbeur est le même pour chaque type (01, 02,03).

L'augmentation de la température d'absorbeur provoque une faible augmentation de température maximale à la sortie pour tous les type (01, 02,03).

Il est à noter que les valeurs de la température maximale de sortie la plus importante est enregistrée pour le cas de type 2 alors que la plus faible est pour le cas de type 1.

4.3 Conclusion

Les résultats numériques présentés dans ce chapitre montrent que Les résultats obtenus à partir des différents types de capteurs solaires considérés permettent de déduire que l'introduction de la rugosité au niveau de l'isolant est un facteur très important pour l'amélioration des performances d'un capteur.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette mémoire constitue une contribution à l'amélioration de performance des capteurs solaires thermiques plans à air. Ces derniers présentent des avantages certains tels que leur robustesse et la facilité de leur installation et utilisation. Néanmoins, le rendement de ces capteurs reste à améliorer.

Dans ce travail on a étudié les résultats numériques du comportement dynamique et thermique d'un écoulement dans trois différents cas d'un capteur solaire plan à air. Par analyse l'influence de la rugosité de forme rectangulaire sur l'efficacité thermique du capteur solaire plan à air.

A propos le comportement dynamique, Le contour de la composante axiale de la vitesse montre quel a vitesse varie dans les conduites grâce aux chicanes et les rugosités, ces derniers impactent l'augmentation la turbulence et le taux de mélange et qui par conséquent induit à une meilleures efficacité thermique. Cela confirme que le cas simple (sans rugosité) est le moins favorisant de la turbulence.

Le contour présentant la pression statique pour les différents cas traités montre la présence de trois différentes zones pour les trois modèles étudiés (en amont de la première chicane, entre les deux chicanes et en aval de cette dernière), on a remarqué dans la première zone que la pression statique est la plus élevée pour le type 1 (sans rugosité), par rapport aux deux autres types. Conséquence logique parce que la présence de la rugosité à partir de l'entrée contribue à la naissance de frottement qui induit à une perte de charge, dans la troisième zone de la deuxième chicane, la pression statique diminue de plus en plus en s'approchant de la sortie de la conduite.

Concernant le comportement thermique, les champs de températures pour le premier cas montre que la température devient importante juste en aval de la deuxième chicane, par contre pour les autres types, les températures prennent des valeurs importantes et progressives à partir de l'entrée, au bout de chaque rugosité et en aval de la deuxième chicane.

Les résultats obtenus à partir des différents cas de capteurs solaires à air considérés permettent de déduire que l'introduction de rugosité au niveau de l'isolant et l'absorbeur est un facteur très important pour l'amélioration des performances d'un capteur.

Cette étude a montré qu'un capteur solaire plan avec une rugosité rectangulaire inséré au niveau de l'isolant apporte une amélioration très appréciable de température.

Référence

Bibliographie

Références bibliographique:

- [1]<https://ljs-geothermie.pagesperso-orange.fr/pages/10.html>
- [2]https://energieplus-lesite.be/techniques/eau-chaude-sanitaire11/differents-preparateurs/capteur-solaire-a-eau-chaude-d1/#Principe_de_fonctionnement
- [3]http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan
- [4]<https://www.ecohabitation.com/guides/2594/le-panneau-chauffe-air-solaire-pour-prechauffer-lair-de-la-maison/>
- [5]J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [6]A, Sfeir ; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [7]DGS, Solar thermische Anlagen, Berlin, 2001
- [8]Bemer, C, Durst, F, McEligot, DM. Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles, Journal of Heat Transfer, pp. 106-743 (1984).
- [9]Pr. MZAD.H«Simulation du transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur solaire plan à l'aide du logiciel Fluent», Mémoire de magister, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA
- [10]Lopez, J.R., Anand, N.K., Flecher, L.S., (1995) "A numerical analysis of laminar convective heat transfer in a three-dimensional channel with baffles" in: Proceedings of the Third U.S. National Congress on Computational Mechanics, Dallas, TX, vol. 1, pp. 406–416.
- [11]Isolation par comprendrechoisir.com - les différents types d'isolant thermique
- [12]Christian Schittich, Didier Debord, Construire en verre, PPUR presses polytechniques, 2001 ISBN:2-88074-474-1, p. 119
- [13]Mr. Amraoui Mohammed Amine«Etudenumérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité» , Mémoire de magister,
FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

- [14]Solrico - World map of flat plate collector manufacturers 2013
- [15]C.D. Ho, H.M. Yeh, T.W. Cheng, T.C. Chen, R.C. Wang. The influences of recycle on performance of baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached. *Applied Energy* 86 (2009) 1470–1478.
- [16]A. Zaïd, A. Moulla, M.S. Hantala, J.Y.Desmons. Amélioration des Performances des Capteurs Solaires Plans à Air : Application au Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng. *Rev. Energ. Ren.* 4 (2001) 69-78.
- [17] Study of a solar air flat plate collector: use of Obstacles and application for the drying of grape”. *Journal of Food Engineering*, 65 (2004), pp. 15–22.
- [18]Wijeyesundera, N.E., L.L. An, L.E. Tyioe. Thermal Performance Study of Two Pass Air Heaters, *Solar Energy*, Vol. 28, No. 5, pp. 363-370,(1982).
- [19]A.P. Omojaro, L.B.Y.Aldabbagh. Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber. *Applied Energy* 87 (2010), 3759-3765.
- [20]N. Moummi, S.Y. Ali, A. Moummi, J.Y. Desmons. Energy analysis of a solar air collector with rows of fins. *Renewable Energy*, 29 (2004), pp. 2053–2064.
- [21]T. Koyuncu. Performance of various designs of solar air heaters for crops drying applications. *RenewableEnergy*, 31 (2006), pp. 1073–1088.
- [22]A. Benkhelifa. “Optimisation d’un Capteur Solaire Plan “. *Rev. Energy. Ren. : Physique Energétique*, (1998), pp. 13-18.
- [23]D. Njomo, Étude théorique du comportement thermique d’un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre. *Rev. Gén. Therm*, 37 (1998), pp. 973-980.
- [24]A. Zerrouki, B. Tedjiza, **N. Said**.Modélisation des Pertes Thermiques dans un Capteur Solaire à Air à deux Passes. *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 5(2002)49-58.
- [25]P. Naphon. « Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater ». *Intern. Comm. in Heat and Mass Transfer* 32, pp.140–150, 2005.
- [26]R. Kumar, M. A. Rosen. Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins. *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 1402-1410.

[27]: E. A. Musa, K. Sopian and S. Abdullah. Heat Transfer Analysis and Pressure Drop Correlations for the Double-Pass Solar Collector with Porous Media. *Journal of Energy & Environment* 3 (2004) 15 - 24.

[28] C. Lertsatitthanakorn, N. Khasee, S. Atthajariyakul, S. Soponronnarit, A. Therdyothin b. Ryosuke, O. Suzuki. Performance analysis of a double-pass thermoelectric solar air collector. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 92 (2008) 1105-1109.

[29] S. Youcef-Ali, "Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates", with various glazing, *Renewable Energy*, 30 (2005), pp. 271–280.

[30] *Arbia Aissa, Chaoubi Ouafa*. Thème : Contribution à la simulation des transferts thermiques dans un capteur solaire plan application de séchage. Mémoire master académique, Faculté des sciences appliquées, Université Kasdi Merbah-Ouargla. Spécialité Génie Mécanique, option Génie Énergétique 2014/2015

[31] K. Aliane et M.A. Amraoui Etude numérique d'un capteur solaire plan à air ayant une rugosité rectangulaire, Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, Université Abou bakr Belkaid, B.P. 119, Tlemcen, Algérie

[32] Taourit Farida, Etude du comportement dynamique et thermique de deux écoulements du fluide Dans un échangeur de chaleur (comparaison entre le cas simple et le Cas avec ailettes), Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, (2013).

[33] Mr. KADRI.S, Dr. DJEMILI.A. thème : Simulation du transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur solaire plan à l'aide du logiciel Fluent, Mémoire de master, université bajimokhtar, faculté des sciences de l'ingénierie Département de génie mécanique .-

