



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
MEKHATRIA Ridha

Le : mardi 9 juillet 2019

Etude d'un écoulement entre deux parois ondulées

Jury :

Mr. BACI Lamine	MCB	Université de Biskra	Président
Mr. AISSAOUI Faris	MAB	Université de Ghardaïa	Encadreur
Mr. BENMACHICHE.A.Hakim	MCA	Université de Biskra	Co-Encadreur
Mr. MEFTAH Kamel	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019

Je dédie ce travail à :

Ma mère et mon père

Mes frères et mes sœurs

Mes amis

Ma famille

REMERCIEMENTS

Je veux remercier tout d'abord Allah tout puissant ;

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à monsieur **BENMACHICHE.A.H.** Maitre de conférences à l'université de Biskra, pour ses conseils, ses directives et sa patience avec moi.

Je tiens également à remercier profondément mon encadreur Monsieur **AISSAOUI Faris**, Enseignant à l'Université de Ghardaïa pour son aide et ses conseils avisés. Je le remercie pour ses idées stratégiques ce qui a permis d'obtenir des résultats que je juge de haute qualité.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur **BACI Lamine**, Enseignant à l'Université de Biskra, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Monsieur **MEFTAH Kamel**, Maitre de conférences à l'Université de Biskra d'avoir acceptés d'examiner ce travail.

Je remercie très spécialement, **AOUISSI Zouhair**.

Sommaire

Sommaire.....	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Nomenclature.....	VIII
Résumé	IX
ملخص	X
Abstract	XI
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Gisement solaire

I.1. Introduction	02
I.2. Soleil	02
I.2.1. Structure du Soleil	02
I.2.2. Caractéristiques de la terre	04
I.2.3. Atmosphère terrestre	04
I.3. Energie solaire	04
I.3.1. Energie solaire photovoltaïque	05
I.3.2. Energie solaire thermique	05
I.3.3. Caractéristiques spécifiques de l'énergie solaire	05
I.4. Rayonnement solaire	06
I.5. Mouvements de la Terre	06
I.6. Calcul de la position du soleil	07
I.6.1. Paramètres de positions	07
I.6.1.1. Coordonnées géographiques	07
I.6.1.2. Coordonnées célestes horizontales	07
I.6.1.3. Coordonnées célestes horaires	08
I.6.2. Paramètres de temps	09

I.7. Conversion de l'énergie solaire.....	10
I.7.1. Energie solaire passive.....	10
I.7.2. Energie solaire active	11
I.8. Conclusion	11
I.9. Références bibliographiques.....	12

Chapitre II : Généralités sur les capteurs solaires plans

II.1. Introduction	13
II.2. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan	13
II.3. Caractéristiques techniques des différents composants	14
II.3.1. Absorbeur.....	14
II.3.1.1. Différents revêtements possibles.....	15
II.3.2. Couverture transparente	16
II.3.3. Fluide caloporteur.....	17
II.3.4. Isolant	18
II.3.5. Coffre	19
II.4. Avantages et inconvénients des capteurs plans vitrés et non vitrés	19
II.4.1. Capteurs plans vitrés.....	19
II.4.2. Capteurs plans non vitré	19
II.5. Différents types des capteurs solaires à air.....	20
II.5.1. Capteurs à absorbeur perméable	20
II.5.2. Capteur à absorbeur à géométrie variable	20
II.5.3. Capteur solaire à absorbeur plan	21
II.6. Applications des capteurs solaires plans à air	21
II.6.1. Chauffages et climatisation des habitations	22
II.6.2. Séchage	23
II.6.3. Production de l'énergie mécanique	23

II.7 Conclusion	23
II.8.Références bibliographiques.....	24

Chapitre III : Modélisation mathématique et simulation numérique

III.1.Introduction	25
III.2.Présentation du problème	25
III.2.1. Conditions aux limites	26
III.3.Eléments mathématiques de base (équations gouvernantes)	26
III.3.1. Equation de continuité.....	27
III.3.2. Equations de la quantité de mouvement.....	27
III.3.3. Equation de l'énergie.....	28
III.4. Modèle K-ε	28
III.4.1. Equation de l'énergie cinétique	28
III.4.2 Equation de transport de taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulent	29
III.5. Qu'est-ce que la CFD.....	29
III.6. Définition de la méthode de résolution.....	30
III.6.1. Méthode des volumes finis	30
III.7. Présentation de logiciel ANSYS-Fluent.....	31
III.8. Etapes d'une simulation CFD à l'aide de fluent.....	31
III.8.1. CAO.....	31
III.8.2. Maillage.....	32
III.8.2.1. Choix du type de maillage.....	32
III.8.2.2. Nomination des surfaces.....	33
III.8.3. Simulation.....	33
III.8.3.1. Choix du solveur (Lancer Fluent)	35
III.8.3.2. Choix du modèle de turbulence (le modèle k-epsilon)	36
III.8.3.3. Choix l'équation d'énergie.....	37
III.8.3.4. Définition des propriétés du fluide.....	37

III.8.3.5. Conditions de fonctionnement	38
III.8.3.6. Conditions aux limites.....	39
III.8.3.7. Initialisation des calculs.....	40
III.8.3.8 Sauvegardes.....	41
III.8.4 Post-traitement	41
III.9. Conclusion	41
III.10. Références bibliographiques.....	42

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	43
IV.2. Evolution de la température en fonction de la largeur du canal	43
IV.3. Evolution de la température en fonction de la capacité d'onde du canal.....	46
IV.4. Evolution de la température en fonction de la vitesse d'entrée.....	47
IV.5. Champ de température.....	51
IV.6. Conclusion	53
Conclusion générale.....	54

Liste des figures

Chapitre I : Le gisement solaire

Figure I.1. Structure du soleil.....	02
Figure I.2. Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil.....	06
Figure I.3. Déclinaison du soleil.....	08
Figure I.4. Coordonnées célestes horizontales.....	09
Figure I.5. Utilisation directe de l'énergie solaire.....	11

Chapitre II : Généralités sur les capteurs solaires plans

Figure II.1. Schéma de principe d'un capteur solaire plan	13
Figure II.2. Différent composants d'un capteur solaire plan	14
Figure II.3. Peinture noire sur l'absorbeur	15
Figure II.4. Capteur plan non vitré.....	19
Figure II.5. Capteurs à absorbeur perméable	20
Figure II.6. Différent type d'absorbeur	21
Figure II.7. Ecoulements de l'air dans les capteurs solaires.....	21
Figure II.8. Chauffages et climatisation des habitations	22
Figure II.9. Séchage solaire	23

Chapitre III : Modélisation mathématique et simulation numérique

Figure III.1. Géométrie du problème physique (cas 01).....	25
Figure III.2. Géométrie du problème physique (cas 02).....	25
Figure III.3. Conditions aux limites.....	26
Figure III.4. Logiciel ANSYS-FLUENT.....	31
Figure III.5. Géométrie du problème par logiciel ANSYS WORK BENCH.....	32

Figure III.6. Différents types de maillage.....	33
Figure III.7. Maillage de la géométrie du problème.....	33
Figure III.8. Numérotation de la surface.....	34
Figure III.9. Simulation de la géométrie du problème.....	35
Figure III.10. Fenêtre de lancement du fluent.....	35
Figure III.11. Model k-epsilon standard.....	36
Figure III.12. Etablir équation d'énergie.....	37
Figure III.13. Définition les caractéristiques physiques des fluides (air)	38
Figure III.14. Choix de la pression de référence et le gravité.....	39
Figure III.15. Conditions aux limite	39
Figure III.16. Procédures des itérations.....	40
Figure III.17. Allure de l'évolution des résidus de calcul.....	41

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV.1. Variation de la température en fonction de largeur du canal (pour $V=3\text{m/s}$).....	44
Figure IV.2. Variation de la température en fonction largeur du canal (pour $V=5\text{m/s}$).....	45
Figure IV.3. Variation de la température en fonction largeur du canal (pour $V=7\text{m/s}$).....	46
Figure IV.4. Variation de la température en fonction du capacité d'onde.....	47
Figure IV.5. Variation de la température en fonction de la vitesse (pour un canal ondulé $L_0=500\text{mm}$).....	48
Figure IV.6. Variation de la température en fonction de la vitesse (pour un canal ondulé $L_0=400\text{mm}$).....	49
Figure IV.7. Variation de la température en fonction de la vitesse (pour un canal rectangulaire).....	50
Figure IV.8. Variation de la température en fonction de la vitesse.....	51
Figure IV.9. Contour de la température la (vitesse $V=7\text{ m/s}$ et de $\Phi= 700\text{ w/m}^2$ (pour canal ondulé $L_0= 400\text{ mm}$)).....	52
Figure IV.10. Contour de la température (vitesse $V=7\text{ m/s}$ et de $\Phi= 700\text{ w/m}^2$ (pour canal ondulé $L_0=500\text{ mm}$)).....	52
Figure IV.11. Contour de la température (vitesse $V=7\text{ m/s}$ et de $\Phi= 700\text{ w/m}^2$ (pour canal rectangulaire)).....	53

Liste des tableaux

Chapitre I : Gisement solaire

Tableau I.1. Caractéristiques principales de la terre.....	04
---	----

Chapitre II : Généralités sur les capteurs solaires plans

Tableau II.1. Différents traitements de surface.....	15
Tableau II.2. Coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission ε pour les supports les plus utilisés comme absorbeur.....	16
Tableau II.3. Différents Propriétés des différentes surfaces transparentes.....	17
Tableau II.4. Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.....	18

Nomenclature

<u>Symboles</u>	<u>Définition</u>	<u>Unité</u>
C_p	Capacité thermique	(J/kg.k)
D_h	Diamètre hydraulique	(m)
ET	Equation du temps	(minute)
TL	Temps légal	(heure)
TSM	Temps solaire moyen	(heure)
TSV	Temps solaire vrai	(heure)
TU	Temps universel	(heure)
T_{in}	Température l'intérieur	(k)
U_{in}	Vitesse l'intérieur	(m/s)
L	Longueur de canal	(m)
L_0	Longe d'onde	(m)
b	Largeur de canal	(m)
H	Hauteur de canal	(m)
<u>Symboles grecs</u>	<u>Définition</u>	<u>Unité</u>
α	Coefficient d'absorption	-
ε	Emissivité	-
σ	Constante Stefan Boltzmann	(W/m ² .k ⁴)
μ_t	Viscosité turbulente	(kg/m.s ²)
δ	Epaisseur	(m)
τ	Transmissive de vitre	-
<u>Nombres adimensionnels</u>		
Re	Nombre de Reynolds	
Nu	Nombre de Nusselt	

Etude d'un écoulement entre deux parois ondulées

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier l'écoulement entre deux parois ondulées, Nous avons effectué une étude paramétrique (capacité de l'ondulation, largeur du canal et la longueur d'onde), Nous avons effectué une simulation numérique en utilisant le code ANSYS-FLUENT pour calculer un écoulement turbulent dans un canal ondulé. Le modèle K-ε standard a été sélectionné pour exécuter cette simulation. Les résultats obtenus ont été comparés avec un canal rectangulaire. La performance thermique de ce canal s'est avérée bonne lorsque la largeur ou la capacité d'ondulation du canal augmente.

Mots clés : Simulation numérique, Ecoulement turbulent, La capacité d'ondulation, Performance thermique.

دراسة جريان بين جدارين متموجين

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة جريان بين جدارين متموجين وذلك من خلال إجراء العديد من التعديلات (سعة التموج، عرض القناة، وطول الموجة) على القناة. ومن أجل هذه الدراسة تم إجراء عمليات محاكاة عددية باستخدام شفرة ANSYS-FLUENT لحساب التدفق المضطرب في قناة مموجة. تم اختيار طراز $K-\epsilon$ standard القياسي لتنفيذ هذه المحاكاة. تمت مقارنة هذه النتائج مع قناة مستطيلة. تبين أن الأداء الحراري لهذه القناة يكون جيدا عند الزيادة في عرض أو سعة التموج للقناة.

الكلمات المفتاحية: محاكاة عددية , تدفق مضطرب , سعة التموج , الأداء الحراري.

Study of a flow between two corrugated walls

Abstract

The purpose of this work is to study flow between two corrugated walls. So we made a parametric study (ripple capacitance, channel width and wavelength), we performed the numerical simulation using ANSYS-FLUENT to compute turbulent flow in a corrugated channel. The standard K- ϵ model has been selected to run these simulations. These results were compared with a rectangular channel. The thermal performance of this channel was good at an increase in channel width or channel ripple capacity.

Keywords: Numerical simulation, Turbulent flow, the ripple capacity, Thermal performance.

Introduction générale

L'énergie solaire est l'une des formes d'énergie renouvelable qui présente un grand intérêt pour tous les pays du monde car elle ne pollue pas l'environnement et constitue l'image la moins chère de l'énergie utilisée.

L'énergie thermique est utilisée dans de nombreuses applications, notamment le séchage des aliments, le séchage du bois, le chauffage des bâtiments, le stockage thermique et le refroidissement solaire.

Nous savons tous que les systèmes solaires sont instables car l'énergie solaire se modifie dans la nature au fil du temps. L'utilisation de logiciels pour la conception de ces systèmes nécessite le développement de modèles mathématiques.

Dans ce travail, nous avons présenté une étude sur l'écoulement entre deux parois ondulées. Nous avons effectué une étude paramétrique (capacité de l'ondulation, largeur du canal et la longueur d'onde), et nous avons également créé un canal rectangulaire pour le comparer avec les canaux ondulés. Ce travail a été réalisé par une simulation numérique en CFD à l'aide du code ANSYS.

À cet effet, nous avons organisé ce mémoire comme suit:

- ❖ Le premier chapitre est consacré à l'étude du gisement solaire avec quelques notions et définitions astronomiques, couramment utilisées dans tout domaine relatif au solaire .
- ❖ Le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique du capteur solaire plan, ses différents composants, ses classifications, son fonctionnement et les différents échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur solaire.
- ❖ Dans le troisième chapitre, nous étudions la modélisation mathématique et l'écriture des différentes équations liées à cette étude. En plus de connaître les étapes de la simulation avec ANSYS WORK BENCH.
- ❖ Le quatrième chapitre est réservé à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus .

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale qui englobe l'ensemble des constatations prises dans cette étude.

Chapitre I : Gisement solaire

I.1. Introduction	02
I.2. Soleil	02
I.2.1. Structure du Soleil	02
I.2.2. Caractéristiques de la terre	04
I.2.3. Atmosphère terrestre	04
I.3. Energie solaire	04
I.3.1. Energie solaire photovoltaïque	05
I.3.2. Energie solaire thermique	05
I.3.3. Caractéristiques spécifiques de l'énergie solaire	05
I.4. Rayonnement solaire	06
I.5. Mouvements de la Terre	06
I.6. Calcul de la position du soleil	07
I.6.1. Paramètres de positions	07
I.6.1.1. Coordonnées géographiques	07
I.6.1.2. Coordonnées célestes horizontales	07
I.6.1.3. Coordonnées célestes horaires	08
I.6.2. Paramètres de temps	09
I.7. Conversion de l'énergie solaire.....	10
I.7.1. Energie solaire passive.....	10
I.7.2. Energie solaire active	11
I.8. Conclusion	11
I.9. Références bibliographiques	12

Résumé

Ce chapitre commence par une introduction au soleil ,sa définition , sa structure et du rayonnement reçu au niveau du sol. Puis un rappel de quelques définitions de l'astronomie utilisées dans le domaine de l'énergie solaire. Enfin, nous discuterons de la conversion de l'énergie solaire.

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous étudierons le soleil, sa structure et ses rayonnements reçus au niveau de la terre. Nous présentons également le rayonnement solaire extérieur à l'atmosphère, le rayonnement direct et diffus et global ainsi que certaines définitions de l'astronomie couramment utilisées dans le domaine de l'énergie solaire. Enfin, nous aborderons la conversion de l'énergie solaire (passive et active).

I.2. Soleil

Le soleil est une étoile géante qui se compose de 74 % d'hydrogène, de 25 % d'hélium et d'une fraction d'éléments plus lourds. Il tire son énergie de réactions de fusion nucléaire qui transforment, en son noyau, l'hydrogène en hélium. Dans son état actuel, le cœur du soleil transforme chaque seconde plus de quatre millions de tonnes de matière en énergie qui est transmise aux couches supérieures de l'astre et émise dans l'espace sous forme de rayonnement électromagnétique (lumière, rayonnement solaire) et de flux de particules (vent solaire)[01].

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, 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 [02].

I.2.1. Structure du Soleil

Le Soleil n'est pas une sphère homogène on peut distinguer [01]:

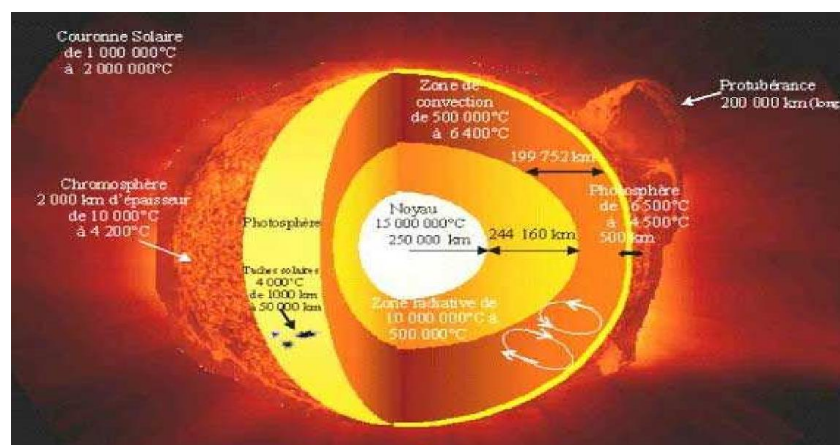


Figure I.1. Structure du soleil [02].

- **Cœur ou noyau**

Le cœur est la seule partie du Soleil qui produise une quantité notable de chaleur par fusion, le reste de l'étoile tire sa chaleur uniquement de l'énergie provenant du cœur [03].

La totalité de l'énergie produite dans le cœur doit traverser de nombreuses couches successives jusqu'à la photosphère, avant de s'échapper dans l'espace sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules [03].

- **Zone de radiation**

La zone de radiation ou zone radiative. La matière solaire y est si chaude et si dense que le transfert de la chaleur du cœur vers les couches les plus extérieures se fait par la seule radiation thermique [03].

- **Zone de convection**

Dans la zone de convection la matière n'est plus ni assez dense ni assez chaude pour évacuer la chaleur par radiation : c'est donc par convection, selon un mouvement vertical, que la chaleur est conduite vers la photosphère. La température y passe de 2 millions à 6000 kelvins [03].

- **Photosphère**

La photosphère est la partie visible de la surface du Soleil. En dessous d'elle, le Soleil devient opaque à la lumière visible. Au-delà de la photosphère, la lumière visible est libre de se propager dans l'espace, et son énergie de s'échapper entièrement du Soleil. La lumière solaire y a approximativement le spectre électromagnétique d'un corps noir (ce qui permet d'estimer sa température à 6000 kelvins, soit 5727 degrés Celsius) [03].

- **Couronne solaire**

Bien plus vaste que le Soleil lui-même, la couronne solaire elle-même s'étend à partir de la zone de transition et s'évanouit progressivement dans l'espace, mêlée à l'héliosphère par les vents solaires. La couronne inférieure, la plus proche de la surface du Soleil, est à une température, qui peut atteindre les 5 millions de kelvins, contraste nettement avec la température de la photosphère [03].

- **Héliosphère**

Débutant à environ 20 rayons solaires (0,1 ua) du centre du Soleil, l'héliosphère s'étend jusqu'aux confins du système solaire. On admet qu'elle débute lorsque le flux de vent solaire devient

plus rapide que les ondes d'Alfvén, les turbulences et forces dynamiques survenant au-delà de cette frontière n'ont pas d'influence sur la structure de la couronne solaire, car l'information ne peut se déplacer qu'à la vitesse des ondes d'Alfvén [01].

Le vent solaire se déplace ensuite en continu à travers l'héliosphère, donnant au champ magnétique solaire la forme d'une spirale de Parker jusqu'à sa rencontre avec l'héliopause, à plus de 50 ua du Soleil. En décembre 2004, Voyager 1 est devenue la première sonde à franchir l'héliopause. Chacune des deux sondes Voyager a détecté d'importants niveaux énergétiques à l'approche de cette frontière [01].

2.2. Caractéristiques de la terre

Les caractéristiques principales du Soleil sont regroupées dans le tableau I.1 [02] :

Tableau I.1. Caractéristiques principales de la terre [02].

Diamètre (km)	1392000
Masse (Kg)	2.10^{30}
Surface (m ²)	$6,09.10^{12}$
Volume (Km ³)	$1,41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2,5.10^{17}$

I.2.3. Atmosphère terrestre

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches on distingue notamment [01] :

- ❖ La troposphère, entre le sol et 15 km d'altitude.
- ❖ La stratosphère, entre 15 et 80 km d'altitude.
- ❖ L'ionosphère, entre 80 et 200 km d'altitude.

I.3. Energie solaire

L'énergie solaire est l'énergie rayonnée par le Soleil. Cette énergie est à l'origine de nombreux phénomènes Physiques tels que la photosynthèse, le vent ou le cycle De l'eau. Elle vient de la fusion nucléaire se produisant au cœur du Soleil. Elle circule dans l'espace sous forme d'un Rayonnement

électromagnétique. ce rayonnement est Composé de photons, petites particules d'énergie Elémentaires [04].

I.3.1. Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque [03].

I.3.2. Energie solaire thermique

Le solaire thermique consiste à utiliser le rayonnement solaire on le transformant en énergie thermique [03].

Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sècheurs solaires [03].

La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique) [03].

I.3.3. Caractéristiques spécifiques de l'énergie solaire

Certaines particularités de l'énergie Solaire doivent être prises en compte pour optimiser son utilisation, les principales caractéristiques sont la dilution et l'intermittence [01].

- **Dilution :**

L'énergie du rayonnement solaire est un niveau d'énergie relativement réduit c'est ce qui est désigné connu sous le nom de dilution [01].

La dilution nécessite l'utilisation d'une surface importante de captation pour obtenir des puissances élevées ou bien de prévoir une concentration des rayons solaires pour obtenir des températures élevées [01].

- **Intermittence :**

L'intermittence du rayonnement solaire et l'autre Caractéristiques spécifiques de l'énergie solaire ainsi que sa variation journalière et même suivant l'année, en effet l'énergie solaire est asservie aux conditions météorologiques. Dans les régions à climat tempéré, le problème de l'intermittence est difficile à résoudre [01].

Une solution souvent employée est d'envisager des stockages d'importances très variables suivant les applications envisagées. Par exemple il est nécessaire de prévoir un stockage quotidien et de l'utiliser durant la nuit de même de prévoir le stockage nébuleux qui correspond à des passages nuageux accidentels [01].

I.4. Rayonnement solaire

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit [05] :

- ❖ **Rayonnement direct** : est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications.
- ❖ **Rayonnement diffus** : est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.
- ❖ **Rayonnement global** : est la somme du rayonnement direct et diffus.

I.5. Mouvements de la Terre

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. Le plan de Cette ellipse est appelé l'écliptique [05].

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149\,675\,10^6\text{km}$ [05].

La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut $23^\circ 27'$. Les mouvements de la Terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la figure 2 [05].

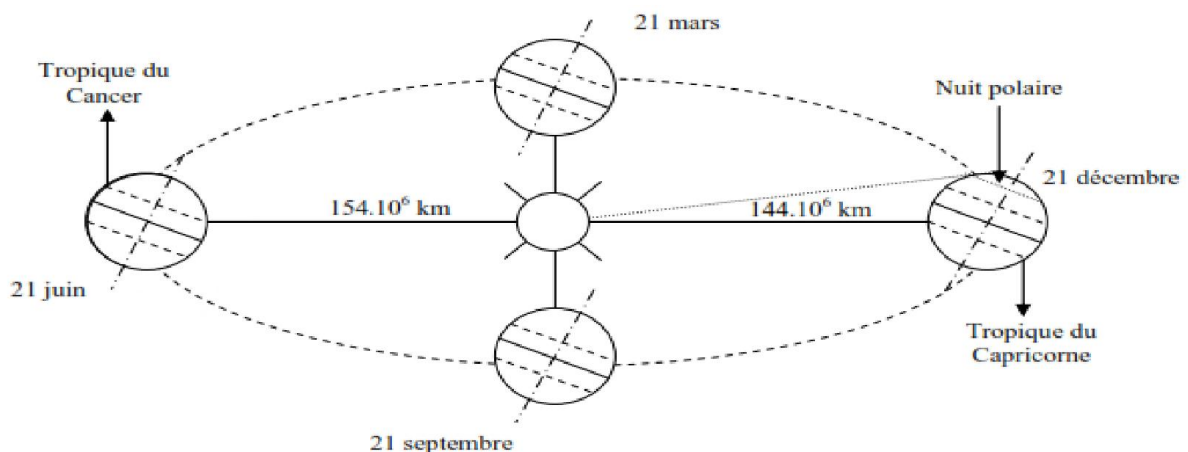


Figure I.2. Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil [05].

I.6. Calcul de la position du soleil

I.6.1. Paramètres de positions

I.6.1.1. Coordonnées géographiques

- **longitude (L)**

La longitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien origine 0° le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention, on affecte le signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et de signe (-) les méridiens situés à l'Ouest. La longitude sera désignée ici par la lettre (L), elle peut ainsi être comprise entre -180° et $+180^\circ$ [06].

- **latitude (φ)**

La latitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, avec le plan équatorial [06].

La latitude qui égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° , caractérisent donc l'équateur terrestre. Cette convention de signe affecte le signe + à tous les lieux de l'hémisphère nord et l'signe - à tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude sera désignée ici par la lettre (φ). Elle peut ainsi être comprise entre -90° et $+90^\circ$ [06].

- **altitude (Z)**

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique, le niveau moyen de la mer. On l'exprime généralement en mètre [06].

I.6.1.2. Coordonnées célestes horaires

- **Angle horaire (ω)**

Il est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Il est compté positivement dans le sens rétrograde de 0° à 360° [07].

- **Déclinaison (δ)**

La déclinaison du soleil est l'angle entre le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil. Elle varie suivant l'équation de Cooper figure .3 [08]:

$$\delta = 23.4 \times \sin\left(\frac{360}{365}(j - 81)\right) \quad (1.1)$$

J: Nombre du jour de l'année à partir du premier janvier.

On représente sur la figure la variation de l'angle « δ » pendant l'année au cours des mois de l'année [09].

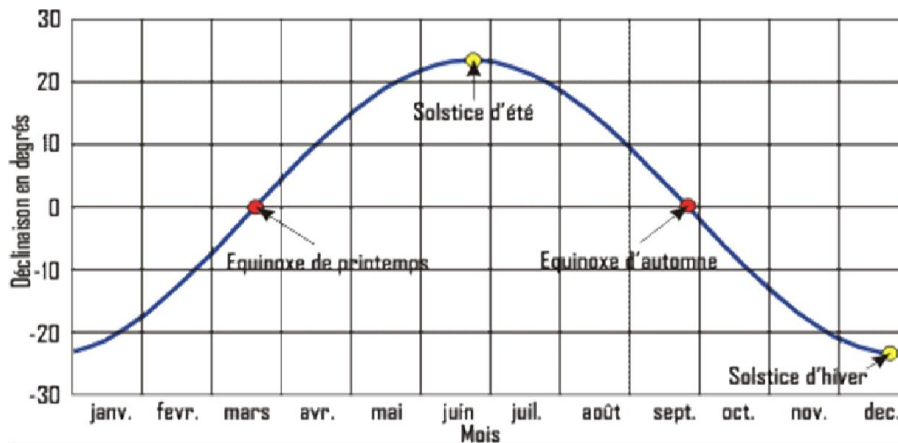


Figure I.3. Déclinaison du soleil [09]

I.6.1.3. Coordonnées célestes horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont [09].

- **hauteur (h)**

Angle compté entre l'horizon astronomique et l'axe issu du point considéré au soleil. Il est compté de 0° à 90° si le soleil se trouve dans l'hémisphère Nord (Zénith) et de 0° à -90° si le soleil se trouve dans l'hémisphère Sud (Nadir) [06].

Elle est donnée par la formule [06]:

$$\sin(h) = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (1.2)$$

- **Azimut (α)**

L'azimut est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil (figure 4). Il est donné par la relation suivante [06] :

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (1.3)$$

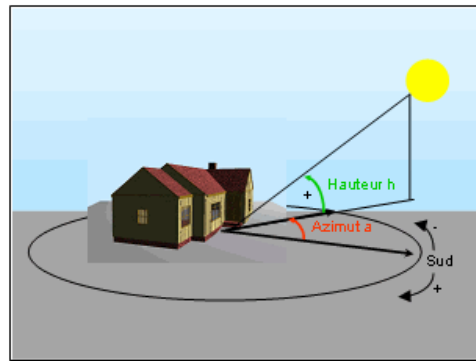


Figure I.4. Coordonnées célestes horizontales [09].

I.6.2. Paramètres de temps

- Temps solaire vrai (TSV)

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil ω .

Il est donné sous la forme suivante [07]:

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \quad (1.4)$$

ω : En degré.

i $\omega = 0$, TSV=12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

- Temps solaire moyen (TSM)

Il est donné par la relation[07]:

$$\text{ET} = \text{TSV} - \text{TSM} \quad (1.5)$$

Avec :

ET: l'équation du temps, qui corrige le T.S.V par rapport au T.S.M.

$$\text{ET} = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') [\text{min}] \quad (1.6)$$

$$N' = (N - 81) \times 360/365 \quad (1.7)$$

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

- **Temps universel (TU)**

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) [07].

$$TU = TSM - (L/15) \quad (1.8)$$

Où : L : est la longitude.

L >0, pour les villes situées à l'Est de Greenwich

L <0, pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich

TU = TSM, pour le méridien de Greenwich

- **Temps légal (TL)**

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par [07] :

$$TL = TU + \Delta H \quad (1.9)$$

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

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

I.7. Conversion de l'énergie solaire

D'après des statistiques récentes , la puissance solaire incidente sur toute la surface de la terre chaque année est d'environ 1.5×10^{18} kWh, ce qui représente approximativement 10000fois la consommation mondiale annuelle d'énergie. Si on veut être un peu rigoureux, on ne considère que la surface des déserts naturels qui est d'environ 2×10^7 Km² avec une insolation (irradiation de l'énergie solaire) journalière moyenne de 4.67 kWh/m² pour une durée d'ensoleillement de 8 heures, ce qui nous donne une insolation annuelle égale approximativement 34×10^{15} kWh ; et si on exploite seulement 5% de cette insolation, on va avoir chaque année 1.7×10^{15} kWh soit 7.5 fois la consommation énergétique mondiale estimée pour l'année 2020 [10].

I.7.1. Energie solaire passive

Elle remplace avantageusement les énergies conventionnelles utilisées pour chauffer ou refroidir les bâtiments. L'énergie solaire passive, capable de fonctionner seule sans apport d'énergie extérieure, elle utilise l'architecture des bâtiments, l'orientation des murs, toits et fenêtres pour capter les rayons du soleil [11].

I.7.2. Energie solaire active

A l'aide de capteurs solaires, le capteur solaire actif transforme les rayons solaires en énergie thermique. Il emploie une source d'électricité supplémentaire pour actionner des pompes ou des ventilateurs qui distribuent l'énergie solaire à l'intérieur du bâtiment. Celle-ci est acheminée vers un autre endroit, ou elle sera utilisée immédiatement ou stockée en vue d'un usage ultérieur. Le transfert de chaleur s'effectue au moyen d'un fluide caloporteur, qui peut-être de l'eau, de l'antigel ou de l'air [11].

On utilise les systèmes solaires actifs principalement pour le chauffage de l'air et de l'eau. Il existe d'autres applications telles que la climatisation, le séchage de produit, la détoxification d'eau contaminée et la production d'énergie électrique d'origine thermique. Les systèmes solaires actifs ont plusieurs applications. Essentiellement, on distingue deux grandes catégories. Le système de chauffage solaire de l'eau, et le système de chauffage solaire de l'air qui est le thème de cette étude [11].

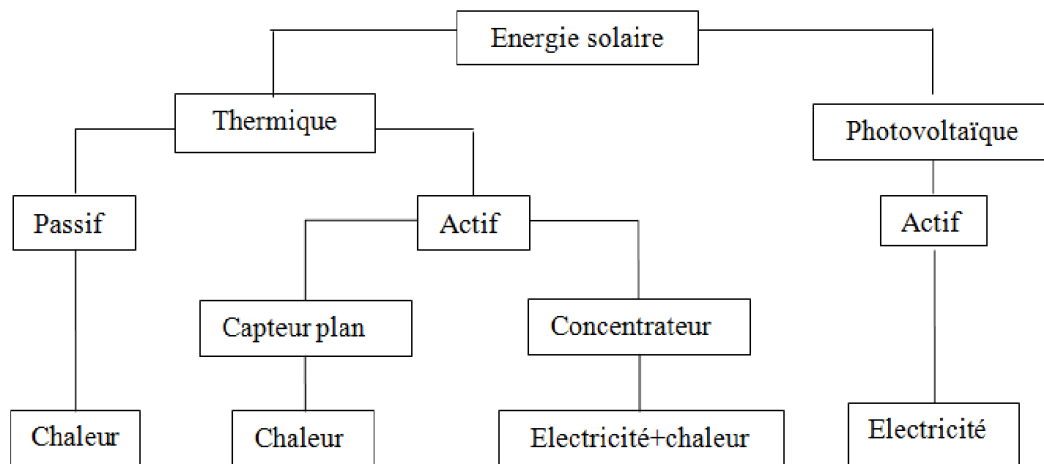


Figure I.5. Utilisation directe de l'énergie solaire[09] .

I.8. Conclusion

Nous avons identifié quelques concepts de base liés à l'énergie solaire et nous avons parlé de la première source d'énergie solaire, à savoir le soleil, sa structure et son rayonnement, et de la manière de calculer sa position, ainsi que d'une étude sur les techniques de conversion thermique.

I.9. Références bibliographiques

- [01] **Sandali Messaoud**, Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire a air à double passe avec milieu poreux, mémoire de magister, Université Abou-Bekr Belkaid –Tlemcen, 2014
- [02] **Saadi Souad**, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, mémoire de magister, Université Mantouri Constantine, 2010
- [03] **B. Mourad**. Contribution à l'étude la simulation et l'analyse des pompes à chaleur assistées par l'énergie solaire, Thèse de magister, Université Constantine, 2008.
- [04] **Khadraoui Zakaria**, Etude d'une centrale solaire thermique, mémoire de master, Université Badji Mokhtar Annaba, 2017
- [05] **Yves Jannot**. Thermique solaire. Paris (2007).
- [06] **U. Eicker**, Solar technologies for buildings, John Wiley & Sons, 2001.
- [07] **Tabet Ismail**, Etude, réalisation et simulation d'un capteur solaire, thèse de doctorat, Université Mantouri Constantine, 2016
- [08] **J. A. Duffie and W. A. Beckman**, Solar engineering of thermal processes, 1980.
- [09] **Aissaoui Faris**, Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra, thèse de doctorat , Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.
- [10] **Chawki Mahboub**, Etude des phénomènes de transfert thermique dans les échangeurs de la chaleur destinés aux applications solaires, thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2016
- [11] **Hadj Belgacemi Mohammed**, Modélisation et étude expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé, mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid De Tlemcen, 2011

Chapitre II : Généralités sur les capteurs solaires plans

II.1. Introduction	13
II.2. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan	13
II.3. Caractéristiques techniques des différents composants	14
II.3.1. Absorbeur.....	14
II.3.1.1. Différents revêtements possibles.....	15
II.3.2. Couverture transparente	16
II.3.3. Fluide caloporteur.....	17
II.3.4. Isolant	18
II.3.5. Coffre	18
II.4. Avantages et inconvénients des capteurs plans vitrés et non vitrés	19
II.4.1. Capteurs plans vitrés.....	19
II.4.2. Capteurs plans non vitré	19
II.5. Différents types des capteurs solaires à air.....	20
II.5.1. Capteurs à absorbeur perméable	20
II.5.2. Capteur à absorbeur à géométrie variable	20
II.5.3. Capteur solaire à absorbeur plan	21
II.6. Applications des capteurs solaires plans à air	21
II.6.1. Chauffages et climatisation des habitations	22
II.6.2. Séchage	23
II.6.3. Production de l'énergie mécanique	23
II.7 Conclusion	23
II.8. Références bibliographiques.....	24

Résumé

Dans ce chapitre, nous décrivons tout d'abord le principe de l'utilisation de capteurs solaires. Ensuite, nous présentons les caractéristiques techniques des différents composants et nous identifions les différentes applications solaires.

II.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous avons donné une généralité sur les capteurs solaires plans, suivi par une description des capteurs solaires plans, le principe de fonctionnement, ses différents composants, ses classifications et les avantages et les inconvénients des capteurs plans vitrés et non vitrés, et enfin les différentes applications solaires, un aperçu général sur les technologies permettant de convertir l'énergie solaire en énergie thermique par le biais des différents types de capteurs solaires.

II.2. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...) [01].

Le schéma de principe d'un capteur solaire plan est donné sur la figure II.1.

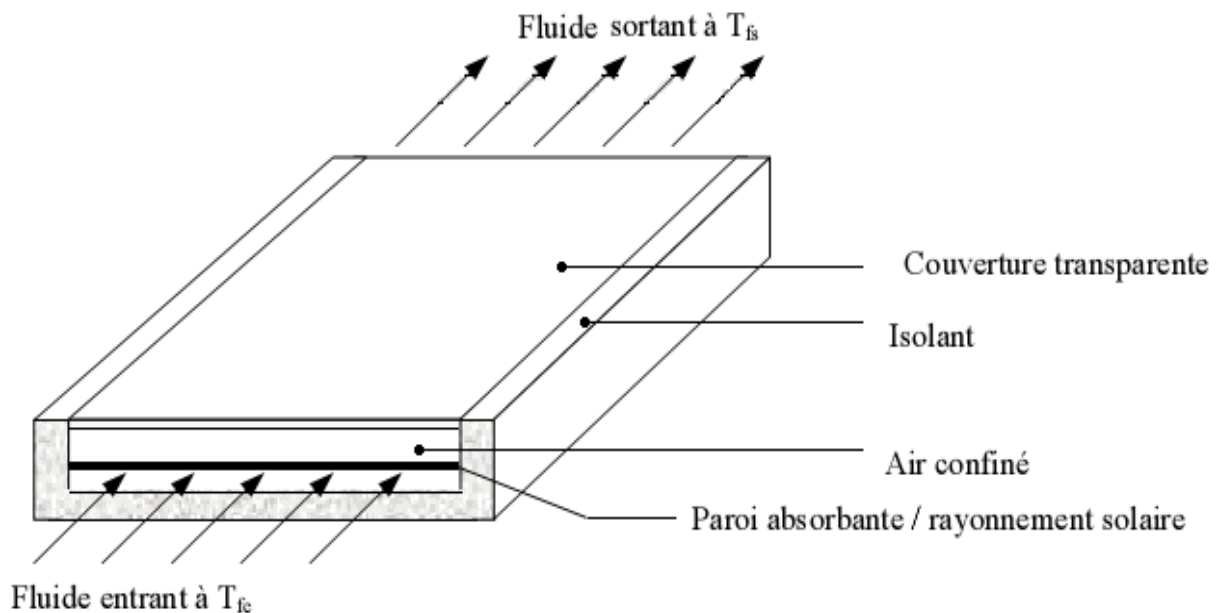


Figure II.1.Schéma de principe d'un capteur solaire plan[02].

Le principe de conversion du rayonnement solaire en énergie thermique est basé sur la paroi absorbante qui s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident, et l'effet de serre qui consiste à accumuler la chaleur dans un capteur pour la transférer directement ou par l'intermédiaire d'un fluide qui circule sous cette paroi et récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température ($T_{fs}-T_{fe}$) à la traversée du capteur [01].

II.3. Caractéristiques techniques des différents composants

Le capteur solaire plan se compose essentiellement des éléments suivants [03] :

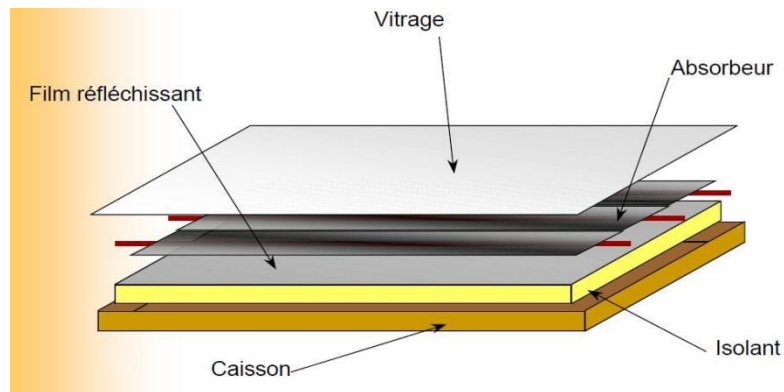


Figure II.2. Différents composants d'un capteur solaire plan [03].

II.3.1. Absorbeur

Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible. Ces types de surfaces absorbant au maximum et réémettant au minimum ont été nommées surfaces « sélectives » [03].

La sélectivité de l'absorbeur est très importante; elle est améliorée au moyen de traitements de surface qui ajoutent au support des caractéristiques telles que le rayonnement solaire est très bien absorbé et que le rayonnement infrarouge émis (dû à l'échauffement) est limité [03].

Deux coefficients déterminent les caractéristiques de ces absorbeurs [03] :

- ❖ α : coefficient d'absorption (0 à 1, optimum : 1)
- ❖ ε : coefficient d'émission (0 à 1, optimum : 0)

II.3.1.1. Différents revêtements possibles

- **Peinture noire**

La peinture mate noire du commerce permet d'obtenir un coefficient d'absorption compris entre 0,9 et 0,95. Mais le degré d'émission est très élevé de l'ordre de 0,85 [04].

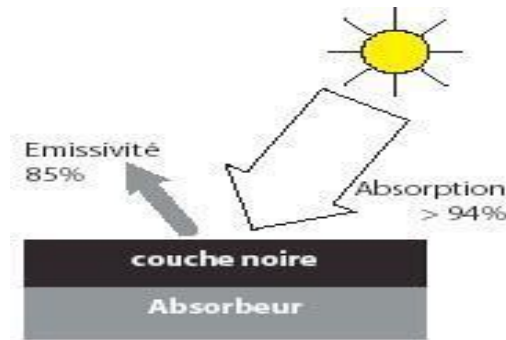


Figure II.3. Peinture noire sur absorbeur [02].

- **Oxyde de chrome**

Le revêtement en "black chrome" (couleur noire) est composé d'oxyde de chrome déposé sur une sous-couche de nickel, le tout formant une couche extrêmement fine sur un support métallique son coefficient d'absorption α est de 0,95 et son coefficient d'émission ϵ de 0,12 à 0,18 [03].

- **Traitement sous vide**

Ce revêtement sélectif a été mis au point en 1995, facilement reconnaissable par sa couleur bleu marine. Ce procédé consiste à déposer différents métaux sur la surface absorbante en présence du vide. Le coefficient d'absorption α obtenu est supérieur à 0,95 et le coefficient d'émission ϵ est inférieur à 0,05 [04].

Tableau II.1. Différents traitements de surface [03].

Revêtement	Absorption : α	Emission : ϵ
Peinture noire	0.9-0.95	>0.85
Black chrome	0.95	0.12-0.18
Traitement sous vide	>0.95	<0.05

On donne un tableau pour les valeurs de ϵ et α pour les matériaux absorbeur les plus utilisés dans les capteurs solaires plan [02].

Tableau II.2. Coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission ε pour les supports les plus utilisés comme absorbeur [02].

Support et traitement	A	E
Acier nickel noir sur nickel	0.95	0.07
Acier et chrome noir sur nickel	0.95	0.09
Acier et chrome noir	0.91	0.07
Cuivre et chrome noir	0.95	0.14
Acier galvanisé et chrome noir	0.95	0.16
Cuivre et cuivre noir	0.88	0.15
Acier et oxyde de fer	0.85	0.08
Aluminium et oxyde de manganèse	0.70	0.08
Acier et couche organique sur chrome noir	0.94	0.20
Peinture noir époxy	0.95	0.18
Peinture blanche époxy	0.25	0.91

II.3.2. Couverture transparente

Durant le fonctionnement thermique d'un capteur solaire plan, la couverture transparente joue un rôle essentiel, qui est de permettre l'effet de serre : elle doit pour cela transmettre la plus grande partie possible du rayonnement solaire incident, et absorber (ou réfléchir dans le cas des couvertures transparentes dites sélectives) les rayons infrarouges provenant de l'absorbeur. Elle doit aussi confiner une lame d'air au-dessus de l'absorbeur, de façon à limiter les échanges convectifs. De façon contradictoire, la couverture transparente est donc par l'effet de serre à l'origine de l'échauffement de l'absorbeur, et par la réémission des rayons infrarouges le siège des pertes thermiques les plus importantes du capteur solaire [04].

Ses propriétés essentielles seront donc ses caractéristiques optiques et sa tenue mécanique. Elles devront présenter un facteur de transmission énergétique élevé de 0,3 à 2,2 microns, c'est-à-dire sur l'étendue du spectre solaire, et une opacité totale aux infrarouges lointains, de 4 à 30 μ , c'est à-dire aux longueurs d'onde d'émission du corps noir correspondant à des températures de 100 °C à -20 °C (en tenant compte de la largeur des spectres)[04].

Elles devront d'autre part présenter une bonne résistance aux chocs et aux sollicitations mécaniques, qui peuvent être dues à des variations de pression ou aux simples dilatations différentielles [04].

Le verre est généralement choisi pour les couvertures de capteurs solaires à cause de ses propriétés optiques. Néanmoins sa tenue aux chocs ne peut être assurée en fonctionnement qu'au prix d'une épaisseur élevée (4 parfois 6 mm) ou de traitements particuliers (trempe). Il reste deux inconvénients majeurs à l'emploi du verre : son poids et les risques de casse accidentelle en transport, en manutention ou lors de la pose[04].

C'est pourquoi de nombreux fabricants de capteurs solaires s'orientent vers l'emploi de matières plastiques, moins lourdes et moins fragiles. Néanmoins, si le verre peut être considéré comme un matériau de référence en vieillissement, l'emploi de matériaux polymériques nécessite une étude sérieuse de leur durabilité [04].

Tableau II.3. Différents Propriétés des différentes surfaces transparentes [04].

Matière	réflexion	Epaisseur (mm)	Transmittance $\lambda=0.4\div 2.5\mu\text{m}$	ransmittance $\lambda=2.5\div 40\mu\text{m}$	Cp(kj/kg.k)	ρ (kg/m ³)
Verre	1.518	3.175	0.840	0.7020	0.754	2489
Plexiglass	1.490	3.175	0.900	0.020	1.465	1189
Lexan	1.586	3.175	0.840	0.020	1.193	1199
Teflon	1.343	5.080	0.960	0.0256	1.172	2480
Tedlar	1.460	1.016	0.920	0.07	1.256	1379
Mylar	1.460	1.270	0.870	0.178	1.046	1394
Kynar	1.413	1.016	0.930	0.230	1.256	1770
Polyéthylène	1.500	1.076	0.920	0.810	2.302	910

II.3.3. Fluide caloporteur

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'eau soit l'air, ce dernier se distingue par les avantages suivants [04] :

- ❖ Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- ❖ Avec l'air sec, il n'y pas de problème de corrosion.
- ❖ Mise en œuvre simple.
- ❖ Système fiable.

Mais son utilisation entraîne les inconvénients suivants [04] :

- ❖ L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux.
- ❖ Le produit de la masse volumique par la chaleur spécifique est faible pour l'air comparativement à celui dans le cas de l'eau.
- ❖ Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant compte tenu de la remarque précédente.

II.3.4. Isolant

Pour minimiser les pertes calorifiques du système, il faut isoler ses parois. Vers l'avant c'est le plus souvent une lame d'air qui fait office d'isolant. Son épaisseur ne doit pas être trop importante pour limiter les transferts par convection. On choisira une distance comprise entre 2 à 3 cm. A la partie arrière, on place une ou plusieurs couches d'isolant du type : laine de verre, polystyrène, mousse de polyuréthane; le tableau 5 regroupe les principales propriétés thermiques de quelques matériaux isolants [04].

Tableau II.4. Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants [04].

Matériau	Conductivité Thermique (W/m.k)	Masse Volumique (Kg/m ³)	Chaleur Massique (j/Kg.K)	Diffusivité (10 ⁻⁷ m ² /s)
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène Expansé	0.040	20	1500	13.3
Laine de roche	0.040	40	840	11.9
Laine (vêtement)	0.040	450	1880	0.47

II.3.5. Coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques [05].

II.4. Avantages et inconvénients des capteurs plans vitrés et non vitrés

II.4.1. Capteurs plans vitrés

II.4.1.a. Avantage :

- ❖ Longue durée de vie.
- ❖ Efficacité énergétique.

II.4.1.b. Inconvénients :

- ❖ Ne convient qu'à hautes températures.
- ❖ La température interne peut monter très rapidement dans l'absence de circulation de fluide caloporteur.

II.4.2. Capteurs plans non vitrés



Figure II.4. Capteur plan non vitré [02].

II.4.2.a. Avantages :

- ❖ Coût moindre.
- ❖ Rendement élevé pour des températures $< 40^{\circ}\text{C}$.
- ❖ L'absorbeur peut constituer lui-même le toit des bâtiments.

II.4.2.b. Inconvénient:

Fonctionne uniquement pour des faibles températures.

II.5. Différents types des capteurs solaires à air

On peut répartir les types des capteurs solaires plans à air en 3 grandes classes [06] :

- ❖ Les capteurs à absorbeur perméable.
- ❖ Les capteurs à absorbeur à géométrie variable.
- ❖ Les capteurs à absorbeur plan.

II.5.1. Capteurs à absorbeur perméable

Dans ce type de capteur, l'absorbeur est une matrice perméable (voir la figure 5). Ainsi l'énergie solaire incidente pénètre dans la masse de l'absorbeur. Le capteur à absorbeur perméable se compose toujours d'un caisson isolé, l'air pénètre dans l'espace, vitre et 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 [06].

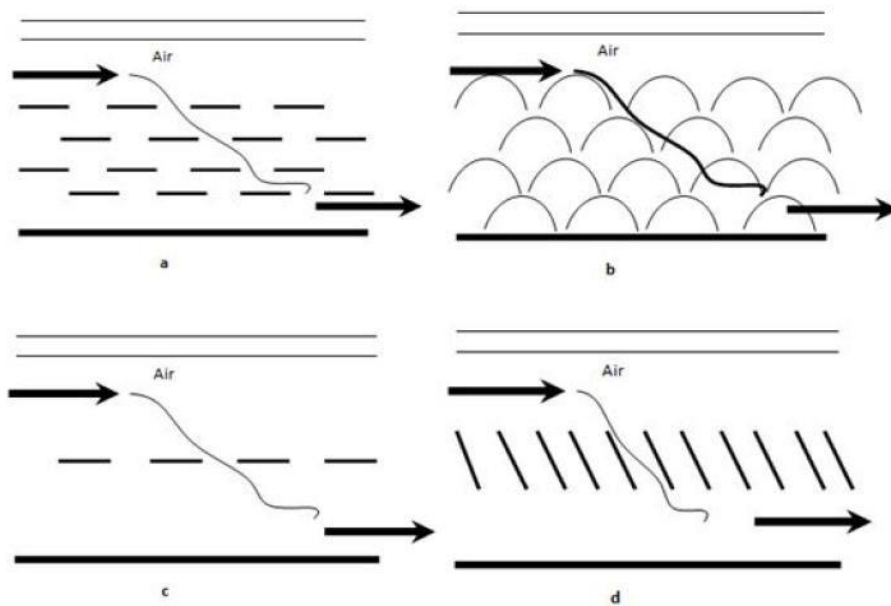


Figure II.5. Capteurs à absorbeur à perméable [06].

II.5.2. Capteur à absorbeur à géométrie variable

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 [02].

Les formes les plus utilisées sont les suivants :

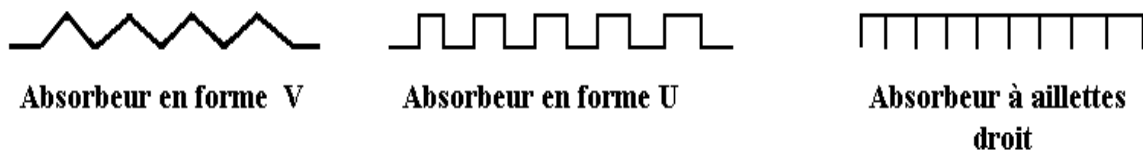


Figure II.6. Différents type d'absorbeur [02].

II.5.3. Capteur solaire à absorbeur plan

Comme son nom l'indique, l'absorbeur est une tôle plane. La différence entre ces capteurs réside dans le nombre de vitrage utilisés et dans le type d'écoulement de l'air dans ces capteurs [06].

Plusieurs types d'écoulement d'air sont envisageables dans ce genre de capteur [06]:

- ❖ Ecoulement au-dessous de l'absorbeur ;
- ❖ Ecoulement au-dessus de l'absorbeur ;
- ❖ Ecoulement des deux côtés de l'absorbeur.

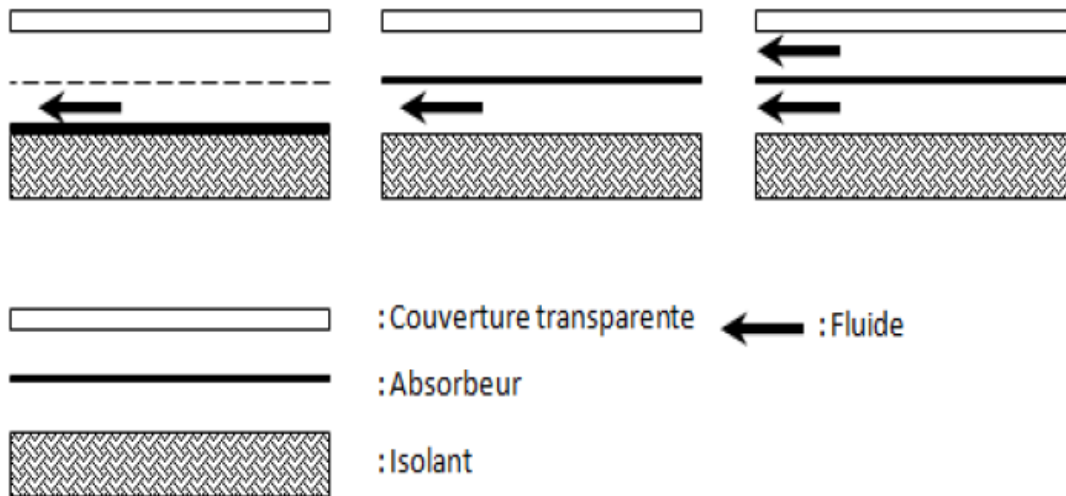


Figure II.7. Ecoulements de l'air dans les capteurs solaires [06].

II.6. Applications des capteurs solaires plans à air :

Plusieurs applications de l'énergie solaire captée par des capteurs solaires plans à air sont utilisées. Parmi les plus répandues, le chauffage, la climatisation, le séchage, la production de l'énergie mécanique, etc [06].

II.6.1. Chauffages et climatisation des habitations

Le principe est présenté sur la Figure II.13, consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations [02].

- 1- Capteur solaire plan à air.
- 2- Filtre.
- 3- Ventilateur.
- 4- Entrées d'air.
- 5- Sorties d'air.

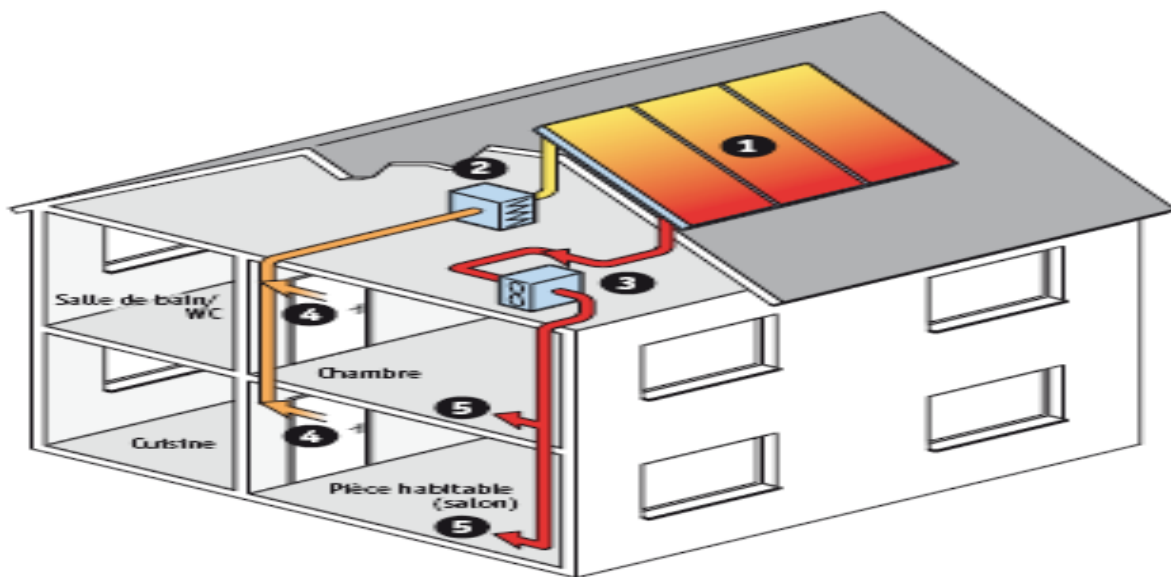


Figure II.8. Chauffage et climatisation des habitations [02].

Le système de capteur solaire à air se intègre dans l'habitat de façon modulaire et complète les systèmes de chauffage existants. Il permet de réaliser des économies substantielles d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments sur la période hivernale et en mi-saison en apportant une source complémentaire de chauffage. Une régulation fait circuler l'air des locaux à travers le Panneau dès que la température interne du panneau permet d'obtenir un gain significatif [02].

II.6.2. Séchage

Utilisation des capteurs solaires à air pour le séchage des récoltes est idéale dans le cas du thé, du café, des fruits, des fèves, du riz, des épices, du caoutchouc, du cacao et du bois [06].

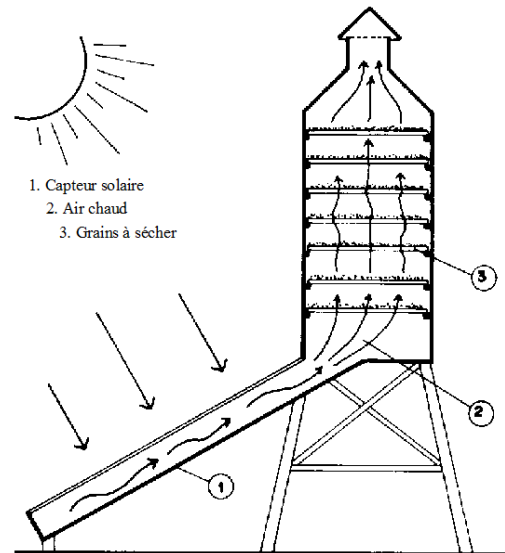


Figure II.9. Séchage solaire [06].

II.6.3. 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 évacuée à une source froide ; et ainsi de suite [06].

II.7. Conclusion

Pour atteindre un rendement thermique élevé, nous devons améliorer les différentes normes utilisées dans la fabrication des capteurs solaires. C'est la raison pour laquelle nous montrons le principe du travail des capteurs thermiques et connaissons ses composants ainsi que les domaines d'utilisation.

II.8. Références bibliographiques

[01] **Baissi Mohamed Tahar**, Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan, mémoire de magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 2012

[02] **Amraoui Mohammed Amine**, Etude numérique d'un capteur solaire plan a air influence de la forme de la rugosité, mémoire de magister, 2012

[03] **Hemissi Safa**, Simulation du transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur solaire plan à l'aide du logiciel fluent, mémoire de master, Université Badji Mokhtar Annaba , 2018

[04] **Ferdjani Ahmed Taha**, Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans, mémoire de magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 2013

[05] **Saadi Souad**, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan, mémoire de magister, Université Mantouri Constantine, 2010

[06] **Aissaoui Faris**, Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra, thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2017

Chapitre III : Modélisation mathématique et simulation numérique

III.1.Introduction	25
III.2.Présentation du problème	25
III.2.1. Conditions aux limites	26
III.3.Eléments mathématiques de base (équations gouvernantes)	26
III.3.1. Equation de continuité.....	27
III.3.2. Equations de la quantité de mouvement.....	27
III.3.3. Equation de l'énergie.....	28
III.4. Modèle K- ϵ	28
III.4.1. Equation de l'énergie cinétique	28
III.4.2 Equation de transport de taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulent	29
III.5. Qu'est-ce que la CFD.....	29
III.6. Définition de la méthode de résolution.....	30
III.6.1. Méthode des volumes finis	30
III.7. Présentation de logiciel ANSYS-Fluent.....	31
III.8. Etapes d'une simulation CFD à l'aide de fluent.....	31
III.8.1. CAO.....	31
III.8.2. Maillage.....	32
III.8.2.1. Choix du type de maillage.....	32
III.8.2.2. Nomination des surfaces.....	33
III.8.3. Simulation.....	33
III.8.3.1. Choix du solveur (Lancer Fluent)	35
III.8.3.2. Choix du modèle de turbulence (le modèle k-epsilon)	36
III.8.3.3. Choix l'équation d'énergie.....	37
III.8.3.4. Définition des propriétés du fluide.....	37
III.8.3.5. Fonctionnement conditions	38
III.8.3.6. Conditions aux limites.....	39

III.8.3.7. Initialisation des calculs.....	40
III.8.3.8 Sauvegardes.....	41
III.8.4 Post-traitement	41
III.9. Conclusion	41
III.10. Références bibliographiques.....	42

Résumé

Au début de ce chapitre, nous présentons la géométrie et la configuration physique de notre problème, nous étudierons également certaines équations mathématiques qui nous aideront dans cette étude, puis nous expliquerons les étapes de la simulation avec ANSYS WORK BENCH.

III.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la configuration géométrique et physique de notre problème et étudions quelques équations mathématiques qui nous aideront dans cette étude ,en plus de connaître les étapes de la simulation à l'aide d'un programme ANSYS WORK BENCH.

III.2.Présentation du problème

La géométrie du problème considéré est schématisée dans la figure III.1. Elle consiste deux parois ondulées dans un canal de longueur $L=2000$ mm , largeur $b=(50,100,150,250,300$ mm),longueur d'onde $L_0=(400,500$ mm) et la hauteur $h=40$ mm, à l'entrée du canal l'air entre avec une vitesse U_{in} et une température T_{in}

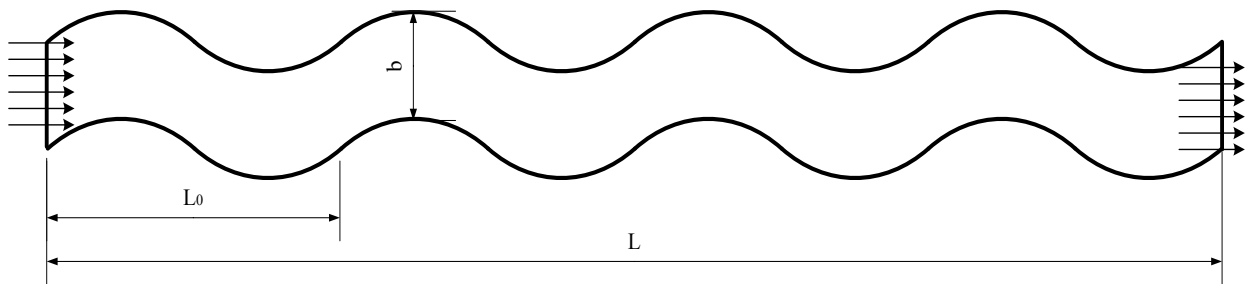


Figure .III.1.Géométrie du problème physique (cas 01).

Pour la figure III.2, il s'agit d'un canal rectangulaire de longueur $L = 2000$ mm, de largeur $b = (50, 100, 150, 250, 300$ mm) et de hauteur $h = 40$ mm, et utilisé dans la présente étude un canal rectangulaire dans le but de comparer avec le canal ondulé.

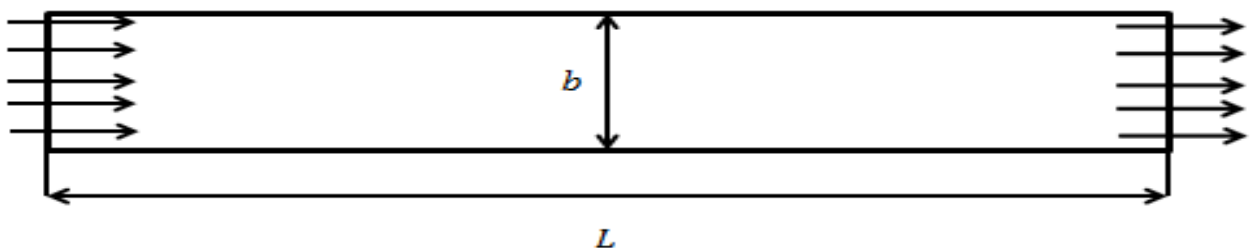


Figure III.2.Géométrie du problème physique (cas 02).

III.2.1. Conditions aux limites du problème

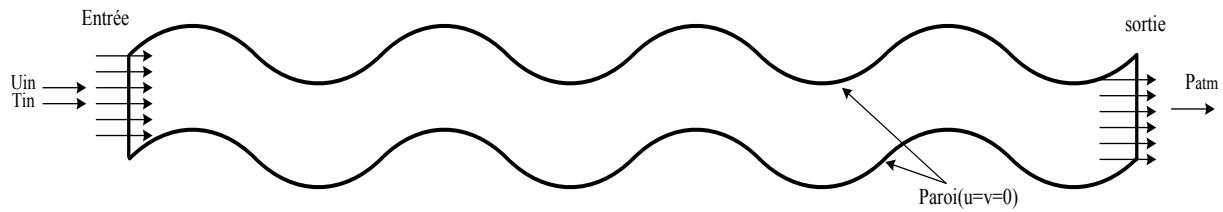


Figure III.3. Conditions aux limites.

- La température de l'air utilisé a été fixé $T_{in}=300k$ à l'entrée de la conduite.
- La vitesse d'entrée $U_{in} = (3,5,7 \text{ m/s})$

Les conditions aux limites du problème étudié :

❖ **A l'entrée du canal ($x = 0$)**

$$U = U_{in}, \quad T = T_{in}$$

❖ **A la paroi**

$$U=V=0, \quad \Phi=0$$

❖ **Sortie de canal ($x = L$)**

$$P = P_{atm}.$$

III.3.Eléments mathématiques de base (équations gouvernantes)

La formulation mathématique des phénomènes de convection repose sur les équations liant les différents paramètres à savoir: la vitesse, la pression et la température.

Ces équations proviennent de la prise de la moyenne dans le temps des équations de Navier Stokes. On obtient en conséquence les équations de Reynolds(RANS) données ci-dessous et exprimant [01].

- ❖ la loi de conservation de masse (équation de continuité).
- ❖ la loi de conservation de la quantité de mouvement.
- ❖ la loi de conservation de l'énergie (équation de l'énergie).

III.3.1. Equation de continuité

Cette équation est déduite du premier principe de la conservation de masse. Elle s'exprime selon Versteeg et Malalasekera [02], sous forme tensorielle :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (3.1)$$

(Où $j = 1, 2, 3$: indice de sommation)

L'air est considéré comme étant un fluide incompressible ($\rho = \text{constante}$), l'équation (3.1) devient alors :

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (3.2)$$

Où u_j est la composante de la vitesse moyenne dans la direction i .

III.3.2. Equations de la quantité de mouvement

Cette équation est déduite de la deuxième loi de la dynamique, qui stipule que la variation de la quantité de mouvement d'une particule fluide est égale à la somme des forces extérieures sur cette particule. Elle s'écrit selon Versteeg et Malalasekera [02], sous forme tensorielle comme suit:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial (\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = F_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[U \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (3.3)$$

$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i)$: représente le taux de variation de la quantité de mouvement.

$\frac{\partial (\rho u_j u_i)}{\partial x_j}$: Représente le taux de transport de la quantité de mouvement suivant la direction (i), par mouvement du fluide.

F_i : Représente les forces de volume suivant la direction (i).

$\frac{\partial p}{\partial x_i}$: Représente les forces dues à la pression.

$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[U \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right]$: Représente les forces de viscosité.

L'équation (3.3) n'est autre que les équations de Navier-Stokes, qui représentent la conservation de la quantité de mouvement d'un fluide visqueux incompressible pour le régime transitoire [03].

II.3.3. Equation de l'énergie

L'équation de l'énergie est obtenue en appliquant le premier principe de la thermodynamique pour un fluide Newtonien incompressible, elle s'écrit comme suit selon Versteeg et Malalasekera [02]:

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j T) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + q + \mu \Phi \quad (3.4)$$

ou:

k : La conductivité thermique.

C_p : La chaleur spécifique à pression constante.

ρ : La masse volumique.

q : La génération de chaleur par unité de volume (densité de chaleur volumétrique).

μ : Viscosité dynamique du fluide.

Φ : La dissipation visqueuse.

II.4. Modèle K-ε [01]

Le modèle le plus utilisé aujourd'hui pour les applications industrielles et des calculs d'écoulement et de transfert de chaleur sont les modèles de viscosité à deux équations (k-ε).

Le modèle (k- ε) standard est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation ϵ . L'équation modélisée de l'énergie turbulente est dérivée de l'équation exacte. Celle de la dissipation est obtenue sur la base d'un raisonnement physique.

II.4.1. Equation de l'énergie cinétique

Elle est donnée par l'expression suivante:

$$u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(V + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + V_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \epsilon \quad (3.5)$$

La viscosité turbulente est obtenue en combinant k et ϵ come suit:

$$\mu_t = \rho C_{\mu} \frac{k}{\epsilon} \quad (3.6)$$

II.4.2 Equation de transport de taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulent

$$u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(V + \frac{V_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 V_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\varepsilon}{\kappa} - C_2 \frac{\varepsilon^2}{\kappa} \quad (3.7)$$

Les constantes usuelles du modèle de turbulence k- ε ont été obtenues à partir de l'expérience ou de la théorie. Elles ont les valeurs suivantes.

$$C_u=0.09, \quad C_1=1.44, \quad C_2=1.92, \quad \sigma_\varepsilon=1.3, \quad \sigma_k=1$$

Pour notre application, le modèle de fermeture k- ε a été choisi parce qu'il permet de réaliser un bon compromis entre son niveau de sophistication et son efficacité numérique.

Le nombre de Reynolds basé sur le diamètre hydraulique D_h , ce paramètre adimensionnel est défini comme suit:

$$Re = \frac{\rho D_h U_{in}}{\lambda_f} \quad (3.8)$$

Le nombre du NUSSELT local est donné par:

$$Nu(x) = \frac{h(x) D_h}{\lambda_f} \quad (3.9)$$

III.5. Qu'est-ce que la CFD

La CFD, i.e. « Computational Fluid Dynamics » (soit en français : Dynamique des Fluides Numérique) est un ensemble de méthodes numériques permettant d'obtenir une solution approximative d'un problème de dynamique des fluides et/ou de transfert thermique. Les équations qui interviennent sont celles des mécaniques des fluides, résolues par des méthodes numériques. La solution est approximative et non pas exacte pour plusieurs raisons [01].

D'abord, parce qu'on résout les équations de Navier-Stokes numériquement en les discrétisant [01].

Deuxièmement, et comme on le verra un peu plus loin, pour des raisons de limitation de la puissance de calcul et de mémoire, certains termes des équations à résoudre sont remplacés par des modèles empiriques de turbulence qui ne sont pas exacts. Cependant, grâce au développement des méthodes numériques et à des calculateurs de plus en plus puissants avec une grande capacité de

mémoire, la CFD permet d'avoir des solutions très satisfaisantes. Ceci est encore plus vrai dans l'industrie où très souvent on ne s'intéresse qu'aux valeurs moyennes et aux ordres de grandeur d'un problème donné [01].

III.6. Définition de la méthode de résolution

Le passage d'un problème aux dérivées partielles continu à un problème discret, s'appuie sur les méthodes de dérivées partielles. On distingue trois grandes méthodes pour formuler un problème continu sous forme discrète, basées sur la discrétisation des équations différentielles, telles que la méthode des volumes finis, des différences finies et des éléments finis. La méthode utilisée par le code ANSYS-Fluent, est celle des volumes finis. ANSYS-Fluent discrétise les systèmes d'équations qui traduisent l'écoulement permanent d'un fluide dans des géométries définies en utilisant une méthode de discrétisation, dont cette opération s'effectue par la transformation des équations différentielles en un système d'équations algébriques suivant des étapes propres au régime permanent. Généralement, on peut distinguer [04] :

- ❖ Intégration des équations de transport.
- ❖ Discrétisation spatiale.
- ❖ Conditions aux limites.
- ❖ Couplage pression vitesse.
- ❖ Convergence.

III.6.1. Méthode des volumes finis

Cette méthode a été développée par Patankar au début des années 70. Elle était d'abord utilisée dans la simulation des écoulements visqueux et bidimensionnels [05].

Aujourd'hui, elle est devenue un standard international au point de vue quelle sert de base numérique à la plupart des logiciels CFD commerciaux qui sont apparus au cours de ces dernières années (CFD2000, PHOENICS, FLUENT) [05].

Le principe de cette méthode est de subdiviser le domaine en un nombre de volumes de contrôle juxtaposés. Chacun de ces derniers englobe un nœud dit nœud principal. L'équation différentielle est intégrée sur ce volume de contrôle. Le profil de variation des paramètres entre les nœuds doit être choisi pour pouvoir évaluer les intégrales. Le résultat est une équation algébrique qui a comme inconnues les variables du problème [05].

Puisque, on utilise le logiciel CFD2000 pour la résolution numérique du système équations posé dans le chapitre précédent donc, la méthode de discrétisation choisi est celle des volumes finis [05].

III.7. Présentation de logiciel ANSYS-Fluent:

Il existe un certain nombre de codes industriels, aux meilleurs performants permettant la prédiction d'écoulements de fluides (FLUENT, CFX, PHOENICS, FEMLAB, CFD-ACE, FLOTRAN, CFDS-FLOW3D ...). Pour réaliser nos simulations, nous avons choisi le code de calcul ANSYS-Fluent, que nous présentons dans cette partie [05].

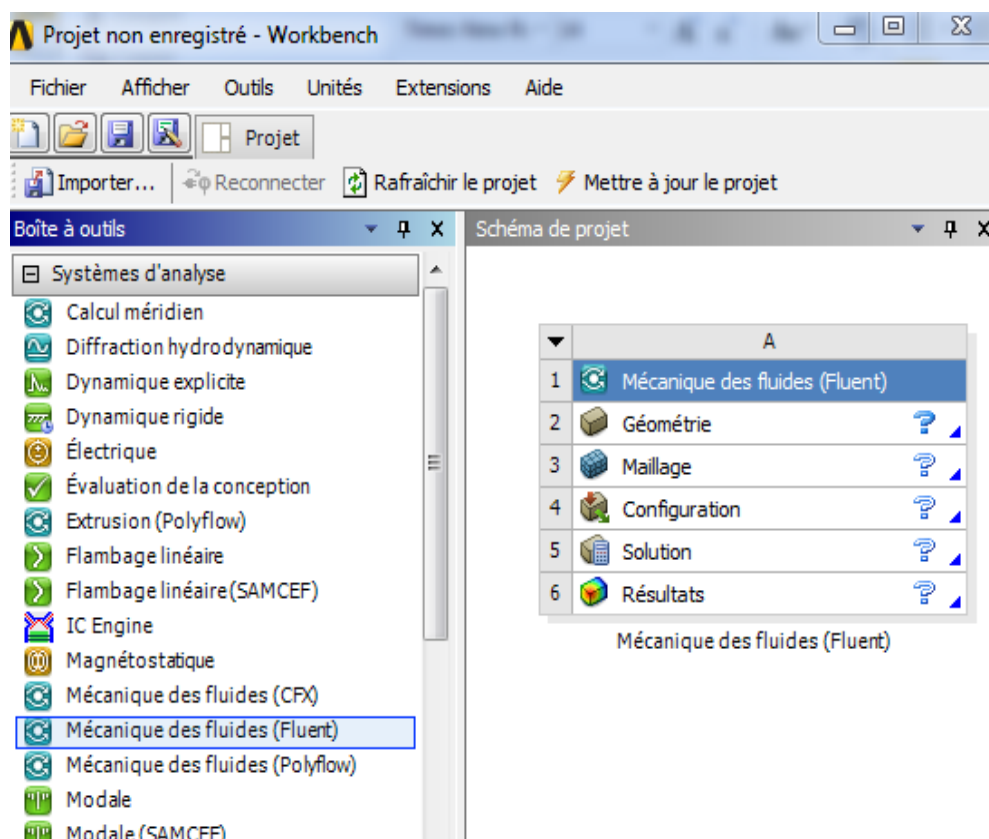


Figure III.4. Logiciel ANSYS-FLUENT.

III.8. Etapes d'une simulation CFD à l'aide de fluent

III.8.1. Dessiner la géométrie sur ANSYS WORKBANCH

Toute simulation CFD commence par la réalisation de la géométrie en 2D ou 3D, soit avec un logiciel intégré au code de calcul CFD soit à l'aide d'un logiciel de CAO. Dans le deuxième cas, la géométrie doit être exportée en un format lisible par le logiciel de maillage. Les formats step ou iges sont les plus couramment utilisés[01,06].

Nous dessinons la forme géométrique, qui est un canal ondulé, la première étape de cette étude.

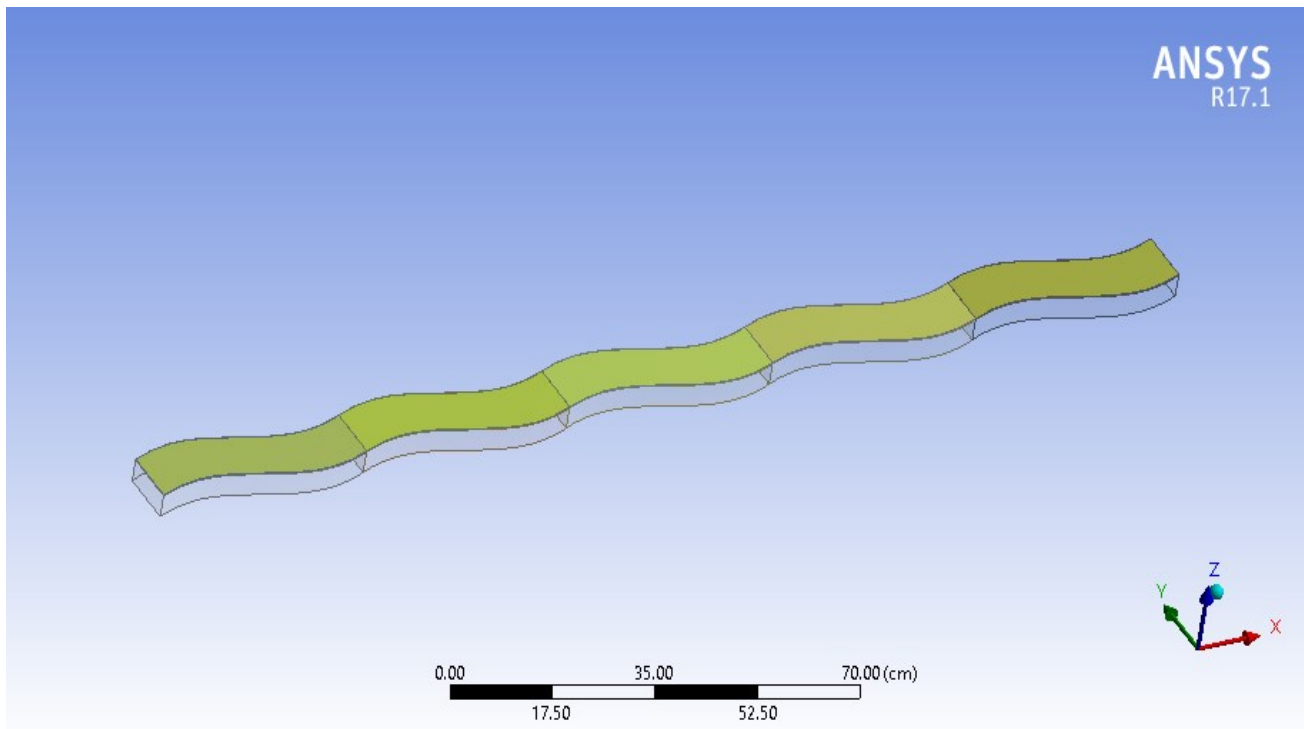


Figure III.5. Géométrie du problème par logiciel ANSYS WORK BENCH.

III.8.2. Maillage

La génération du maillage (2D ou 3D) est une phase très importante dans une analyse CFD, vu son influence sur la solution calculée. Un maillage de très bonne qualité est essentiel pour l'obtention d'un résultat de calcul précis, robuste et signifiant. La qualité du maillage a un sérieux impact sur la convergence, la précision de la solution et surtout sur le temps de calcul. Une bonne qualité de maillage repose sur la minimisation des éléments présentant des distorsions (skewness en anglais), et sur une bonne « résolution » dans les régions présentant un fort gradient (couches limites, ondes de choc, . . .). Un bon maillage doit également être suffisamment « lisse » [01,06].

III.8.2.1. Choix du type de maillage

- ❖ Maillage structuré (quadra/hexa).
- ❖ Maillage non structuré (tri/tétra).
- ❖ Maillage hybride.

On définit les maillages structurés, non structurés et hybride (voir Figure III.6):

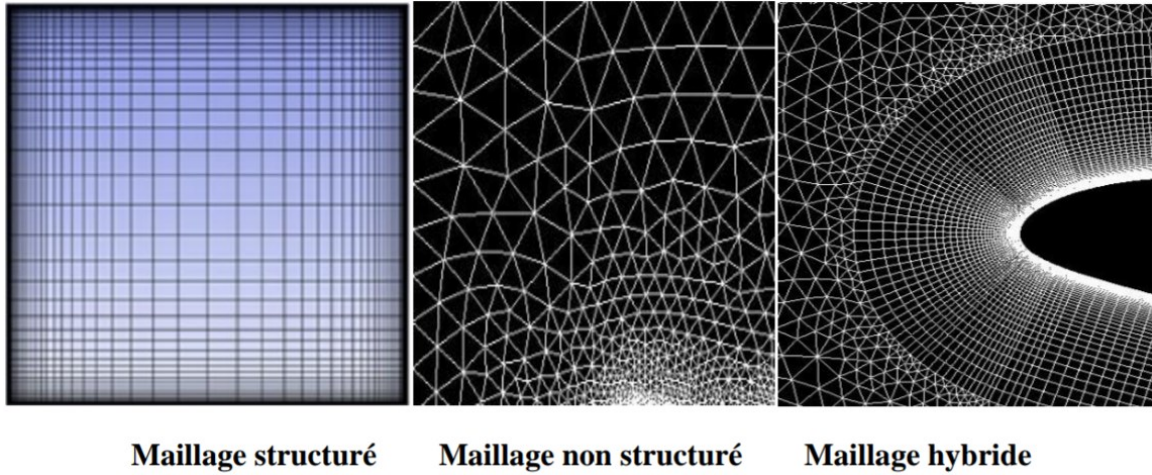


Figure III.6. Différents types de maillage [07].

Après l'achèvement de la première étape, nous passons directement à l'étape suivante, qui est l'étape du maillage où, à ce stade, la fiche technique est divisée en très petites parties pour faciliter le processus d'étude.

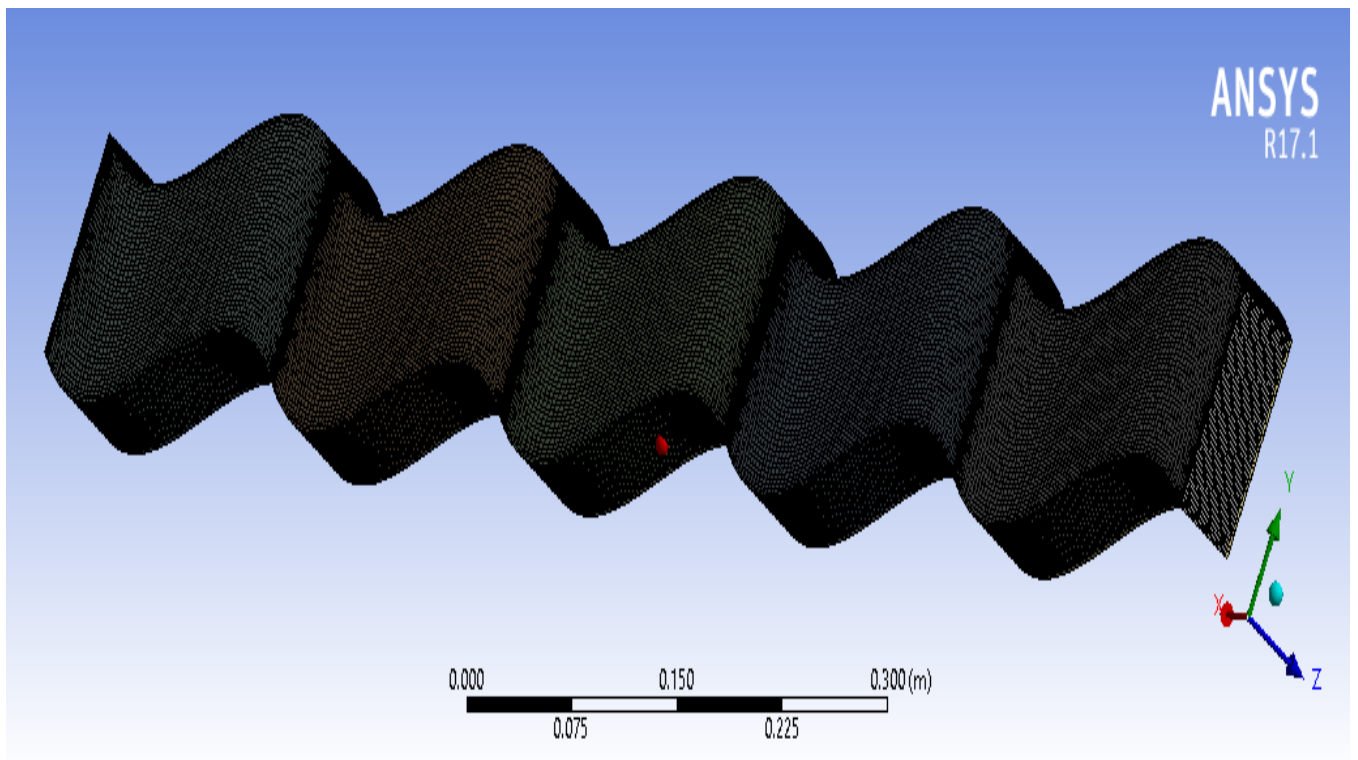


Figure III.7. Maillage de la géométrie du problème.

III.8.2.2. Nomination des surfaces

L'étape suivante consiste à nommer les différentes parties de la géométrie afin de [08].

- ❖ Définir les conditions aux limites les problèmes (entrées sorties etc.).
- ❖ Définir les conditions sur le maillage au niveau des différentes sélections.

En 3D, pour repérer les entrées, sortiesetc. il faut sélectionner des différentes surfaces «face» de la géométrie [08].

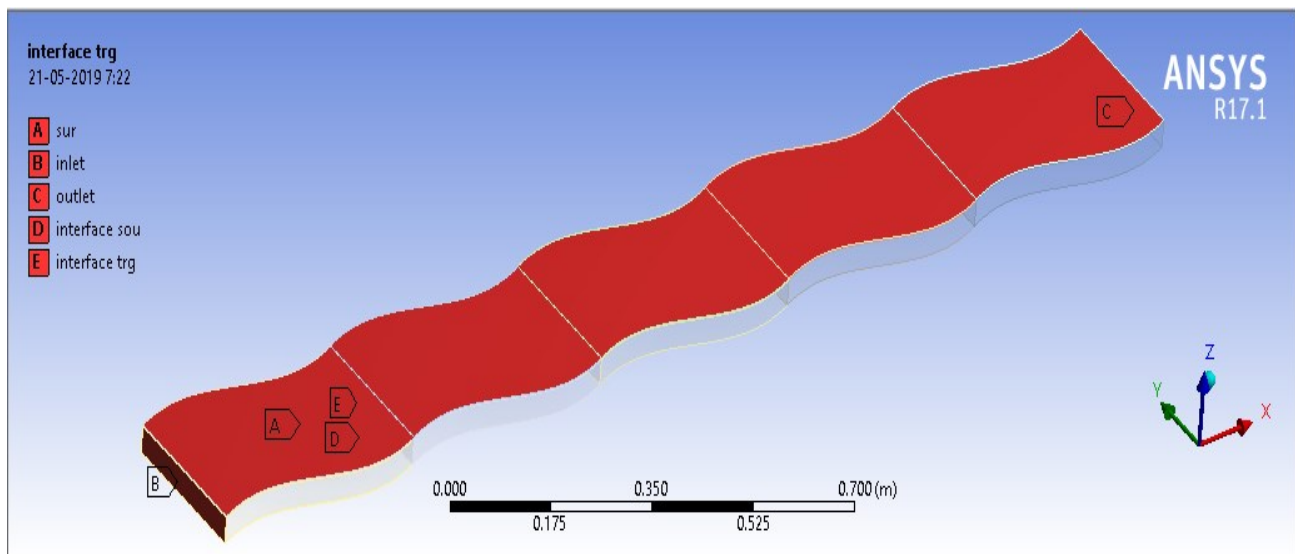


Figure III.8. Numération de la surface.

III.8.3. Simulation

À cet étape, nous simulons l'écoulement entre deux parois ondulé. Pour obtenir les résultats potentiels représentés à la figure 9, nous devons suivre les étapes suivantes;

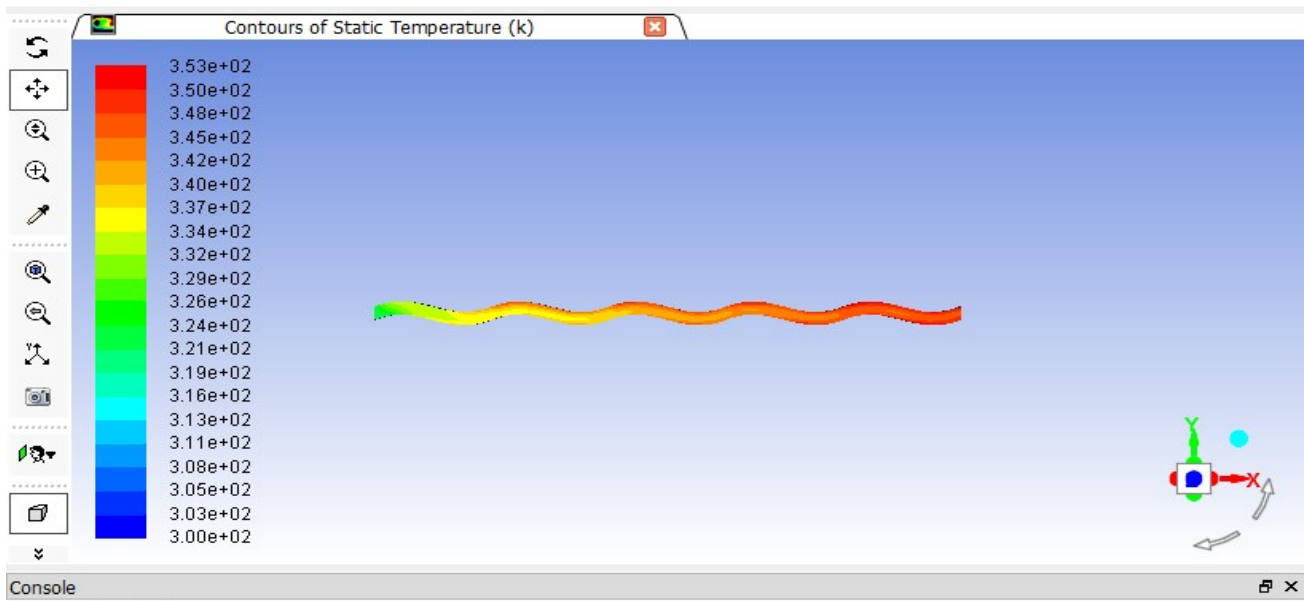


Figure III.9. Simulation de la géométrie du problème.

III.8.3.1. Choix du solveur (Lancer Fluent)

Dans la première étape, nous faisons les choix suivants :

- ❖ La dimension du problème, 2D, 3D.
- ❖ monoprocesseur ou en parallèle et si besoin.
- ❖ préciser le répertoire de travail.

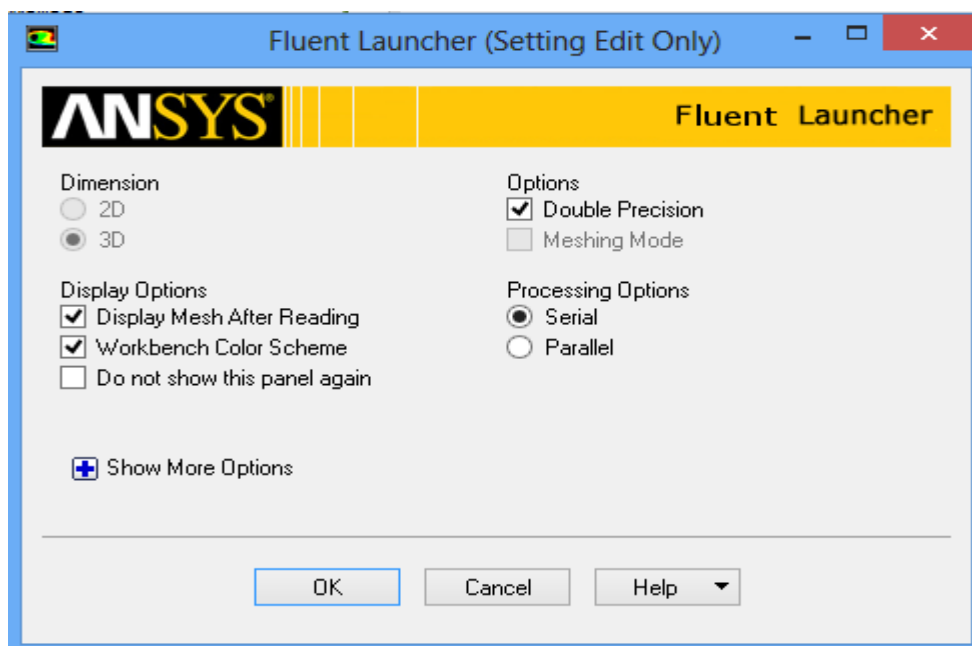


Figure III.10 .Fenêtre de lancement du fluent.

III.8.3.2. Choix du modèle de turbulence (le modèle k-epsilon)

- Les Avantages le modèle k-epsilon:
 - ❖ Robuste.
 - ❖ économique et relativement précis.
 - ❖ Adapté aux écoulements à grand nombre de Reynolds.
- L'inconvénient de modèle k-epsilon:

Résultats médiocre pour des écoulements complexes (fort gradient de pression, rotation et swirl).

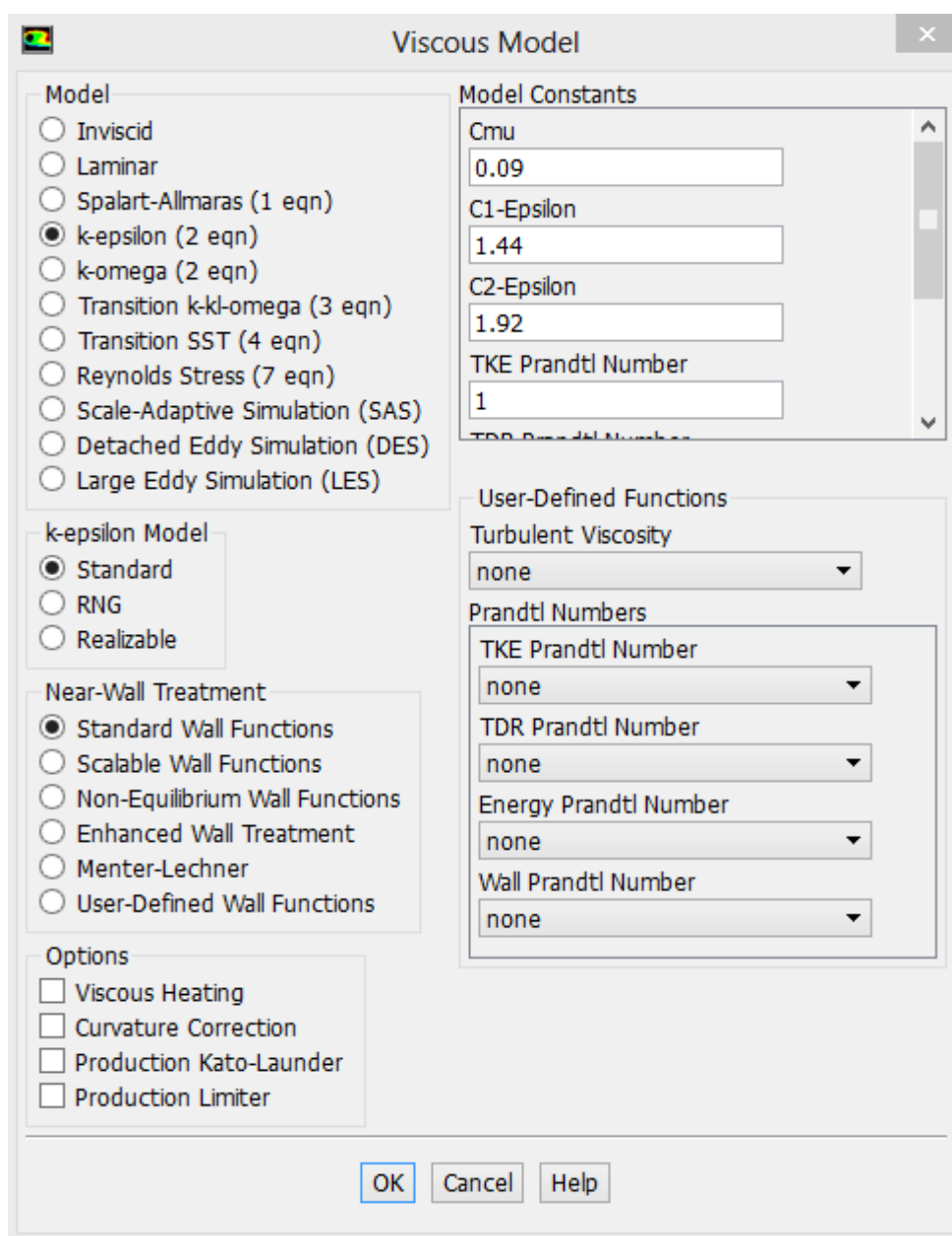


Figure III.11. Model k-epsilon standard.

III.8.3.3. Choix l'équation d'énergie

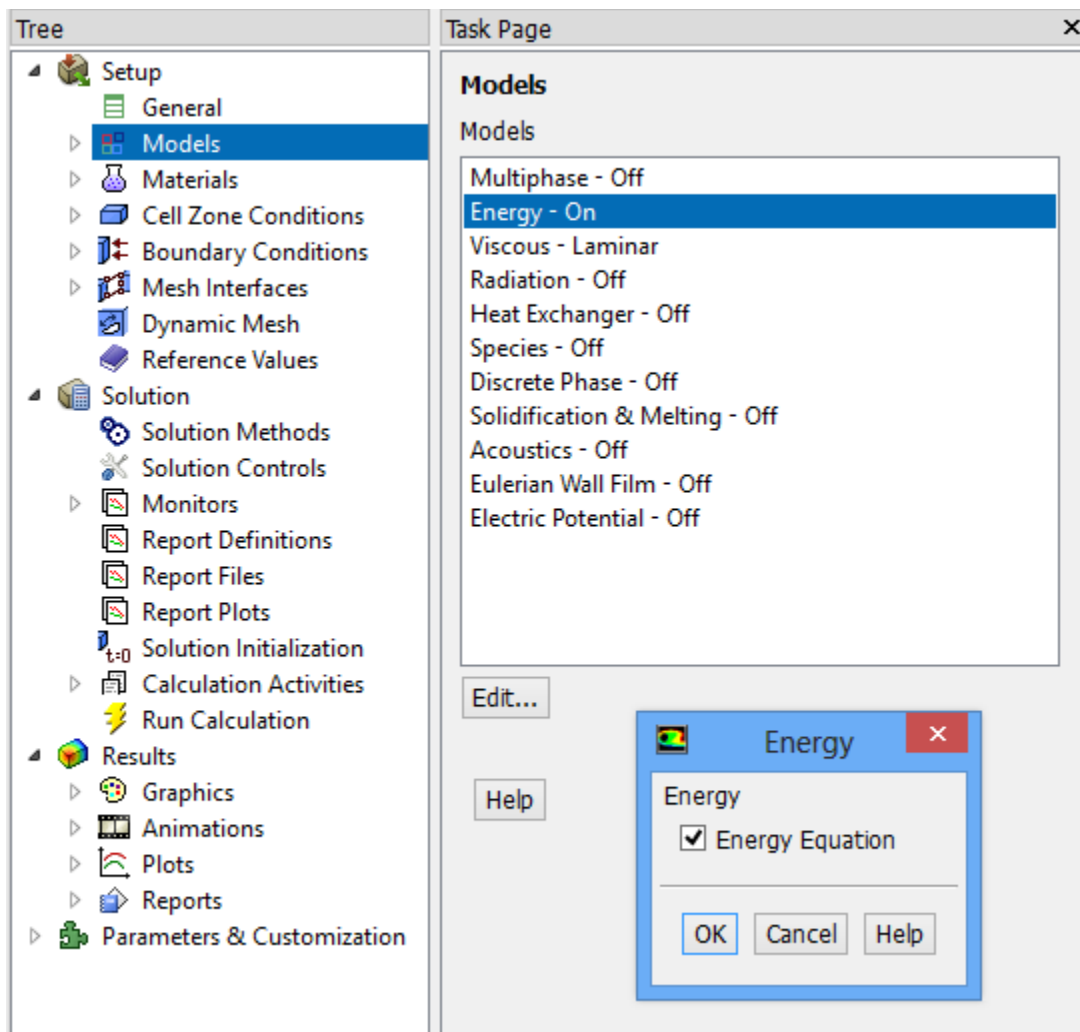


Figure III.12. Etablir équation d'énergie.

III.8.3.4. Définition des propriétés du fluide

Le code Fluent contient une bibliothèque contenant le fluide le plus commun, Dans notre étude, nous avons choisi l'air.

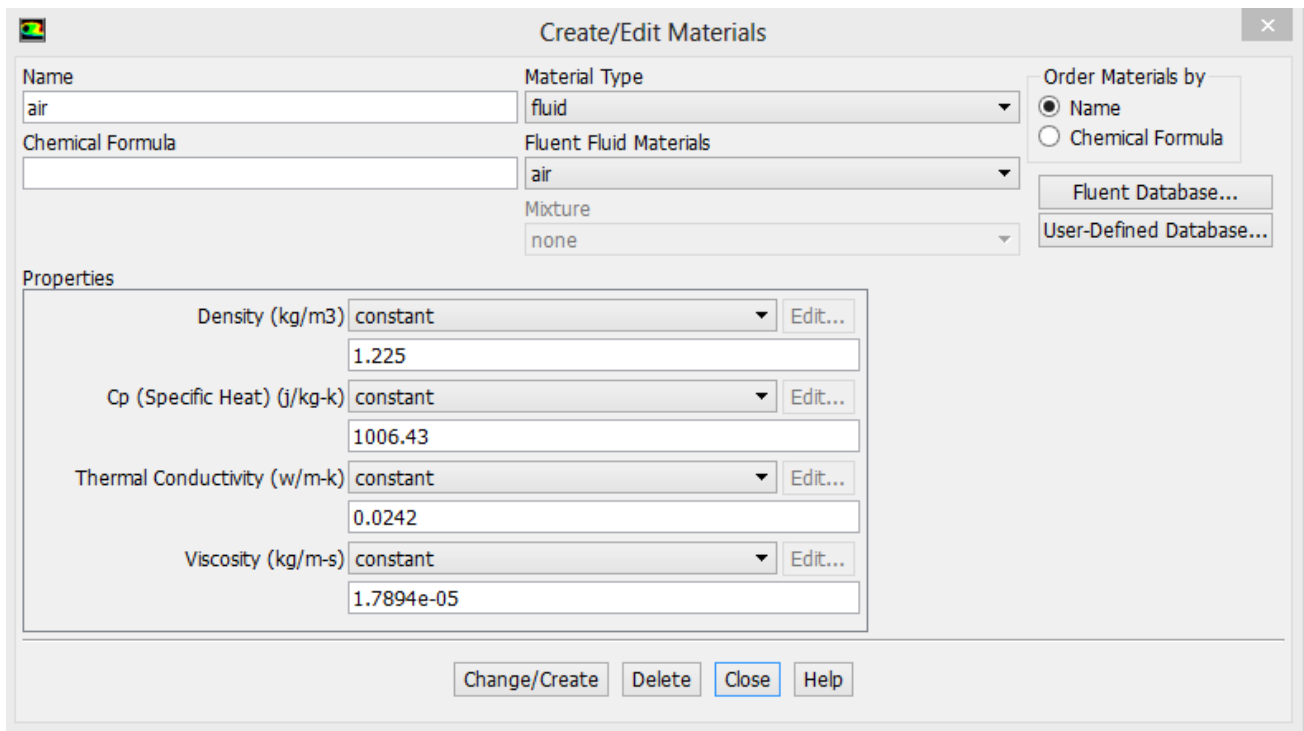


Figure III.13. Définition des caractéristiques physiques des fluides (air).

III.8.3.5. Conditions de fonctionnement

Avant de choisir les conditions aux limites, il faut choisir d'abord la valeur de la pression de référence. En effet, bien souvent on utilise une pression appelée « gauge pressure » et ce afin d'éviter les erreurs d'ordre numérique lors du calcul pour des écoulements à faible nombre de Mach. La relation liant la pression absolue à la « gauge pressure » est donnée par $P_{abs} = P_{op} + P_{gauge}$ [01,06].

Par défaut il s'agit de la valeur de la pression atmosphérique comme operating pressure. On peut également inclure la gravité. On a alors pris en compte de la pression hydrostatique dans la pression utilisée [01,06].

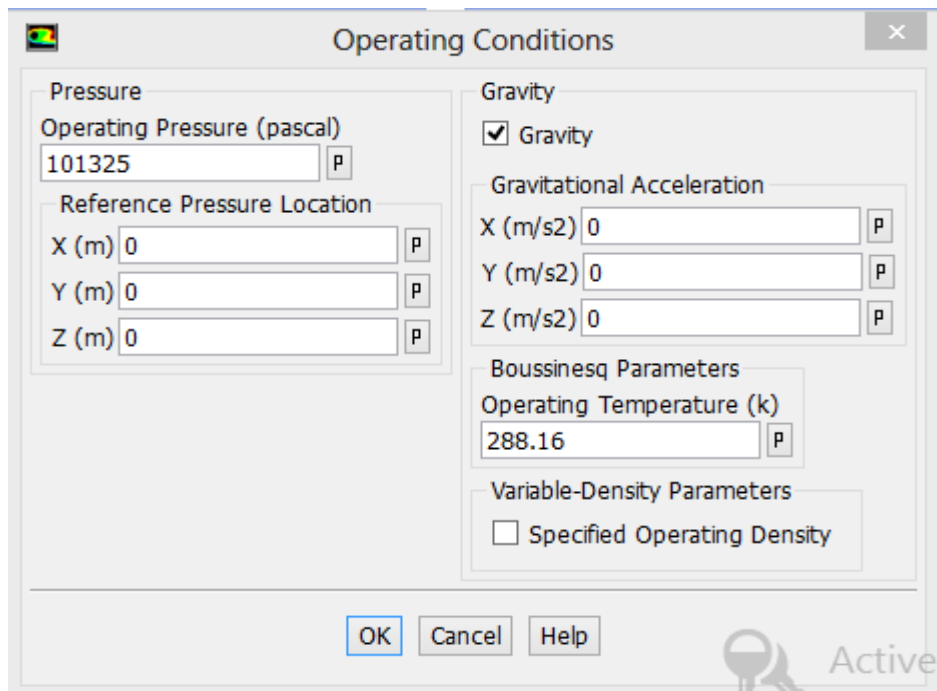


Figure III.14. Choix de la pression de référence et la gravité.

III.8.3.6. Conditions aux limites

Ne fois que la géométrie et le maillage du domaine physique étudié sont définis, nous spécifierons les zones géométriques sur lesquelles nous allons appliquer les conditions aux limites. Sous Gambit, il y a deux caractéristiques de types de zones (conditions aux limites) :

- ❖ Type frontière (Wall ou Vent) pour définir les frontières externes ou internes.
- ❖ Type continuum (Fluide ou Solide) pour définir les régions du domaine.

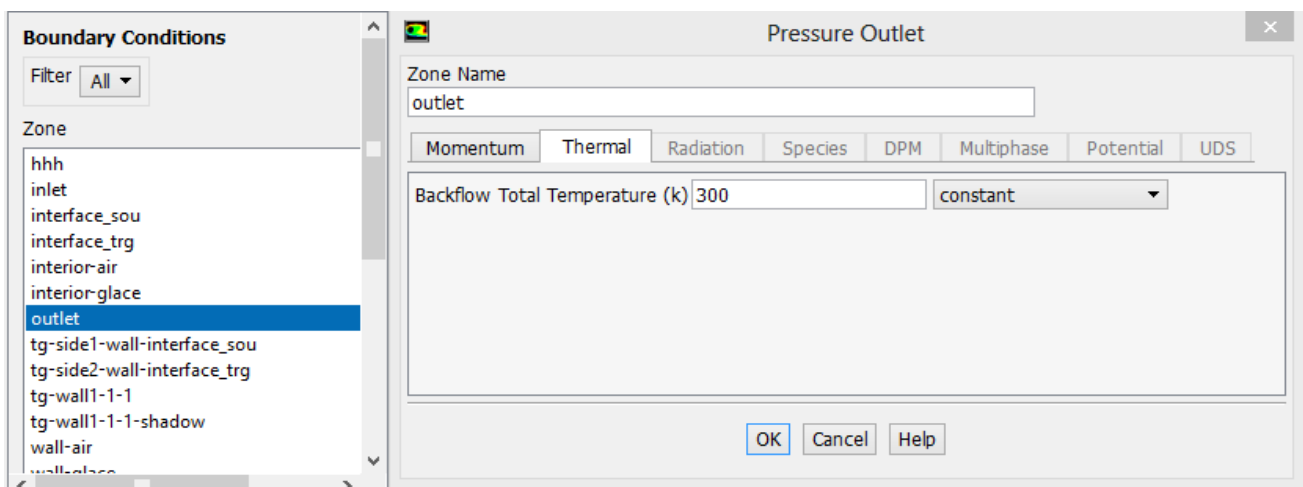


Figure III.15. Conditions aux limites.

III.8.3.7. Initialisation des calculs

Il est conseillé dans de nombreux cas d'initialiser les calculs aux conditions de l'entrée [01,06].

Toutefois s'il y a un calcul qui a déjà convergé et que vous désirez changer juste un paramètre (par exemple la vitesse d'entrée), il est préférable d'initialiser au calcul précédent déjà convergé [01,06].

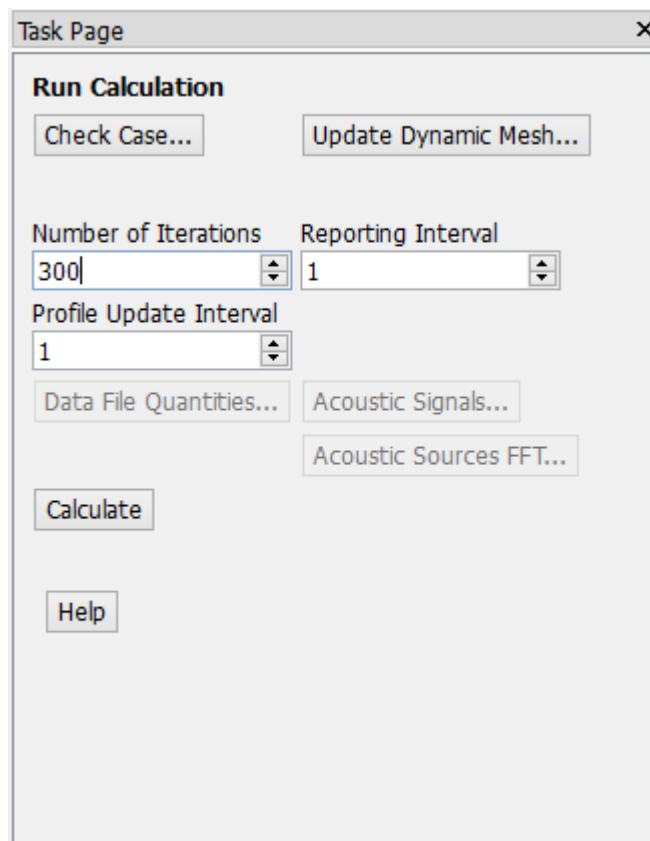


Figure III.16. Procédures des itérations.

Le code FLUENT, annonce un résiduel pour chaque équation régissant étant résolue. Le résiduel est une mesure comment bien la solution actuelle satisfait la forme discrète de chaque équation régissant. Nous réitérerons jusqu'au résiduel pour chaque chutes (automne) d'équation au-dessous de 10^{-6} [07].

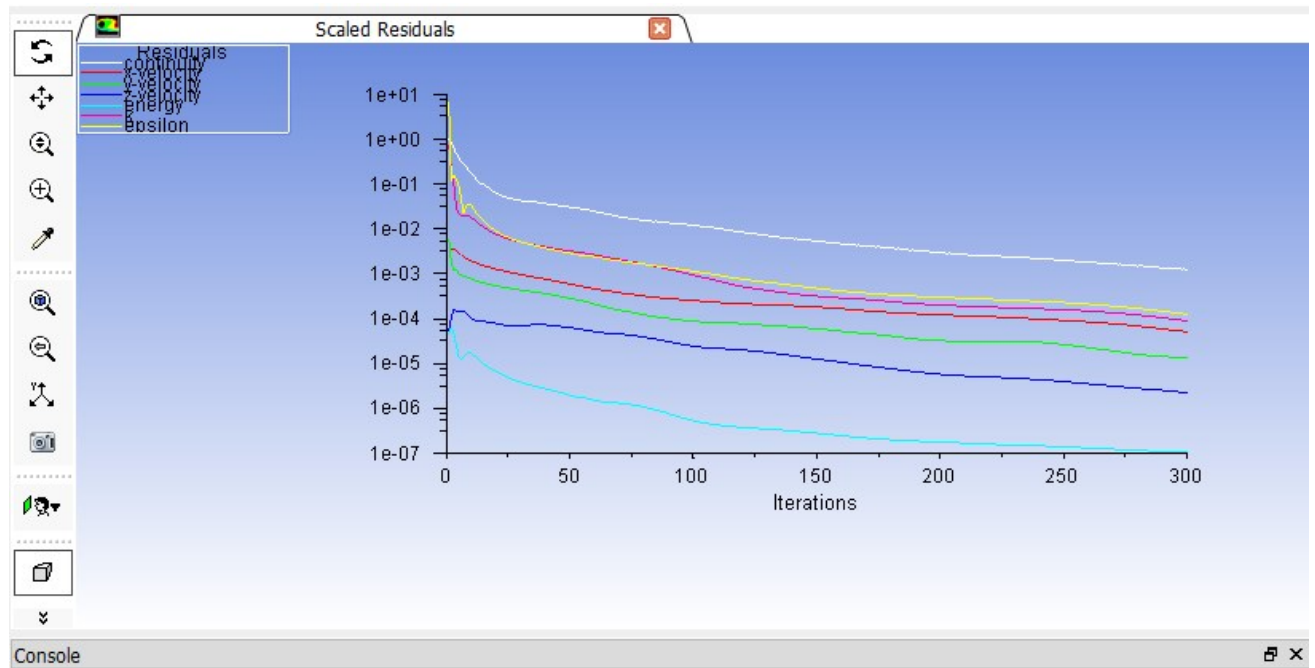


Figure III.17. Allure de l'évolution des résidus de calcul.

III.8.3.8 Sauvegardes

Il est conseillé une fois le paramétrage effectué de sauvegarder la simulation, avant de la lancer, ainsi que de mettre en place une sauvegarde automatique tous les n itérations ou pas de temps [01,06].

III.8.4 Post-traitement

Le logiciel Fluent fournit des outils intégrés de post-traitement. Toutefois, rien n'interdit d'exporter les données dans divers formats afin de les traiter sous d'autres logiciels tels que [01,06] :

TECPLOT pour la visualisation, ou pour une analyse plus poussée.

III.9. Conclusion

Les programmes de simulation numérique jouent un rôle important en facilitant l'étude de la mécanique des fluides et en améliorant les performances des capteurs solaires. Ceci est démontré par la précision des résultats et la vitesse de calcul.

III.10. Références bibliographiques

- [01] **Souiadi Iyès**, La convection mixte dans un canal Horizontal muni de blocs chauffés , mémoire de magister , Université Kassdi Merbah – Ouargla , 2013.
- [02] **Versteeg HK and Malalasekera w.** An introduction to computational fluid dynamics. England: Pearson Education limite, 2007.
- [03] **MAHFOUD Omar**, Etude dynamique et thermique de l'écoulement de L'air dans un collecteur solaire dont le conduit utile est garni de rugosités artificielles, mémoire de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2015.
- [04] **Benmebarek Mourad**, Modélisation et simulation des écoulements a surface libre En présence de singularités du fond, mémoire de magister, Université Abderrahmane Mira – Bejaia , 2015.
- [05] **Lebbal Chirine**, Etude de la convection sous serres Fermées et ouvertes en présence de La plante, mémoire de magister, Université El-Hadj Lakhdar – Batna, 2008.
- [06] **H. Nouri, F. Ravelet**, «Introduction à la simulation numérique des écoulements. Application au transfert thermique sur plaque plane avec StarCCM+.*, paris2013.
- [07] **Oualid khanfri**, Simulation de l'écoulement turbulent et du transfert de chaleur dans un convertisseur thermo-solaire a air comportant de chicanes triangulaires orientées en amont et en aval, mémoire de master, Université Abou-Bekr Belkaid –Tlemcen, 2018.
- [08] **Adjaimi djoubyer**, Etude numérique en CFD de la convection naturelle dans des échangeurs de chaleur à ailettes carrées, mémoire de master, Université Mohamed Khider – Biskra, 2018.

Chapitre IV : résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	43
IV.2. Evolution de la température en fonction de la largeur du canal	43
IV.3. Evolution de la température en fonction de la capacité d'onde du canal.....	46
IV.4. Evolution de la température en fonction de la vitesse d'entrée.....	47
IV.5. Champ de température.....	51
IV.6. Conclusion	53

Résumé

Dans ce chapitre, nous présentons et analysons les résultats obtenus par le programme ANSYS WORK BENCH en étudiant l'écoulement entre deux parois ondulées et en le comparant à un canal rectangulaire.

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, les résultats de l'étude seront clarifiés et analysés le long du canal ondulé $L = 2\ 000\ \text{mm}$, tandis que la largeur sera modifiée à chaque fois $L = (50\ \text{mm}, 100\ \text{mm}, 150\ \text{mm}, 250\ \text{mm}$ et $300\ \text{mm})$.

Le but de cette étude est d'étudier l'effet de parois ondulées sur l'écoulement d'air. Ces résultats ont été comparés à un canal rectangulaire ayant les mêmes dimensions que le premier canal.

Ces formes ont été réalisées et étudiées à l'aide de l'outil ANSYS WORKBENCH. Les étapes de base de ce programme ont été utilisées dans le chapitre précédent.

IV.2. Evolution de la température en fonction de la largeur du canal

La figure (IV.1) montre les variations des températures théoriques des trois formes des canaux (longueur d'onde du canal $L_0 = (400\ \text{mm}$ et $500\ \text{mm})$ et le canal rectangulaire), en fonction de la largeur du canal, pour une vitesse de $3\ \text{m/s}$ et un flux de chaleur de $700\ \text{w} / \text{m}^2$. Ces résultats ont été obtenus par le code de simulation FLUENT.

À partir de ces résultats, on peut constater que le canal rectangulaire ayant une meilleure performance que les deux autres canaux ondulés, mais avec une largeur de canal croissante, le canal ondulé fonctionne mieux que le canal rectangulaire. D'autre part, nous notons également que le canal de longueur d'onde $L_0 = 500\text{mm}$ est meilleur que le canal de longueur d'onde $L_0 = 400\text{mm}$.

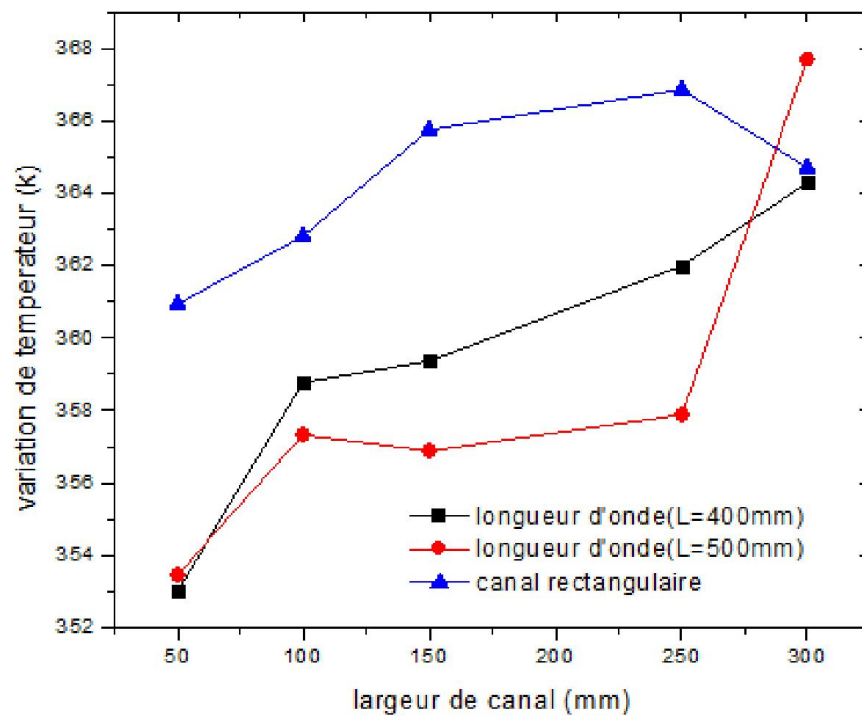


Figure IV.1. Variation de la température en fonction de largeur du canal (pour $V=3\text{m/s}$).

La figure (IV.2) montre l'évolution de la température théorique en fonction de la largeur du canal. Ce résultat a été obtenu par FLUENT. On fixe la vitesse à 5 m/s et un flux de chaleur de 700 w/m^2 .

En comparant les figures (IV.1) et (IV.2), il est noté que plus la vitesse est élevée, plus que la température est basse.

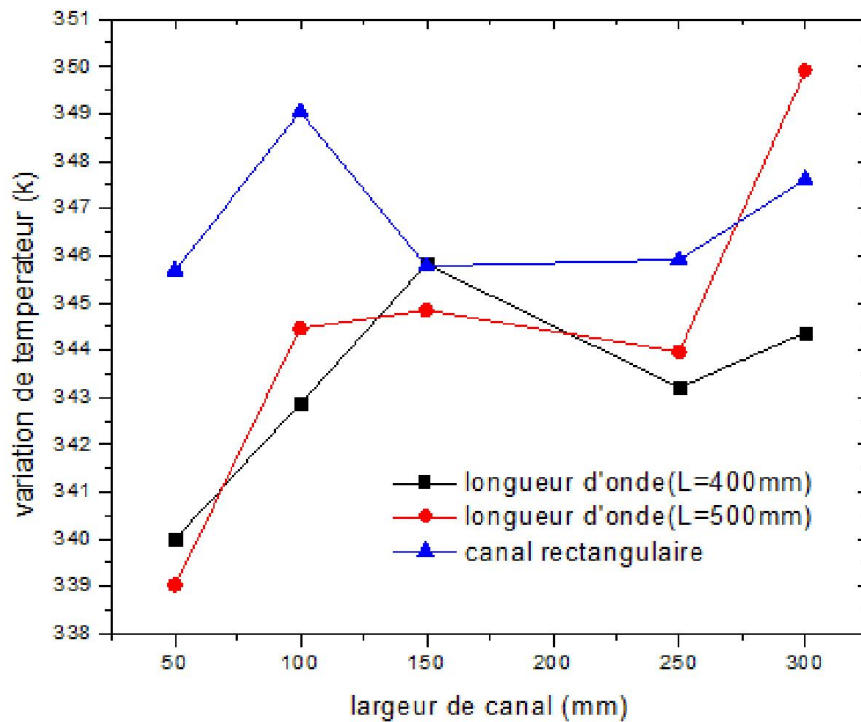


Figure IV.2. Variation de la température en fonction largeur du canal (pour $V=5\text{m/s}$).

La figure (IV.3) montre l'évolution de la température théorique en fonction de la largeur du canal. Ce résultat a été obtenu par FLUENT, pour une valeur constante de la vitesse (7m/s) et de flux de chaleur de 700w/m^2 .

Ces résultats montrent que plus la largeur du canal est grande, la performance thermique des canaux ondulés sera meilleure par rapport au canal rectangulaire. D'autre part, il convient de noter que lorsque la vitesse augmente, les performances du canal ondulé sont bien meilleures que celles du canal rectangulaire en raison de la durée de séjour d'air dans le canal, ce qui contribue à augmenter la température à la sortie.

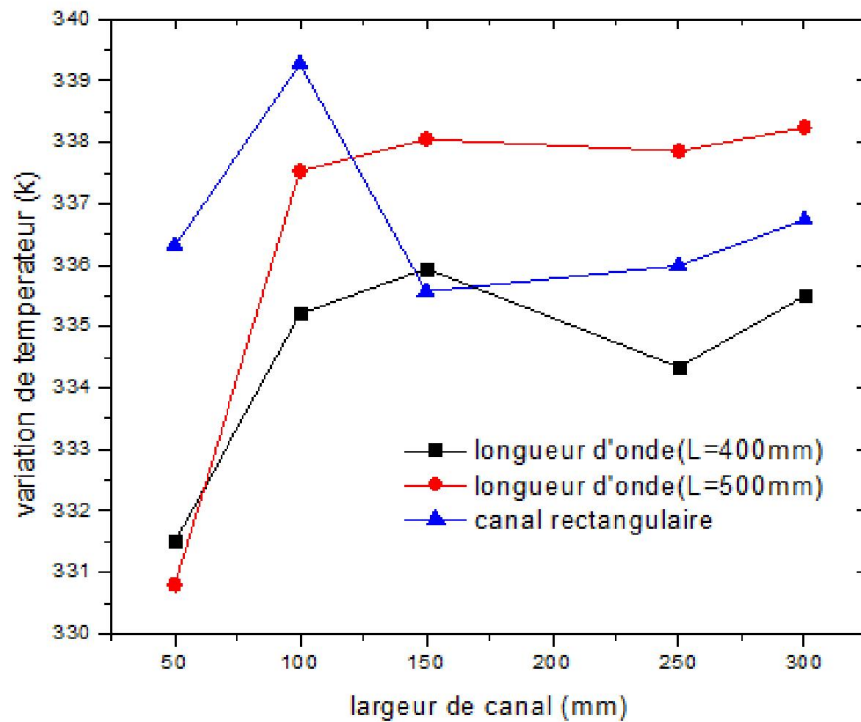


Figure IV.3. Variation de la température en fonction de la largeur du canal (pour $V=7\text{m/s}$).

IV.3. Evolution de la température en fonction de la capacité d'onde du canal

Les courbes de la figure (IV.4) traduisent l'évolution de la température théorique du canal ondulé en fonction de la capacité d'onde pour une longueur d'onde de $L_0=500\text{ mm}$ et une largeur de canal $b=300\text{mm}$ et pour une valeur constante de la vitesse d'écoulement $V=(3,5,7\text{m/s})$.

On peut voir d'après ces résultats que, lorsque la capacité d'onde du canal est augmentée, le canal ondulé fonctionne mieux. D'autre part, on note que lorsque la vitesse augmente, il y a une diminution de la température.

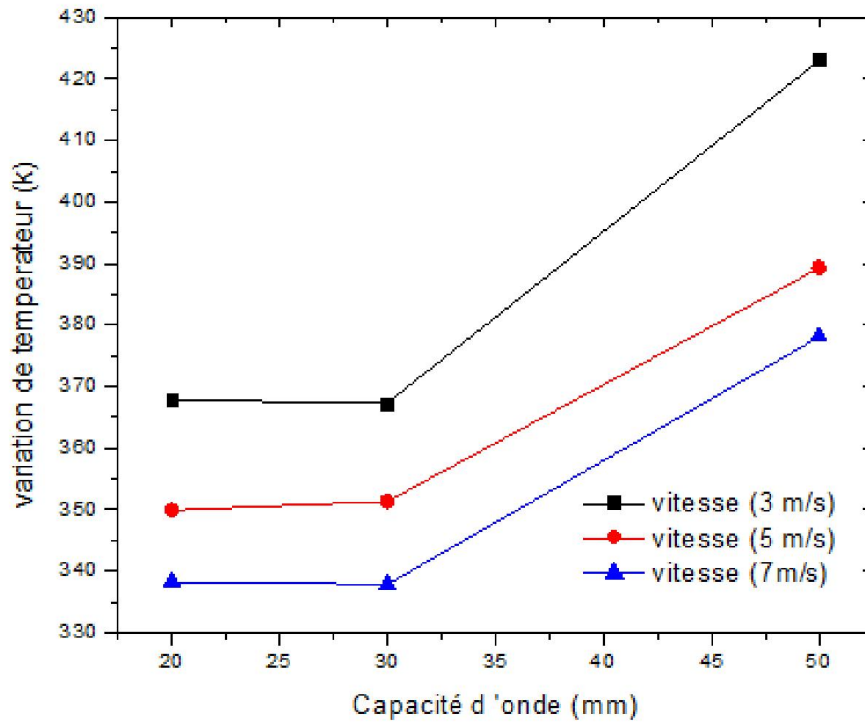


Figure IV.4. Variation de la température en fonction du capacité d'onde.

IV.4. Evolution de la température en fonction de la vitesse d'entrée

La figure (IV.5) montre les variations des températures théoriques en fonction de la vitesse d'entrée (longueur d'onde du canal $L_0=400\text{mm}$, largeur de canal $b=(50,100,150,250\text{ et }300\text{mm})$ et flux de chaleur 700w/m^2). Ces résultats ont été obtenus par le code de simulation FLUENT.

Nous notons la forte baisse de température due à la vitesse élevée, ce qui indique l'importance de la vitesse pour améliorer les performances thermiques.

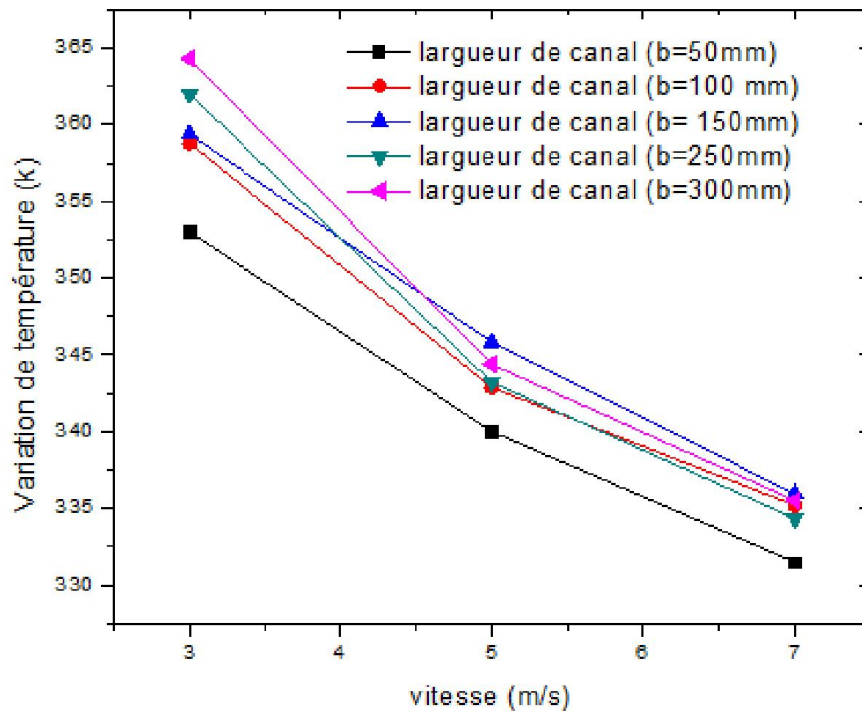


Figure IV.5. Variation de la température en fonction de la vitesse (pour un canal ondulé $L_0=400$ mm).

Les courbes de la figure (IV.6) traduisent l'évolution de la température théorique du canal ondulé en fonction de la vitesse d'entrée et en fonction de la variation de la largeur du canal ($b=50$, 100 , 150 , 250 et 300 mm) pour une longueur d'onde fixe $L_0=500$ mm et une valeur de flux de chaleur qui est égale à 700 w/m².

Notez que l'augmentation de la largeur du canal et la réduction de la vitesse de l'air à l'entrée du canal augmentent considérablement les performances thermiques.

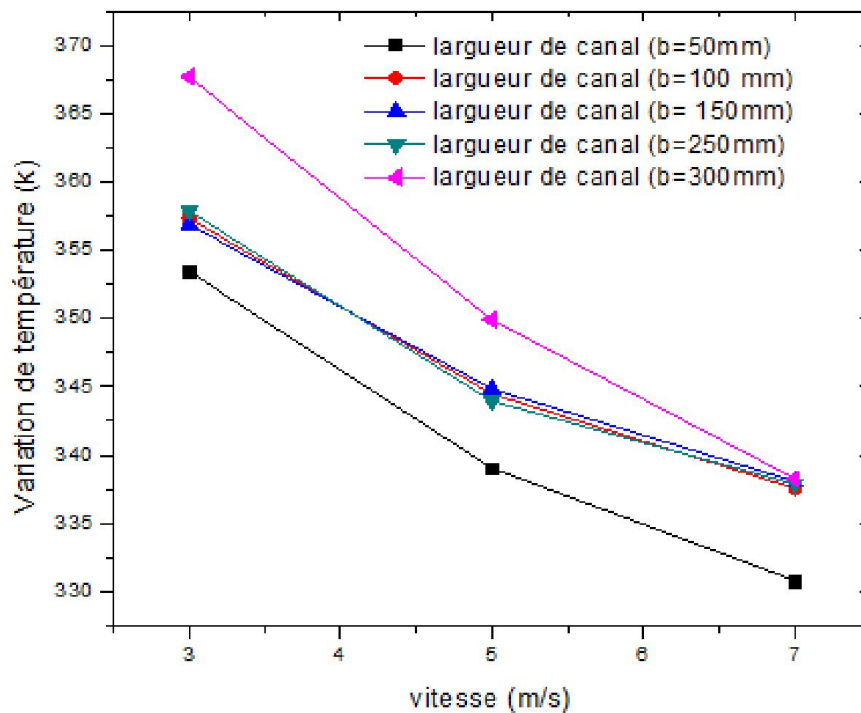


Figure IV.6. Variation de la température en fonction de la vitesse (pour canal ondulé $L_0=400\text{mm}$).

La figure (IV.7) montre l'évolution de la température théorique du canal rectangulaire, largeur du canal $b = (50, 100, 150, 250$ et $300\text{ mm})$ en fonction de la vitesse d'entrée pour un flux de chaleur de 700 w/m^2 .

Notez que le canal rectangulaire n'est pas affecté de manière significative par l'augmentation de la largeur du canal, mais est affecté par l'augmentation de la vitesse qui a considérablement réduit la température.

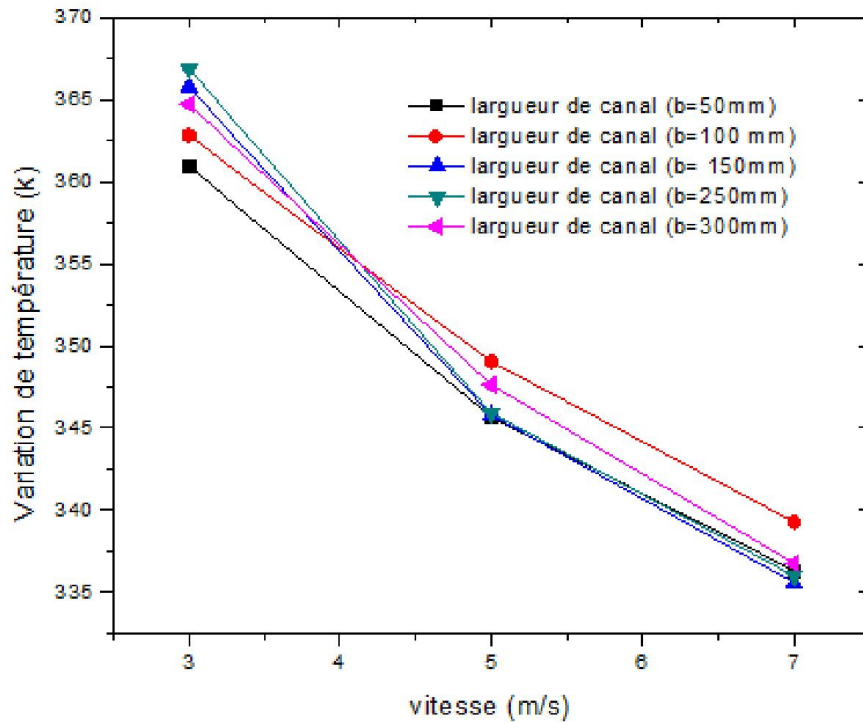


Figure IV.7. Variation de la température en fonction de la vitesse (pour canal rectangulaire).

Les courbes de la figure (IV.8) regroupent l'évolution de la température théorique d'un canal ondulé en fonction de la vitesse d'écoulement pour deux longueurs d'onde différentes $L_0 = (400 \text{ mm}$ et $500 \text{ mm})$ et pour une largeur du canal $b = 300 \text{ mm}$ et un flux de chaleur de 700 w/m^2 .

Notez que le canal avec une ondulation de $L_0=500\text{mm}$ est meilleur que le canal avec une ondulation de $L_0 = 400\text{mm}$.

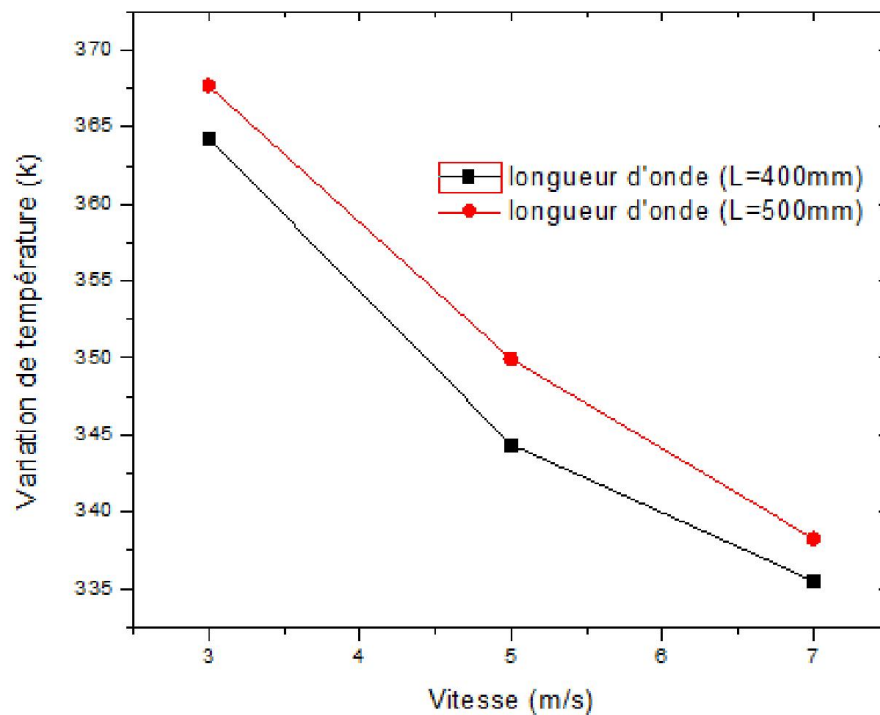


Figure IV.8. Variation de la température en fonction de la vitesse.

IV.5. Champs de température

Figures IV.9-IV.10 et IV.11 montrent les distributions de la température dans les trois canaux résultant du flux de chaleur 700 w/m^2 imposé sur la paroi supérieure (absorbeur) pour différentes valeurs de vitesse d'entrée.

Nous constatons une augmentation de la température à la sortie par rapport à la température d'entrée, et par conséquent la température de la veine d'air du canal ondulé est d'autant plus élevée que la largeur du canal et la capacité de l'ondulation sont élevées par rapport au canal rectangulaire.

Il est très clair sur les figures (IV.9-IV.10 et IV.11) que plus la vitesse élevée, plus que la température est basse. Cela conduit à la conclusion que l'augmentation du taux de vitesse à l'entrée du canal affecte négativement sur la température de sortie.

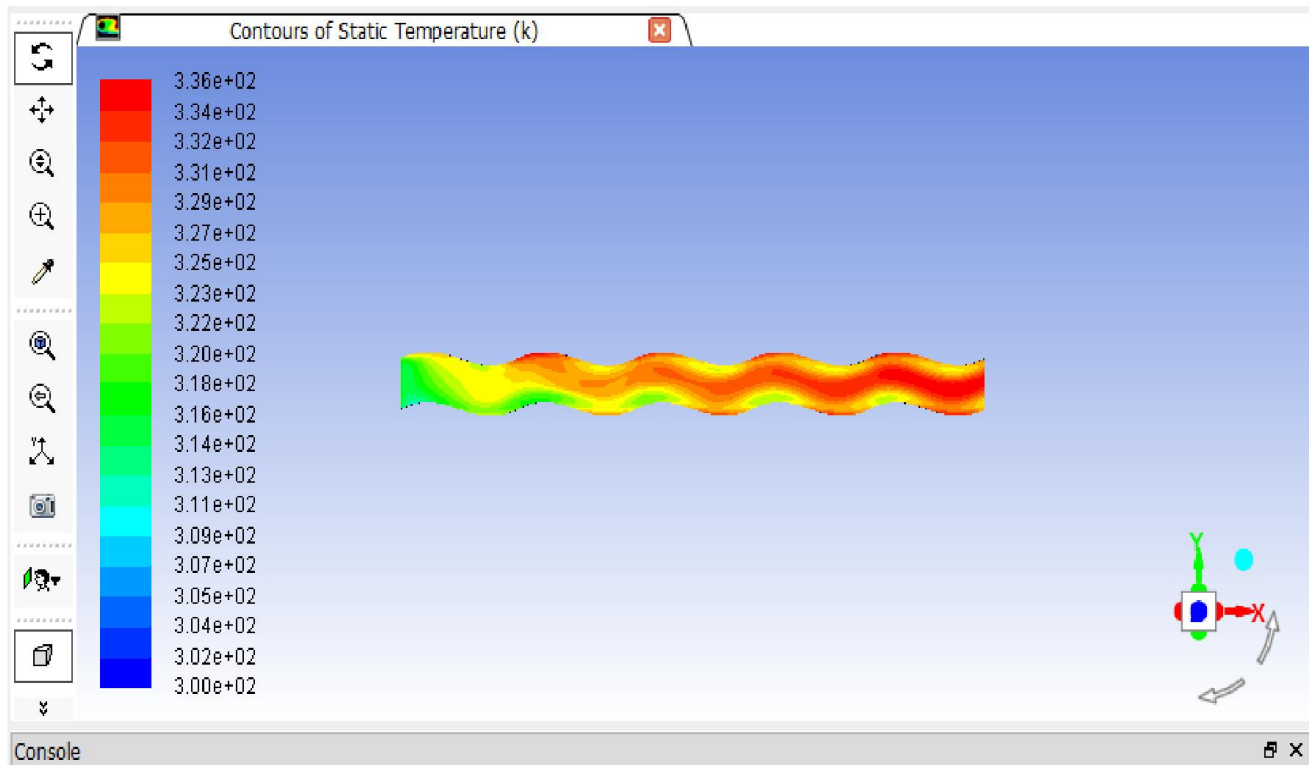


Figure IV.9. Contour de la température (vitesse $V=7$ m/s et de $\Phi= 700$ w/m² (pour canal ondulé $L_0=400$ mm)).

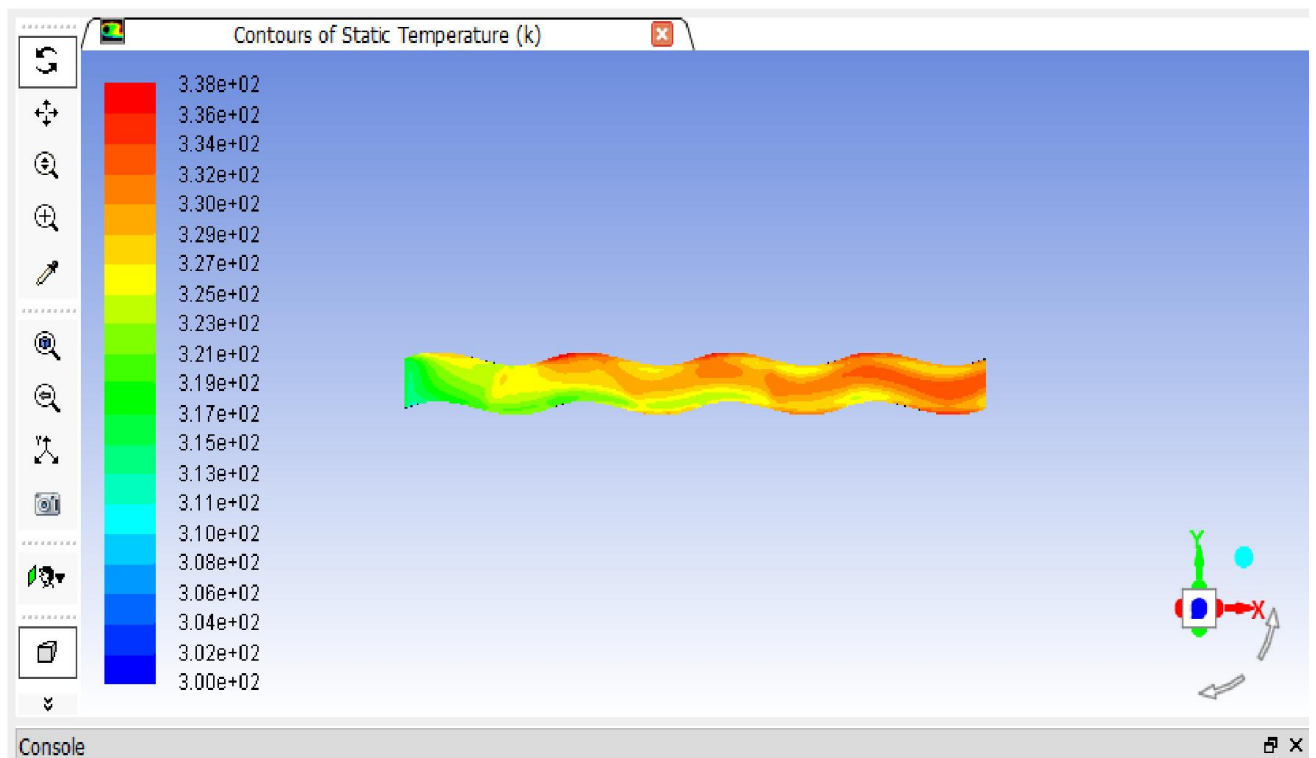


Figure IV.10. Contour de la température (vitesse $V=7$ m/s et de $\Phi= 700$ w/m² (pour canal ondulé $L_0=500$ mm)).

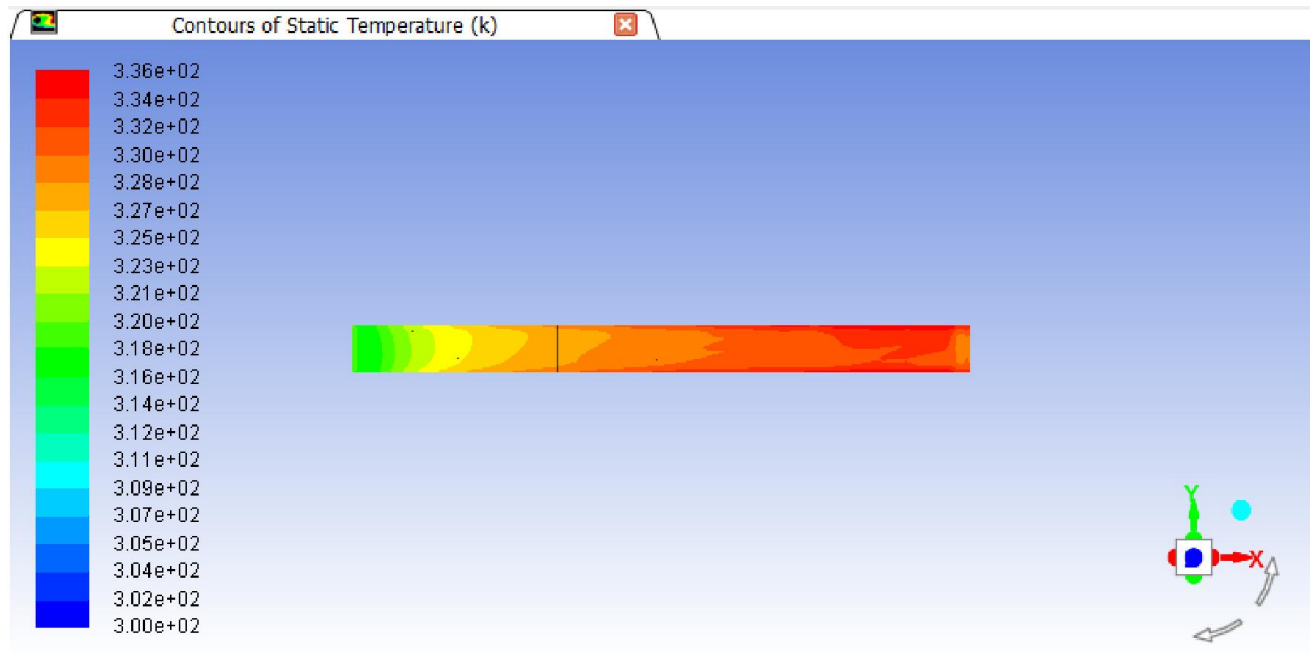


Figure IV.11. Contour de la température (vitesse $V=7$ m/s et de $\Phi=700$ w/m² (pour canal rectangulaire)).

IV.6. Conclusion

Les résultats obtenus permettent de conclure que l'utilisation de canaux ondulés est soumise à plusieurs mesures pour donner de bonnes performances thermiques. Dans cette étude, nous avons observé que l'augmentation de la largeur du canal et de la capacité d'ondulation augmentait l'efficacité thermique et qu'il convenait de choisir une longueur d'onde idéale.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons présenté une étude théorique de l'écoulement entre deux parois ondulées. Pour cela, nous avons effectué des simulations numériques d'un écoulement turbulent dans un canal ondulé en utilisant ANSYS WORKBENCH. Pour calculer le comportement thermique, nous avons choisi le modèle de perturbations standard k- ϵ . Ces résultats ont été comparés avec les résultats obtenus par le canal rectangulaire.

À travers ces résultats, nous tirons les conclusions suivantes:

- ❖ À mesure que nous augmentons la largeur du canal, les performances du canal ondulé sont meilleures que celles du canal rectangulaire.
- ❖ Dans cette étude, il a été observé que la longueur d'onde optimale de ce canal est de $L = 500$ mm.
- ❖ L'augmentation de la capacité d'ondulation donne de bons résultats par rapport à la moindre ondulation due à la création d'une perturbation dans l'écoulement.
- ❖ La géométrie étudiée contribue à augmenter la perturbation de l'écoulement.

Enfin, il est fortement recommandé d'enrichir ce type d'étude en utilisant le code ANSYS WORKBENCH avec d'autre étude paramétrique.