

**République Algérienne démocratique et populaire**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD - TLEMCCEN

Faculté de technologie  
Département de génie mécanique



**Mémoire**

Pour l'obtention de diplôme de

**MAGISTER**

Option : énergétique

Présenté par :

**Mlle KHALDI Sabrina**

**Thème**

**Etude numérique de la ventilation naturelle  
par la cheminée solaire**

**Sous la direction de:**

➤ Mr A.N. KORTI

M.C.A U.de Tlemcen

**Devant les membres de jury composés de :**

**Président :** Mr O. SEBAANE

M.C.A U.de Tlemcen

**Examineurs :** Mr R. SAIM

M.C.A U.de Tlemcen

Mr C. SELADJI

M.C.A U.de Tlemcen

**Année universitaire : 2012/2013**

## **REMERCIEMENTS**

*Je remercie Dieu, de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour la réalisation de ce modeste travail.*

*Mes remerciements s'adressent d'emblée à mon directeur de thèse, Dr Kortí .N à qui je suis dois énormément. La rigueur scientifique de ce travail est le reflet de sa grande disponibilité et de ses conseils judicieux. Je lui suis aussi très reconnaissante pour les grands opportunités . Ce fut un grand plaisir de travailler sous sa direction.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude envers l'ensemble des membres de jury : Dr Sebaane ,Dr Saim, Dr Seladji.*

*Mes remerciements s'adressent à toutes les personnes qui m'ont rendu les choses faciles alors qu'elles étaient difficiles, à toutes celles qui m'ont offert ne serait ce qu'un simple sourire pour me soulager, à toutes celles qui m'ont rendu la vie difficile par leur comportement. j'oublie pas M Belhadj qui m'a encourager .*

*J'ai appris que le succès n'est jamais une fin en soi, que l'échec n'est jamais fatal mais c'est la persévérance et le courage qui comptent, ils sont source de réussite.*

## DEDICACES



### *Je dédie ce travail à ...* ✍️

*A ma très chère mère*

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.*

*A mon très cher Père*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

**« Que dieu vous garde »**

*A mon très cher frère: sofiane*

*A ma très chère sœur hanane*

*A mes très chères amies : Meriem, Dalila, Amel, Hanane, Khadidja, Nadia, souad, khaira.*

## Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Recherche bibliographique</b>	
I.1 Introduction.....	03
I.2 Analyse de la cheminée solaire verticale .....	03
I.3 L'effet de l'inclinaison sur la cheminée solaire .....	11
I.4 Cheminée solaire associé à une autre technique de ventilation .....	13
<b>Chapitre II : Gisement solaire et la cheminée solaire</b>	
II.1 Introduction .....	19
II.2 Généralité sur le transfert thermique .....	19
II.2.1 La conduction .....	19
II.2.2 La convection .....	20
II.2.3 Le rayonnement .....	21
II.3 Energies en générales .....	24
II.3.1 définition .....	24
II.3.2.Ressources énergétiques mondiales.....	25
II.3.3 situation énergétique en Algérie .....	26
II.3.4 Energie renouvelables .....	27
II.3.5 type des énergies renouvelables .....	27
II.3.6 Energie solaire .....	28
II.3.6.1 Energie solaire thermique.....	28
II.3.6.1.1 Le soleil .....	29
II.3.6.1.2 Rayonnement solaire hors atmosphère .....	30
II.3.6.1.3 Le spectre solaire .....	31
II.3.6.1.5 Mouvement de la terre autour du soleil.....	33
II.3.6.1.6 Mesure du rayonnement solaire.....	34
II.3.6.1.7 La sphère céleste .....	34
II.3.6.1.8 Coordonnées célestes.....	34
II.3.6.1.9 Temps solaire .....	37
II.3.6.1.10 Estimation horaire de l'ensoleillement .....	38
II.3.6.1.11 Calcul du rayonnement journalier moyen mensuel .....	39
II.3.6.2 La cheminée solaire .....	39
II.3.6.2.1 Les différentes configurations de cheminée solaire .....	41

## Chapitre III : La ventilation et la ventilation naturelle

III.1 Introduction .....	45
III.2 Définition des bâtiments à basse consommation .....	45
III.3 Définition de la ventilation.....	45
III.4 Pourquoi aérer ou ventiler .....	45
III.4.1 Pour le confort .....	47
III.4.2 Pour la santé .....	48
III.4.3 Pour le bâtiment .....	48
III.5 Comment faire.....	49
III.5.1 Naturellement .....	49
III 5.2 Mécaniquement .....	50
III.6 La ventilation naturelle .....	50
III.6.1 Les fonctions de la ventilation .....	50
III.6.1.1 Le tirage thermique.....	51
III 6.1.2 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres .....	52
III.6.1.3 La ventilation naturelle par conduits verticaux .....	52
III 6.1.4 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire .....	53
III 6.1.5 La ventilation hybride .....	53
III 6.2 Avantages de la ventilation naturelle .....	53
III 6.3 Caractéristiques .....	53
III 6.4 Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle .....	54
III.6.4.1 Le mur trombe .....	55
III.6.4.2 La façade à double peau .....	56
III.6.4.3 Les écopes .....	56
III.6.4.4 Les tours à vent .....	57
III.6.4.5 Les dômes .....	60
III.6.4.6 La cheminée solaire.....	62
III 6.4.6.1 Effet de cheminée.....	63
III 6.4.6.2 Principe d'écoulement .....	63
III 6.4.6.3 Modes d'opérations d'une cheminée solaire.....	63
III 6.4.6.4 Types de cheminée solaire .....	64
III.7 Caractéristiques climatique de l'Algérie .....	65
III.7.1 Données géographiques .....	65
III.7.2 Zones climatiques en Algérie .....	65

## **Chapitre IV : Etude du comportement thermique de la cheminée solaire**

IV.1 introduction .....	68
IV.2 Principe de fonctionnement de la cheminée .....	68
IV.2.1 Orientation .....	69
IV.2.2 Une forte inertie thermique .....	69
IV.3 approche pour la modélisation mathématique .....	70
IV.3.1 Analyse mathématique .....	70
IV.4 Fonctionnement de base d'une cheminée solaire .....	71
IV.4.1 Objectif .....	72
IV.4.2 Les bilans énergétiques .....	72
IV.4.2.1 Bilan énergétique au niveau du vitrage .....	72
IV.4.2.2 Bilan énergétique au niveau de l'air qui traverse la cheminée .....	73
IV.4.2.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur .....	74
IV.4.3 Corrélation théorique pour calculer les coefficients de transfert thermique .....	75
IV.4.4 Données du problème .....	77
IV.4.5 Résultats et discussions .....	78
IV.4.5.1 Validation du modèle mathématique .....	78
IV.4.5.2 Influence du rayonnement solaire .....	80
IV.4.5.3 Influence de l'angle d'inclinaison .....	84
IV.4.5.4 L'influence des paramètres géométriques sur ACH .....	85

## **Chapitre V : Etude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire**

V.1 Introduction .....	89
V.2 Equations générales en régime laminaire .....	90
V.3 Principes des codes CFD .....	90
V.4 Etude comparative entre des différentes géométries à l'aide de code de champs Fluent. ....	91
V.4.1.1 Description du phénomène .....	91
V.4.1.5 La convergence .....	91
V.4.2 Résultats obtenus dans le cas de la géométrie simple .....	95
V.4.2.1 l'influence de la largeur de la cheminée .....	95
V.4.2.1.1 Champs de vitesse et les lignes de courants .....	96
V.4.2.1.2 Contours de la température .....	99
V.4.2.2 Influence de l'intensité du rayonnement solaire .....	101
V.4.2.2.1 Champs de vitesse .....	102

V.4.2.2.2 Contours de la température .....	104
V.4.2.3 Influence de l'angle d'inclinaison de la cheminée .....	106
V.4.2.3.1 Champs de vitesse .....	106
V.4.2.3.2 Contours de la température .....	109
V.4.2.4 Effet de la position de l'ouverture .....	111
V.4.2.4.1 Champ de vitesse et les lignes de courant .....	112
V.4.2.4.2 Contours de température .....	113
V.4.3 Cas de géométrie complexe (deux chambres à coté) .....	113
V.4.3.1 champ de vitesse et les lignes de courant .....	114
V.4.3.2 Contours de température .....	116
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>117</b>
<b>Annexe: Introduction au code du fluent .....</b>	<b>119</b>
<b>Bibliographique .....</b>	<b>124</b>

## Liste des figures :

### Chapitre I

Figure I.1 : dimension de la cheminée solaire vitrée .....	05
Figure I.2 : Schéma de la cavité du test .....	05
Figure I.3 : Illustration de trois types de cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle .....	05
Figure I.4 : Effet de largeur de la cavité sur le débit d'air et la température de sortie en Type 1 Cheminée (flux de chaleur de l'absorbeur = 300 W/m <sup>2</sup> ). .....	07
Figure I.5 : Un schéma général du domaine physique .....	09
Figure I.6 : La variation de vitesse de sortie d'air et le débit par une largeur et une entrée variables de cheminée. ....	09
Figure I.7 : Schéma du système, des coordonnées et des conditions aux limites. ....	10
Figure I.8 : Installation expérimentale pour l'exécution de vérification de la performance de la cheminée solaire inclinée. ....	11
Figure I.9 : cheminée solaire inclinée. ....	12
Figure I.10 : (a) Cheminée solaire séparée ; (b) Cheminée solaire combinée. ....	13
Figure I.11 : la vitesse et le débit d'air (le fond) entre la cheminée combinée et la cheminée séparée .....	14
Figure I. 12: Modèle géométrique du local étudié. ....	15
Figure I.13: Evolution de la température au niveau de la surface extérieure du mur Trombe .....	15
Figure I.14 : Echange thermique par conduction au niveau de mur trombe à 1 heure et 8 heures de fonctionnement .....	16
Figure I.15: Schéma de fonctionnement d'un sécheur solaire. ....	17
Figure I.16. Configuration de la cheminée solaire. ....	18

### Chapitre II

Figure II.1 : transfert par rayonnement .....	23
Figure II.2 : Ressources énergétiques mondiales (2011) .....	26
Figure II.3 : consommation des énergies renouvelables dans le monde. ....	28
Figure II.4 le soleil .....	30
Figure II.5 : Relation entre le soleil et la terre .....	31

Figure II.6 : Le spectre solaire .....	32
Figure II.7 : Le rayonnement solaire .....	33
Figure II.8 : Mouvement de la terre autour du soleil .....	33
Figure II.9 : L'angle horaire(w) .....	35
Figure II.10 : Représentation du mouvement de la terre autour du soleil .....	36
Figure II.11 : Position du soleil.....	36
Figure II.12: photo réelle de la cheminée solaire .....	40
Figure II.13: Principe de ventilation d'une construction munie d'une cheminée solaire ..	41
Figure II.14: Plan et section du système de refroidissement souterrain de la villa Ableri-Nasseli .....	42
Figure II.15: Cheminée solaire avec haute capacité de stockage thermique utilisée pour la ventilation nocturne dans climats chauds arides .....	42
Figure II.16 : cheminée Solaire incorporée dans le toit d'une construction pour rafraîchissement .....	43
Figure II.17: cheminée solaire avec des pentes de capteurs solaires .....	44
Figure II.18: system d'une cheminée solaire combinée à un tour de vent .....	44
<b>Chapitre III</b>	
Figure III.1 : Action du vent sur les bâtiments .....	51
Figure III.2 : Effet du tirage thermique dans les bâtiments .....	51
Figure III.3 : Effets combinés du vent et du tirage thermique .....	52
Figure III.4 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux. ....	52
Figure III.5 : Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle.....	54
Figure III.6: Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage .....	55
Figure III.7: Façade double peau .....	56
Figure III.8: Influence de l'implantation de l'écope en toiture .....	56
Figure III.9 : Tour à vent à YAZD, IRAN .....	57
Figure III.10 : Utilisation de l'humidification dans le tour à vent.....	58
Figure.III.11: différentes configurations des coupoles .....	59
Figure III. 12: Les différents cas de fonctionnement des Dômes. ....	60
Figure III.13 : la cheminée solaire .....	62

Figure III.14: Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment.....	63
Figure III.15: Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire .....	64
Figure III.16: Classification du climat en Algérie .....	67
<b>Chapitre IV</b>	
Figure IV.1: Principe de fonctionnement de la cheminée .....	68
Figure IV.2: Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires .....	70
Figure IV.3 : Fonctionnement de la cheminée solaire.....	71
Figure IV.4 : Bilan énergétique au niveau de vitrage.....	72
Figure IV.5 : Bilan énergétique au niveau de l'air qui traverse la cheminée .....	73
Figure IV.6 : Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur.....	74
Figure IV.7 : Evolution de la température du vitrage $T_v$ , de l'air $T_f$ et de l'absorbeur $T_p$ en fonction de l'intensité de rayonnement solaire.....	80
Figure IV.8: L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'intensité de rayonnement solaire .....	81
Figure IV.9: L'évolution de la densité d'air en fonction de l'intensité de rayonnement solaire .....	82
Figure IV.10 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire....	82
Figure IV.11 : L'évolution de débit massique en fonction de l'intensité de rayonnement solaire .....	83
Figure IV.12: L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'angle d'inclinaison de la cheminée solaire.....	84
Figure IV.13: L'évolution de la température de l'absorbeur, vitrage et le fluide en fonction de l'angle d'inclinaison de la cheminée solaire.....	85
Figure IV.14 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour différentes largeurs de la cheminée .....	86
Figure IV.15 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour différentes hauteurs de la cheminée. ....	87
Figure IV.16 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour différents angles d'inclinaison de la cheminée.....	88

## Chapitre V

Figure V.1: Intégration d'un système type cheminée solaire pour favoriser le tirage naturel.....	89
Figure V.2 : description du premier cas étudié (une seule chambre) .....	93
Figure V.3 : Maillage pour chambre simple .....	94
Figure V.4. la convergence des résultats .....	95
Figure V.5 : Champ de vecteur de vitesse et les lignes de courant d'air pour différentes largeurs de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m <sup>2</sup> .....	98
Figure V.6 : Contours de la température pour différentes largeurs de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m <sup>2</sup> .....	101
Figure V.7 : Champs de la vitesse et lignes de courant d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à des intensités solaires différentes et une inclinaison de 45° .....	104
Figure V.8 : contours de la température pour une largeur de 0,35m de la cheminée à des intensités solaires différentes et une inclinaison de 45° . .....	106
Figure V.9 : Champ de vitesse et lignes de courant de l'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 600 W/m <sup>2</sup> à différentes inclinaisons .....	109
Figure V.10 : Contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée ....	112
Figure V.11 : local ventilé par deux ouvertures.....	113
Figure V.12 : Lignes d'écoulement et le vecteur de la vitesse d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m <sup>2</sup> et une inclinaison de 45° . ....	113
Figure V.13 : contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée .....	114
Figure V.14 : Le domaine du cas de géométrie complexe (deux chambres à côté) .....	115
Figure V.15: Lignes d'écoulement et le vecteur de la vitesse d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m <sup>2</sup> et une inclinaison de 45° . ....	115
Figure V.16 : Contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée ....	116
Figure V.16 : Contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m <sup>2</sup> et inclinaison de 45° . .....	116

## ***Liste des tableaux :***

### **chapitre II:**

Tableau II.1 : Coefficient de transfert thermique pour les modes de convections..... 20

### **chapitre V.I:**

Tableau IV.1: Les valeurs des coefficients du rayonnement solaire du vitrage et l'absorbeur 76

Tableau IV.2: Les valeurs de rayonnement solaire et les températures ambiantes.

Tableau IV.3:Des données pour résoudre le problème ..... 77

Tableau IV.4: Comparaison des résultats obtenus avec ceux de la référence ..... 79

### **chapitre V:**

Tableau V.I : Les conditions aux limites ..... 93

## Les abréviations :

A	la largeur de la cheminé (m)
$A_p$	surface de l'absorbeur ( $m^2$ )
$A_v$	surface du vitrage ( $m^2$ )
$A_i$	l'entrée de la cheminée (m)
$A_o$	la sortie de la cheminée (m)
ACH	air changé par heur (1/h)
a	ambient
Cd	coefficient de décharge
$C_p$	chaleur spécifique (kJ/(kg.K))
g	constante de la gravité ( $m/s^2$ )
Gr	nombre de Grashof
h	la hauteur de l'ouverture
$h_{c_{p-a}}$	coefficient de transfert de chaleur par conduction par l'absorbeur ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{c_{v-a}}$	coefficient de transfert de chaleur par conduction par le vitrage ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{con_{va}}$	coefficient de transfert convectif entre le vitrage et l'air de la cheminée ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{con_{pa}}$	coefficient de transfert convectif entre l'absorbeur et l'air de la cheminée ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{r_{pa}}$	coefficient de transfert radiatif entre l'absorbeur et l'air de la cheminée ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{r_{va}}$	coefficient de transfert radiatif entre le vitrage et l'air de la cheminée ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{r_{pv}}$	coefficient de transfert radiatif entre l'absorbeur et le vitrage ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{r_{v-ciel}}$	coefficient de transfert radiatif entre l'absorbeur et le ciel ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_{vent}$	coefficient de transfert convectif entre le vitrage et l'air ambient ( $W/m^2 \cdot K$ )
H	la hauteur de la chambre (m)
I	intensité solaire ( $W/m^2$ )
$L_c$	la hauteur de la cheminée (m)
$\dot{m}$	le débit massique (kg/s)
Nu	Nusselt number
Pr	Prandtl number
$q_{conv}$	transfert de chaleur (W)
$q_{perte}$	perte de chaleur (W)

Q	Débit volumique ( $m^3/s$ )
T	température (K)
T <sub>a</sub>	température de l'ambiance (K)
T <sub>f</sub>	température du fluide qui circule dans la cheminée (K)
T <sub>p</sub>	température de l'absorbeur (K)
T <sub>f0</sub>	température de l'air à la sortie de la cheminée (K)
T <sub>fi</sub>	température de l'air à l'entrée de la cheminée (K)
T <sub>fi</sub>	température de ciel (K)
U <sub>t</sub>	coefficient de perte de chaleur du vitrage vers l'air ambiant ( $W/m^2 \cdot K$ )
vit	vitesse d'air (m/s)
V <sub>c</sub>	volume de la chambre ( $m^3$ )
V <sub>vent</sub>	vitesse d'air ambiant (m/s)
x, y	coordonnée cartésiennes

### Les symboles grecs

$\alpha_v$	Coefficient d'absorption du vitrage
$\alpha_p$	Coefficient d'absorption de l'absorbeur
$\varepsilon_p$	Coefficient d'émissivité du vitrage
$\varepsilon_v$	Coefficient d'émissivité de l'absorbeur
$\tau_v$	Coefficient de transmission du rayonnement par le vitrage
$\omega$	Coefficient de pondération de température moyenne
$\sigma$	Constante de Steffan–Boltzmann ( $5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$ )
$\rho_f$	Densité ( $kg/m^3$ )
$\theta$	L'angle d'inclinaison de la cheminée avec l'horizontal (°).
$\beta$	Coefficient d'expansion.
$\lambda$	Conductivité thermique ( $W/m \cdot k$ )
$\mu_m$	viscosité dynamique ( $N \cdot s/m^2$ )

**Résumé :**

Le développement des systèmes de climatisation, lié aux exigences de confort thermique d'été en milieu urbain, entraîne une augmentation des consommations énergétiques et des pics d'appel de puissance, ce qui conduit à la détérioration du micro-climat urbain. Pour tenter d'enrayer les conséquences du dérèglement climatique, il est nécessaire de mettre au point de nouveaux concepts, qui permettent de réduire sensiblement la consommation énergétique. La cheminée solaire est l'un des systèmes de ventilation naturelle permettant de stocker une quantité d'énergie solaire qui contribue à l'augmentation de température d'une colonne adjacente d'air et en conséquence son écoulement vers l'extérieur entraînant un rafraîchissement dans l'espace. À fin de prédire le comportement et l'influence de certains paramètres clés sur l'écoulement relatif à une pièce munie d'une cheminée solaire, une simulation numérique sera réalisée en utilisant le code de calcul Fluent et validée en comparant les résultats calculés avec ceux disponibles dans la littérature. Il était conclu que l'écoulement d'air augmente avec l'augmentation de rayonnement solaire. En revanche, il y avait une largeur et une inclinaison optimales au-delà des quelles le débit massique d'air commencerait à diminuer.

**Mots clés :** ventilation naturelle, cheminée solaire, simulation numérique.

## **Abstract**

The development of air conditioning systems, bound to the requirements of summer thermal comfort in urban zones, pulls an increase of the energy consumptions and the peaks of power call, what leads to the deterioration of the urban microclimate. To try to check the consequences of the climatic disorder, it is necessary to finalize new concepts, which allow reducing appreciably the energy consumption. The solar chimney is one of the systems of natural ventilation allowing to stoker a quantity of solar energy which contributes to the increase of temperature of a neighboring column of air and consequently its flow towards the outside pulling a refreshment in the space. To predict the behavior and the influence of certain key parameters on the flow concerning a room provided with a solar chimney, a numerical simulation will be realized by using the code of calculation Fluent and validated by comparing the present results with published data. It was concluded that the air flow increases in a linear way with the solar radiation. On the other hand, there was a width and a slope optimal beyond the which, the mass throughput of air would starts to decrease.

**Keywords:** natural ventilation, solar chimney, numerical simulation.

## ملخص :

لأجل ضمان الراحة الحرارية في فصل الصيف في المناطق الحضرية ادى الى تطوير انظمة التكيف الهواء وزيادة الاستهلاك الطاقة مما اثر سلبا في تدهور المناخ المحلي وفي محاولة للحد من آثار هذه الظاهرة ، كان لابد تطوير أساليب جديدة ،لتفاعل من استهلاك الطاقة بشكل كبير ، المدخنة الشمسية التي تساهم في زيادة درجة الحرارة الهواء وبالتالي التدفق الى الخارج مساهما في تلطيف الفضاء .لدراسة تأثير العوامل الرئيسية على تدفق الهواء في غرفة مزودة بمدخنة الشمسية ،ثم تنفيذ عملية المحاكاة العددية باستخدام رمز **fluent** وتحقق عن طريق المقارنة النتائج المتحصل عليها من المراجع الأدبية ،وتوصلن إلى أن تدفق الهواء يزداد خطبا مع الإشعاع الشمسي . في المقابل، كان هناك أقصى عرض وزاوية الانفراج بعدهما يتسبب انخفاض الكتلة الهوائية.

**الكلمات المفتاحية:** التهوية الهوائية، المدخنة الشمسية، المحاكاة العددية.

***Introduction***

***générale***

# *Introduction générale*

---

## *Introduction générale*

La question du changement climatique s'est installée durablement au premier plan de l'actualité et des préoccupations des opinions publiques. Sans aucun doute, l'humanité est confrontée à un nouveau défi, d'une ampleur inhabituelle et avec des échéances de temps qui peuvent sembler extrêmement courtes. L'observation de l'évolution des températures en milieu urbain montre une augmentation d'année en année et qui a conduit l'apparition des îlots de chaleur. Ces changements climatiques sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. En conséquence directe, les consommations énergétiques augmentent sensiblement avec l'évolution des exigences du confort accrues qui entraîne le développement et l'utilisation massive de la climatisation sous forme de centrale, Split, cassette ou monobloc.

En Europe, Une étude récente a montrée que la surface des bâtiments conditionnés par les climatiseurs centraux est allée de 20 millions mètres carré en 1980 à approximativement 100 millions en 2000 . Afin de sauvegarder notre planète, le changement humain en matière d'utilisation des ressources énergétiques est urgent. Pour cela Le recours aux énergies renouvelables est plus que nécessaire, et se trouve solution pour la diminution de l'utilisation de l'énergie fossile pour pallier au problème d'inconfort.

Vu sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un potentiel en énergies renouvelables considérables. Le gisement solaire algérien s'élève à  $5,2.10^{15}$  KWh/an soit l'équivalent de 5 fois les réserves mondiales en pétrole . De ce fait, l'exploitation de ces énergies au profit des populations est recommandée et l'investissement dans le sud serait justifié. En effet, dans les climats chauds il est possible de remédier au problème de climatisation simplement par des dispositions et procédés de ventilation passive adéquats.

La ventilation naturelle est un des moyens déjà utilisés auparavant dans l'architecture des villes traditionnelles à l'ouest de l'Algérie. Pour réduire l'utilisation de l'électricité des dispositifs de climatisation et l'utilisation des CFC qui participent au réchauffement de la planète, les techniques de refroidissement passives sont devenues plus attractives ces dernières années ce qui justifie leur exploitation sous différentes formes.

Une mauvaise maîtrise de la ventilation d'un bâtiment aura des conséquences néfastes sur la qualité de l'air intérieur, la conservation du bâti et les consommations d'énergie. Dans la vie des bâtiments, à cause du simple vieillissement ou dans le cadre de réhabilitations ou de restructurations, les installations de ventilation doivent faire l'objet de modifications,

## *Introduction générale*

---

d'améliorations, afin de répondre correctement aux nouveaux besoins et aux nouvelles exigences de qualité des bâtiments. Beaucoup d'installations de ventilation des bâtiments résidentiels ou tertiaires ne donnent pas aujourd'hui satisfaction. Les motifs peuvent être une qualité d'air intérieur dégradée, des taux de renouvellement d'air parfois nuls ou trop élevés, des surconsommations d'énergie, des courants d'air, du bruit, des installations récentes mais déjà en mauvais état et des opérations de maintenance négligées [1].

La cheminée solaire est l'un des systèmes de ventilation naturelle permettant de stocker une quantité d'énergie solaire qui contribue à l'augmentation de température d'une colonne d'air entraînant l'écoulement de l'air vers l'extérieur et un rafraîchissement dans l'espace.

L'objectif du présent mémoire consiste à étudier la ventilation naturelle d'une pièce munie d'une cheminée solaire. Le plan de notre travail est structuré en cinq chapitres.

1. Le premier chapitre présente une recherche bibliographique sur la ventilation naturelle par la cheminée solaire.
2. Le second chapitre est consacré à l'analyse du gisement solaire et les différents concepts de la cheminée solaire.
3. Le troisième chapitre développe les connaissances sur la notion générale du confort et de la ventilation naturelle avec une classification des différents systèmes adaptés pour atténuer l'utilisation massive de la climatisation.
4. Le quatrième chapitre comporte une description du modèle étudié, et il donne une formulation mathématique des équations qui régissent l'écoulement du fluide en régime laminaire et les résout par le langage MATLAB et d'étudier le comportement d'une cheminée solaire, en calculant le taux d'écoulement d'air dans la cheminée et leur dépendance avec l'intensité du rayonnement solaire et d'autres paramètres géométriques.
5. Le cinquième chapitre sera consacré à la simulation numérique par le code FLUENT. On s'intéresse à la ventilation et le rafraîchissement naturel par les cheminées solaires inclinées, Il permet la résolution des équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie et de présenter les résultats et leurs interprétations détaillés, comme le champ de température et du mouvement d'air pour différentes géométries du local. afin de faire une comparaison entre les contours de température et entre les champs de la vitesse d'air pour des largeurs et des angles d'inclinaison différentes de la cheminée. Ainsi que notre travail fait une étude comparative sur l'influence du rayonnement solaire sur le taux de renouvellement d'air dans la pièce.

Enfin, notre étude est clôturée par une conclusion

# Chapitre 1

The image features the text 'Chapitre 1' in a large, bold, green, sans-serif font. The text is slightly slanted to the right. Below the main text, there is a shadow or reflection of the word 'Chapitre' in a brownish-gold color, which is also slanted to the right. The shadow is positioned directly under the main text, creating a 3D effect.

## *Chapitre I*

# Recherche bibliographique

### *Sommaire*

I.1 Introduction .....	3
I.2 Analyse de la cheminée solaire verticale.....	3
I.3 L'effet de l'inclinaison sur la cheminée solaire.....	11
I.4 Cheminée solaire associé à une autre technique de ventilation .....	13

### **I.1 Introduction :**

Les cheminées solaires sont différents des cheminées conventionnelles par le fait que leur mur méridional est remplacé par le vitrage qui permet la collection et l'utilisation de l'irradiation solaire. Beaucoup de travaux, particulièrement les deux dernières décennies, ont illustré leurs avantages en montrant leur bas coût de maintenance et leur durabilité. Les cheminées solaires ont été traditionnellement utilisées dans l'agriculture pour le renouvellement d'air en granges, silos, serres chaudes, aussi bien que dans le séchage des récoltes.

La cheminée solaire est une idée attrayante pour beaucoup de chercheurs dans différents champs. En vue d'améliorer la ventilation naturelle, différentes configurations de la cheminée ont été étudiées et expérimentées. Le présent chapitre décrit ces différentes configurations, les conditions expérimentales et les différents résultats atteints, par certains auteurs.

La recherche bibliographique nous a permis de classer trois grands axes de recherches.

1. Analyse de la cheminée verticale.
2. Etude de l'effet de l'inclinaison sur la performance de la cheminée solaire.
3. Etude de la cheminée solaire associée avec à autres techniques de ventilation.

### **I.2 Analyse de la cheminée solaire verticale:**

K.S. Ong et al [2] proposent un modèle mathématique afin de déterminer la performance d'une cheminée solaire pour différentes paramètres thermiques et géométriques. Ils ont étudié les équations de transfert de chaleur, en utilisant des corrélations entre les coefficients de transfert de chaleur. Les valeurs de flux d'air dans le conduit sont basées sur les températures moyennes d'écoulement d'air. Ces équations sont résolues en utilisant la technique de la matrice inverse. La performance de la cheminée a été évaluée par la détermination des températures du vitrage et de mur absorbant et la vitesse d'air dans la cheminée. Les effets de l'intensité du rayonnement solaire sur la performance de la cheminée ont été étudiés. Afin de vérifier le modèle théorique, des expériences ont été faites sur un modèle physique de 2 m de longueur avec des entrées

# Recherche bibliographique

---

## *Chapitre I*

d'air de 0.1, 0.2 et 0.3 m. L'expérience a été réalisée sur un toit exposé aux rayonnements solaire direct et diffus. Les vitesses d'air entre 0,25 m/s et 0,39 m/s ont été obtenues pour une intensité radiative de 650 W/m<sup>2</sup>. Ils n'ont observé aucune circulation inverse d'air même pour un grand espace de 0,3 m. Ils trouvent un bon accord entre les résultats expérimentaux et théoriques pour l'écoulement de l'air et de l'augmentation de la température de l'air.

Jyotirmay Mathur et al [3] ont évalué la possibilité d'utiliser le rayonnement solaire pour induire la ventilation d'une pièce dans des climats chauds. L'étude expérimentale sur une cheminée solaire de petite taille montre que le taux de ventilation augmente avec l'augmentation du rapport entre la hauteur et la largeur de la cheminée. Le taux le plus élevé de la ventilation (coefficient de changement d'air par heure) est de 5 à 6 pour une salle de 27m<sup>3</sup> et un rayonnement solaire de 700 W/m<sup>2</sup> sur une surface verticale d'une cheminée de 1m d'hauteur. Les résultats théoriques du modèle proposé ont un bon accord avec les résultats expérimentaux. Ils ont conclu que le débit d'air augmente d'une façon linéaire avec l'augmentation du rayonnement solaire, et l'augmentation de la distance entre l'absorbeur et la vitre. En outre, le taux de ventilation dépend aussi de plusieurs paramètres tels que le rapport entre la section d'entrée et la section de sortie.

M. Macias et al [4]: présentent une approche pratique pour améliorer la ventilation passive pendant la nuit dans un logement social par l'application de concept de la cheminée solaire. Au lieu d'une ventilation forcée par ventilateur, ils ont employé une masse thermique élevée accessible dans le bâtiment construit pour rassembler l'énergie solaire durant l'après-midi, où la température des murs en béton peut atteindre (50°C). Chaque appartement avait une cheminée séparée avec un aileron en haut qui était fermé pendant l'accumulation de l'énergie. Pendant la nuit où la température ambiante descend jusqu'à environ 20°C, les ailerons seront ouverts produisant un début de refroidissant des masses thermiques du plafond et des murs des appartements.

G.GAN et al [5] ont étudié les problèmes posés par l'utilisation des cheminées solaires avec simple ou double vitrage. Ils ont montré que le triple vitrage peut réduire les risques de condensation et de courant d'air descendant en hiver froid (figure I.1). L'utilisation des caloducs pour la récupération de la chaleur dans la cheminée solaire

# Recherche bibliographique

## Chapitre I

augmente non seulement la chute de pression mais diminue également la flottabilité thermique et donc les taux de ventilation.

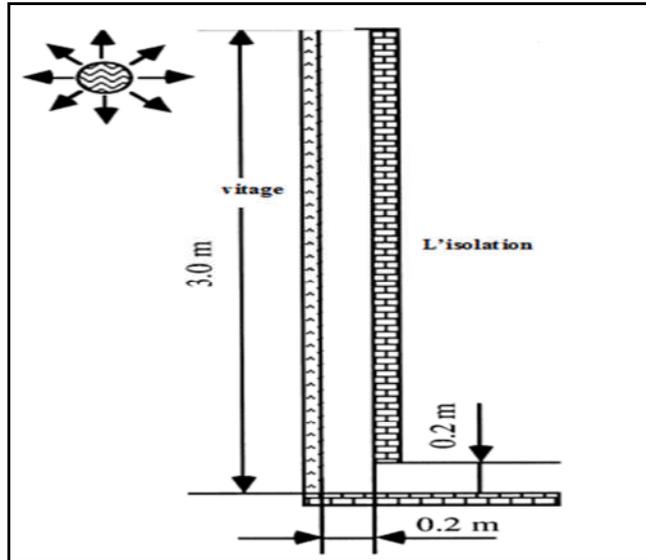


Figure I.1 : dimension de la cheminée solaire vitrée [5]

Guohui Gan [6] a étudié des cavités ouvertes comportant les cheminées solaires à doubles faces pour augmenter la ventilation naturelle des bâtiments. Un model CFD a été employé pour prévoir la circulation d'air turbulente et le transfert de chaleur dans une cavité ouverte. Le modèle numérique a été validé par des résultats expérimentaux de la littérature. Un bon accord entre les résultats a été observé. L'effet de la largeur des cheminées solaires à doubles faces sur le taux de ventilation a été étudié.

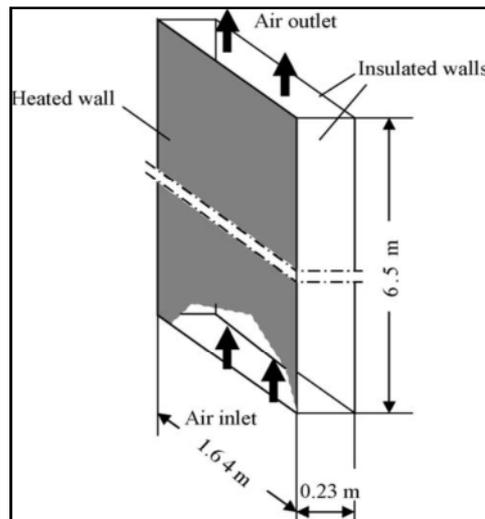
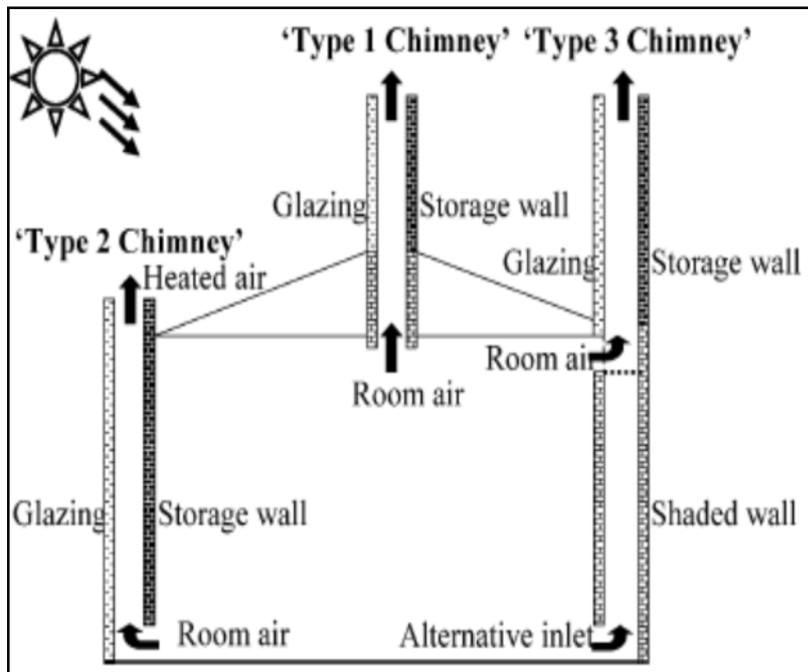


Figure I.2 : Schéma de la cavité du test [6]

# Recherche bibliographique

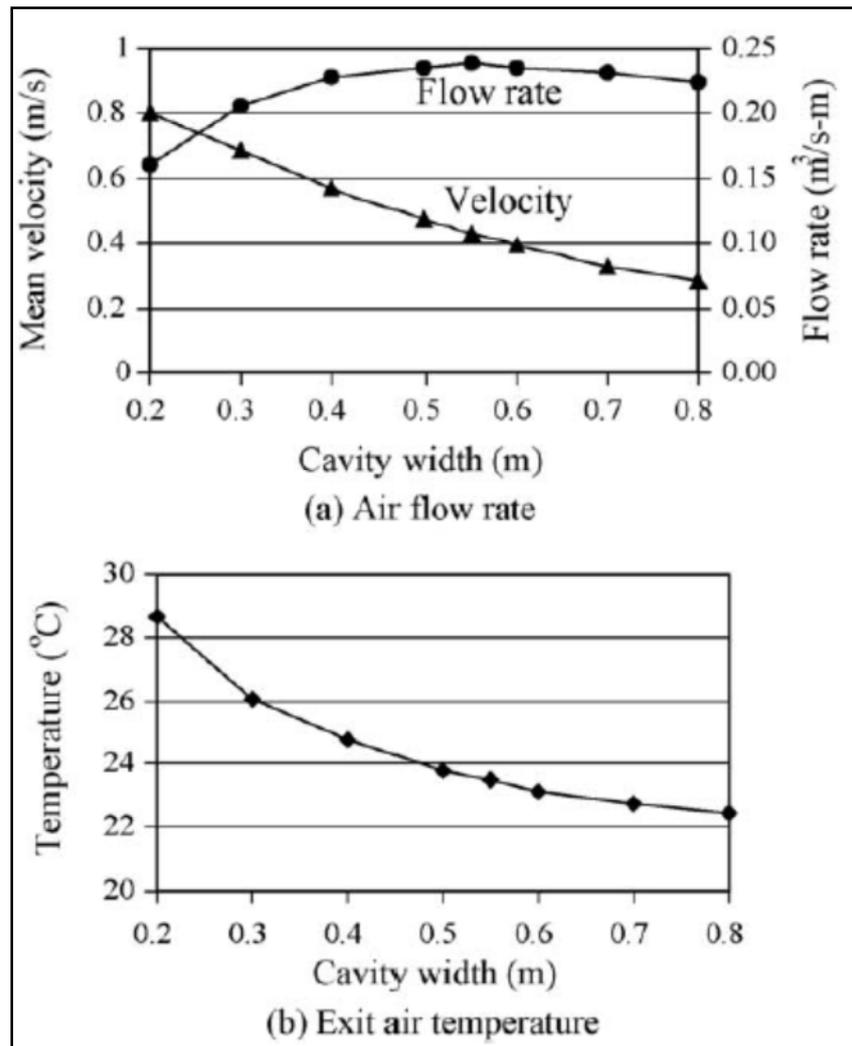
## Chapitre I

La figure (I.2) montre le schéma de la cavité dont la façade est un PV intégré à la partie extérieure. Le modèle pourrait également représenter une double façade où la cheminée solaire (extérieur) vitrage étant remplacé par PV. Le gain de chaleur solaire sur les modules PV a été simulé à l'aide d'un flux de chaleur uniforme variant de 20 à 300 W/m<sup>2</sup>. Les autres parois de la cavité ont été isolées. Les températures de surface de mur et de l'air ont été mesurées en utilisant des thermocouples. Une injection à débit constant de gaz traceur a été utilisée pour mesurer le taux de débit d'air à travers la cavité.



**Figure I.3 : Illustration de trois types de cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle [6].**

La position des orifices d'entrée représente trois façons possibles pour l'intégration d'une cheminée solaire dans un bâtiment (Figure I.3). Le premier type c'est de cheminée avec une ouverture horizontale à la partie supérieure. La cheminée type 2 avec un orifice vertical au fond de la paroi de stockage. La cheminée type 3 avec un orifice vertical au fond du vitrage. Bien que le mur de stockage ne puisse pas être de la même hauteur dans les différentes positions, la largeur de la cheminée varie 0,2 à 0,8 m. Dans la simulation, le gain de chaleur par le mur de stockage a été fixée à deux niveaux 100 et 300 W/m<sup>2</sup>. La température de l'air ambiant a été prise à 20,8°C.



**Figure I.4 : Effet de largeur de la cavité sur le débit d'air et la température de sortie en Type 1 Cheminée (flux de chaleur de l'absorbeur = 300 W/m<sup>2</sup>). [6]**

La figure (I.4) montre que le débit d'air augmente avec l'augmentation de la largeur de la cavité. La largeur optimale de la cavité peut être définie comme la largeur à laquelle le taux de ventilation atteint un maximum. La largeur optimale de la cavité pour une cheminée de 6 m de haut avec une sortie horizontale est d'environ 0,55 m. Ce chiffre est supérieur à la largeur optimale de 0,2-0,3 m pour une cheminée de hauteur 2 m. Par conséquent, la largeur optimale augmente avec la hauteur de cheminée, car l'épaisseur de la couche limite de vitesse augmente avec la hauteur. Par contre, la vitesse moyenne diminue avec l'augmentation de la largeur de la cavité. Par exemple, la vitesse moyenne de l'air passe de 0,8 m/s pour une cavité de largeur 0,2 m à 0,43 m/s pour une cavité de largeur 0,55 m. La température d'air à la sortie diminue avec une largeur croissante de la cavité.

# Recherche bibliographique

---

## *Chapitre I*

Le travail de Preeda Chantawong et al [7] porte sur l'étude de la performance thermique des murs vitrés de cheminée solaires (Glazed solar chimney walls : GSCW) dans les conditions climatiques tropicales à Thaïlande. Le GSCW est composé de doubles vitres avec une couche d'air et des ouvertures situées au fond et au dessus. Un prototype de GSCW a été intégré à la face sud d'une petite salle de 2.8 m<sup>3</sup> de volume. La taille des ouvertures est de 0,05-0,5 m<sup>2</sup>. Avec une vitre claire de 6 mm d'épaisseur, la mesure de vitesse sur le terrain a indiqué que le débit d'air était d'environ 0,13-0,28 m<sup>3</sup>/s. La différence de la température entre la pièce et le milieu ambiant était inférieure à celui avec une fenêtre en verre claire à une seule couche. La comparaison entre les résultats simulés et expérimentaux a montré un accord raisonnable, donc, le modèle numérique développé est valide et pourrait être employé comme outil pour la conception de GSCW.

J. Martí'-Herrero et al [8] proposent un modèle mathématique pour évaluer la performance énergétique d'une cheminée solaire. Les résultats obtenus par le modèle proposé sont satisfaisants avec ceux de plusieurs expériences sur les cheminées solaires. La simulation a été réalisée avec les données météorologiques en temps réel, ce qui donne un support solide pour les résultats théoriques.

Les résultats prouvent que pour une cheminée de longueur de 2 m et de 14,5 cm de largeur, le débit massique d'air égalant 0,011 en kg/s est obtenu pour un rayonnement solaire de 450 W/m<sup>2</sup>. Le mur en béton d'épaisseur 24 cm, atteint une température supérieure à la température ambiante après 2h. Le maintien de sa température largement supérieure à la température ambiante lorsque le rayonnement solaire n'existe plus. En conséquence, une ventilation naturelle est produite, ce qui est très intéressant pour les climats méditerranéens.

Ramadan Bassiouny et al. [9] ont étudié le concept de la cheminée solaire utilisé pour améliorer la ventilation naturelle de la salle analytiquement et numériquement. L'étude a examiné certains paramètres géométriques tels que la taille et la largeur de l'entrée de la cheminée pour avoir un effet significatif sur la ventilation de l'espace. L'analyse numérique a pour but de prédire la configuration d'écoulement dans la chambre, ainsi que dans la cheminée. Cela contribue à optimiser les paramètres de conception. Les résultats ont été comparés avec les données expérimentales et théoriques disponibles en littérature.

# Recherche bibliographique

## Chapitre I

La géométrie du domaine physique considéré dans l'étude est montrée dans la Figure (I.5). Un équilibre énergétique sur la cheminée est supposé. L'écoulement à travers la cheminée était considéré comme laminaire en régime stationnaire. Les échanges d'énergie à travers le verre, l'air et l'absorbant ont été traité en unidimensionnel. La température d'entrée d'air de la cheminée a été considérée comme la température ambiante moyenne de l'air. Les échanges d'énergie entre les autres murs de la salle et de ses environnants ont été négligées.

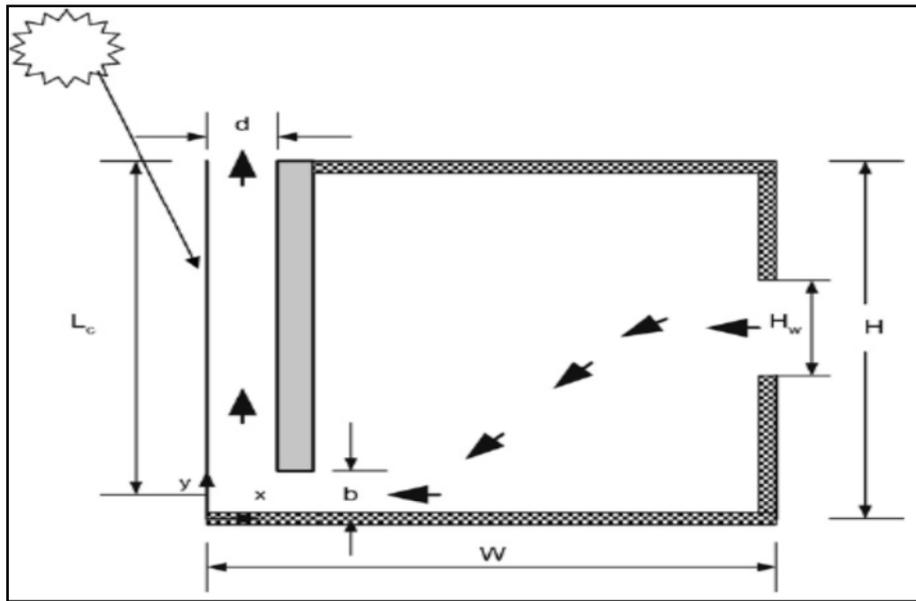


Figure I.5 : Un schéma général du domaine physique [9].

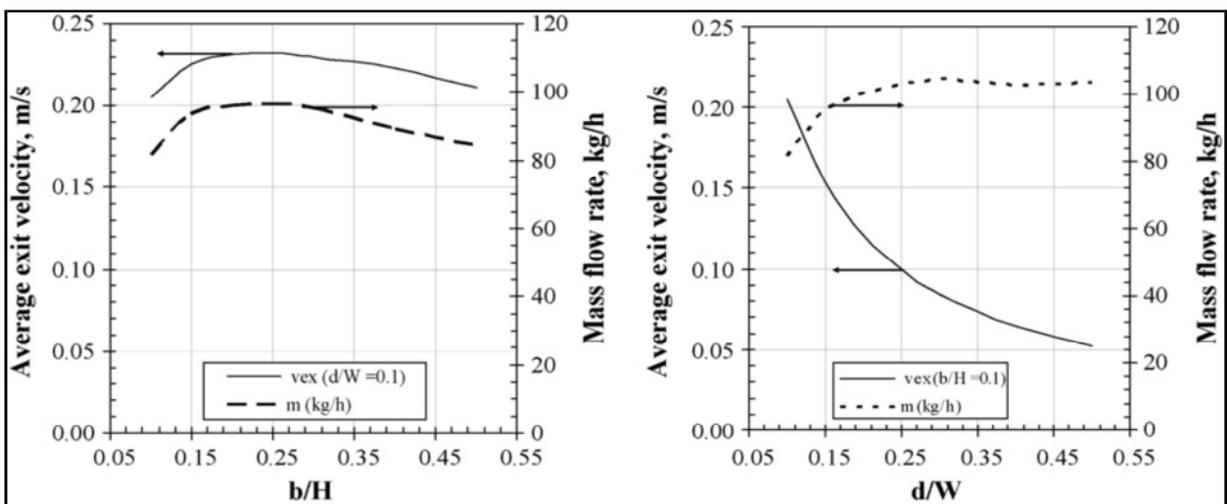


Figure I.6 : La variation de vitesse de sortie d'air et le débit par une largeur et une entrée variables de cheminée [9].

# Recherche bibliographique

## Chapitre I

La variation de la vitesse moyenne de sortie avec la variation des tailles d'entrée d'air et de la largeur de la cheminée est montrée dans la Figure (I.6). La figure montre qu'il existe une taille optimale d'entrée au-delà de laquelle le débit d'air dans la cheminée commence à diminuer. L'étude a montré que la largeur de cheminée possède un effet très significatif sur la vitesse d'écoulement et donc l'ACH. Les résultats ont montré qu'il existe une taille optimale d'entrée au-delà de laquelle l'ACH de la chambre diminue. L'augmentation de la largeur de cheminée peut améliorer l'ACH jusqu'à près de 25%.

H.F. Nouanégué, E. Bilgen [10] ont présenté l'étude numérique du transfert de chaleur conjugué sur des cheminée solaires destinées pour le chauffage et la ventilation des logements. La géométrie étudiée (figure I.7) est un canal vertical limité du côté droit et gauche par des murs massifs. Un flux thermique constant correspondant au rayonnement solaire est imposé à la surface externe du mur droit.

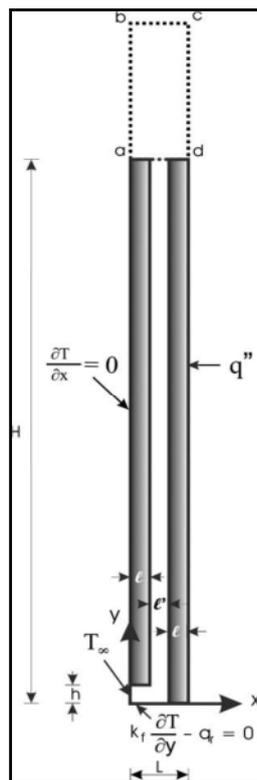
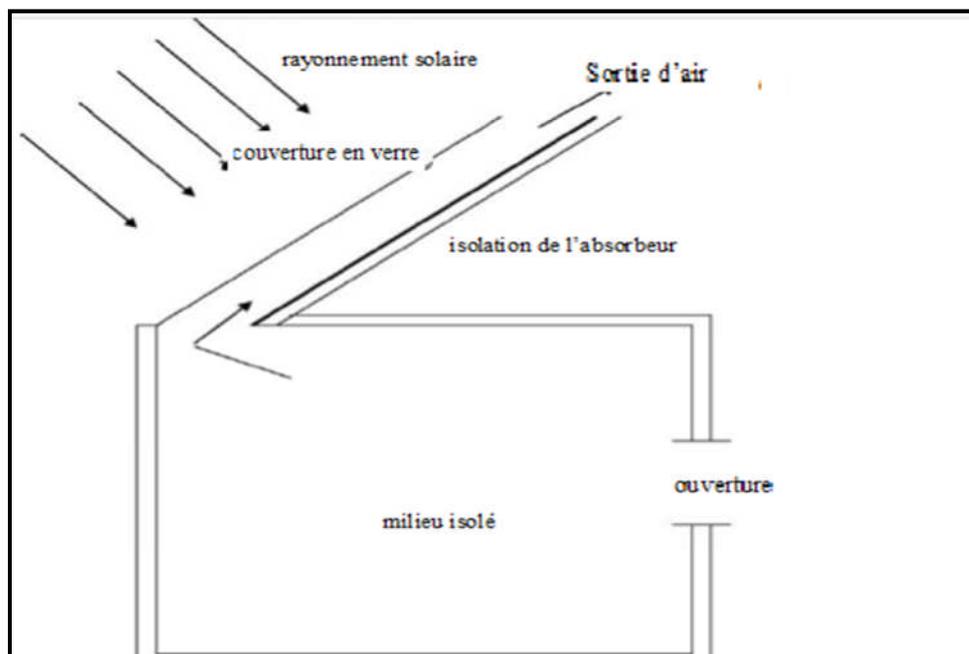


Figure I.7 : Schéma du système, des coordonnées et des conditions aux limites [10].

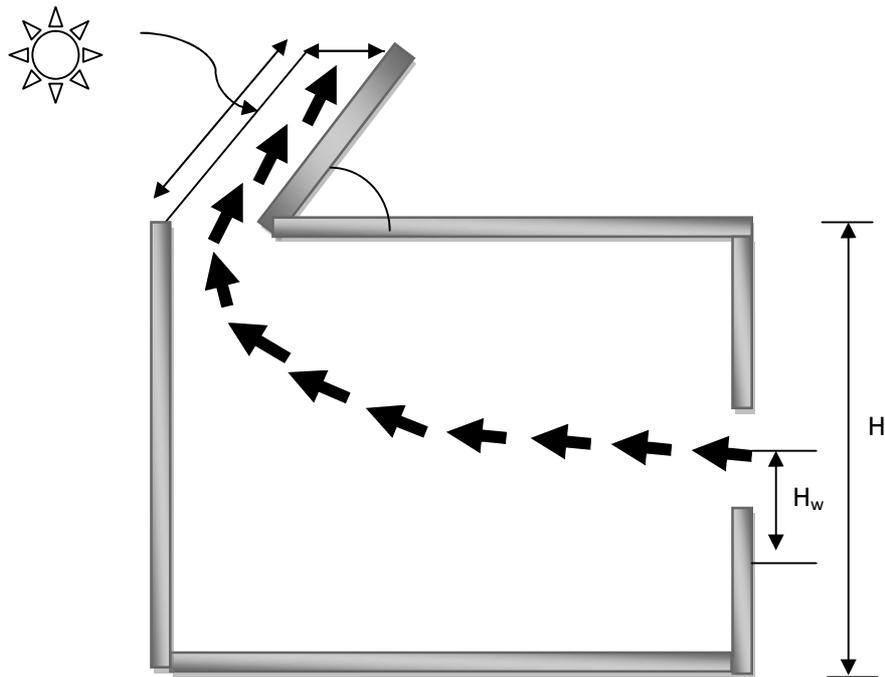
### I.3 L'effet de l'inclinaison sur la cheminée solaire :

Jyotirmay Mathur et al [11] ont étudié l'effet de l'inclinaison de la cheminée solaire sur le débit d'air dans un système de ventilation naturelle par l'utilisation de la cheminée. Pendant les mois d'été, quand l'altitude du soleil est plus élevée, la cheminée à la petite inclinaison avec le plan horizontal capte une grande partie du rayonnement solaire, Les résultats de l'étude montrent que l'inclinaison optimale de la cheminée varie de  $40^\circ$  à  $60^\circ$  selon la latitude de l'endroit. A Jaipur (Inde), l'inclinaison  $45^\circ$  s'avère un optimum pour obtenir le taux maximal de ventilation. A cette inclinaison, le taux de ventilation est d'environ 10% plus meilleur par rapport à  $60^\circ$  et  $30^\circ$  d'inclinaisons. Les investigations expérimentales montrent la bonne concordance avec les résultats théoriques. La cheminée solaire de toit de cette taille peut facilement être montée sur les bâtiments résidentiels pour augmenter la ventilation naturelle.



**Figure I.8 : Installation expérimentale pour l'exécution de vérification de la performance de la cheminée solaire inclinée [11].**

Ramadan Bassiouny et al. [12] ont étudiés une cheminée solaire placée sur un toit incliné figure (I.9) pour voir l'influence de l'inclinaison sur le comportement thermique de la cheminée. Les résultats montrent que l'inclinaison influe considérablement sur le taux de ventilation et sur le débit d'air qui traverse la cheminée. Cette étude montre que l'angle optimal d'inclinaison de la cheminée varie entre  $45^\circ$  et  $75^\circ$  pour une latitude de  $28.4^\circ$ .



**Figure I.9 : cheminée solaire inclinée. [12]**

Tawit Chitsomboon et al [13] proposent une nouvelle technique solaire pour la ventilation dans le bâtiment, où le toit et la cheminée transparents sont utilisés pour induire la circulation de volume d'air élevé pour aérer le bâtiment aussi bien que pour refroidir les habitants. La force d'entraînement de l'écoulement est la flottabilité créée par la salle de grenier sous le toit transparent. L'écoulement est encore augmenté par la cheminée attachée au dessus de toit. Le CFD a été employé pour simuler la circulation d'air mentionnée à de divers paramètres significatifs tels que, l'inclinaison de toit, taille de la cheminée, l'intensité solaire et la forme de toit. Ils l'ont constaté que des débits d'air raisonnables ont été réalisés dans des conditions confortables dans le secteur rural du tropique.

Zoltan Adam et al [14] présentent une simulation mathématique détaillée et une étude expérimentale sur le flux d'air dans une cheminée solaire. Le modèle de cheminée solaire est considéré comme un canal simple vitré d'un côté et un mur collecteur de l'autre côté, et d'une épaisseur et un angle d'inclinaison variables. Pendant les expériences, la vitesse de l'air dans la cheminée dépend de la distance entre le plan chauffé et le vitrage. Les résultats des expériences et de simulation sont présentés dans une série de graphiques. Le modèle de simulation a donné les débits pour une large gamme de variables. Ils ont conclu qu'il y a quelques différences, qui peuvent ensuite être éliminées à l'aide des

# Recherche bibliographique

## Chapitre I

équations plus précises pour calculer l'épaisseur de la couche limite et le coefficient de transfert de la chaleur. Le débit maximum est atteint pour une inclinaison de 45 degrés.

L'étude de D.J. Harris et al. [15] est consacrée à la conception d'une cheminée solaire pour induire la ventilation dans un bâtiment. Des techniques de modélisation utilisant des codes CFD ont été employées pour évaluer les impacts de l'angle d'inclinaison et double vitrage sur le taux de ventilation. Ils ont constaté que pour une cheminée intégrée à la face sud, et un angle d'inclinaison de  $67.5^\circ$  par rapport à l'horizontal était optimum pour l'endroit choisi, donnant une efficacité plus grande de 11% que la cheminée verticale, et cela un rendement plus élevé de 10% a été obtenu en employant une surface de mur de basse émissivité.

### I.4 Cheminée solaire associé à une autre technique de ventilation :

Sompop Punyasompun et al [16] se sont intéressés à l'utilisation de la cheminée solaire dans le gratte-ciel. A cet effet, deux modèles à échelle réduite d'un bâtiment à trois niveaux ont été étudiés. Les cheminées solaires étaient intégrées dans les murs face-sud. Deux configurations ont été considérées comprenant la cheminée solaire connectée et non connectée: Le premier est une cheminée solaire avec une ouverture d'admission à chaque plancher et une ouverture de refoulement au troisième plancher. Tandis que pour la seconde, les ouvertures d'admission et les ouvertures de refoulement ont été installées à chaque plancher. Les données enregistrées sont la température ambiante et la vitesse de la circulation d'air dans les conditions climatiques de Bangkok.

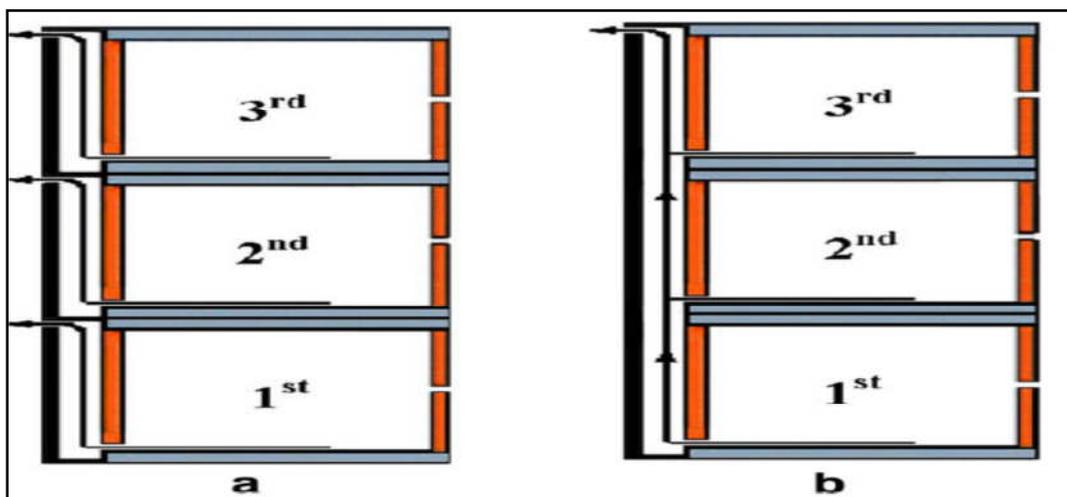
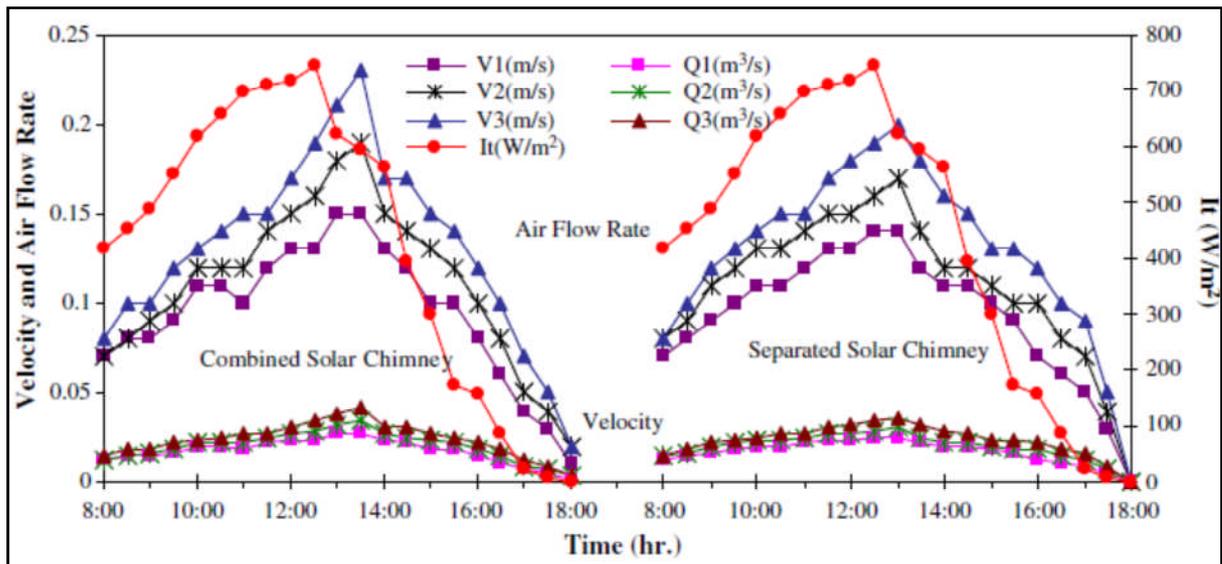


Figure I.10 : (a) Cheminée solaire séparée ; (b) Cheminée solaire combinée [16].



**Figure I.11 : la vitesse et le débit d'air (le fond) entre la cheminée combinée et la cheminée séparée [16].**

La comparaison entre les deux modèles de la cheminée solaire a montré que la cheminée solaire à plusieurs étages est une bonne alternative et pourrait être appliquée effectivement.

K. Hami\*, et al [17] ont modélisé la convection naturelle en régime laminaire dans un local chauffé par la technique d'un mur trombe ventilé adapté au site de la ville de Béchar (sud ouest de l'Algérie), d'une journée type d'hiver. Les équations régissant le mouvement d'air et le transfert de chaleur à l'intérieur du local sont résolues numériquement à l'aide du code CFD Fluent. L'influence de la variation de la profondeur de la cheminée solaire sur le rendement thermique du système a été étudiée. Le principe de fonctionnement du système est visualisé, les températures obtenues au niveau de la zone d'occupation sont adaptables à l'intervalle du confort thermique. Les résultats de simulation sont en bon accord avec ceux de la littérature.

L'air au contact des murs s'échauffe (Figure I.12), s'élève, et pénètre dans le local à travers des orifices en partie haut du mur. L'air intérieur, plus froid, est dégagé naturellement par les orifices inférieurs. Ce parcours est appelé 'thermo-circulation'. Le chauffage du local est obtenu principalement par convection sur la face interne du mur qui restitue la chaleur stockée avec un certain déphasage, alors qu'un chauffage instantané est possible grâce à la 'thermocirculation'. Des clapets sont placés devant les orifices inférieurs pour éviter une circulation inverse la nuit.

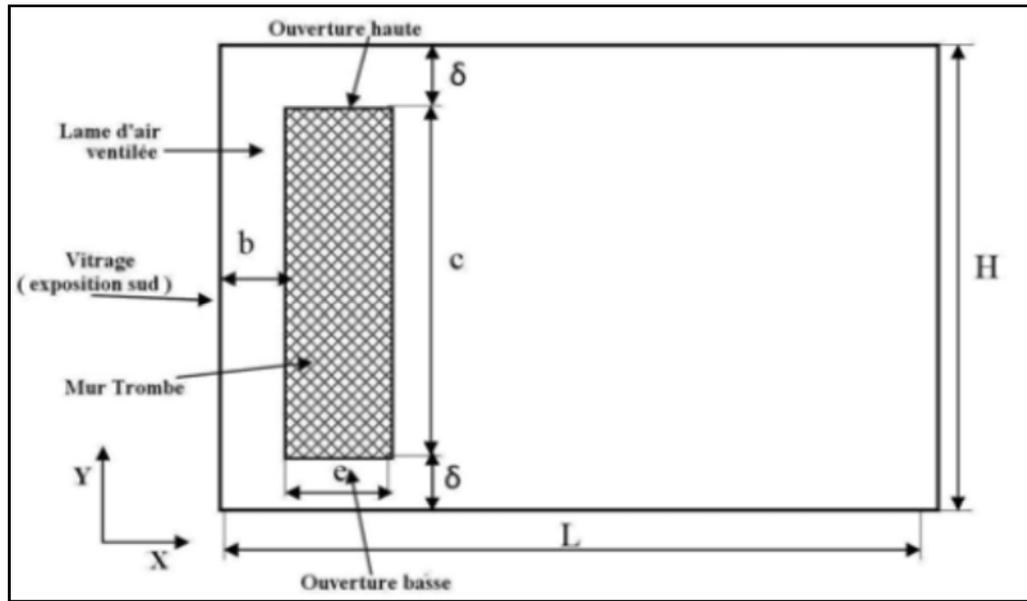


Figure I. 12: Modèle géométrique du local étudié. [17]

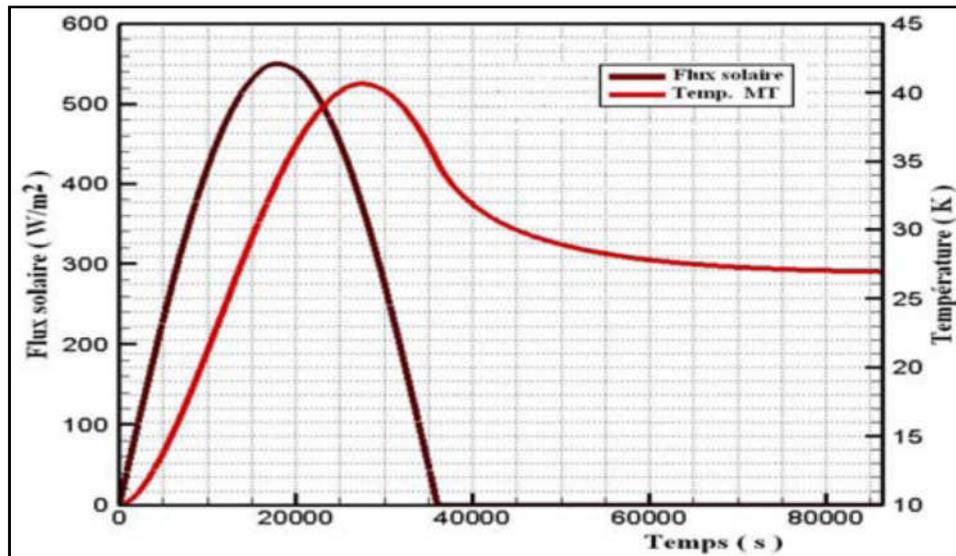
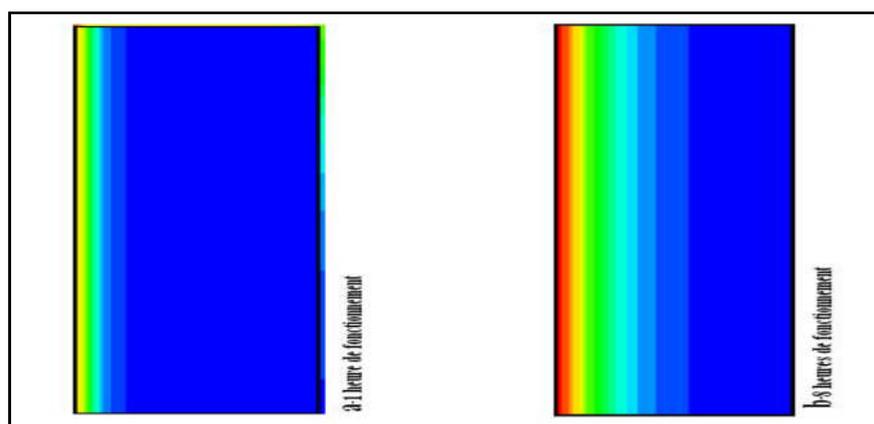


Figure I.13: Evolution de la température au niveau de la surface extérieure du mur Trombe [17]

La figure (I.13) montre que l'évolution de la température au niveau de cette surface augmente lorsque le flux solaire augmente et elle diminue lorsque le flux solaire diminue. Ce résultat obtenu montre qu'il y a un gain thermique au niveau de cette surface de  $17^{\circ}C$  après les 24 heures de fonctionnement du système. Donc l'influence de l'ensoleillement sur la surface extérieure du mur trombe ventilé qui est orienté en plein sud et en plein solaire est visualisée par ce travail de simulation.

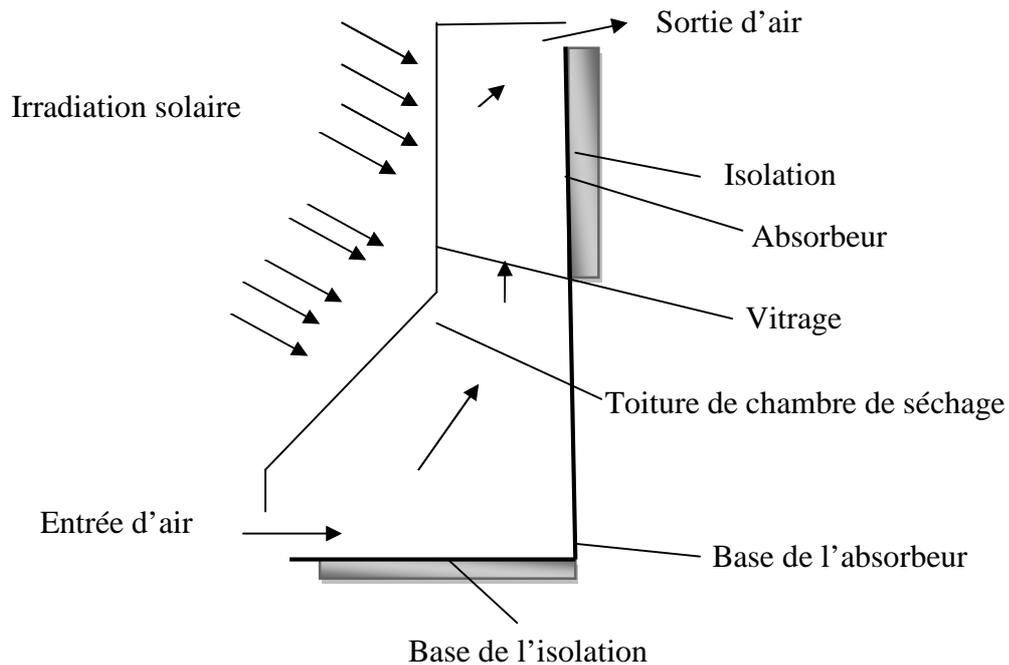


**Figure I.14 : Echange thermique par conduction au niveau de mur trombe à 1 heure et 8 heures de fonctionnement [17].**

Les résultats présentés dans ce travail nous permettent de tirer les conclusions suivantes:

- La température de sortie du fluide (air chaud) varie en fonction du flux solaire.
- Ces travaux de simulation ont permis d'obtenir des températures du fluide assez élevées à la sortie, favorable pour les exploiter dans le séchage des produits agroalimentaires.
- L'utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive.
- Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale (façades doubles, orientation vers le sud, surfaces vitrées, etc...).
- Les résultats obtenus pour la région de Béchar en utilisant un chauffage passif par la technique d'un mur Trombe ventilé, semblent intéressants d'appliquer un tel système.

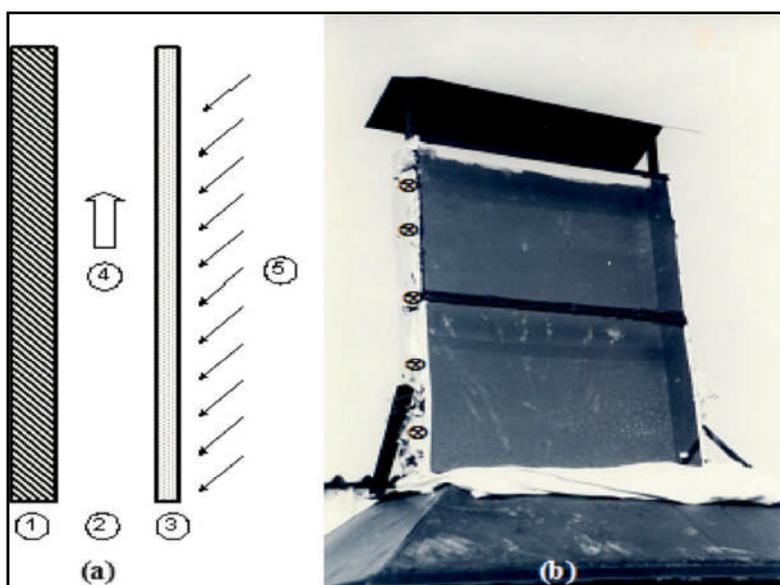
J.K.Afriyie et al [18] ont étudiés un autre type de séchoir solaire muni d'une toiture incliné. L'étude est basée sur l'influence de l'inclinaison de la toiture de la chambre et les dimensions de la cheminée sur le processus de séchage. L'inclinaison du toit de la chambre de séchage et la taille de la cheminée sont critiques pour la conception d'un séchoir solaire dans les régions géographiques loin de l'équateur. Tandis que, les paramètres décisifs dans les régions près de l'équateur sont la taille de la chambre de séchage et le rapport de la section absorbeur et la section transversale de la cheminée. Une grande chambre de séchage avec une cheminée solaire étroite est généralement favorisée aux endroits près de l'équateur alors qu'une petite chambre de séchage avec une haute cheminée solaire convient mieux aux régions reculées de l'équateur.



**Figure I.15: Schéma de fonctionnement d'un sécheur solaire.** [18]

Les résultats de la simulation numérique montrent qu'il y a une relation linéaire entre l'angle d'inclinaison et la surface d'entrée.

E.P. Sakonidou et al [19] ont développé un modèle mathématique pour déterminer l'inclinaison qui maximise la circulation d'air naturelle à l'intérieur d'une cheminée solaire par l'utilisation des données solaires quotidiennes d'irradiation sur un plan horizontal dans un site. Le modèle mathématique démarre en calculant les composants solaires horaires d'irradiation (direct, diffus, réfléchi) absorbés par la cheminée solaire, l'inclinaison et la taille variables pendant un temps donné (jour de l'année, de l'heure) et l'endroit (latitude). De cette manière elles calculent les coefficients de transmission et d'absorption du vitrage pour les divers composants solaires d'irradiation et pour différentes inclinaisons. Le modèle prévoit la température et la vitesse d'air à l'intérieur de la cheminée aussi bien que les températures du vitrage et de l'absorbeur peint en noir. Les comparaisons des résultats obtenus par le modèle de CFD pour une large gamme des longueurs de cheminée (1-12m) et des inclinaisons (30-90°). Les résultats montrent un bon accord avec les résultats expérimentaux, cet accord encourage l'utilisation des modèles du CFD.



**Figure I.16. Configuration de la cheminée solaire [19].**

N.K.Bansal et al [20] ont étudié l'influence des sections d'entrée et de sortie sur le comportement thermique de la cheminée solaire. Les résultats montrent que pour une surface de capteur  $2,22 \text{ m}^2$ , on aura un débit d'air évacué égale à  $140 \text{ m}^3/\text{hr}$  et  $330 \text{ m}^3/\text{hr}$  pour un rayonnement solaire de  $200 \text{ W}/\text{m}^2$  et  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ , respectivement.

Yoshiteru Shinada et al [21] ont proposé un système de ventilation naturelle combinaison d'une cheminée solaire et d'une fosse souterraine installée au niveau d'un bâtiment scolaire. L'air extérieur entre dans le bâtiment après le passage par la fosse souterraine, puis il est introduit dans les différentes salles et évacué à l'extérieur par une cheminée solaire de huit mètres de hauteur ou par action du vent. Les résultats mesurés pendant quatre ans après l'ouverture de l'école ont montré que l'énergie consommée s'est amélioré année après année dû au système de ventilation naturelle.

# Chapitre II

The image features the text 'Chapitre II' in a large, bold, green, sans-serif font. The text is slightly slanted to the right. Below the main text, there is a shadow effect consisting of a brown, semi-transparent version of the same text, offset downwards and to the right, creating a 3D appearance.

## *Chapitre II*

# *Gisement solaire et la cheminée solaire*

### *Sommaire*

II.1 Introduction .....	19
II.2 Généralité sur le transfert thermique .....	19
II.2.1 La conduction .....	19
II.2.2 La convection .....	20
II.2.3 Le rayonnement .....	21
II.3 Energies en générales.....	24
II.3.1 définition .....	24
II.3.2.Ressources énergétiques mondiales .....	25
II.3.3 situation énergétique en Algérie .....	26
II.3.4 Energie renouvelables .....	27
II.3.5 type des énergies renouvelables .....	27
II.3.6 Energie solaire .....	28
II.3.6.1 Energie solaire thermique .....	28
II.3.6.1.1 Le soleil .....	29
II.3.6.1.2 Rayonnement solaire hors atmosphère.....	30
II.3.6.1.3 Le spectre solaire .....	31
II.3.6.1.5 Mouvement de la terre autour du soleil .....	33

II.3.6.1.6	Mesure du rayonnement solaire .....	34
II.3.6.1.7	La sphère céleste .....	34
II.3.6.1.8	Coordonnées célestes.....	34
II.3.6.1.9	Temps solaire .....	37
II.3.6.1.10	Estimation horaire de l'ensoleillement .....	38
II.3.6.1.11	Calcul du rayonnement journalier moyen mensuel .....	39
II.3.6.2	La cheminée solaire .....	39
II.3.6.2.1	Les différentes configurations de cheminée solaire .....	41

### **II.1 Introduction :**

De nos jours, l'utilisation rationnelle des ressources énergétiques est placée au centre de nos préoccupations. Le recours aux sources d'énergies renouvelables comme l'énergie solaire, le vent, la géothermie sont des alternatives très intéressantes pour répondre à nos besoins énergétiques. L'utilisation de l'énergie solaire dans les pays ensoleillés est un moyen efficace pour pallier au manque d'énergie surtout dans les zones rurales où il est parfois difficile et coûteux de les alimenter avec le réseau électrique conventionnel.

La crise énergétique et l'amélioration du niveau de vie et des exigences de confort ont provoqué des changements importants dans la conception et l'utilisation des logements : meilleure isolation thermique, meilleure étanchéité à l'air, utilisation généralisée du chauffage central, emploi du double vitrage, etc. Ces changements, réalisés sans une ventilation adéquate, ont aggravé considérablement les problèmes de condensation et de moisissures dans les habitations, suscitant quelques inquiétudes quant à la qualité de l'air intérieur. L'importance d'une bonne ventilation des habitations ne fait plus de doute ; c'est une exigence fondamentale pour obtenir un climat intérieur de qualité dans les bâtiments.

### **II.2 Généralité sur le transfert thermique :**

Les processus de transfert de chaleur sont largement répandus dans la nature. Le transfert de chaleur embrasse tout un ensemble de phénomènes complexes d'échanges thermiques dans l'espace, conditionnés par les différences des températures des différents éléments du milieu considéré. On distingue trois types (mécanismes) principaux de transfert thermique : la conduction, la convection et le rayonnement.

#### **II.2.1 La conduction :**

C'est un transfert moléculaire de la chaleur dans les corps (ou bien entre les corps), conditionné par la différence des températures dans le milieu considéré. La chaleur se transmet de proche en proche dans tout le milieu, des parties chaudes vers les parties plus froides. Cette progression s'effectue sans mouvement de matière.

### II.2.2 La convection :

Certaines parties du système sont en mouvement et emportent avec la chaleur qu'elles ont reçue. Ce mode de transfert de chaleur est indissolublement lié au transfert du milieu lui-même.

Dans les liquides, la convection est toujours accompagnée de la conduction. Le mouvement du fluide peut être dû à la différence des densités des particules fluides chaudes et froides, la convection est alors dite naturelle (libre) ou bien à une action mécanique extérieure (ventilateur ou autre), la convection est alors forcée [22].

L'équation qui régit le transfert de chaleur par convection est connue sous le nom de loi de Newton, elle a la forme suivante :[23]

$$q = h.(T - T_{\infty}) \quad \text{II.1}$$

La densité de flux de chaleur échangée par convection  $q$  est exprimée en  $W/m^2$ . Il est proportionnel à l'écart des températures de la surface et du milieu. La constante  $h$  est appelée coefficient de convection.

Processus	Fluides	$h, W/(m^2.K)$
Convection libre	Gaz	2-25
	Liquides	50-1 000
Convection forcée	Gaz	25-250
	Liquides	100-20 000
Changement de phase	Evaporation - condensation	2 500-100 000

**Tableau II.1 : Coefficient de transfert thermique pour les modes de convections.[23]**

La convection est un mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement du milieu. C'est le mécanisme le plus important de transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz. Le transfert d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes. D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux particules fluides adjacentes, l'énergie ainsi transmise sert à augmenter la

## *Chapitre II*

température et l'énergie interne de ces particules. Ensuite ces dernières vont se mélanger avec d'autres particules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie. Celle-ci est à présent emmagasinée dans les particules fluides et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement.

La transmission de chaleur par convection est désignée, selon le mode d'écoulement du fluide, par convection libre ou convection forcée. Elle est caractérisée par un paramètre de contrôle qui est le nombre de Rayleigh. Plus le nombre de Rayleigh est grand, plus la convection est intense. Il peut s'interpréter comme une mesure de l'importance du mécanisme responsable de l'instabilité du fluide (la poussée d'Archimède) dues à la différence de masse volumique entre le fluide chaud et le fluide froid par rapport aux mécanismes de freinage (la diffusivité thermique et la viscosité).

En convection naturelle, les mouvements du fluide sont provoqués par des gradients de densité due au non uniformité du champ de température. Les couches chaudes, donc de poids spécifique plus faible, sont soumises à des forces dirigées vers le haut, suivant un mécanisme analogue à celui de la poussée d'Archimède. Dans les régions à température élevée, le fluide prend donc un mouvement ascendant.

Le phénomène inverse de courants descendants se produits pour les parties du fluide dont la température est inférieure à celle du fluide chaud. Les courants de convection naturelle sont alors dus à des différences de poids spécifique et par conséquent le phénomène se produit en raison de l'existence du champ de pesanteur terrestre. L'intervention du poids a pour effet de donner à la verticale un rôle privilégié. La définition de la géométrie d'un système convectif doit donc faire intervenir la forme et les dimensions ainsi que la disposition par rapport à la verticale. Par contre, si le mouvement du fluide est provoqué par une action externe, telle une pompe ou un ventilateur, le processus est appelé convection forcée.

### **II.2.3 Le rayonnement :**

Le rayonnement est un processus de propagation de la chaleur par radiations électromagnétiques. Le rayonnement tombe à la surface d'un autre milieu, il est en partie réfléchi, en partie transmis si le milieu est partiellement transparent, et en partie absorbé. Ce mode de transfert de chaleur est conditionné seulement par la température et les propriétés optiques du corps rayonnant. Il obéit aux lois fondamentales de propagation de la lumière, i.e., les lois de réflexion, réfraction et absorption. Ce mode de transfert de chaleur peut exister tout seul seulement dans le cas de la propagation dans le vide.

Dans les processus qu'on rencontre dans la nature (en pratique), le transfert de chaleur par rayonnement est accompagné de la conduction et la convection. Dans ce cas, le transfert thermique est dit complexe. Cependant, lors de la résolution des problèmes concrets de transfert de chaleur, un seul mode de transfert de chaleur (comme règle générale) domine et la quantité de chaleur échangée par les autres types de transfert de chaleur est insignifiante et peut être négligée, d'où l'intérêt d'étudier chaque mode de transfert de chaleur à part. La conduction à l'état pur, généralement, prend place dans les corps solides. Dans les gaz et les liquides, la chaleur est transmise par convection, i.e., la conduction pure n'est possible dans ces milieux que s'ils sont absolument immobiles.

Lors de l'étude du transfert de chaleur, il est nécessaire de tenir compte du milieu dans lequel s'effectue le transfert. Tous les corps dans lesquels sont examinés les processus de conduction sont considérés comme des milieux continus. Cette approche phénoménologique à l'étude des processus de transfert de chaleur et la conduction en particulier est entièrement justifiée si les dimensions des corps étudiés sont suffisamment grandes par rapport aux distances de l'interaction entre les molécules. En plus, nous examinons seulement les milieux continus homogènes, dans lesquels les propriétés dans les différents points sont identiques à des valeurs identiques de pression et de température (dans les milieux hétérogènes ces propriétés sont différentes). On distingue les milieux continus isotropes dans lesquels les propriétés physiques ne dépendent pas du sens choisi, et les milieux anisotropes dans lesquels les propriétés peuvent être fonction du sens choisi. En pratique, on rencontre le plus souvent les corps isotropes.[22]

Le rayonnement thermique est l'énergie émise par un matériau de température donnée. Nous allons considérer le processus de rayonnement de la surface représentée par la figure (II.1). Le rayonnement émis par la surface provient de l'énergie thermique du matériau limité par cette surface. La quantité de l'énergie rayonnée, exprimée par unité de surface ( $W/m^2$ ) et notée par  $E$  est appelée luminance totale. C'est la limite supérieure de l'énergie rayonnée, elle est donnée par la loi de Stefan Boltzmann.

Pour un corps absolument noir [23]

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad \text{II.2}$$

Où  $T$ - La température absolue de la surface, K

$\sigma$  - La constante de Stefan - Boltzmann,  $\sigma = 5,7.10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^4)$

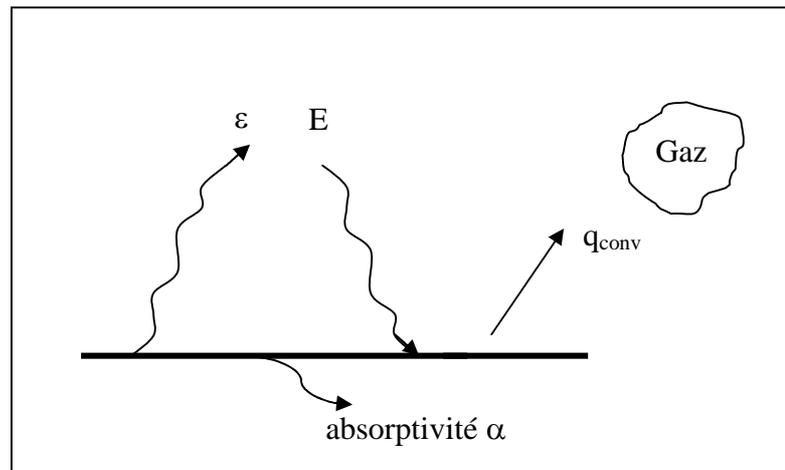


Figure II.1 : transfert par rayonnement [23]

La loi de Stefan permet de déterminer le flux de chaleur émis sous forme de rayonnement par un corps de surface  $S$  dans toutes les directions de l'espace. Le flux thermique émis par une surface réelle est inférieur à celui du corps noir à la même température. Il est donné par l'expression suivante [23] :

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{II.3}$$

Où  $\varepsilon$ - est une propriété du rayonnement de la surface, connue sous le nom émissivité. Elle varie de 0 à 1 et elle caractérise la capacité du rayonnement relativement au corps noir.

Le rayonnement peut être aussi émis par le milieu extérieur (milieu environnant) à la surface. Il peut provenir d'une source spéciale, comme le soleil ou une autre surface. Une partie ou bien toute l'énergie rayonnée, notée par  $G$ , par le milieu environnant peut être absorbée par la surface, ce qui augmente l'énergie thermique du matériau. L'énergie absorbée est donnée par l'expression suivante [22] :

$$G_{abs} = \alpha \cdot G \quad \text{II.4}$$

$\alpha$ - est une caractéristique du matériau appelée absorptivité, elle varie de 0 à 1. Elle dépend du matériau et aussi de la nature du rayonnement.

Si on assimile le milieu extérieur à un corps noir de température  $T_s$ , ( $G = \sigma.T_s^4$ ) et la surface à un corps gris ( $\varepsilon = \alpha$ ), le transfert thermique par rayonnement de la surface considérée est exprimé par :[23]

$$q_{ray} = \varepsilon.\sigma.T^4 - \alpha.G = \varepsilon.\sigma.(T^4 - T_s^4) \quad \text{II.5}$$

Cette relation exprime la différence entre l'énergie thermique libérée par la surface par rayonnement et celle absorbée (gagnée) par la surface.

Le matériau peut également échanger la chaleur par convection simultanément avec le milieu extérieur.[23]

$$q = q_{conv} + q_{ray} = h.(T - T_\infty) + \varepsilon.\sigma.(T^4 - T_s^4) \quad \text{II.6}$$

### II.3 Energies en générales :

Les besoins énergétiques de l'humanité n'ont cessé de croître avec son évolution : nous avons utilisé des ressources qui sont apparues avec les progrès scientifique telles que le charbon, le pétrole, le gaz ou encore le nucléaire. Actuellement les énergies fossiles (pétrole, charbon et gaz) sont consommées bien plus rapidement qu'elles ne se forment dans la nature.

L'**énergie** (du grec : ενεργεια, *energeia*, force en action) est la capacité d'un système à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, de la lumière ou de la chaleur. C'est une grandeur physique qui caractérise l'état d'un système et qui est d'une manière globale conservée au cours des conversions [24]. La notion d'énergie est liée à celle de travail. On peut adopter les définitions suivantes :

#### II.3.1 définition :

L'énergie est tout ce qui peut être converti en travail mécanique ou provenir d'un travail mécanique. L'énergie est une manifestation de force, de mouvement, de chaleur, de transformation émanant d'une source quelconque, et capable de produire un travail ou une action précise [24].

L'énergie se manifeste par transformation d'une forme d'énergie en une autre forme d'énergie. Dans ce processus, l'énergie d'un système isolé se conserve, selon le 1er principe de

la thermodynamique. Cependant, une partie de l'énergie peut se transformer en une forme difficile ou impossible à récupérer (énergie thermique), on parle alors de pertes énergétiques. La quantité d'énergie récupérable, appelée énergie utile, correspond au rendement énergétique :

$$\text{Rendement énergétique} = \text{énergie utile} / \text{énergie initiale} [24]$$

### **II .3.2.Ressources énergétiques mondiales :**

Les ressources ou réserves mondiales en énergie peuvent être considérées comme inépuisables si l'on considère que : l'énergie solaire reçue chaque jour par notre planète est très largement supérieure à notre consommation, l'énergie nucléaire pourrait devenir quasiment inépuisable si l'on utilisait les filières de surgénération ou de fusion

Cependant, l'énergie solaire est très peu concentrée ce qui pose des problèmes économiques de rentabilité et d'espace, l'énergie nucléaire pose des défis techniques et des problèmes de sûreté et de pollution (déchets) qui ne sont pas encore totalement résolus. Le diagramme (II.2) permet de se rendre compte de l'immensité des réserves potentielles de l'énergie solaire, de la prépondérance des ressources énergétiques en charbon (60 % des ressources conventionnelles), de la faiblesse des réserves d'uranium (énergie nucléaire).

Les ressources ou réserves énergétiques mondiales - conventionnelles et prouvées - d'énergies non renouvelables (fossiles et uranium) pouvaient être estimées en 2008 à 965 milliards de tonne d'équivalent pétrole (tep), soit 85 ans de production actuelle. Cette durée est très variable selon le type d'énergie : 44 ans pour le pétrole conventionnel, 183 ans pour le charbon. La consommation énergétique mondiale (énergie finale) était, selon Agence internationale de l'énergie de 8,2 milliards de tep en 2007 (4,7 en 1973), pour une production énergétique mondiale (énergie primaire) de 12 milliards de tep [24]. 80,4 % de cette production provenait de la combustion d'énergies fossiles. Le reste de la production d'énergie provient du nucléaire et des énergies renouvelables (bois de chauffage, hydro-electricité, éolien, agrocarburants,...).

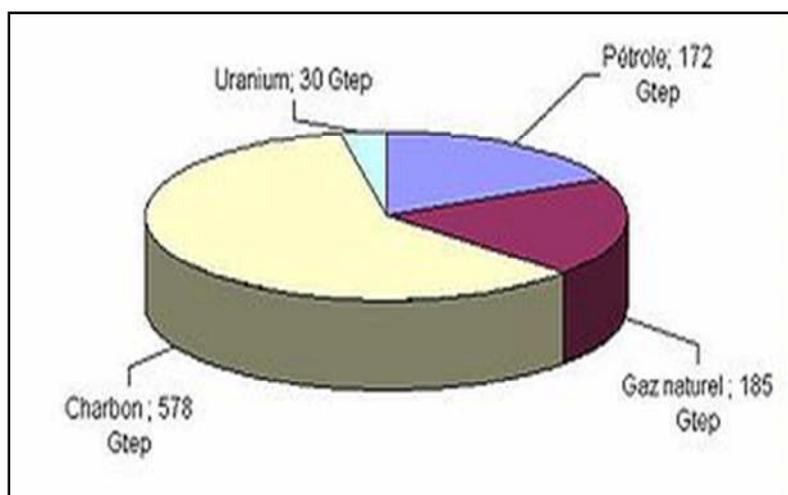


Figure II.2 : Ressources énergétiques mondiales (2011) .[25]

### II.3.3 situation énergétique en Algérie [24] :

Les réserves estimées de l'Algérie sont principalement situées dans la moitié orientale du pays. Le bassin de Hassi Messaoud contient 70 % de toutes les réserves du pays, alors que des réserves additionnelles sont situées en bassin de Berkine. Selon le journal « Oil and Gas Journal (OGJ) », l'Algérie contiendrait 12,3 milliards de barils environ de réserves de pétrole estimées avant janvier 2007, ce qui en fait le troisième plus grand en Afrique (derrière la Libye et le Nigéria). Les réserves estimées de l'Algérie sont principalement situées dans la moitié orientale du pays. Le bassin de Hassi Messaoud contient 70 % de toutes les réserves du pays, alors que des réserves additionnelles sont situées en bassin de Berkine.

Bien que l'Algérie ait produit le pétrole depuis 1956, les analystes industriels considèrent le pays sous exploré, avec de grands potentiels de découvertes d'hydrocarbures. Pour ce qui est du gaz naturel, l'Algérie possède des réserves estimées à 161.7 Trillions pieds cubes (Tcf), ce qui en fait le huitième plus grand au monde. Le plus grand gisement du gaz de l'Algérie est celui Hassi R'Mel, découvert en 1956 et contenant des réserves estimées à 85 Tcf , contribuant ainsi à 25% de la production du gaz sec naturel en Algérie. Le reste des réserves situe au sud et au sud-est du pays à coté des champs petroliers. Le site Rhourde Nouss en est un exemple concret avec des reserves de 13 Tcf, en plus des sites : Fouye Tabankort (5,1 Tcf), Alrar (4.7 Tcf), Ouan Dimeta et Oued Noumer. D'autres sites avec moins de réserves se trouvent à la région de AIN SALAH.

### **II.3.4 Energie renouvelables :**

Une **énergie renouvelable** est une énergie exploitée par l'homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas. En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. On appelle énergie renouvelable celle provenant de sources non fossiles, qui se renouvellent. Les énergies renouvelables sont caractérisées par :

- sources durables voire inépuisables
- sources abondantes dans toutes les régions, et gratuites (seul le coût d'installation représente un investissement parfois lourd)
- à l'utilisation aucun rejet polluant ni déchets dangereux (la fabrication des appareils par contre peut être polluante comme toute industrie de fabrication).

### **II.3.5 type des énergies renouvelables :**

On distingue 5 catégories d'énergies renouvelables (ER) suivant les sources :

- Soleil : Energies solaires
- Vent : Energie éolienne
- Eau : Energie hydraulique
- Vivant : Biomasse
- Terre : Energie géothermique

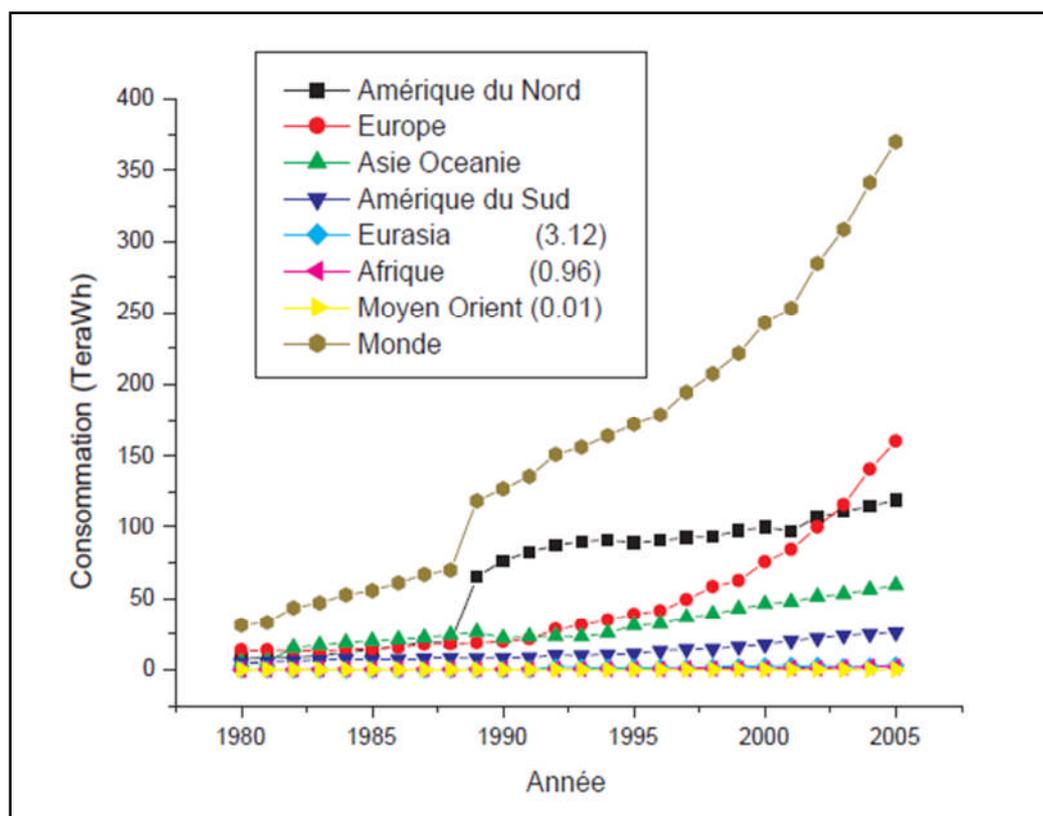


Figure II.3 : consommation des énergies renouvelables dans le monde :[24]

### II.3.6 Energie solaire :

Cette énergie provient directement du soleil sous forme d'énergie lumineuse, qui est de type rayonnante.

L'homme a de tout temps utilisé l'énergie solaire pour la conservation des aliments, le séchage et l'extraction du sel de l'eau de mer.

- Les technologies solaires thermiques (chauffe-eau, cuisinière, distillateurs, séchoirs solaires).
- les cellules solaires photovoltaïques qui convertissent l'énergie solaire en électricité par exemple pour pomper l'eau ou pour alimenter de petits réseaux électriques.

#### II.3.6.1 Energie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique (chaleur). Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un site donné et au cours d'une période donnée. L'étude

du gisement est le point de départ de toute investigation. Cette étude est très indispensable dans le domaine de l'énergie solaire afin de simuler le fonctionnement probable du système énergétique de s'assurer de son intérêt et de sa faisabilité. Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou, s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air.

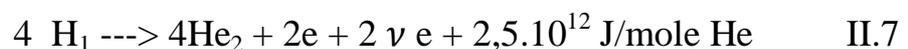
L'énergie solaire thermique trouve de nombreuses applications [26] :

- La production d'eau chaude,
- Le chauffage des maisons,
- Le chauffage de l'eau des piscines,
- Le séchage des récoltes,
- La réfrigération par absorption pour les bâtiments,
- La production de très haute température.

### II.3.6.1.1 Le soleil :

Le soleil est une sphère gazeuse d'hélium et d'hydrogène (80 % H<sub>2</sub> 19 % He et 1 % autres éléments), sa densité moyenne est de 76000 Kg /m<sup>3</sup> au centre, la masse du soleil représente 99.58% de la masse totale du système solaire et 330000 fois celle de la terre, son âge est estimé 5.10<sup>9</sup> ans, le diamètre du soleil atteint 139100K m [27].

- Distance Terre-Soleil : 150000000 km
- Pression au centre : plus d'un milliard d'atmosphère
- Fusion nucléaire



- Consommation de 576 millions de tonnes d'hydrogène à la seconde.
- Le soleil rayonne comme un corps noir à 5800K.
- L'énergie solaire reçue par la Terre représente 10000 fois la consommation énergétique mondiale.

Le soleil est composé de trois régions principales :[27]

### Chapitre II

- **L'intérieur** : c'est le lieu de la production de l'énergie par une suite de réactions thermonucléaires exothermiques dites « cycle de Bethe ». La température dans ces régions peut atteindre de  $8.10^6$  à  $40.10^6$  K et la pression un milliard fois la pression atmosphérique.
- **La photosphère** : c'est une mince région (300 Km d'épaisseur environ) .Elle est seule responsable de la majorité du rayonnement qui arrive au sol, sa température moyenne est quelques milliers de degrés, mais elle décroît rapidement dans l'épaisseur jusqu'à la température de la surface qui est de l'ordre de 5720 K.
- **la chromosphère et la couronne** : C'est une région faible densité, sa matière est très diluée et le rayonnement émis est très faible.

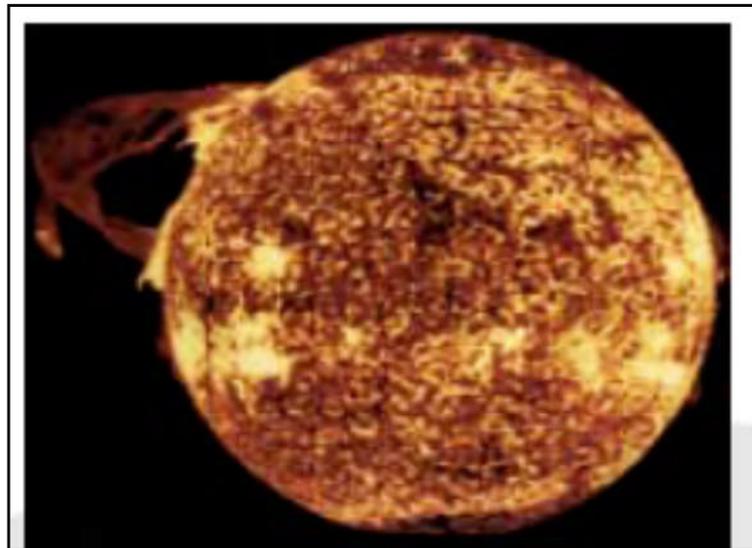


Figure II.4 le soleil [27]

#### II.3.6.1.2 Rayonnement solaire hors atmosphère :

Le rayonnement solaire parvient à la limite de l'atmosphère terrestre après un trajet dans l'espace d'environ 150.000.000 km, effectué en 8 minutes. La constante solaire c'est le flux de rayonnement intercepté par un récepteur plan perpendiculaire à la direction du soleil, est de l'ordre de  $1367 \text{ Wh/m}^2$ .

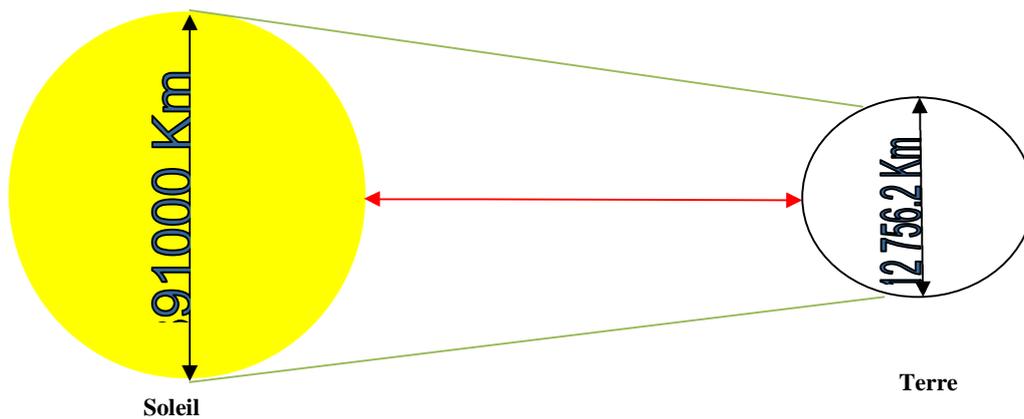


Figure II.5 : Relation entre le soleil et la terre

### II.3.6.1.3 Le spectre solaire :

Le spectre solaire est la décomposition en longueurs d'onde ou couleurs .la lumière solaire , en effet il est composé de toutes sortes de rayonnement de couleurs différentes caractérisées par leur gamme de longueur d'onde, les photons, grains du lumière qui composent ce rayonnement électromagnétique, sont porteurs d'une énergie que est reliée a leur longueur d'onde par la relation : [28]

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{II.8}$$

Avec :

$h$  : la constante de planck.

$\nu$  : la fréquence.

$C$ : la vitesse de la lumière.

$\lambda$  : la longueur d'onde.

La distribution en énergie d'une courbe standard de la répartition spectrale du rayonnement solaire extraterrestre est répartie comme suit :

Ultraviolet UV      0,20 ÷ 0,38  $\mu\text{m}$  6,4 %

Visible              0,38 ÷ 0,78  $\mu\text{m}$  48,0 %

Infrarouge IR      0,78 ÷ 10  $\mu\text{m}$  48,0 %

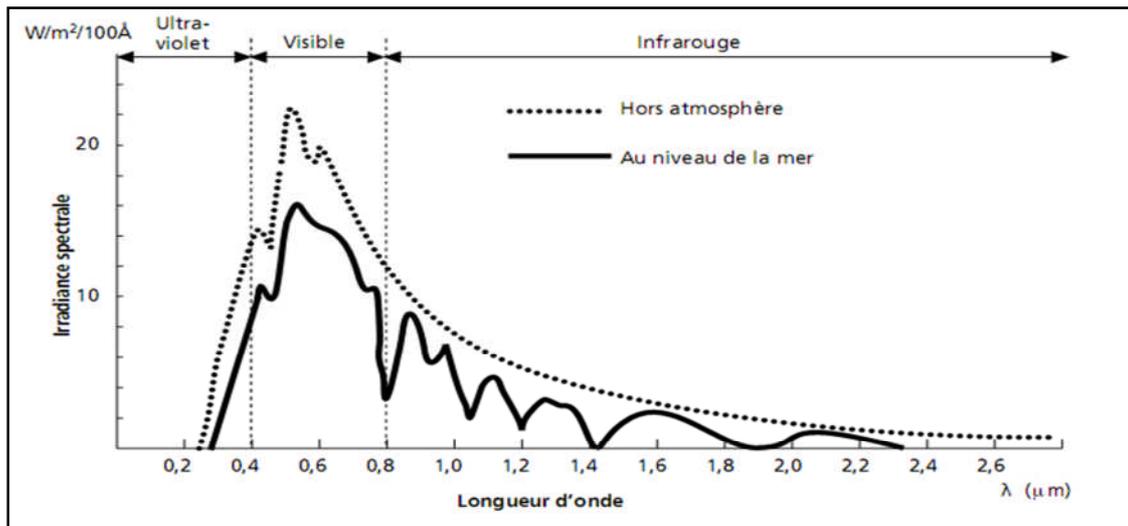


Figure II.6 : Le spectre solaire [28]

#### II.3.6.1.4 La propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère :

Lorsque le rayonnement solaire se propage dans l'atmosphère, il interagit avec les constituants gazeux de celle-ci et avec toutes les particules présentes en suspension (aérosols, gouttelettes d'eau et cristaux de glace). Les particules dont on parle ici ont des dimensions variant du centième de  $\mu\text{m}$  à quelques centaines de  $\mu\text{m}$ .

Le rayonnement solaire peut être réfléchi, diffusé ou absorbé :

- **Réfléchi** par la surface terrestre, c'est-à-dire renvoyé dans une direction privilégiée (réflexion dite spéculaire) ou de manière diffuse. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope.
- **Diffusé**, c'est-à-dire renvoyé dans toutes les directions. Le phénomène de diffusion se produit dans un milieu contenant de fines particules ou des molécules et dépend fortement de la taille des particules considérées.
- **Absorbé** par les composants gazeux de l'atmosphère. Cette absorption est dite sélective, car elle s'opère pour des valeurs de longueur d'onde bien précises. Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau, à l'ozone, au dioxyde de carbone et, à un degré moindre, à l'oxygène.[28]

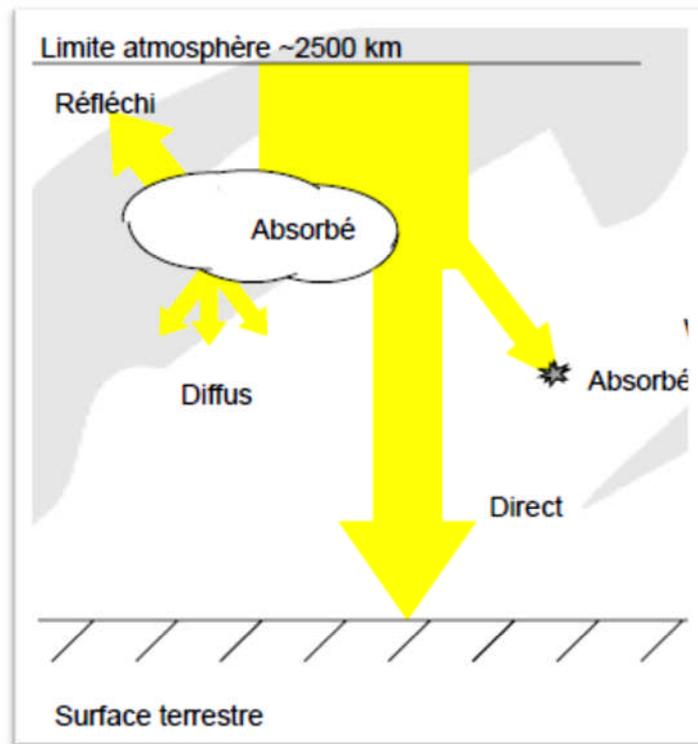


Figure II.7 : Le rayonnement solaire [28]

### II.3.6.1.5 Mouvement de la terre autour du soleil :

La trajectoire de la terre autour du soleil s'appelle (l'elliptique), la distance terre-soleil est minimal au début de janvier et maximal au début de juillet.

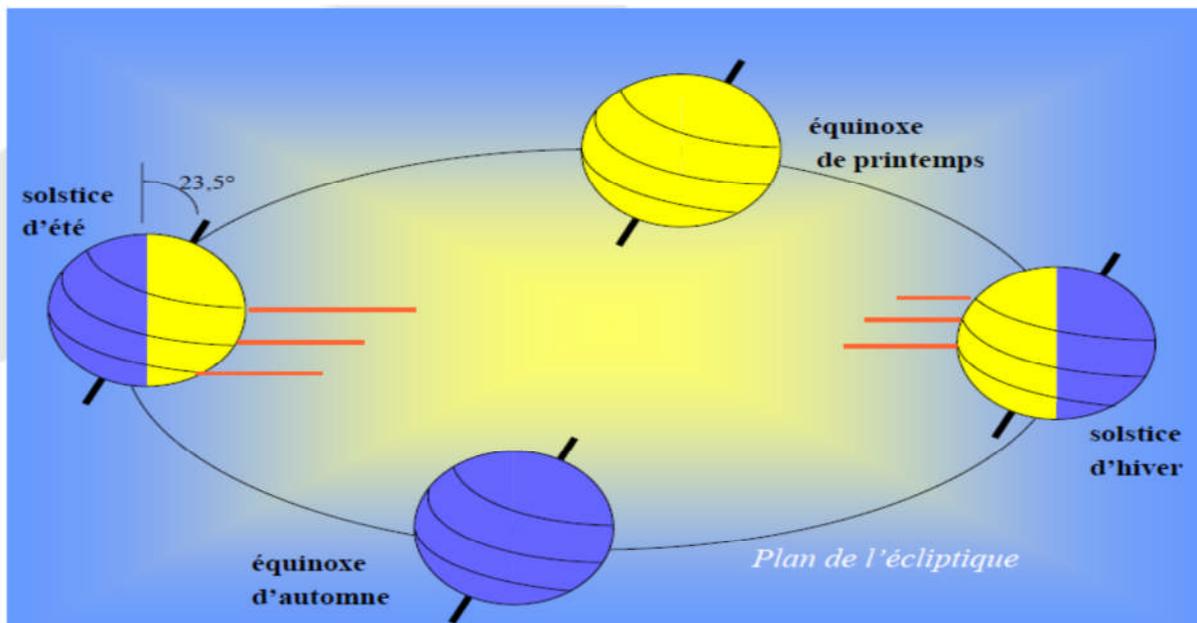


Figure II.8 : Mouvement de la terre autour du soleil.[27]

**II.3.6.1.6 Mesure du rayonnement solaire :**

Pour mesurer le rayonnement solaire au niveau de sol on peut utiliser les instruments suivants :

**A. Le radiomètre :[29]**

Le radiomètre est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin.

**B. Le pyranometre :[30]**

Le pyromètre est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.

**C. Le pyréliomètre :[31]**

Le pyréliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale.

**II.3.6.1.7 La sphère céleste :**

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre d'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps.

**II.3.6.1.8 Coordonnées célestes :**

**A. Coordonnées géographiques :[32]**

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

1. **La longitude(L) :** est comptée positivement de  $0^\circ$  à  $+180^\circ$  vers l'est est négativement de  $0^\circ$  à  $-180^\circ$  vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.

2. **La latitude(°)** : permet de récupérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle est comptée positivement de 0° à +90° vers le nord et négativement de 0° à -90° vers le sud.

### B. Coordonnées horaires :

1. **L'angle horaire( $\omega$ )** : C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local.

La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après midi et augmente de 15° par heure (donc un tour de 360° en 24 heures).

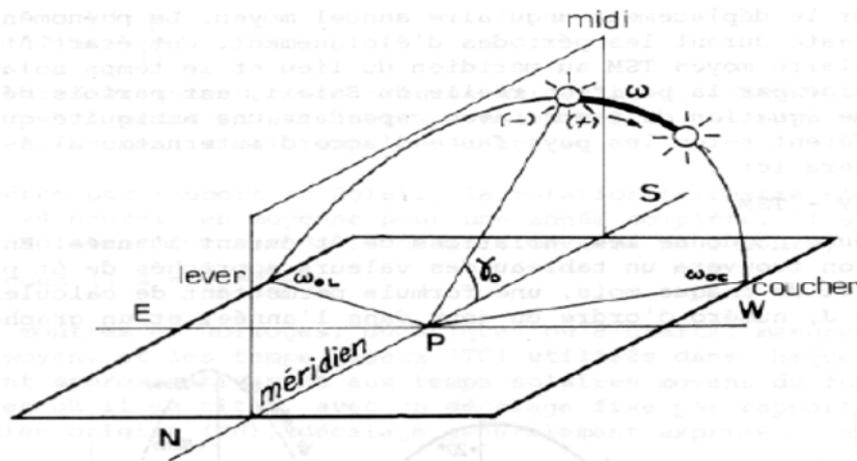


Figure II.9 : L'angle horaire( $\omega$ ) [32]

### 2. Déclinaison

La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial. [2,12]

- n: le numéro de jour dans l'année

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(2\pi \frac{284 + n}{365}\right) \quad \text{II.9}$$

- La déclinaison varie entre -23.45° (le 21 décembre) et +23.45° (le 21 juin).

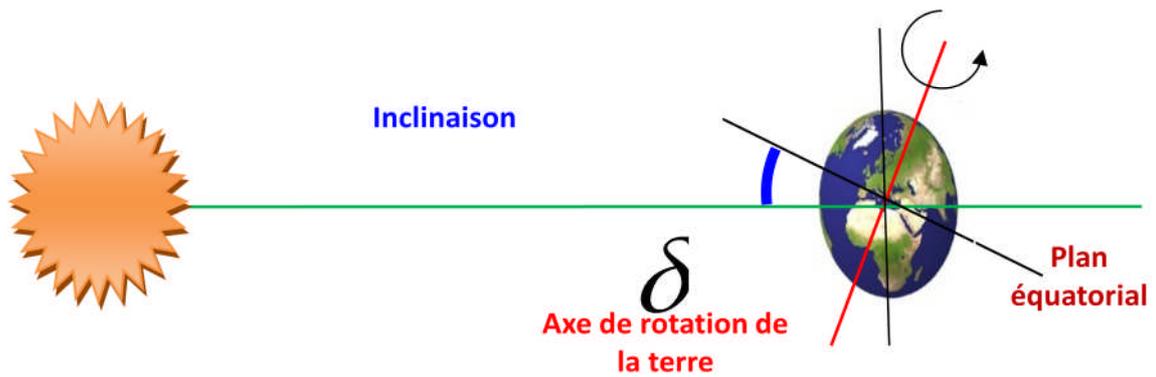


Figure II.10 : Représentation du mouvement de la terre autour du soleil.

Elle est comptée positivement de  $0^\circ$  à  $+90^\circ$  (pole boréal), et négativement de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  (pole austral).

### C. Coordonnées horizontales :

La direction du soleil dans le ciel est repérée par l'intermédiaire de deux angles :

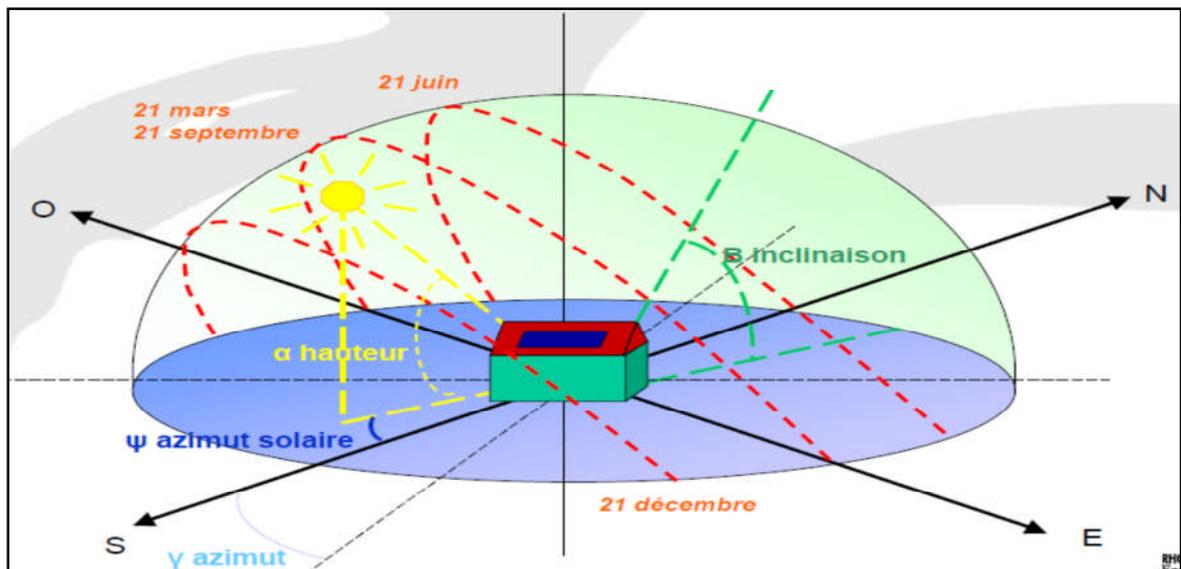


Figure II.11 : Position du soleil. [33]

#### 1. Azimut du soleil :

Angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. Cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.

#### 2. La hauteur de soleil (h):

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal.

$$\sin(h) = \sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad \text{II.10}$$

Avec  $\delta$  : La déclinaison ;  $L$  : l'attitude du lieu ;  $\omega$  : l'angle horaire

### II.3.6.1.9 Temps solaire :

#### 1. Le temps solaire vrai (TSV)

Le temps mis par le soleil entre deux passages consécutifs au méridien d'un lieu (direction Nord-Sud) a été nommé temps solaire vrai, on note **TSV**. Le temps solaire vrai est donc un temps local puisqu'il est lié directement à la rotation de la terre sur elle-même [18,20]

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad \text{II.11}$$

#### 2. Temps solaire moyen (TSM) :

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, il est donné par la relation suivante :

$$\text{TSV} = \text{TSM} - E_t \quad \text{II.12}$$

Où :

$$E_t = 9.87 \sin \left[ 2 \frac{360}{365} (N - 81) \right] \quad \text{II.13}$$

$$- 7.53 \cos \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right] - 1.5 \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right] \quad \text{II.14}$$

$E_t$  : est l'équation du temps exprimée en minutes.

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

#### 3. Le temps civil (TC) :

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

Le temps universel (TU) :

Le temps universel est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine), appelé encore GMT (Greenwich Mean Time). Est donné par la relation suivante : [18,20]

$$TU = TSM - \frac{L}{15} \quad \text{II.15}$$

Où : L est la longitude, tel que :

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

L>0 : pour les sites situés à l'Ouest de Greenwich.

L= : pour les sites situés au méridien de Greenwich.

#### **4. Le temps légal (TL) :**

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heure qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. Est donné par la relation suivante : [18,20]

$$TL = TU + \Delta H \quad \text{II.16}$$

Où :

$\Delta H$  : est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré,

#### **II.3.6.1.10 Estimation horaire de l'ensoleillement :**

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieur de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre – Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à 1367 W/m<sup>2</sup> par C.FROHLIH et C.WEHLRI du centre radiométrique mondial de Davos (Suisse), essentiellement d'après des résultats de mesures faite entre 1969 et 1980 par FROHLIH, 1978 : sept séries de mesures effectuées par des radiomètres installés sur des fusées ou des ballons stratosphériques et une série de mesures effectuées par un radiomètre embarqué sur un satellite. Cette valeur de la constante solaire a été adoptée par la Commission des Instruments et des Méthodes d'Observation (CIMO) de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) en octobre 1981. [28]

La relation ci-dessous donne la valeur corrigée de la constante solaire : [20,34]

**Chapitre II**

$$I_c = I_0[1 + 000340 \cos(30(m - 1) + N)] \quad \text{II.17}$$

Où :

$I_0$  : 1367 W/m<sup>2</sup>.

m: le numéro du mois dans l'année.

N : le numéro du jour dans le mois.

**II.3.6.1.11 Calcul du rayonnement journalier moyen mensuel :**

Hors atmosphère :  $H_0$  (Wh/m<sup>2</sup>/j)

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{0n} * (\cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_s + \sin L \cdot \sin \delta) \quad \text{II.18}$$

$$I_{0n} = I_0 * (1 + 0.034 \cos 360 \frac{n}{365}) \quad h_j \quad \text{II.19}$$

$I_0$  : La constante solaire

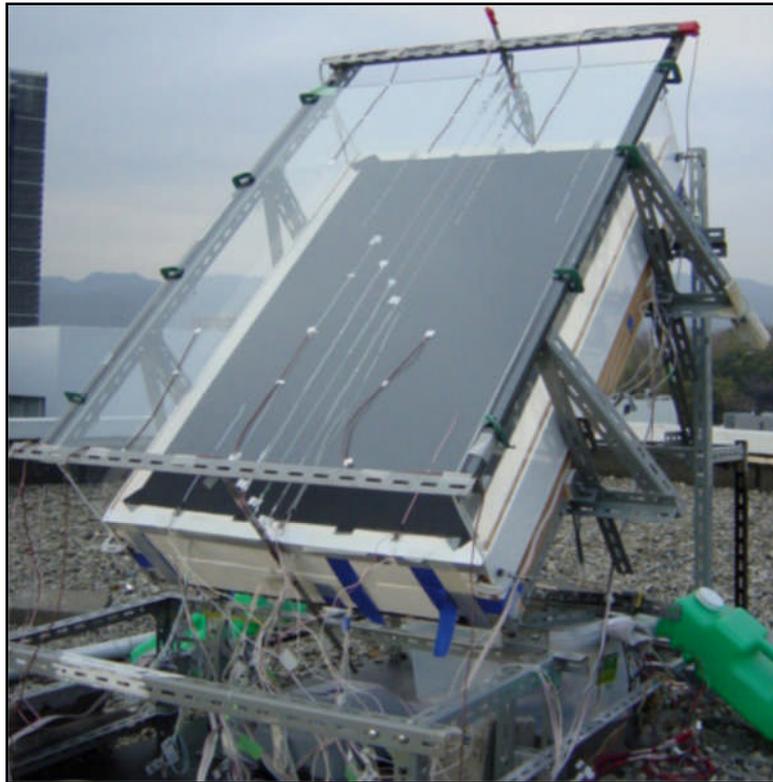
$I_{0n}$ : puissance du rayonnement globale en présence de l'atmosphère

$L$ : Latitude de lieu                       $\delta$  : La déclinaison du soleil

$n$ : Le numéro de jour                       $\omega_s$  : L'angle solaire

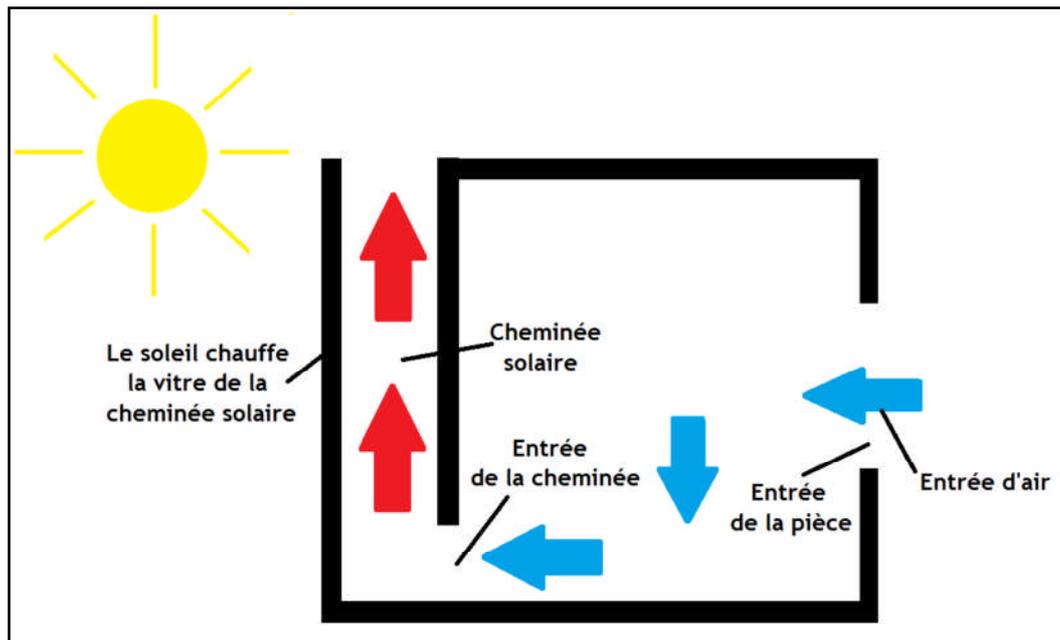
**II.3.6.2 La cheminée solaire :**

Une cheminée solaire (appelé également cheminée provençale ou cheminée thermique) est un dispositif permettant d'améliorer la ventilation naturelle d'un bâtiment en utilisant le mouvement convectif de l'air chauffé passivement dans un conduit exposé au rayonnement solaire. Dans sa plus simple forme, la cheminée solaire est constituée d'une cheminée peinte en noir. Pendant le jour, l'énergie solaire réchauffe le conduit de cheminée et l'air contenu à l'intérieur, y créant un appel d'air. L'aspiration ainsi créée à sa base peut être utilisée pour ventiler et refroidir le bâtiment en dessous. La figure (II.12) montre une photo réelle d'une cheminée solaire installée pour effectuer une expérience.



**Figure II.12: photo réelle de la cheminée solaire [19]**

Une cheminée solaire est une grande cavité généralement orientée vers le côté ensoleillé d'une construction, constituée d'un absorbeur sombre placé derrière un vitrage. Son principe de fonctionnement repose sur l'effet de serre résultant de l'énergie solaire captée par le plan de verre et piégé dans le vide existant entre le vitrage et l'absorbeur. L'air est chauffé par la radiation solaire provoquant les forces de flottabilité qui conduit son déplacement vers le haut et en dehors de la cheminée solaire. Suivant le bilan de masse, l'air épuisé de la cheminée induit l'air extérieur frais par des ouvertures telles que des portes et des fenêtres fournissant ainsi la ventilation dans la construction.



**Figure II.13: Principe de ventilation d'une construction munie d'une cheminée solaire**

Le principe de ventilation par cheminée solaire est principalement basé sur l'effet de tirage thermique qui est causée par les différences de densité entre l'intérieur et l'extérieur de construction. Il dépend des paramètres comme la hauteur; le gradient de température ainsi la conception et endroit d'admissions de ventilation.

#### **II.3.6.2.1 Les différentes configurations de cheminée solaire :**

La ventilation par la cheminée solaire n'est pas nouvelle et a été employée pour des dizaines d'années. Elles ont été trouvées dans les constructions historiques, tels que la villa sicilienne « salles de Scirocco », remontant au 16ème siècle où elles ont été employées en accord avec des couloirs et des dispositifs souterrains d'eau pour fournir le rafraîchissement. La structure conique au-dessus de la salle de Scirocco illustrée dans la figure (III.13) a agi comme une cheminée solaire en augmentant la température d'air en dedans, créant de ce fait un effet de tirage thermique, le flux d'air incité est refroidi dans le couloir souterrain et d'eau avant de régénérer des occupants dans la salle de Scirocco.

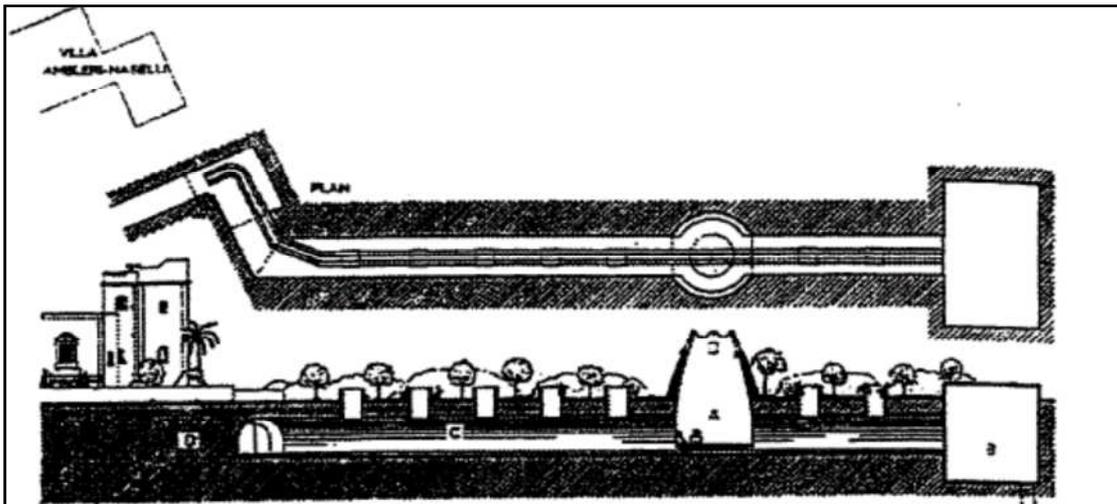


Figure II.14: Plan et section du système de refroidissement souterrain de la villa Aleri-Nasseli [35]

Il existe de nombreuses variétés de dispositifs de ventilation portant le nom de cheminée solaire et qui fonctionnent selon le même principe. Une cheminée solaire pour l'usage dans des climats chauds arides peut être semblable à celle représentée dans la figure (III .14). Dans ce cas, les murs solaires sont faits à partir d'un matériau de capacité thermique élevé permettant une stratégie de refroidissement des occupants durant la nuit. Les amortisseurs sont ouverts quand l'air extérieur est frais et la chaleur stockée dans les murs est transférée à l'air dans la cheminée.

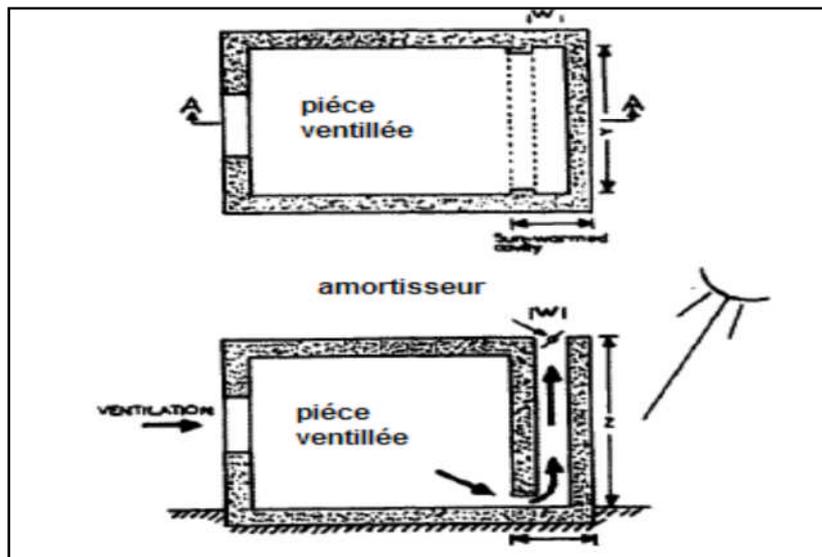
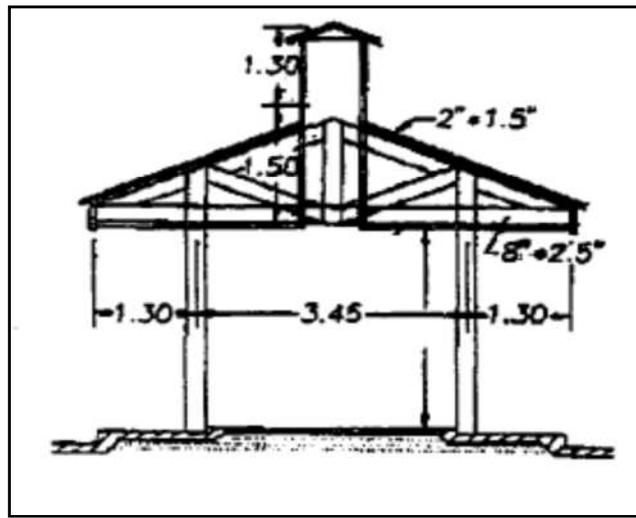


Figure II.15: Cheminée solaire avec haute capacité de stockage thermique utilisée pour la ventilation nocturne dans climats chauds arides [35]

Une cheminée solaire peut être intégrée dans le toit d'une construction tel que montré dans la figure (III.15). Une cheminée d'évacuation est prévue sur le côté de la cheminée solaire permettant l'échappement d'air. Dans ce cas, la cheminée solaire est faite de métal ondulé qui a une faible capacité de stockage thermique, permettant la ventilation dès que le soleil le chauffe d'une façon adéquate. Par conséquent, ce système est le mieux adapté pour la ventilation durant la journée.



**Figure II.16 : cheminée Solaire incorporée dans le toit d'une construction pour rafraîchissement [35]**

Un autre exemple d'une cheminée solaire incorporée au toit d'une construction est montré sur le schéma (III.16). Un capteur solaire vitré installé sur le toit en pente, réchauffe l'air avant qu'il monte dans la cheminée. L'avantage de ce système est que le capteur solaire aide en augmentant les gains solaires et la pente de la toiture peut être conçue pour capter la radiation solaire maximale.

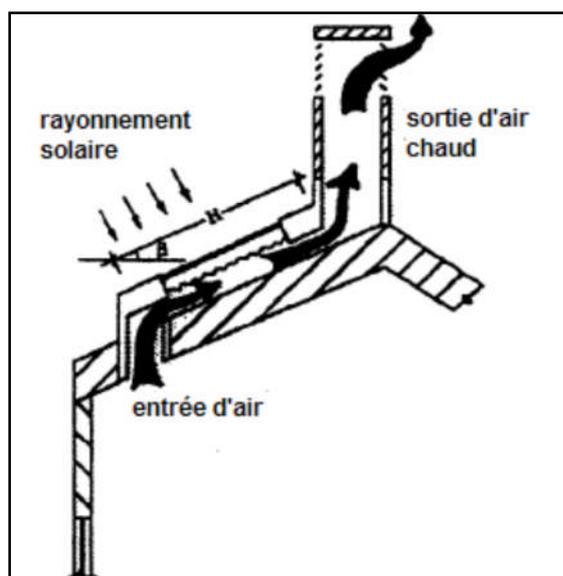


Figure II.17: cheminée solaire avec des pentes de capteurs solaires [35]

Bansal et al [35] ont proposé un système d'un tour à vent combiné à une cheminée solaire illustré à la figure (III.17). Dans ce système, la ventilation induite par vent est aidée par l'effet de tirage fourni par les cheminées solaires multiples installées aux sorties de pièce.

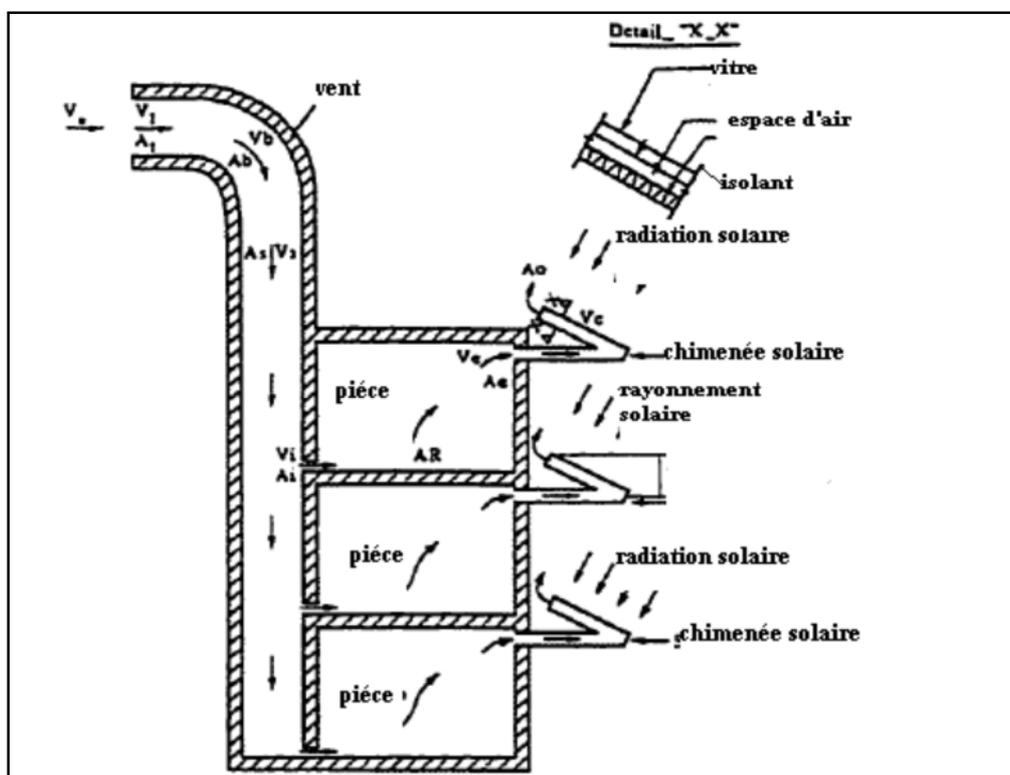


Figure II.18: system d'une cheminée solaire combinée à un tour de vent [35].

# Chapitre III

The image features the text 'Chapitre III' in a large, bold, green, sans-serif font. The text is slightly slanted to the right. Below the main text, there is a shadow effect consisting of a brown, semi-transparent version of the same text, which is also slanted and appears to be floating just below the main text, creating a 3D effect.

## *Chapitre III*

# *La ventilation et la ventilation naturelle*

### *Sommaire*

III.1 Introduction .....	45
III.2 Définition des bâtiments à basse consommation .....	45
III.3 Définition de la ventilation .....	45
III.4 Pourquoi aérer ou ventiler .....	45
III.4.1 Pour le confort .....	47
III.4.2 Pour la santé.....	48
III.4.3 Pour le bâtiment .....	48
III.5 Comment faire.....	49
III.5.1 Naturellement.....	49
III 5.2 Mécaniquement .....	50
III.6 La ventilation naturelle .....	50
III.6.1 Les fonctions de la ventilation .....	50
III.6.1.1 Le tirage thermique .....	51
III 6.1.2 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres .....	52
III.6.1.3 La ventilation naturelle par conduits verticaux .....	52
III 6.1.4 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire .....	53
III 6.1.5 La ventilation hybride .....	53
III 6.2 Avantages de la ventilation naturelle .....	53
III 6.3 Caractéristiques .....	53
III 6.4 Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle .....	54
III.6.4.1 Le mur trombe .....	55
III.6.4.2 La façade à double peau.....	56

III.6.4.3 Les écopés .....	56
III.6.4.4 Les tours à vent.....	57
III.6.4.5 Les dômes .....	60
III.6.4.6 La cheminée solaire.....	62
III 6.4.6.1 Effet de cheminée .....	63
III 6.4.6.2 Principe d'écoulement .....	63
III 6.4.6.3 Modes d'opérations d'une cheminée solaire.....	63
III 6.4.6.4 Types de cheminée solaire.....	64
III.7 Caractéristiques climatique de l'Algérie.....	65
III.7.1 Données géographiques .....	65
III.7.2 Zones climatiques en Algérie .....	65

### **III.1 Introduction :**

La ventilation naturelle est une stratégie passive, sans moyen mécanique, de maintenir un environnement intérieur confortable. Un des moyens déjà utilisés auparavant dans l'architecture traditionnelle exploitée sous plusieurs formes et sur plusieurs plans. Les systèmes de ventilation doivent satisfaire des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie.

Elle est au service de trois fonctions principales. Face à la multitude de polluants de l'air intérieur, la ventilation a d'abord un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. Cela exige le remplacement de l'air vicié par de l'air dit « neuf », c'est-à-dire supposé exempt de polluant. Il s'agit essentiellement de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables générés au sein même du bâtiment, car état actuel des connaissances montre que la santé et le confort des occupants sont avantagés ou défavorisés selon le type de gestion de l'environnement. La présence de moisissures, de poussières, de dioxyde de carbone et de tout autre contaminant pouvant nuire à la santé des occupants.

### **III.2 Définition des bâtiments à basse consommation :**

Le bâtiment basse consommation (bbc) est défini par l'arrête du 8 mai 2007 (France) relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label (haute performance énergétique).

Les bâtiments à usage autre que d'habitation sont considérés bbc lorsque la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage (calculée selon les règles THC-E) est inférieure, ou égale à 50% de la consommation conventionnelle de référence, définie à l'article 9 de l'arrêté du 24 mai 2006 relatif à la réglementation thermique 2005 (France).

### **III.3 Définition de la ventilation :**

Il existe plusieurs façons de renouveler l'air : au moyen d'équipements spéciaux (ventilation), par l'ouverture de portes ou fenêtres (ventilation intensive en complément à la ventilation ou l'aération s'il n'y a pas de dispositifs prévus pour la ventilation) et par les interstices et les fentes (infiltration/exfiltration). Ces différentes manières ne sont pas toutes aussi efficaces.

'**Ventiler**' signifie apporter de l'air frais et évacuer l'air humide et vicié d'une pièce de façon permanente. Ventiler se fait au moyen de dispositifs spécialement prévus à cet effet,

qui donnent la possibilité à l'habitant d'assurer un renouvellement de l'air permanent mais réglable. Il existe différents systèmes de ventilation.

Par contre, 'Aérer' est l'action de renouveler des quantités relativement importantes d'air, de manière non permanente, en ouvrant les portes et/ou les fenêtres, le but étant d'atteindre les mêmes résultats qu'en ventilant de manière contrôlée. C'est la méthode la plus simple pour renouveler l'air intérieur, mais pas la plus efficace. Car chaque fois que l'on aère, l'air est souvent renouvelé plus que nécessaire (5 à 40 fois plus), mais l'effet du renouvellement disparaît assez rapidement, en fonction de la situation et du degré de pollution de l'air intérieur (souvent, les concentrations de certains paramètres comme le CO<sub>2</sub> sont à nouveau dépassées après 1 heure

Il ne faut pas confondre l'aération et la ventilation intensive. La ventilation intensive s'applique également par l'ouverture de portes et/ou fenêtres, mais en complément à la ventilation permanente dans certaines circonstances particulières (par exemple, dans le cas de surchauffe, d'ensoleillement extrême, ou lors d'activités polluantes), en vue de maintenir la qualité de l'ambiance intérieure dans des limites acceptables.

Le renouvellement de l'air qui s'effectue par le biais des interstices et des fentes dans un bâtiment s'appelle l' 'infiltration' (la pénétration de l'air extérieur) et l' 'exfiltration' (l'échappement de l'air intérieur). Cette forme de renouvellement d'air n'est toutefois pas contrôlable, car elle dépend de la force du vent, de la direction du vent, des différences de températures et de l'étanchéité à l'air du bâtiment. C'est pourquoi elle est n'est pas considérée comme étant la manière la plus adéquate de garantir un renouvellement de l'air suffisant.

Etant donné que la quantité d'air à renouveler dans une pièce dépend du nombre de personnes présentes, l'aération par l'ouverture des portes ou fenêtres, ou par les interstices et les fentes, ne garantit pas un renouvellement de l'air efficace, car ces formes de renouvellement d'air sont difficilement contrôlables. Elles peuvent d'ailleurs provoquer des courants d'air et sont une source de pertes de chaleur inutile. De plus, la pièce sera fortement refroidie par l'ouverture des portes et/ou fenêtres et ne sera plus protégée contre la pluie, l'effraction, les bruits ambiants, le vent, les insectes etc.

### **III.4 Pourquoi aérer ou ventiler :**

L'activité humaine (lessiver, nettoyer, cuisiner, transpirer,...) produit pas mal de vapeur d'eau dans le logement, qui doit être évacuée pour éviter des problèmes de condensation et de moisissures. Par ailleurs, l'être humain consomme de l'oxygène, qui doit être apporté par l'air frais extérieur, sinon des troubles physiques pourraient survenir.

Ces dernières décennies (particulièrement depuis la crise pétrolière de 1973), une attention croissante a été portée à l'efficacité énergétique des bâtiments, notamment en les rendant étanches. Mais simultanément, le nombre de sources polluantes à l'intérieur du bâtiment a augmenté. Les produits d'entretien sont plus puissants, et donc plus nocifs, et de plus en plus de matériaux utilisés, comme les matériaux de construction, provoquent des irritations et ne favorisent pas une bonne régulation du climat intérieur. Les particules insalubres s'accumulent souvent à l'intérieur par manque d'aération ou de ventilation. Des études ont prouvé que la qualité de l'air intérieur est souvent bien plus mauvaise que la qualité de l'air extérieur. C'est pour ces raisons qu'aérer ou ventiler est extrêmement important.

En moyenne nous passons 80% de notre temps à l'intérieur. Pour obtenir une ambiance intérieure saine, il est nécessaire d'évacuer autant que possible l'air vicié en ventilant. Si n'est pas possible de ventiler, il faut aérer. Une bonne qualité de l'air n'est d'ailleurs pas seulement importante pour notre santé, mais également pour notre confort et pour le bâtiment lui-même !

Différents problèmes peuvent surgir suite au manque ou à l'excès de ventilation ou d'aération. Ces problèmes se situent soit au niveau de la santé, soit au niveau du confort, soit au niveau du bâtiment lui-même ou encore au niveau de la consommation énergétique.

La ventilation consiste à renouveler l'air d'une pièce ou d'un bâtiment.

- Elle agit directement sur la température de l'air, puisqu'on remplace un volume d'air à la température  $T_{int}$  par un volume d'air équivalent à la température  $T_{ext}$ .
- Elle agit indirectement, donc plus lentement, sur les températures de surface des parois, car ces dernières peuvent se refroidir ou se réchauffer par convection au contact d'un air plus froid ou plus chaud.

### **III.4.1 Pour le confort :**

#### **a. Définition :**

Le confort est une notion globale: chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même.[36]

#### **b. Le confort respiratoire :**

La bonne qualité d'air intérieur traduit par la ventilation est importante pour les processus métaboliques et pour l'hygiène de chacun. La ventilation et la réduction des pollutions à la source sont les garantes d'une meilleure respiration et d'une meilleure santé [37].

L'indicateur de la qualité de l'air est donné dans certaines études par la concentration en dioxyde de carbone [30]. Il a été établi une plage de concentrations de dioxyde de carbone correspondant à une qualité d'air acceptable. Le dioxyde de carbone est produit par la respiration humaine, et sa concentration ne peut être réduite de façon significative que par une ventilation naturelle, ou artificielle suffisante. Le degré de ventilation nécessaire pour maintenir une faible teneur en dioxyde de carbone à l'intérieur permet également de réduire les concentrations d'autres polluants intérieurs et d'améliorer la qualité générale de l'air à l'intérieur.

### **c. Le confort thermique :**

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, l'intensité de rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement.[38]

### **III.4.2 Pour la santé :**

Certains éléments relatifs à l'environnement intérieur peuvent causer des troubles de santé. Ceux-ci peuvent varier en fonction de l'âge, du sexe, de l'état de santé,... mais surtout en fonction de la sensibilité de chacun. En plus, on peut distinguer les troubles de santé objectifs des troubles de santé subjectifs.

### **III.4.3 Pour le bâtiment :**

La plupart des problèmes qui surviennent au niveau du bâtiment sont liés à la présence d'humidité non désirée. L'humidité dans un logement peut provenir d'une fuite dans la toiture, d'un solin mal achevé, de fenêtres ou de portes qui se ferment mal, de condensation sur des ponts thermiques, d'humidité ascensionnelle, de fuites dans des canalisations,...

Etant donné que l'humidité peut causer des dégâts au bâtiment et mener à des situations malsaines, il faut intervenir rapidement. Essayez d'abord de résoudre le problème au niveau de la construction, c'est-à-dire en réparant les fuites, en appliquant une couche hydrofuge et en ventilant suffisamment. Parallèlement, une solution curative aux problèmes est également nécessaire. L'humidité engendrée par la condensation peut mener aux problèmes suivants:

- Détérioration des finitions: peintures, papier peint, plafonnage...
- Formation de moisissures pouvant atteindre la structure du bâtiment ou le bois
- Diminution du pouvoir isolant.

### **III.5 Comment faire :**

La quantité d'air nécessaire dépend d'un certain nombre de facteurs. Les plus importants sont :

- Le taux d'occupation de la pièce
- La nature des activités
- La quantité et la nature de la pollution (provenant aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur)
- L'environnement extérieur.
- L'entretien hygiénique.

Théoriquement, un renouvellement de l'air de 3.6 m<sup>3</sup>/h et par m<sup>2</sup> de superficie de plancher est nécessaire pour garantir une qualité de l'air acceptable. En pratique, il est difficile d'atteindre un tel débit de ventilation. Il est donc préférable que la ventilation ou aération soit la plus efficace possible.

L'efficacité de l'aération ou de la ventilation naturelle est déterminée principalement par le débit de ventilation mais aussi par les mouvements des courants d'air. Le débit de ventilation est déterminé par les différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur, par le vent et par la dimension des ouvertures. Pour les mouvements de l'air, ce sont la forme, l'emplacement et le nombre d'ouvertures qui sont déterminants. Dans le cas d'une ventilation unilatérale, ce sont les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur, ainsi que la hauteur de l'ouverture qui jouent un rôle important.

#### **III.5.1 Naturellement:**

Grâce au vent et aux différences de températures, l'air frais est amené par des grilles réglables et qui peuvent être fermées, dans les châssis ou les murs extérieurs des locaux secs. Dans les constructions existantes, des grilles de ventilation réglables peuvent être placées sur le vitrage, entre l'ouvrant et le dormant inférieur, au dessus du châssis ou intégrées dans le caisson à volets ou dans le mur. Les ouvertures doivent être réglables manuellement ou automatiquement (auto réglables ou régulées par la demande) au moyen de glissières, clapets ou tambours, et le nombre de positions doit être suffisant. Les grilles auto réglables reprennent les pressions de vent trop élevées pour éviter de ventiler excessivement et éviter les courants d'air. Les grilles régulées par la demande se règlent automatiquement en fonction des besoins en ventilation. La régulation peut se faire sur base de détection de présence ou de mouvement, sur base de l'humidité de l'air ou du taux de CO<sub>2</sub>. Dans certaines situations des grilles d'amenée d'air acoustiques peuvent être indiquées. En cas d'absence de dispositifs de

ventilation, l'air peut être amené par l'ouverture de portes et/ou fenêtres, éventuellement en mode oscillant. Mais ce n'est pas la manière la plus recommandée parce que ces ouvertures sont souvent bien plus grandes que nécessaire.

### **III 5.2 Mécaniquement :**

L'air frais est aspiré par des ventilateurs électriques et amené dans les locaux secs au moyen de conduits et de bouches d'insufflation. Ce type de ventilation n'est pas approfondi.

### **III.6 La ventilation naturelle :**

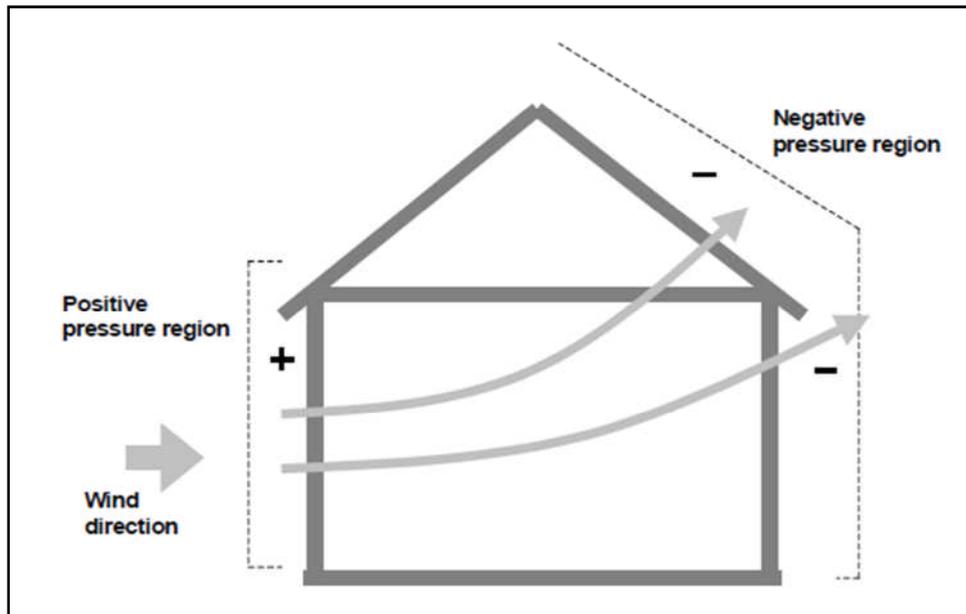
La ventilation naturelle est un système de ventilation permettant de renouveler l'air intérieur des bâtiments en reposant sur l'action de deux forces principales, le vent et l'écart de température entre l'air extérieur et l'air intérieur (Figure III.1 et Figure III.2). Ces deux moteurs sont variables dans le temps et suivant le site et rendent ainsi difficile le contrôle des débits d'air internes.

Le vent soufflant sur un bâtiment induit des pressions positives sur les façades face au vent, et des pressions négatives sur les façades sous le vent et sur le toit (Figure III.1). L'air peut ainsi balayer le logement { travers les différentes ouvertures (défauts d'étanchéité, entrées d'air) des zones de haute pression vers celles de basse pression. Le vent agit également sur le débouché de conduit en augmentant les débits extraits.

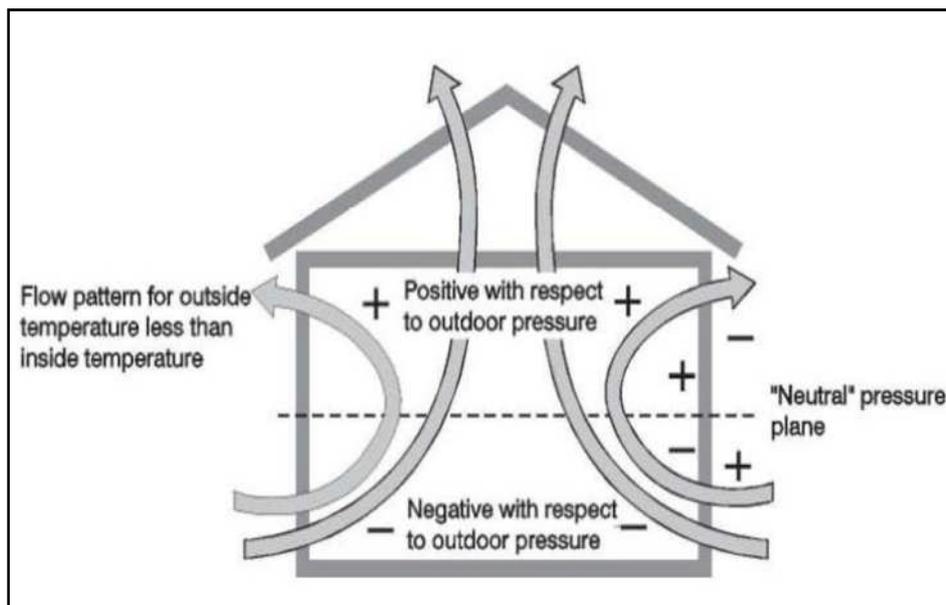
#### **III.6.1 Les fonctions de la ventilation :**

Les systèmes de ventilation doivent satisfaire à des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie. La ventilation est au service de trois fonctions principales [39].

- La ventilation a un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. Il s'agit essentiellement de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables au sein du bâtiment.
- La ventilation a un rôle d'entretien sert à éviter ou d'éliminer la condensation de la vapeur d'eau sur les parois. Elle permet d'atteindre cet objectif de pérennité du bâti en remplaçant l'air humide par de l'air moins humide. Cette fonction est étroitement liée à la ventilation d'hygiène.
- Le troisième rôle est l'obtention d'un confort d'été en favorisant les échanges thermiques convectifs et évaporatifs. L'augmentation du renouvellement d'air permet d'accroître les échanges avec l'air extérieur et de refroidir le bâtiment lorsque la température de l'air extérieur est inférieure à celle de l'air intérieur. Le renouvellement d'air doit être limité quand les températures s'inversent.



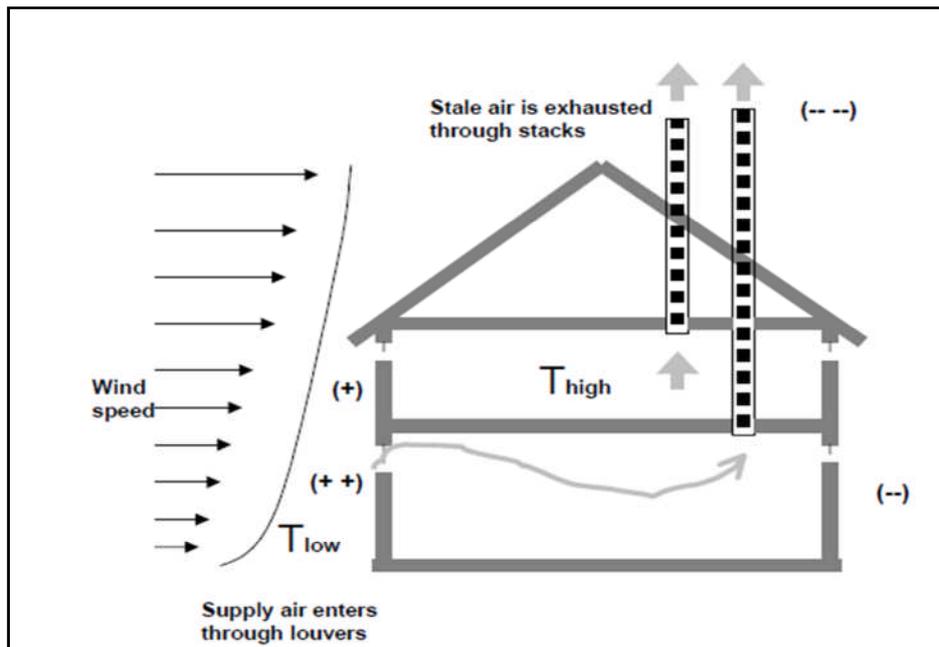
**Figure III.1 : Action du vent sur les bâtiments [39].**



**Figure III.2 : Effet du tirage thermique dans les bâtiments.**

### **III.6.1.1 Le tirage thermique :**

La dépression qui génère les mouvements d'air est créée par la différence de masse volumique de l'air plus ou moins chaud. « L'air chaud a tendance à monter » (Figure III.3). Si on prévoit des ouvertures en partie basse pour introduire d'air extérieur dans un espace à rafraîchir, et des ouvertures en partie haute pour laisser l'air s'échapper, il se produit un renouvellement d'air par effet de cheminée.



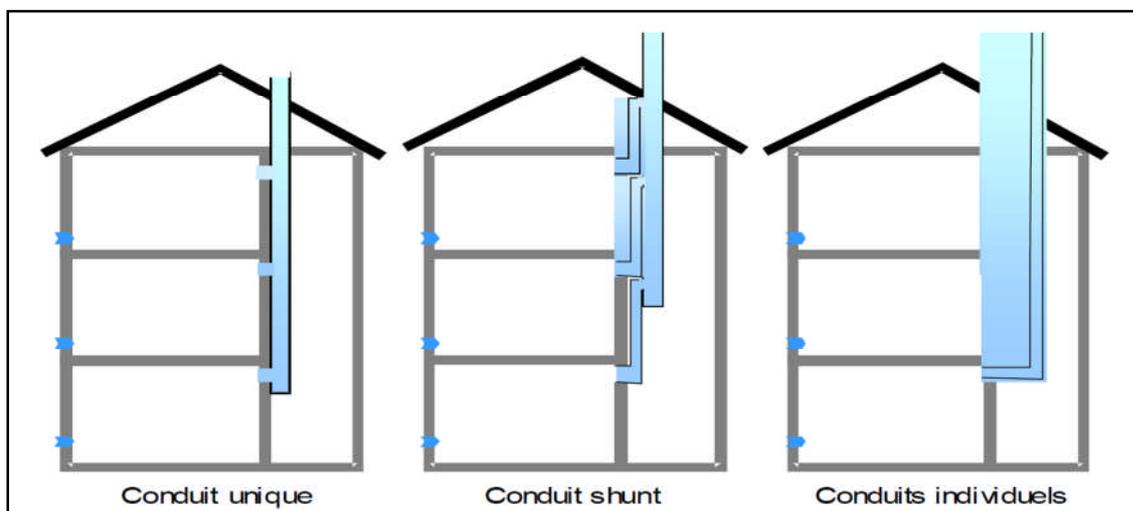
**Figure III.3 : Effets combinés du vent et du tirage thermique [39].**

**III 6.1.2 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres :**

La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres permet de réduire les infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe et donne aux occupants la possibilité de contrôler les ouvertures des fenêtres et des entrées d'air en façade.

**III.6.1.3 La ventilation naturelle par conduits verticaux :**

La ventilation naturelle par conduits verticaux à tirage naturel est largement utilisée en France dans le résidentiel collectif existant construit avant 1982 [39]. Le bâtiment doit être suffisamment étanche afin d'éviter des infiltrations d'air importantes qui sont nuisibles au bon fonctionnement du système.



**Figure III.4 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux.**

### **III 6.1.4 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire :**

Le principe général est d'assister le phénomène de tirage thermique en utilisant l'énergie solaire pour augmenter les écarts de températures et donc l'effet de tirage thermique. Dans le présent travail, on s'intéresse à ce dernier type de ventilation.

### **III 6.1.5 La ventilation hybride :**

La ventilation hybride est un système qui combine à la fois les stratégies passives de la ventilation naturelle et les moyens actifs de la ventilation mécanique pour maintenir un environnement confortable. Selon les conditions météorologiques disponibles, le système de ventilation du bâtiment échange entre les modes passif et mécanique de manière à assurer constamment une ventilation et un refroidissement des espaces adéquat tout en minimisant la consommation énergétique [40].

### **III 6.2 Avantages de la ventilation naturelle :**

- Procure une ventilation qui assure la sécurité, les conditions de confort et de santé aux occupants des bâtiments sans l'utilisation de ventilateur,
- Procure un rafraîchissement passif sans système thermodynamique,
- Réduit les coûts de construction et d'utilisation des bâtiments quand elle est conçue soigneusement,
- Réduit les consommations d'énergie liées au système de conditionnement et aux ventilateurs,
- Elimine les bruits de ventilateurs.

### **III 6.3 Caractéristiques :**

La ventilation permet le rafraîchissement en évacuant la chaleur du corps humain. Les mouvements d'air peuvent être induits par des forces naturelles (vent et tirage thermique) ou par des ventilateurs. Les écoulements d'air sont le résultat de différences de pression qui se créent autour et à l'intérieur des bâtiments. L'air s'écoule des hautes vers les basses pressions. Quand l'air extérieur est plus froid que celui situé à l'intérieur du bâtiment, la ventilation peut extraire les gains internes ou solaires durant la journée et peut fournir le bâtiment en air frais pendant la nuit si nécessaire. Au niveau du corps humain, les mouvements d'air augmentent les échanges convectifs et accroissent le taux d'évaporation de la sueur au niveau de la peau. L'évaporation est un mécanisme de rafraîchissement très puissant qui peut apporter une sensation de confort durant les périodes chaudes.

Néanmoins, pour être efficace, il ne faut pas que l'air environnant soit trop humide (humidité relative inférieure à 85%). Les mouvements turbulents de l'air favorisent ces deux

phénomènes d'évacuation de la chaleur. La conception du bâtiment et ses alentours ont tous deux une influence importante sur l'efficacité du rafraîchissement naturel.

Le débit d'air traversant le bâtiment est fonction de sa localisation, du dimensionnement et des caractéristiques des ouvertures, de l'effet d'obstacles internes à l'écoulement de l'air et des effets de la forme externe du bâtiment en relation avec la direction du vent (présence de mur en aile). Les écoulements d'air dans les bâtiments doivent être considérés comme tridimensionnels.

Pour que les forces de poussée puissent agir, il est nécessaire qu'il existe un gradient de température significatif entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment et une résistance minimale à l'écoulement de l'air. L'écoulement complet résulte de la combinaison du tirage thermique et des champs de pression dus au vent. La conception des systèmes de ventilation doit aussi prendre en compte l'éclairage naturel, les apports solaires, et des considérations de sécurité et de nuisance sonore.

### III 6.4 Différentes cavités utilisées en ventilation naturelle :

Les cheminées solaires, les façades à doubles peaux et les murs trombe sont des cavités ouvertes, ont conçu pour se servir de l'énergie solaire pour le chauffage passif, ventilation naturelle et dans le cas de la façade à double peau fournit également la lumière du jour. La figure (II.5) montre les trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle dans des bâtiments. La flottabilité thermique est le mécanisme principal pour la circulation d'air dans les cavités ouvertes.

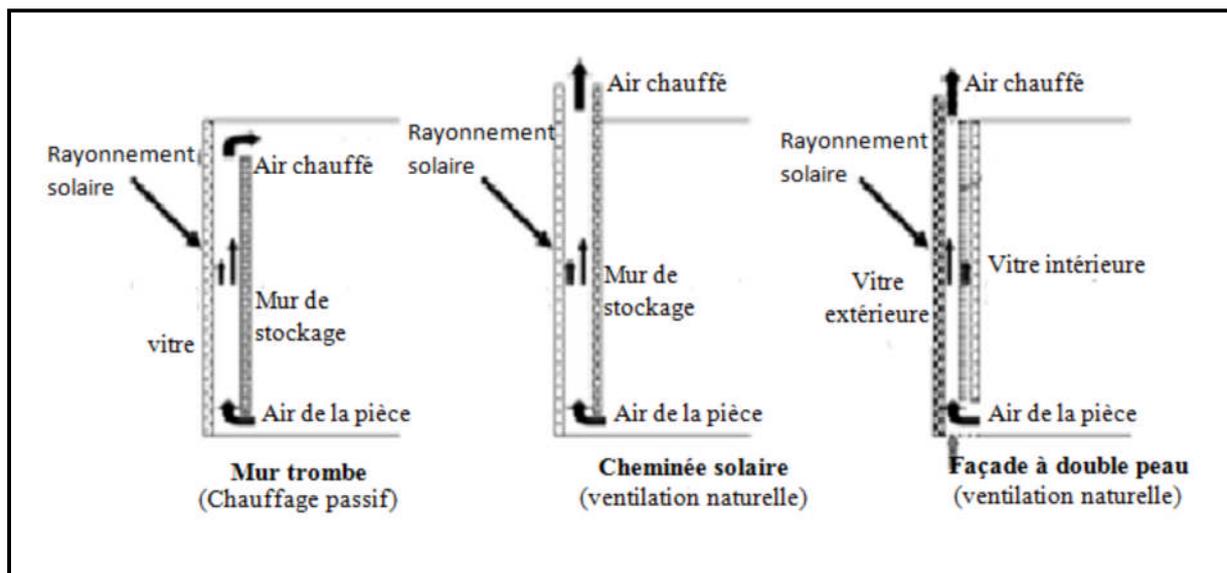


Figure III.5 : Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle [6].

### III.6.4.1 Le mur trombe :

Le mur trombe consiste à un mur en maçonnerie lourde muni de deux orifices et disposé derrière un vitrage orienté vers le sud. Il rassemble et stocke l'énergie solaire pour fournir le chauffage de la pièce en hiver ou facilite la ventilation de la pièce en été.

Le mur Trombe-Michel, ou mur trombe, est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur. Le rayonnement solaire vient chauffer une lame d'air présente entre un vitrage à faible émissivité et un mur à forte inertie thermique. Via un système de clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur, une circulation d'air est possible entre l'intérieur de la pièce et la lame d'air chauffée. Il existe deux modes de fonctionnement

- Lorsque le rayonnement est présent dans la journée, il est possible d'ouvrir les clapets afin de permettre une convection naturelle. L'air de la pièce, relativement plus froid, vient se réchauffer au contact du mur capteur, et ainsi créer un mouvement convectif qui va permettre le réchauffement de la pièce en contact avec le mur. Il y a donc circulation aéraulique entre la lame d'air et le volume adjacent.
- En l'absence d'ensoleillement, on ferme les clapets, et la chaleur emmagasinée par le mur capteur est restituée par rayonnement à la pièce, créant ainsi une convection naturelle, mais cette fois-ci sans mouvement d'air.

Cette technique permet également d'éviter les surchauffes en été, grâce à la présence d'une ouverture, situé en partie supérieure du vitrage. En position ouverte, ce clapet permet d'évacuer l'air chauffé produit dans la lame d'air. Ceci n'est possible que si les clapets du mur capteur, sont eux fermés.

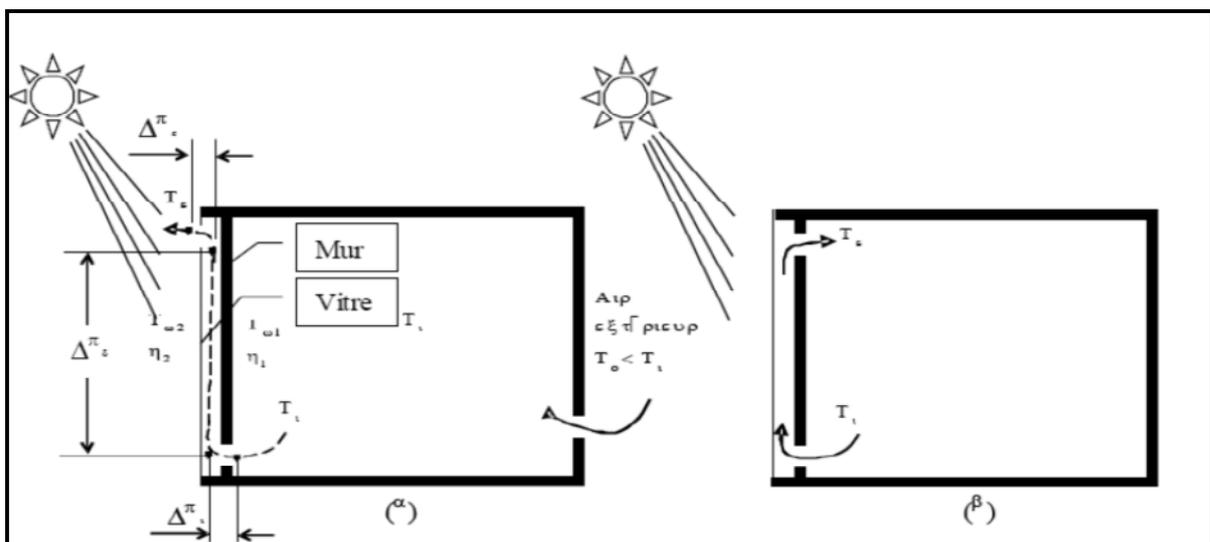


Figure III.6: Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage

### III.6.4.2 La façade à double peau:

Une façade à double paroi d'un bâtiment se compose d'une paroi intérieure et l'autre externe, elle fournit au bâtiment l'isolation thermique. Elle a une fonction de régulation thermique du bâtiment.

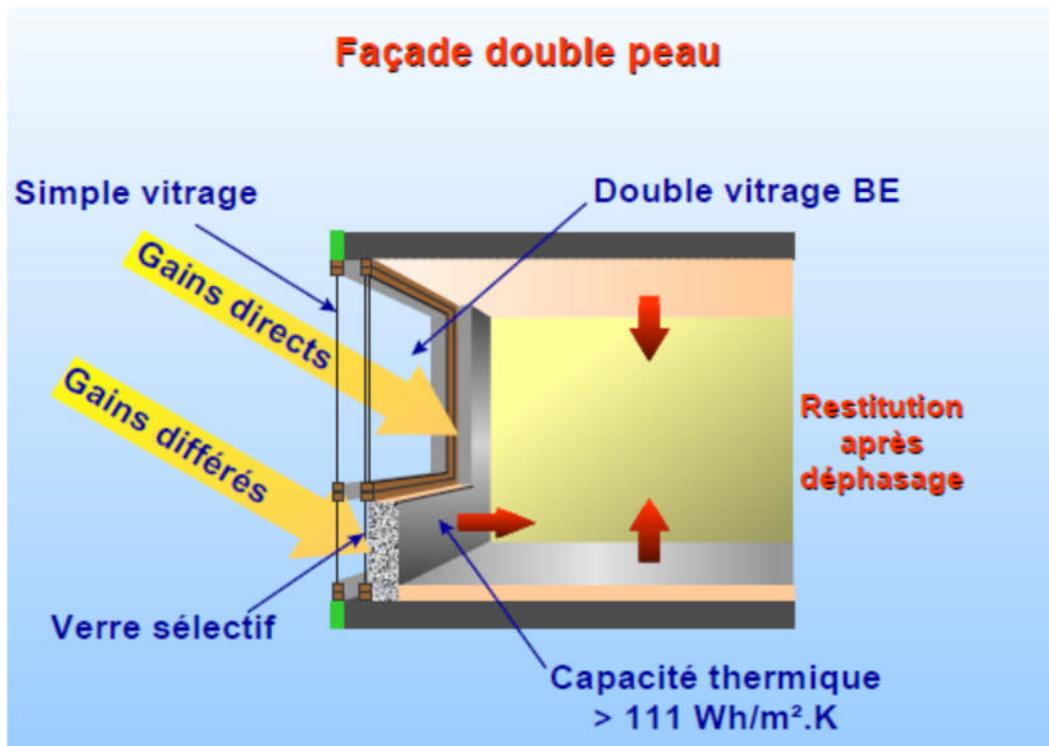


Figure III.7: Façade double peau [37]

La façade à double peau protège le bâtiment aux contraintes météorologiques par rapport aux rayonnements directs du soleil, elle évite les surchauffes d'été et limite le recours à la climatisation. En évitant l'action directe du vent, elle supprime l'effet de paroi froide en hiver, qui produit l'inconfort d'intérieur. Elle permet aussi d'apporter une température et une humidité de l'air agréable. En comparant avec la façade glacée traditionnel. Elle peut également être employée pour la ventilation naturelle du bâtiment.

### III.6.4.3 Les écopés :

Ce sont des dispositifs de prise d'air de grande dimension intégrés à la toiture. Elles améliorent le potentiel de ventilation naturelle de l'habitat, nécessaire en climat chaud. Elles permettent de ventiler les pièces centrales, essentielles aux volumes intérieurs entièrement traversants, elles s'avèrent idéales pour la ventilation des bâtiments peu poreux. Il existe deux types d'écopés : les écopés d'extraction et les écopés d'admission. Les écopés ouvertes vers le vent augmentent l'admission de flux à l'intérieur. Celles ouvertes à l'encontre du sens du vent augmentent l'extraction des flux venant de l'intérieur. Les écopés d'extraction sont

généralement plus efficaces que les écopos d'admission car elles placent l'intérieur en légère dépression.

Une mauvaise implantation risque de créer à l'intérieur une zone sous ventilée, comme le montre la figure (III.8). Lorsqu'une écope est placée face au vent, elle doit se trouver le plus près possible de la façade au vent, et inversement. Une faible ouverture en façade au vent risque de favoriser un écoulement de l'air vers la façade sous le vent. Le même phénomène advient dans le cas d'une ouverture importante sur la façade sous le vent et une écope en admission. Afin de capter des écoulements rapides, frais, moins poussiéreux et moins humides, les écopos sont situées en hauteur. Pour des vents dominants de différentes directions, la conception des écopos est multi directionnelle. Plus complexes, ces écopos sont généralement moins efficaces que celles à une seule direction. D'après les travaux menés dans la soufflerie atmosphérique du CSTB, la section de l'ouverture verticale d'une écope doit représenter environ 20 % de la surface verticale de l'enveloppe du bâtiment perpendiculaire au vent.

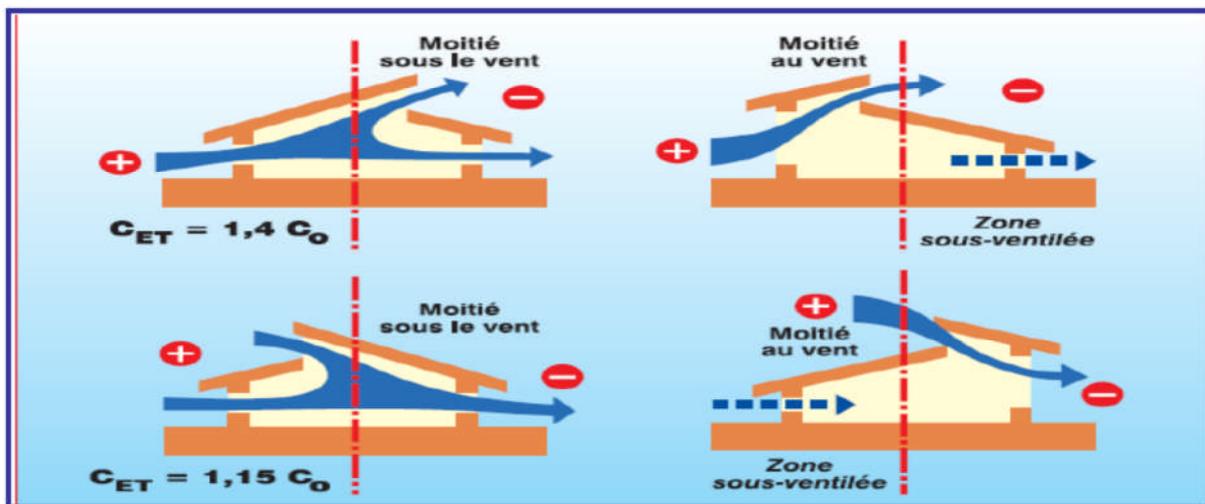


Figure III.8: Influence de l'implantation de l'écope en toiture

### III.6.4.4 Les tours à vent :

La tour à vent telle que son nom l'indique, est un outil de ventilation utilisé pour obtenir un refroidissement naturel. Elle a été employée pendant des siècles dans les pays à climat chaud et aride, en particulier en Iran. Les tours à vent dans les villes centrales de l'Iran sont connues en tant que « badgir » voulant dire capteurs à vent. Des tours à vents se trouvent dans l'ensemble du moyen orient, de l'Égypte au Pakistan leurs formes s'adaptant aux caractéristiques du vent ainsi qu'au mode de construction. Les tours à vent s'appellent

malqaf en Egypte, Mangh au Pakistan et Badgir (ou Barajil ou Barjeel, littéralement « attrape vent ») au Emirats Arabes Unis et en Iran [38]. L'origine et la date exacte de l'utilisation de la première tour à vent n'est pas définie et convenue par les historiens et chercheurs. Nous pouvons citer les plus fréquentes, à savoir :

L'idée du malqaf ou la tour à vent remonte aux périodes historiques très lointaines. Elle a été employée par les Egyptiens antiques dans les maisons d'Al-Amarna de Tal et est représentée dans des peintures de mur des tombeaux de Thèbes. Un exemple est la maison pharaonique du Bout-Amun représentée sur son tombeau, qui date de la dix-neuvième dynastie (1300 avant J.C.).

La première évidence historique des tours à vent remonte au quatrième siècle avant Jésus Christ. Un exemple d'une tour à vent simple a été trouvé en Iran par une expédition japonaise dans une maison à l'emplacement du chackmaq de Tappeh environ huit kilomètres au nord de Shahrood et les pentes méridionales des montagnes d'Alborz au nord-est de l'Iran .

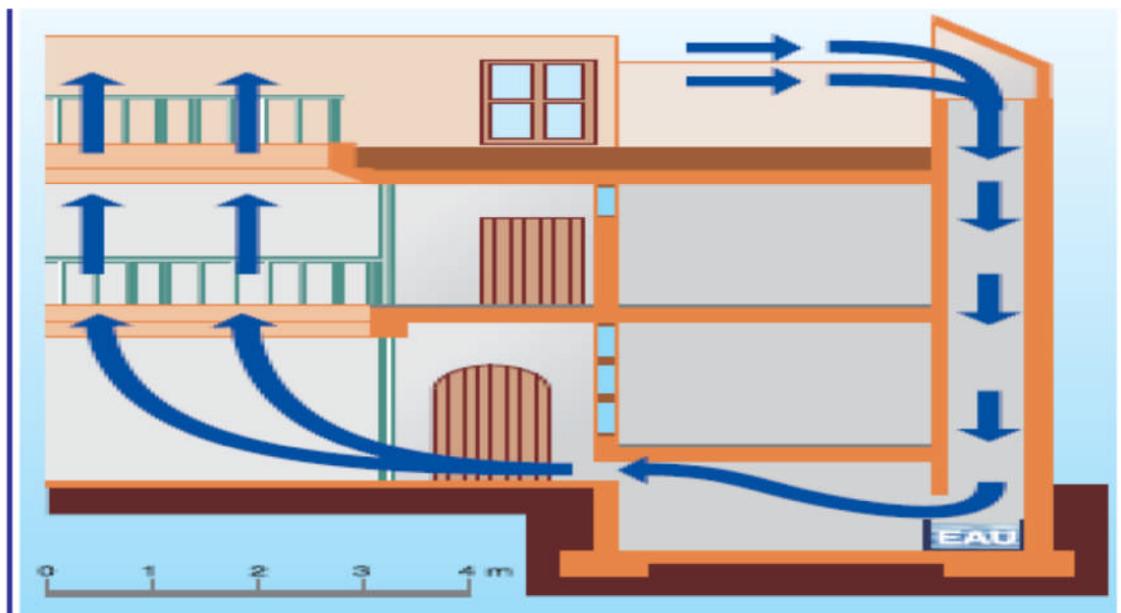


**Figure III.9 : Tour à vent à YAZD, IRAN [41]**

Les tours à vent sont des dispositifs destinés à capter les vents en hauteur afin de les diriger vers l'intérieur du logement à ventiler. Le capteur fonctionne par la différence de température entre le vent et l'air ambiant intérieur. Le vent, plus frais, moins poussiéreux et moins humide, de par la hauteur à laquelle il est capté, pénètre par le capteur pour descendre au rez-de-chaussée de l'habitation. L'air neuf ainsi introduit chasse l'air intérieur plus chaud et plus vicié. Si, par contre, l'air ambiant est plus frais que le vent en hauteur, une pression empêche la pénétration du vent dans le capteur. Il est préférable de prévoir, pour les saisons froides, des dispositifs qui permettent d'obstruer les bouches.

Les écopés des tours à vent sont généralement en forme d'entonnoir, pour créer un effet venturi, et orientées face aux vents dominants. Lorsque le vent se dirige selon un secteur étroit, l'écope se constitue d'une large section verticale qui va en se rétrécissant légèrement jusqu'à celle du conduit intérieur. Dans les climats à forte amplitude thermique, la forte inertie des matériaux du conduit peut rafraîchir l'air efficacement. Le système est amélioré par la suspension de vases d'eau en terre non cuite dans la tour. Cela permet d'humidifier le filet d'air sec et d'abaisser ainsi sa température grâce à l'évaporation de l'eau avant la ventilation dans l'habitat. Les changements d'état de l'eau mettent en jeu des quantités d'énergie importantes. C'est ainsi que, pour évaporer 1Kg d'eau, il faut lui fournir 500 à 600 kcal. Comme cette énergie est prélevée dans l'air du local, il s'y produit inévitablement une diminution de la température. Cette amélioration ne peut être exploitée en climat humide, puisque l'humidité relative est déjà supérieure au niveau de confort. En revanche, en climat sec, elle permet la ventilation des espaces intérieurs : l'air introduit est rafraîchi avant de pénétrer dans l'habitat et les problèmes de poussières liés à la ventilation sont diminués grâce à l'humidité relative de l'air plus élevée.

En ce qui concerne la capture de l'air en hauteur, les considérations à prendre en compte sont les mêmes que pour les écopés. Les pertes dans les conduits aérauliques sont à réduire au maximum. On privilégie donc les sections larges et homogènes des conduits et des bouches ainsi que les conduits rectilignes.



**Figure III.10 : Utilisation de l'humidification dans le tour à vent**

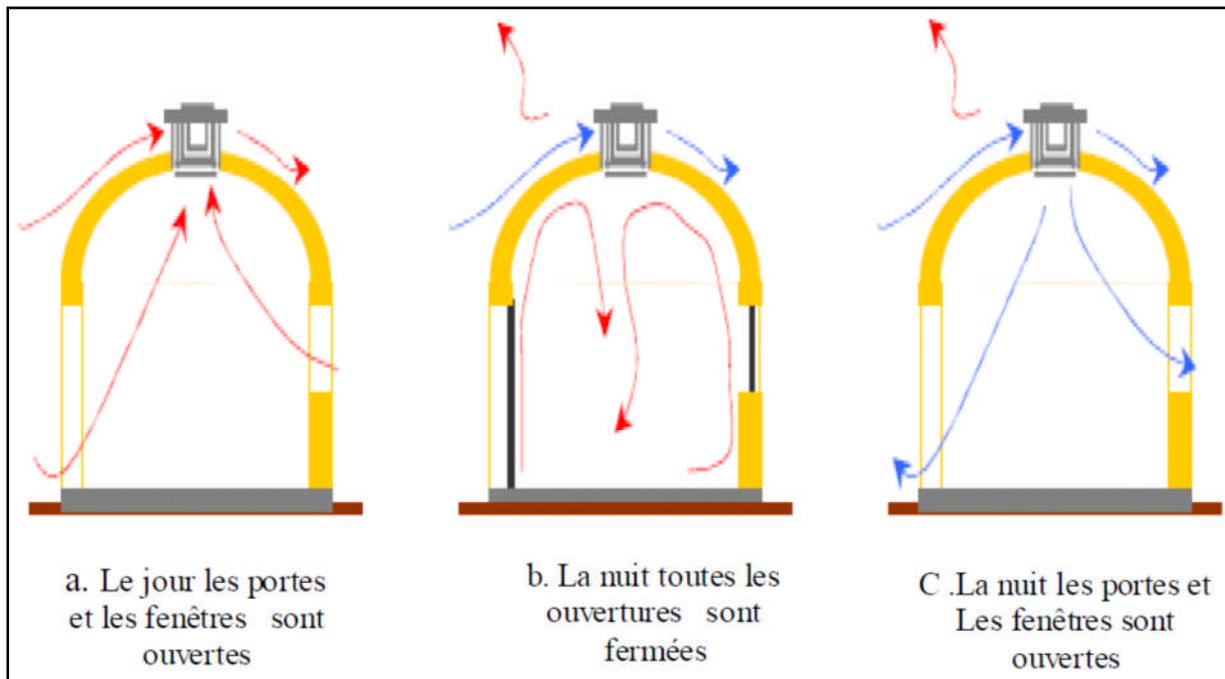
### **III.6.4.5 Les dômes :**

Cette technique de construction est employée depuis l'Antiquité. Elle est largement associée aux pays du Maghreb et du Proche-Orient, et notamment à l'Algérie, l'Égypte, la Jordanie, la Palestine et la Tunisie. Son utilisation est généralement courante dans tous types de milieux : urbain, rural, en plaine, en montagne ou en bord de mer. Cette technique constructive est utilisée en rez- de chaussée, en premier ou en dernier étage. Elle fait généralement office de couverture, Ce sont des coupoles qui, ayant au sommet une fenêtre, recouvrent soit une partie de la maison soit la pièce principale d'un bâtiment. Le plus souvent, les coupoles sont pleines, réalisées sans ouvertures. Quelquefois, des percements sont réalisés, soit dans les pans de la coupole, soit au sommet de celle-ci. Ces ouvertures sont généralement faites dans le même matériau que le corps de l'ouvrage, et servent à assurer la ventilation et l'éclairage de l'espace couvert [42].



**Figure.III.11:** différentes configurations des coupoles [43]

Les dômes présentent à la voûte céleste une surface de déperdition thermique très grande  $2 R^2$  ( $R$  le rayon du dôme) pour un maître couple moitié. Par contre dans la journée, seule une partie de ce maître couple reçoit les rayons solaires, c'est-à-dire une surface caprice inférieure à  $2 R^2$ . Les échauffements du dôme sont ainsi limités. Ces échauffements sont responsables des mouvements convectifs de l'air à l'intérieur du dôme.



**Figure III. 12:** Les différents cas de fonctionnement des Dômes.

Le jour, lorsque le sommet du dôme est chaud, l'air intérieur au contact de ce dôme s'échauffe. Si les fenêtres et les portes du bâtiment ainsi que la fenêtre du dôme sont ouvertes, l'air à l'intérieur du bâtiment a tendance à monter ; ce mouvement ascendant est favorisé par l'air plus froid donc plus dense autour du bâtiment, qui pénètre à l'intérieur. L'air chaud est alors entraîné et évacué par effet de cheminée à l'extérieur par la fenêtre du dôme.

La nuit, la chaleur accumulée dans la journée par le dôme est échangée radiativement avec la voûte céleste et par convection avec l'air. La fenêtre supérieure étant fermée, l'air à l'intérieur du bâtiment Monte par la partie centrale, se refroidit au contact du dôme, devient plus dense, et redescend par la partie latérale. Si par contre dans une nuit sans vent, tous les volets sont ouverts, l'air à l'intérieur du bâtiment étant plus chaud, l'air froid de l'extérieur a tendance à descendre, pénétrer alors à l'intérieur par le sommet du dôme, y crée une forte pression et évacue l'air chaud de l'intérieur par les volets du bâtiment.

Au cours des nuits où le vent souffle, l'évacuation de l'air chaud s'effectue dans le sens inverse. Sous l'effet de la pression de l'air extérieur, froid, très dense, accumulé au du bâtiment, le vent qui souffle, entraîne l'air chaud du bâtiment par la fenêtre du dôme. Enfin, le dôme n'a pas un facteur de forme plus grand que les autres surfaces vis à vis du volume interne et donc son échauffement ne peut être ressenti.

### III.6.4.6 La cheminée solaire :

La cheminée solaire utilise le soleil pour réchauffer ses parois internes. Les forces de poussée dues à la différence de température ainsi créée provoquent un écoulement ascendant le long des parois. L'épaisseur de la cheminée doit être proche de l'épaisseur de la couche limite développée pour éviter les recirculations d'air.

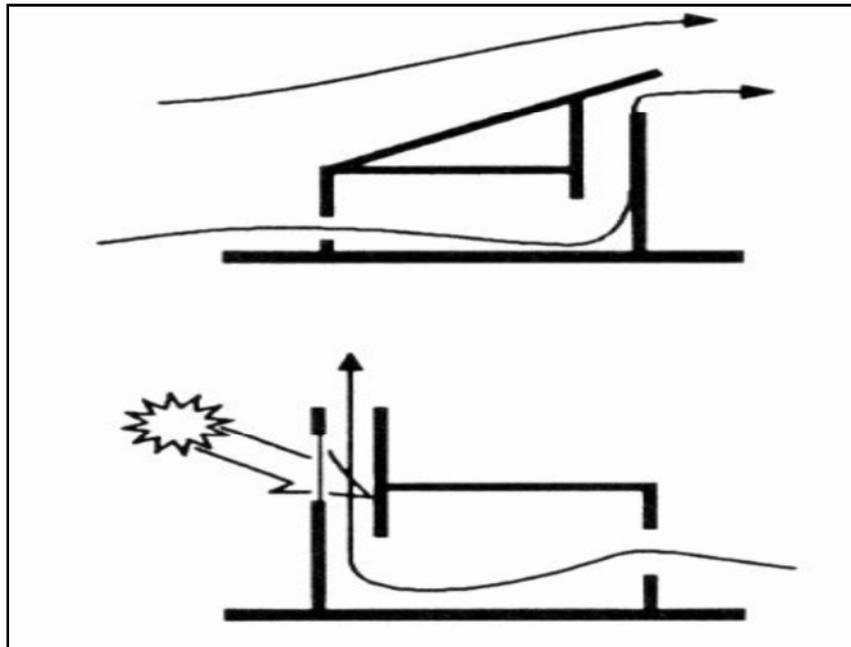


Figure III.13 : la cheminée solaire

Une cheminée solaire peut être un des composants d'un bâtiment, dans lequel un ou plus de murs d'une cheminée sont transparents, le mur vitré permet le rayonnement solaire s'accumuler assez de chaleur pour induire l'effet de cheminée. L'énergie solaire réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée. En raison de la différence de la température d'air, un gradient de densité entre l'intérieur et l'extérieur de la cheminée provoque un mouvement ascendant d'air. La figure II.13 présente un exemple d'utilisation de la cheminée solaire dans un système de ventilation naturelle dans les bâtiments de l'université de Kitakyushu en Japon.



**Figure III.14: Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment [21].**

### **III 6.4.6.1 Effet de cheminée :**

L'effet de cheminée est la tendance d'un fluide qu'en s'échauffant s'élève, en raison de la diminution de sa densité, résultant des différences de la température et d'humidité. On utilise ce phénomène thermique naturel pour évacuer la surchauffe de l'intérieur d'une construction en facilitant la sortie de l'air tiède ou chaud à travers des ouvrants en partie haute. Ce tirage thermique peut induire une dépression intérieure susceptible d'aspirer l'air plus frais du dehors à travers des ouvrants en partie basse

### **III 6.4.6.2 Principe d'écoulement :**

L'écoulement est provoqué par la différence de masse volumique entre l'air intérieur (chaud) et l'air extérieur (froid). L'air chaud possède une masse volumique plus faible que l'air froid et tend à monter. L'air froid est plus lourd et tend à rester au sol. L'air chaud et humide s'élève vers les cheminées et est remplacé par de l'air froid et sec. Les grandes surfaces des entrées de l'air assurent de faibles vitesses qui ne causent pas de stress aux occupants.

### **III 6.4.6.3 Modes d'opérations d'une cheminée solaire:**

Trois modes d'opérations de la cheminée solaire, qui sont appropriés à chaque saison [44] sont illustrés dans la figure (II.15)

- Cas de chauffage : la cheminée solaire fonctionne en mode de chauffage passif. L'air extérieur est entré dans la cheminée, et réchauffé par l'énergie solaire absorbée. L'entrée d'air chaud dans la salle contribue à la réduction d'une charge thermique.
- Cas de refroidissement avec la température d'extérieure est inférieure à la température d'air dans la pièce : la cheminée solaire peut fonctionner dans le mode de ventilation et le refroidissement passif. La fonction est identique à celle pour le refroidissement dans des régions froides ou de climats modérés, où les conditions extérieures en été ne sont pas dures.
- Cas de refroidissement est et la température d'extérieure est supérieur à la température d'intérieure : la cheminée solaire n'est pas employée pour augmenter la ventilation parce que l'introduction d'air extérieure sans pré réfrigéré résulte une augmentation de la température à l'intérieur. Par conséquent, l'air entre dans la cheminée est s'échapper vers l'extérieure par l'ouverture supérieur. Ce mode d'opération s'appelle l'isolation thermique, a un effet de la diminution d'un gain de la chaleur dans la salle par la cheminée solaire.

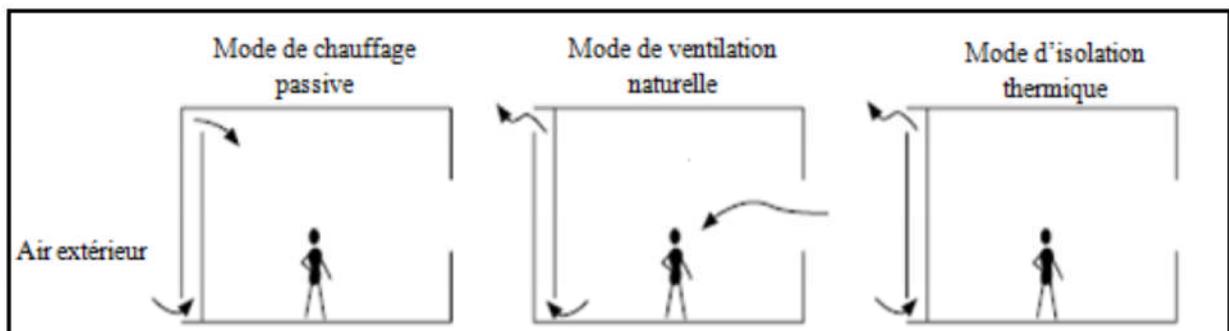


Figure III.15: Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire [44].

### III 6.4.6.4 Types de cheminée solaire :

Actuellement, on peut distinguer deux types de cheminée

#### a. Cheminée solaire verticale :

Ce type est le plus rencontré, où l'entrée d'air se fait par l'ouverture au fond et la sortie par l'ouverture au dessus. Par convention, trois types de cheminée sont dénotés selon l'admission (figure II.15). Le positionnement de l'ouverture d'admission représente trois manières possibles, d'intégrer La cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle.

La cheminée verticale a l'avantage, d'être intégrés facilement avec des façades de bâtiment, même des fenêtres de petite taille, orienté vers le sud peuvent également être employées comme des cheminée solaire. Mais la plus grande limitation de cette disposition est celle en mois d'hiver, quand le soleil s'attaque vers le sud à la latitude relativement inférieure, pendant des jours d'été, le taux de ventilation réduit en raison d'une altitude du soleil beaucoup plus élevé. La cheminée verticale peut être de forme cylindrique, ce type de cheminées solaires a un inconvénient qui réside dans la difficulté de construction. Par conséquent, un arrangement plus simple est d'utiliser une cheminée métallique noircie (semblable aux cheminées industrielles) [29].

### **b. Cheminée solaire inclinée :**

Conceptuellement, les cheminées solaires inclinées sont semblables aux cheminées solaires verticales. La seule différence est qu'elles sont intégrées d'une façon inclinée à un certain angle approprié, pour capturer le maximum de rayonnement solaire possible.

Le plus grand avantage des configurations inclinées qu'il fournit la ventilation suffisante à l'inclinaison de 30° à 45° pendant les mois d'été dans l'endroit géographique comme l'Inde, quand les cheminées verticales sont moins efficaces en capturant la quantité maximum de rayonnement solaire due à une altitude plus élevée du soleil [29].

## **III.7 Caractéristiques climatique de l'Algérie :**

### **III.7.1 Données géographiques :**

D'une superficie de 2.381.741 Km<sup>2</sup>, l'Algérie présente une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en trois catégories :

1. Le Tell : climat tempéré humide de type méditerranéen.
2. Les Hautes plaines : climat de type continental.
3. Le Sahara : climat aride et sec.

Elle est compose entre les latitudes 18° et 38° Nord, et entre 9° de longitude Ouest, et 12° de longitude Est, le méridien international 0° Greenwich passant près de Mostaganem. Les distances entre le nord et le sud, l'est et l'ouest varient de 1500 à 2000 Km [47].

### **III.7.2 Zones climatiques en Algérie :**

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km<sup>2</sup>. Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et

climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales (voir figure III.16) :

Zone A : Littoral marin ;

Zone B : Arrière littoral montagne,

Zone C : Hauts plateaux ;

Zone D : Présaharien et saharien.

Le littoral marin jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.

Le climat de l'arrière littoral montagne est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.

Or, le climat des hauts plateaux est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.

Le climat Présaharien ou saharien est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre avec les vents intenses de siroco [45].

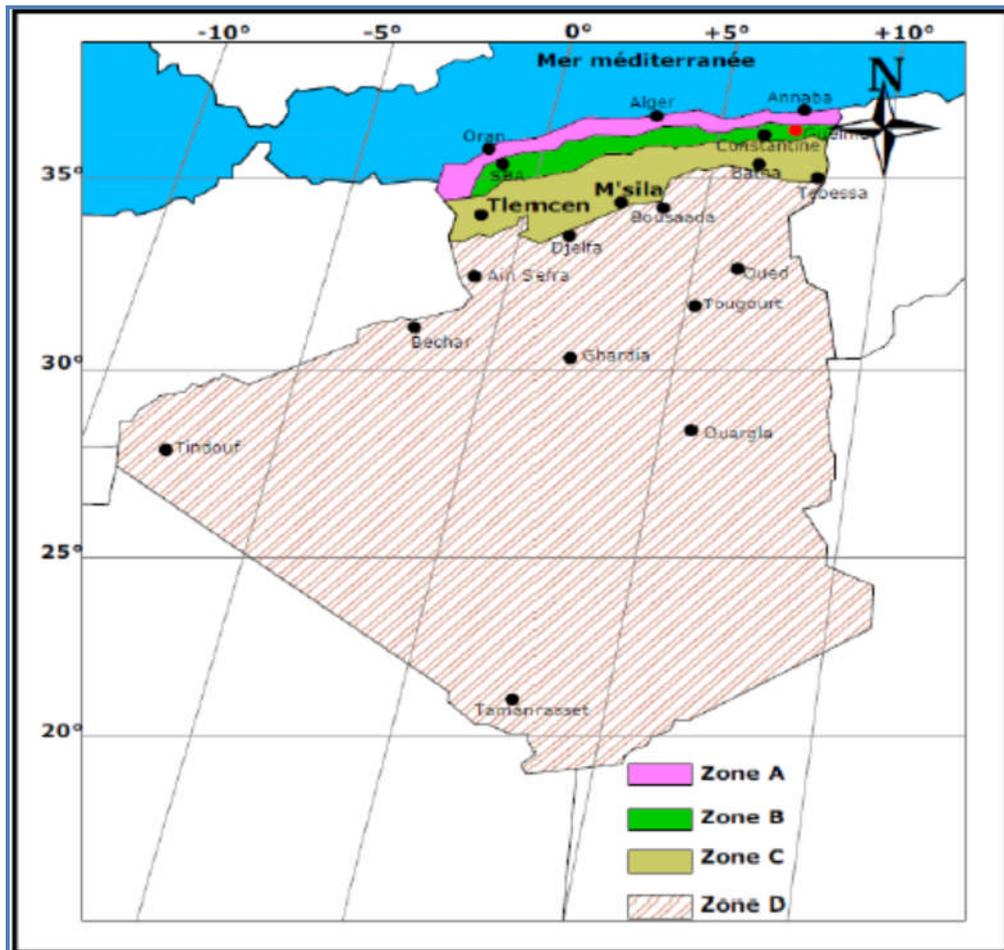


Figure III.16: Classification du climat en Algérie [37].

# Chapitre IV





# Chapitre VI

## *Etude du comportement thermique de la cheminée solaire*

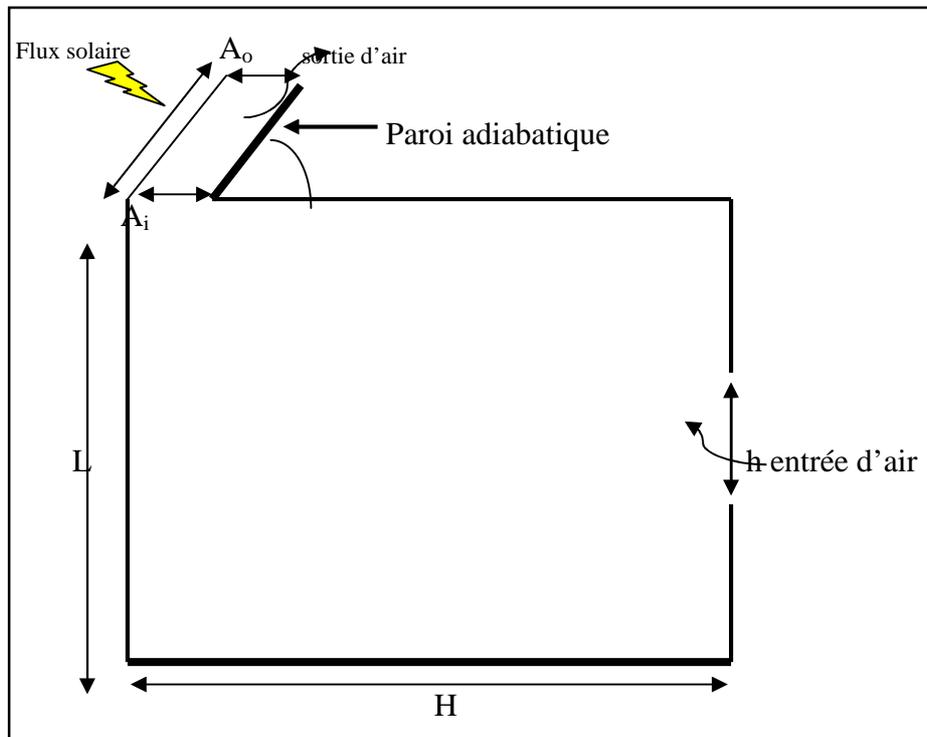
### *Sommaire*

IV.1 introduction .....	68
IV.2 Principe de fonctionnement de la cheminée .....	68
IV.2.1 Orientation .....	69
IV.2.2 Une forte inertie thermique .....	69
IV.3 approche pour la modélisation mathématique .....	70
IV.3.1 Analyse mathématique .....	70
IV.4 Fonctionnement de base d'une cheminée solaire.....	71
IV.4.1 Objectif .....	72
IV.4.2 Les bilans énergétiques .....	72
IV.4.2.1 Bilan énergétique au niveau du vitrage .....	72
IV.4.2.2 Bilan énergétique au niveau de l'air qui traverse la cheminée.....	73
IV.4.2.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur.....	74
IV.4.3 Corrélation théorique pour calculer les coefficients de transfert thermique .....	75
IV.4.4 Données du problème .....	77
IV.4.5 Résultats et discussions .....	78
IV.4.5.1 Validation du modèle mathématique .....	78
IV.4.5.2 Influence du rayonnement solaire.....	80
IV.4.5.3 Influence de l'angle d'inclinaison .....	84
IV.4.5.4 L'influence des paramètres géométriques sur ACH.....	85

**IV.1 introduction :**

L'objectif du présent travail est d'étudier le comportement dynamique et thermique d'une cheminée solaire pour améliorer la ventilation naturelle, ainsi comprendre l'influence de certains paramètres clés sur le débit de renouvellement. Pour atteindre l'objectif visé, une simulation numérique par le code Fluent de l'écoulement thermo-convectif dans une pièce munie de cheminée solaire sera réalisée. Le travail débute par résoudre les bilans énergétiques au niveau de chaque composant de la cheminée (vitrage, absorbeur, l'air dans la cheminée) afin de trouver les paramètres du calcul CFD.

**IV.2 Principe de fonctionnement de la cheminée :**



**Figure IV.1:Principe de fonctionnement de la cheminée**

Le fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève par convection. L'air à l'intérieur de la cheminée se chauffe grâce au rayonnement solaire. Le capteur comporte deux ouvertures de manière à permettre l'évacuation d'air chaud qui s'élève de la chambre pour créer un renouvellement d'air dans la chambre.

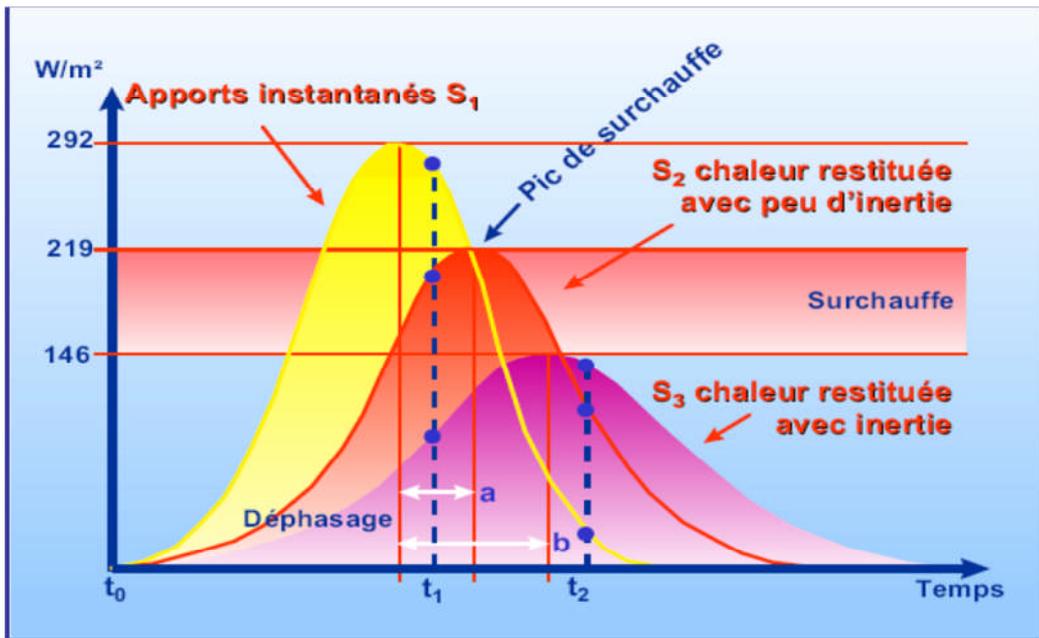
### **IV.2.1 Orientation :**

L'orientation du bâtiment doit être choisie de manière à maximiser les apports solaires. Le sud est à cet égard la meilleure orientation : le soleil y est disponible durant toute la journée et toute l'année. Les pièces occupées en permanence sont orientées plus ou moins 25° sud. Elles sont orientées sud-est pour bénéficier des apports solaires le matin et garder leur fraîcheur en fin de journée.

### **IV.2.2 Une forte inertie thermique :**

L'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et sa restitution, avec un déphasage dépendant des caractéristiques physiques, dimensionnelles et d'environnement de la paroi de stockage. Les constructions à forte inertie permettent à l'habitat de se réchauffer ou se refroidir très lentement, à la différence des constructions courantes, qui parce qu'elles ne privilégient pas l'inertie, sont continuellement exposées aux variations de température.

Les matériaux dotés d'une forte inertie thermique, accumulent la chaleur reçue pendant la journée et la restituent la nuit. Ils permettent ainsi une régulation naturelle de la température. On parvient ainsi à une autorégulation de l'habitat, pour obtenir une température agréable en hiver avec un minimum de dépenses de chauffage, une température stable en mi-saison, ce qui diminue la durée de chauffe, et une maison fraîche sans climatisation en été. La figure (IV.2) compare la réponse d'un bâtiment à forte inertie avec masse surfacique des parois  $> 400 \text{ kg/m}^2$  à celle d'un bâtiment à faible inertie (masse surfacique  $< 150 \text{ kg/m}^2$ ) en présence d'un apport de chaleur par rayonnement solaire. La surface jaune  $S_1$  représente l'évolution dans le temps de l'offre solaire. La surface  $S_2$  représente la réponse du local à faible inertie et la surface  $S_3$ , celle du local à forte inertie.



**Figure IV.2: Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires [35]**

### **IV.3 approche pour la modélisation mathématique :**

L'objectif du modèle mathématique était de prévoir le taux du flux d'air par la cheminée solaire avec un absorbeur incliné. Pour prévoir le comportement de la cheminée solaire, l'étude du transfert de chaleur par la convection naturelle a été entreprise. Les paramètres importants dans cette étude sont : les températures de l'absorbeur, du vitrage, de l'entrée et de la sortie d'air et ambiante, vitesse d'écoulement et l'ouverture de sortie. Les bilans énergétiques pour la surface de l'absorbeur, du vitrage et de l'air sont résolus pour obtenir  $T_g$ ,  $T_p$ , et  $T_f$  et enfin le taux de flux d'air.

#### **IV.3.1 Analyse mathématique :**

La géométrie physique du domaine considérée dans la présente étude est montrée dans figure (IV.1). La chambre est de 3 m de largeur, 3 m de longueur et 3 m de profondeur. La partie supérieure de cette chambre est équipée d'une cheminée solaire inclinée d'un angle de  $45^\circ$ . La cheminée comporte une plaque d'aluminium jouant le rôle de l'absorbeur du rayonnement solaire. La plaque d'aluminium est peinte avec de la peinture noire ordinaire, dans l'avant de l'absorbeur pour la prévention de la perte de chaleur et couvert en verre maintenir un espace de 0,35 m avec une superficie de  $0.35 \times 1.0$  m en verre. L'entrée de la

cheminée a également été maintenu que  $0,35 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$  sur toute la hauteur. La sortie de la cheminée est maintenue égale à l'entrée, tel que la hauteur de la cheminée est de 1 m.

Les hypothèses simplificatrices considérées pour le calcul sont :

- ✓ Un équilibre thermique sur la cheminée. Cet équilibre concerne le vitrage, l'absorbeur et l'air.
- ✓ L'écoulement qui traverse la cheminée est laminaire.
- ✓ L'échange d'énergie par le vitrage, l'air et l'absorbeur est bidimensionnel.
- ✓ La température d'entrée d'air à la cheminée est la même que celle d'air dans la pièce.
- ✓ L'échange thermique entre les murs de la chambre et l'entourage est négligeable.

### IV.4 Fonctionnement de base d'une cheminée solaire :

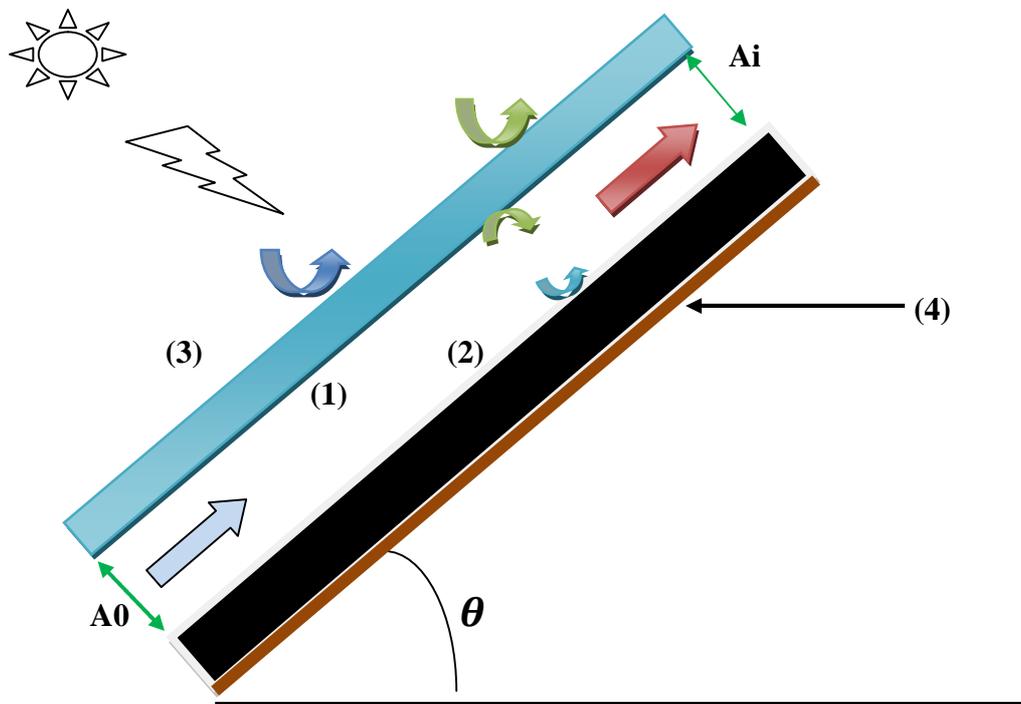


Figure IV.3 : Fonctionnement de la cheminée solaire

- (1) : l'air qui traverse la cheminée
- (2) : l'absorbeur
- (3) : le vitrage
- (4) : l'isolation de l'absorbeur.

La figure (IV.3) illustre le fonctionnement de base d'une cheminée solaire. Le rayonnement solaire passe à travers le vitrage puis l'absorbeur absorbe une quantité de ce

rayonnement. L'air dans la cheminée est alors chauffé par la convection et le rayonnement de l'absorbeur. La diminution de la densité est éprouvée par le fait d'élévation d'air. Sur quoi il est remplacé par l'air le plus bas, c.-à-d. de la chambre. Le taux de l'air renouvelé dessiné pour la chambre dépend de la force de flottabilité. Il y a beaucoup de choix à faire dans la conception d'une cheminée solaire, y compris la taille, largeur et la profondeur de la cavité, le type de vitrage, le type d'absorbeur et l'isolation.

### IV.4.1 Objectif :

Dans ce chapitre, les calculs seront effectués afin d'améliorer le processus de conception. Les paramètres étudiés sont l'inclinaison de la cheminée, l'intensité du flux de rayonnement solaire, la hauteur et la largeur de la cheminée solaire. Il est important que la cheminée solaire soit isolée de l'intérieur de la pièce afin d'éviter les échanges thermiques du côté de l'absorbeur, particulièrement si elle est utilisée pour refroidissement en été.

### IV.4.2 Les bilans énergétiques :

Des équations de bilan énergétique pour les trois parties de la cheminée solaire, la couverture en verre, le flux d'air et l'absorbeur sont déterminées.

#### IV.4.2.1 Bilan énergétique au niveau du vitrage :

La propriété physique la plus intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que l'absorbeur. Le vitrage absorbe la chaleur provenant du rayonnement solaire et de l'absorbeur. Cette chaleur est perdue par convection avec l'air dans la cheminée et l'air ambiant et par rayonnement vers le ciel.

Rayonnement solaire

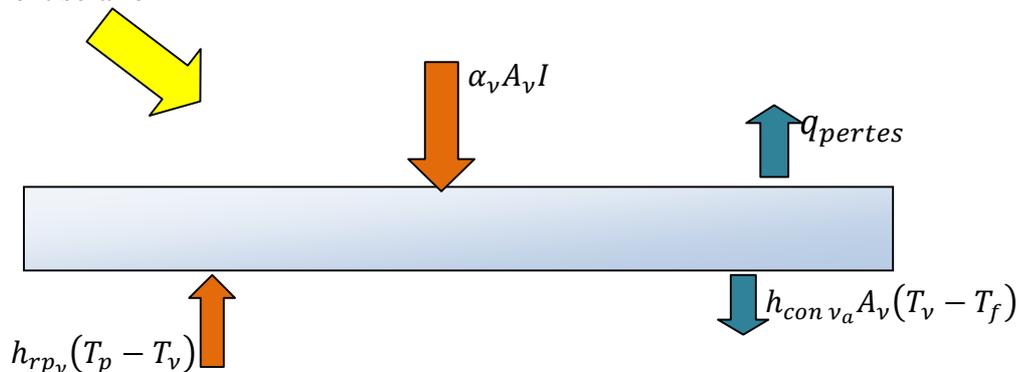


Figure IV.4 : Bilan énergétique au niveau de vitrage

Le rayonnement solaire incident + le rayonnement réfléchi par l'absorbeur = chaleur par convection de vitrage vers l'air de la cheminée + pertes thermiques de vitrage vers l'extérieur.

$$\alpha_v A_v I + h_{rp_v} (T_p - T_v) = h_{con v_a} A_v (T_v - T_f) + \sum q_{pertes} \quad \text{IV.1}$$

Avec : [12]

$$\sum q_{pertes} = U_t A_v (T_v - T_a) \quad \text{IV.2}$$

$$U_t = h_{vent} + h_{rv\_ciel} \quad \text{IV.3}$$

On peut écrire l'équation (IV.1) sous la forme suivante :

$$[h_{rp_v} A_p + h_{cv_a} A_v + (h_{vent} + h_{rv\_ciel}) A_v] T_v - h_{con v_a} A_v T_f - h_{rp_v} A_p T_p = \alpha_v A_v I + (h_{vent} + h_{rv\_ciel}) A_v T_a \quad \text{IV.4}$$

On pose :

$$a_1 = h_{rp_v} A_p + h_{cv_a} A_v + (h_{vent} + h_{rv\_ciel}) A_v \quad \text{IV.5}$$

$$b_1 = -h_{con v_a} A_v \quad \text{IV.6}$$

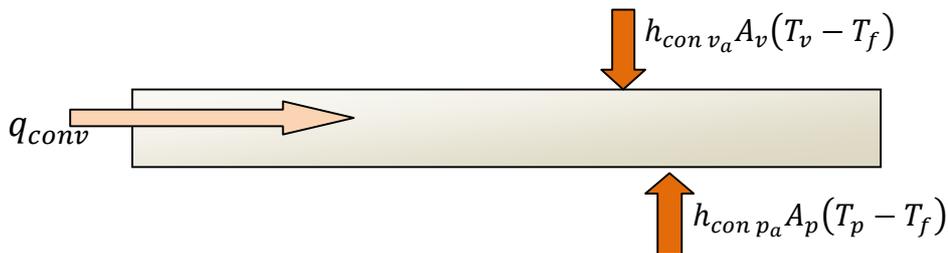
$$c_1 = -h_{rp_v} A_p \quad \text{IV.7}$$

$$r_1 = \alpha_v A_v I + (h_{vent} + h_{rv\_ciel}) A_v T_a \quad \text{IV.8}$$

L'équation (IV.1) devient :

$$a_1 T_v + b_1 T_f + c_1 T_p = r_1 \quad \text{IV.9}$$

#### IV.4.2.2 Bilan énergétique au niveau de l'air qui traverse la cheminée :



**Figure IV.5 : Bilan énergétique au niveau de l'air qui traverse la cheminée**

L'air dans la cheminée reçoit des flux convectifs de la part de l'absorbeur et du vitrage. Donc, il se produit un flux convectif au niveau de l'air qu'on peut le déterminer par le bilan suivant :

$$h_{con v_a} A_v (T_v - T_f) + h_{con p_a} A_p (T_p - T_f) = q_{conv} \quad \text{IV.10}$$

Avec :  $q_{conv} = \dot{m}C_p(T_{f0} - T_{fi})$  IV.11

La température moyenne de l'air est évaluée par une pondération entre la température d'entrée d'air,  $T_{fi}$ , et la température de sortie d'air,  $T_{f0}$ , de la cheminée. Cette température moyenne peut être évaluée par : [12]

$$T_f = \omega T_{f0} + (1 - \omega)T_{fi} \quad \text{IV.12}$$

$\omega$  : Facteur de pondération de température moyenne qui vaut généralement 0,74 [5].

On prend : [12]

$$T_{fi} = T_c \quad \text{IV.13}$$

L'équation devient :

$$T_f = \omega T_{f0} - \omega T_{fi} + T_{fi} \Rightarrow T_{f0} - T_{fi} = \frac{T_f - T_{fi}}{\omega} \quad \text{IV.14}$$

Alors :

$$q_{conv} = \dot{m}C_p \frac{T_f - T_c}{\omega} \quad \text{IV.15}$$

L'équation (IV.10) peut s'écrire sous la forme suivant :

$$(h_{conv\ v_a}A_p)T_v + [h_{conv\ v_a}A_v + h_{conv\ p_a}A_p + \frac{\dot{m}C_p}{\omega}]T_f + (h_{con\ p_a}A_p)T_p = -\dot{m}C_pT_c/\omega \quad \text{IV.16}$$

On note :

$$a_2 = h_{conv\ v_a}A_v \quad \text{IV.17}$$

$$b_2 = h_{conv\ v_a}A_v + h_{conv\ p_a}A_p + \frac{\dot{m}C_p}{\omega} \quad \text{IV.18}$$

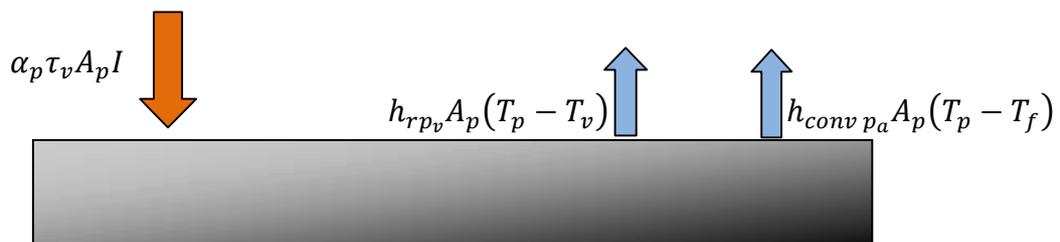
$$c_2 = h_{con\ p_a}A_p \quad \text{IV.19}$$

$$r_2 = -\frac{\dot{m}C_pT_c}{\omega} \quad \text{IV.20}$$

L'équation (IV.10) devient :

$$a_2T_v + b_2T_f + c_2T_p = r_2 \quad \text{IV.21}$$

#### IV.4.2.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur :



**Figure IV.6 : Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur**

L'absorbeur absorbe la totalité du rayonnement qui traverse le vitrage, par contre il va la perdre par rayonnement avec le vitrage, et par convection avec l'air qui circule dans la cheminée.

$$\alpha_p \tau_v A_p I = h_{rp_v} A_p (T_p - T_v) + h_{conv p_a} A_p (T_p - T_f) \quad IV.22$$

$$(-h_{rp_v} A_p) T_v + (-h_{conv p_a} A_p) T_f + [(h_{rp_v} + h_{conv p_a}) A_p] T_p = \alpha_p \tau_v A_p I \quad IV.23$$

On note :

$$a_3 = -h_{rp_v} A_p \quad IV.24$$

$$b_3 = -h_{conv p_a} A_p \quad IV.25$$

$$c_3 = (h_{rp_v} + h_{conv p_a}) A_p \quad IV.26$$

$$r_3 = \alpha_p \tau_v A_p I \quad IV.27$$

L'équation (IV.22) devient :

$$a_3 T_v + b_3 T_f + c_3 T_p = r_3 \quad IV.28$$

Selon les bilans, on peut former la matrice suivante :

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_v \\ T_f \\ T_p \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{Bmatrix}$$

La matrice ci-dessus est itérativement résolue. La solution commence par une première estimation pour les températures inconnues,  $T_v$ ,  $T_f$ , et  $T_p$ . Puis, la matrice est résolue pour obtenir les températures convergées.

### **IV.4.3 Corrélation théorique pour calculer les coefficients de transfert thermique :**

Le coefficient de transfert radiatif entre deux plaques parallèles peut se calculer à l'aide de l'équation suivante [9] :

$$h_{rp_v} = \frac{\sigma(T_p + T_v)(T_p^2 + T_v^2)}{\frac{1-\varepsilon_v}{\varepsilon_v} + \frac{1-\varepsilon_p}{\varepsilon_p} + \frac{1}{F_{p_v}}} \quad IV.29$$

Les équations donnant le coefficient de transfert par convection entre l'air ambiant et une plaque [12] :

$$h_{cv_a} = \frac{Nu \lambda_f}{L_v} (T_v) \quad IV.30$$

$$h_{cp_a} = \frac{Nu \lambda_f}{L_p} (T_p) \quad IV.31$$

L'équation donnant le coefficient de transfert thermique par rayonnement entre le vitrage et le ciel :[9]

$$h_{rv\_ciel} = \frac{\sigma \varepsilon_v (T_v + T_{ciel})(T_v^2 + T_{ciel}^2)(T_v - T_{ciel})}{(T_v - T_a)} \quad IV.32$$

	absorbeur	vitrage
Absorptivité ( $\alpha$ )	0.95	0.06
Transmissivité( $\tau$ )	/	0.84
Emissivité ( $\varepsilon$ )	0.95	0.9

**Tableau (IV.1): Les valeurs des coefficients du rayonnement solaire du vitrage et l'absorbeur [11]:**

L'équation donnant le coefficient de transfert thermique par convection entre le vitrage et l'air ambiant [6] :

$$h_{vent} = 2,8 + V_{vent} \quad IV.33$$

On peut calculer la température du ciel à l'aide de l'équation suivante :[12]

$$T_{ciel} = 0,0552T_a^{1.5} \quad IV.34$$

Le débit massique de l'air peut être calculé par la relation suivante : [12]

$$\dot{m} = \frac{C_d \rho_f A_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{A_0}{A_i}\right)^2}} \sqrt{2g L_c \sin\theta \left(\frac{T_f}{T_c} - 1\right)} \quad IV.35$$

Le nombre de Nusselt peut être obtenu selon la relation suivante au régime laminaire. [12]:

$$N_u = 0,6 \quad IV.36$$

Pour  $10^5 < G_r P_r < 10^{11}$

$$G_r = \frac{g\beta\Delta T L c^3}{\gamma^2} \quad IV.37$$

$$P_r = \frac{\mu_m C_p}{\lambda_m} \quad IV.38$$

$$\Delta T = T_{ciel} - T_f \quad IV.39$$

Avec [11]

$$\beta = \frac{1}{T_m} \quad IV.40$$

$$T_m = \frac{T_f + T_s}{2} \quad IV.41$$

$$T_s = T_v, T_p$$

$$\rho = 1,1614 - 0,00353(T_m - 300) \quad IV.42$$

$$\mu = 1,846 \cdot 10^{-5} + 0,00472 \cdot 10^{-5}(T_m - 300) \quad IV.43$$

$$C_p = 1007 + 0,004(T_m - 300) \quad IV.44$$

$$\lambda_m = 0,0263 + 0,000074(T_m - 300) \quad IV.45$$

➤ Taux de renouvellement d'air :

En ventilation naturelle, on définit le taux de changement d'air (ACH), qui indique le nombre de fois en une heure où la totalité du volume d'air d'un espace est renouvelé. Ce dernier est exprimé par le rapport de débit volumique et le volume de la pièce considéré, ce rapport est l'ACH. Cet indice donné par ASHARE comme [46]

$$ACH = \frac{Q \cdot 3600}{\text{le volume totale de la chambre}} \quad IV.46$$

#### IV.4.4 Données du problème :

Dans notre problème, la température ambiante et la température de la chambre sont présent comme variable en fonction du rayonnement solaire.

Rayonnement solaire (W/m <sup>2</sup> )	Température ambiante (k) [11]
500	299.2
550	302.6
600	306.3
650	310.3
700	312.2
750	313

**Tableau (IV.2): Les valeurs de rayonnement solaire et les températures ambiantes.**

On donne aussi :[9]

V(m/s)	w	C <sub>d</sub>	Vc (m <sup>3</sup> )
1	0.74	0.57	27

**Tableau (IV.3):Des données pour résoudre le problème**

#### **IV.4.5 Résultats et discussions :**

Dans ce chapitre on va présenter les résultats obtenus de la résolution numérique effectuée par le langage MATLAB qui a été élaboré pour résoudre le système d'équations des bilans énergétiques (1),(2) et (3) pour les différents composants de la cheminée solaire afin de trouver les températures  $T_v$  (vitrage),  $T_f$  (fluide),  $T_p$  (absorbeur) et la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée

##### **IV.4.5.1 Validation du modèle mathématique :**

Un programme informatique MATLAB utilise un procédé de la méthode itératif pour résoudre les températures de l'absorbeur, le vitrage et l'air.

Ces températures sont l'élément déclencheur de l'analyse. La transmission de l'énergie solaire à travers la cheminée certainement créé par une différence de température significative dans la cheminée. Cette différence est la force motrice pour le principe de fonctionnement de la cheminée.

Rayonnement Solaire (w/m <sup>2</sup> )	Température de l'absorbeur (K)		Température d'air (K)	Température du vitrage (K)	La vitesse d'air à la sortie (m/s)
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]			
500	339.57	329.04	299.74	313.467	0.1528
	345.7	340.65			
550	345.7	340.65	303.26	316.948	0.1578
	352.04	346.28			
600	352.04	346.28	307.43	325.565	0.189
	364.7	354.66			
650	364.7	354.66	312.054	348.748	0.190
	367.2	358.49			
700	367.2	358.49	313.599	346.428	0.193
	370.7	361.38			
750	370.7	361.38	314.447	348.713	0.20
	375.055	375.055			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	300.9653	313.467	0.1528
	306.93	329.04			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	304.1363	316.948	0.1578
	308.95	340.65			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	308.30959	325.565	0.189
	312.22	346.28			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	312.4820	348.748	0.190
	316.82	354.66			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	314.643	346.428	0.193
	319.07	358.49			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	315.7966	348.713	0.20
	320.75	375.055			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	310.9653	313.467	0.1528
	306.93	329.04			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	304.1363	316.948	0.1578
	308.95	340.65			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	308.30959	325.565	0.189
	312.22	346.28			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	312.4820	348.748	0.190
	316.82	354.66			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	314.643	346.428	0.193
	319.07	358.49			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	315.7966	348.713	0.20
	320.75	375.055			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	310.9653	313.467	0.1528
	306.93	329.04			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	304.1363	316.948	0.1578
	308.95	340.65			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	308.30959	325.565	0.189
	312.22	346.28			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	312.4820	348.748	0.190
	316.82	354.66			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	314.643	346.428	0.193
	319.07	358.49			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	315.7966	348.713	0.20
	320.75	375.055			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	310.9653	313.467	0.1528
	306.93	329.04			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	304.1363	316.948	0.1578
	308.95	340.65			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	308.30959	325.565	0.189
	312.22	346.28			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	312.4820	348.748	0.190
	316.82	354.66			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	314.643	346.428	0.193
	319.07	358.49			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	315.7966	348.713	0.20
	320.75	375.055			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	310.9653	313.467	0.1528
	306.93	329.04			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	304.1363	316.948	0.1578
	308.95	340.65			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	308.30959	325.565	0.189
	312.22	346.28			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	312.4820	348.748	0.190
	316.82	354.66			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	314.643	346.428	0.193
	319.07	358.49			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	315.7966	348.713	0.20
	320.75	375.055			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	310.9653	313.467	0.1528
	306.93	329.04			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	304.1363	316.948	0.1578
	308.95	340.65			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	308.30959	325.565	0.189
	312.22	346.28			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	312.4820	348.748	0.190
	316.82	354.66			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	314.643	346.428	0.193
	319.07	358.49			
	Résultats obtenus	Résultats expérimentaux [11]	315.7966	348.713	0.20
	320.75	375.055			

**Tableau (IV.4): Comparaison des résultats obtenus avec ceux de la référence [11] :**

Le tableau( IV.4) montre la comparaison entre les résultats théoriques et expérimentales de Mathur [11] et les résultats numériques obtenus sous forme : de vitesse de l'air dans la cheminée, de la température de l'absorbeur et du vitrage et du débit de flux d'air de. La comparaison montre le bon accord des résultats obtenus .

Pour la température de l'absorbeur, on constate que l'erreur moyenne des résultats obtenue avec les valeurs expérimentales [11] est 2,33%. Cette erreur est de 3.64% entre les valeurs théoriques et expérimentales de Mathur [11]. Pour la température du vitrage, l'erreur moyenne de nos résultats est de 1,26% alors que celle de Mathure [11] est de 2.25%. Par contre, pour la température du fluide, l'erreur moyenne de nos résultats est de 1,7% et celle de Mathure [11] est de 1,5%. Pour la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée, les résultats obtenus présentent une très bonne précision par rapport à ceux de Mathur. l'erreur moyenne de nos résultats est de 8,66 % et celle de Mathure [11] est de 16,89%. Presque le double.

Cette comparaison montre la bonne précision de nos résultats par rapport à ceux proposés par Mathur et qui peut fournir une validation aux résultats développés ci-après.

### IV.4.5.2 Influence du rayonnement solaire :

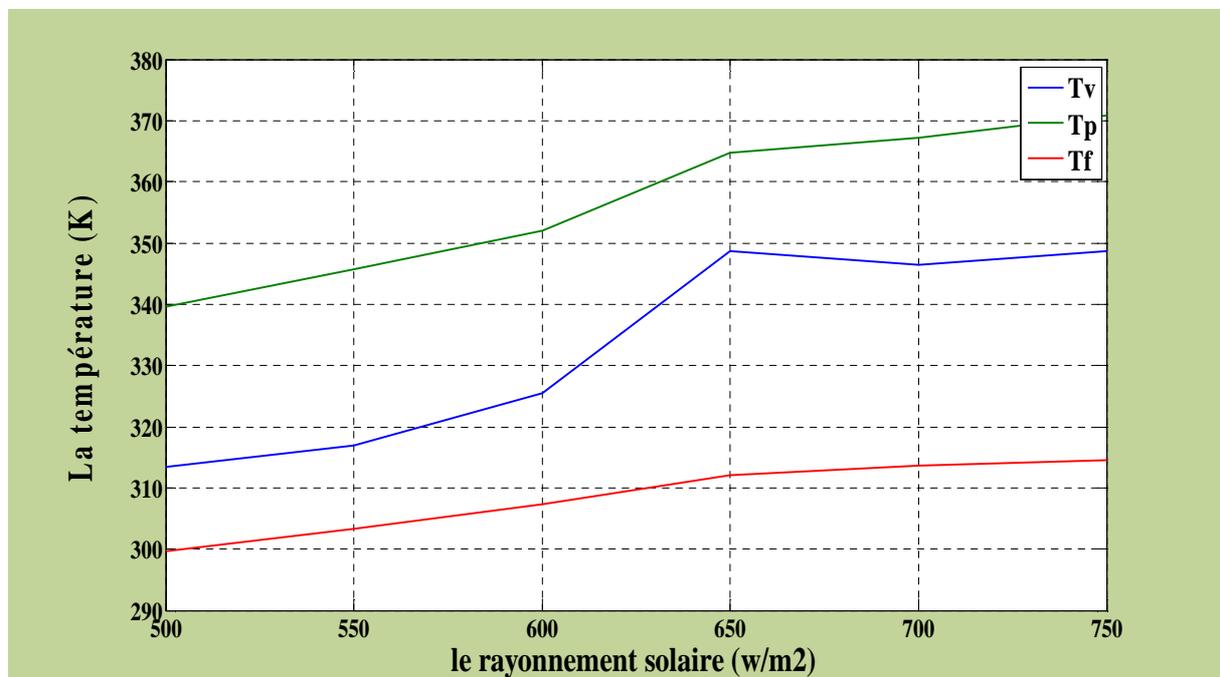
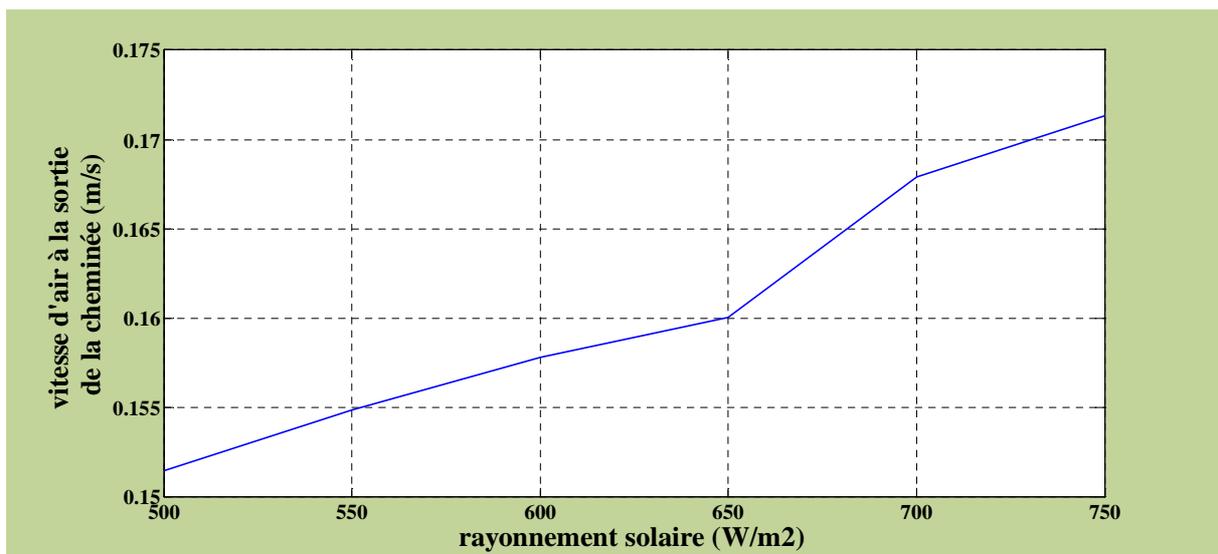


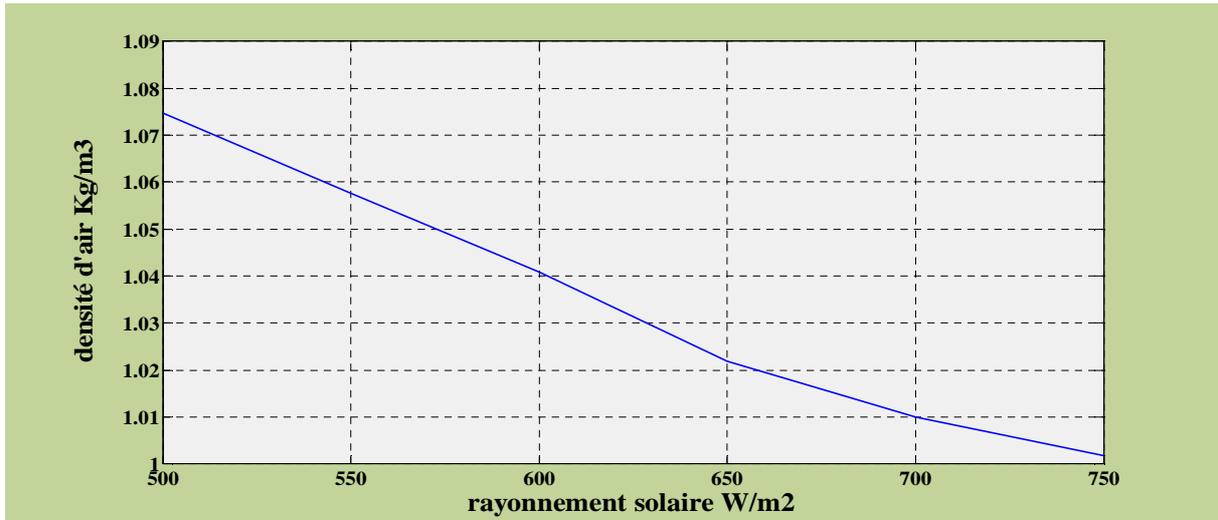
Figure IV.7 : Evolution de la température du vitrage  $T_v$ , de l'air  $T_f$  et de l'absorbeur  $T_p$  en fonction de l'intensité de rayonnement solaire

La figure (IV.7) montre l'évolution de la température de l'absorbeur, du vitrage et de l'air circulé dans la cheminée en fonction de l'intensité de rayonnement solaire avec une inclinaison de la cheminée de  $\theta = 45^\circ$  et une largeur de **0,35 m**. L'absorbeur solaire de la cheminée est en tôle peinte en noire isolé par l'arrière. On peut constater que la température de l'absorbeur est la plus importante et qu'elle augmente avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire puisque ce dernier absorbe la grande partie du rayonnement solaire en raison de l'absorptivité de sa surface noire qui stocke le maximum du rayonnement thermique. En outre, sa réflectivité et sa transmissivité sont presque nulles. La température de l'absorbeur à augmenter avec un taux de 8,02% durant une variation de rayonnement solaire de  $250 \text{ W/m}^2$  ( $500 \text{ W/m}^2$  jusqu'à  $750 \text{ W/m}^2$ ). En outre, on remarque que la température moyenne du vitrage est plus basse que la température de l'absorbeur, due à la faible absorptivité du vitrage à son refroidissement convectif des deux côtés.



**Figure IV.8: L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'intensité de rayonnement solaire**

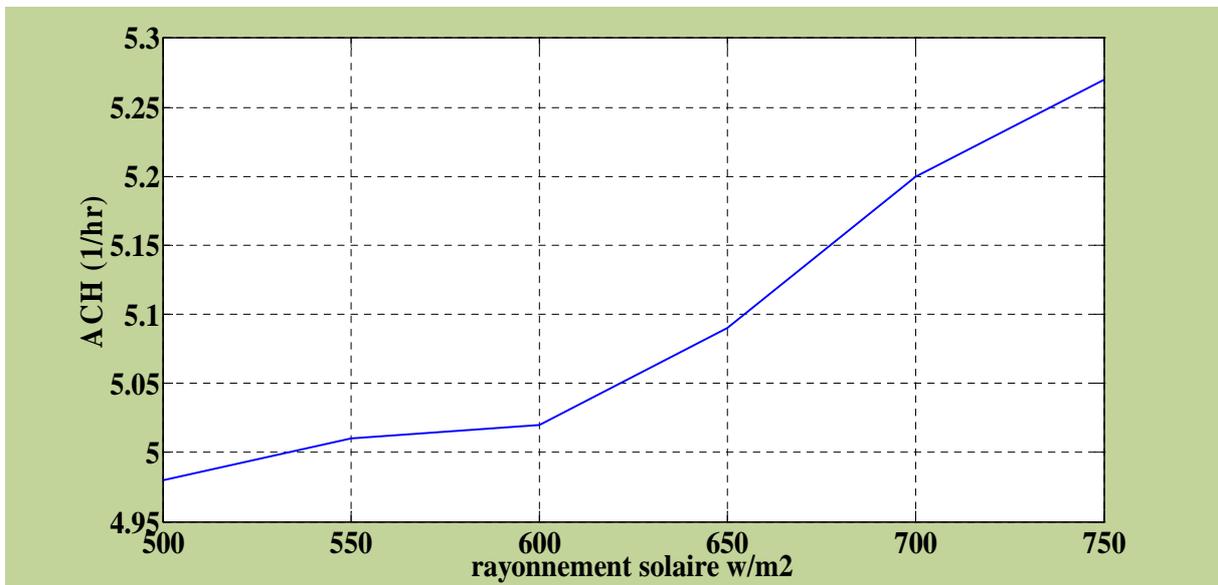
La figure (IV.8) montre l'influence de rayonnement solaire sur la vitesse d'air à la sortie de la cheminée. On constate que la vitesse d'air a augmentée avec un taux de 15,36 % durant une variation de l'intensité de rayonnement solaire de  $500$  à  $750 \text{ W/m}^2$ . Cela est dû à l'augmentation de l'écart entre la température du fluide et la température de l'air dans la chambre qui est considéré comme le moteur du renouvellement d'air.



**Figure IV.9: L'évolution de la densité d'air en fonction de l'intensité de rayonnement solaire**

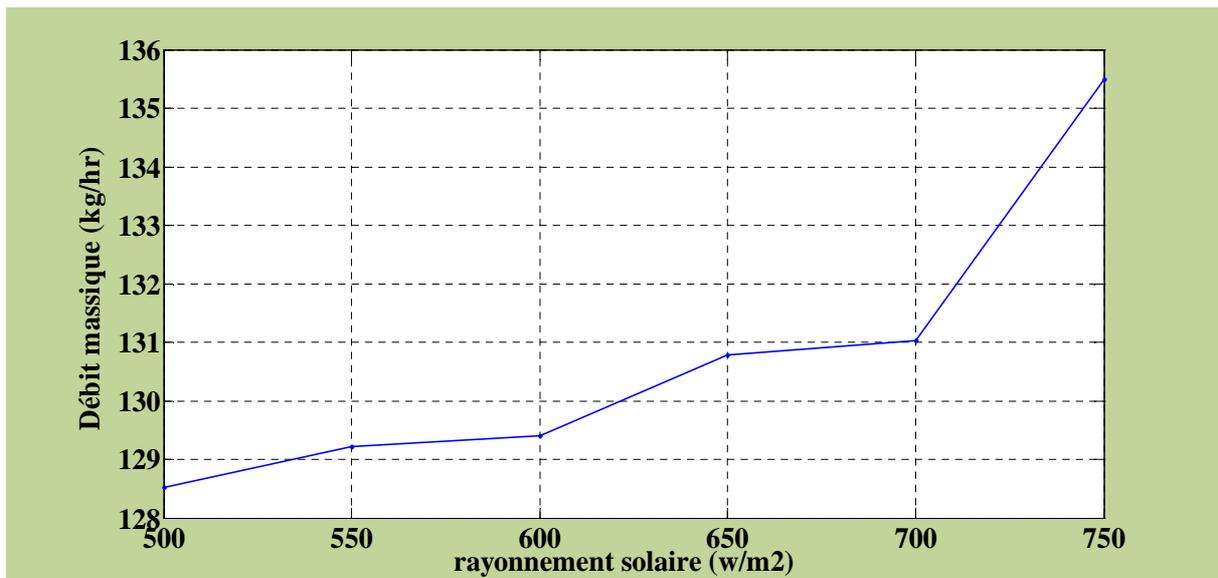
La Figure (IV.9) montre l'évolution de la densité d'air (masse volumique) en fonction de l'intensité de rayonnement solaire. On remarque que plus la température augmente, la masse volumique de l'air diminue. L'effet de cheminée est dû à cette différence de densité entre l'air chaud et l'air froid. Ceci est généralisé en

$$\rho = 1.293 \frac{273}{273+T} \quad \text{IV.47}$$



**Figure IV.10 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire**

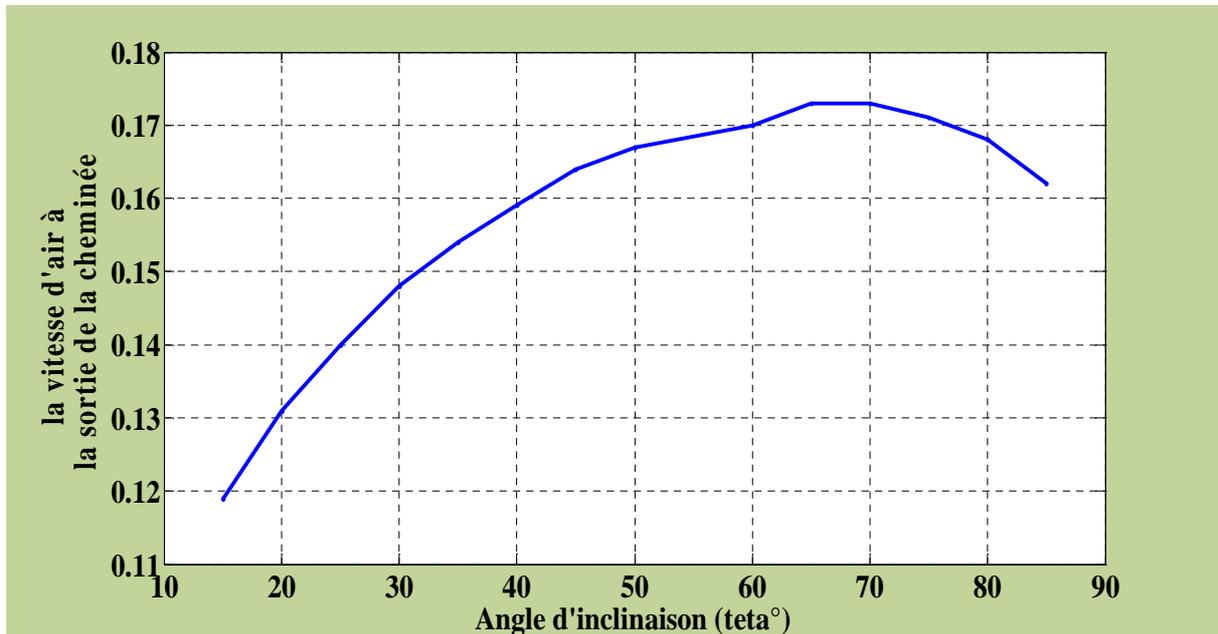
La figure (IV.10) montre l'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour un angle d'inclinaison fixe de  $45^\circ$ . Cette figure montre que l'augmentation de l'ACH est proportionnelle avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire. L'augmentation de ce dernier provoque une élévation de la température au niveau de l'absorbeur, traduite par l'augmentation de la force motrice et la force de flottabilité, ainsi que la vitesse d'écoulement.



**Figure IV.11 : L'évolution de débit massique en fonction de l'intensité de rayonnement solaire**

La figure (IV.11) montre l'évolution du débit massique en fonction de l'intensité de rayonnement solaire. On remarque que le débit massique de l'air dans la cheminée augmente avec l'augmentation du rayonnement solaire. En tant que puissance principale de la cheminée solaire, le rayonnement solaire est transmis par le verre transparent, puis il est principalement absorbé par la paroi de stockage thermique (absorbeur) pour augmenter la température de l'air à l'intérieur. L'air chaud monte par l'effet de la cheminée, ce qui favorise la ventilation naturelle à l'intérieur. Avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire, le gain de chaleur stockée par l'absorbeur augmente. Le débit a augmenté avec un taux de 15% durant la variation du rayonnement 500 à 750W/m<sup>2</sup>.

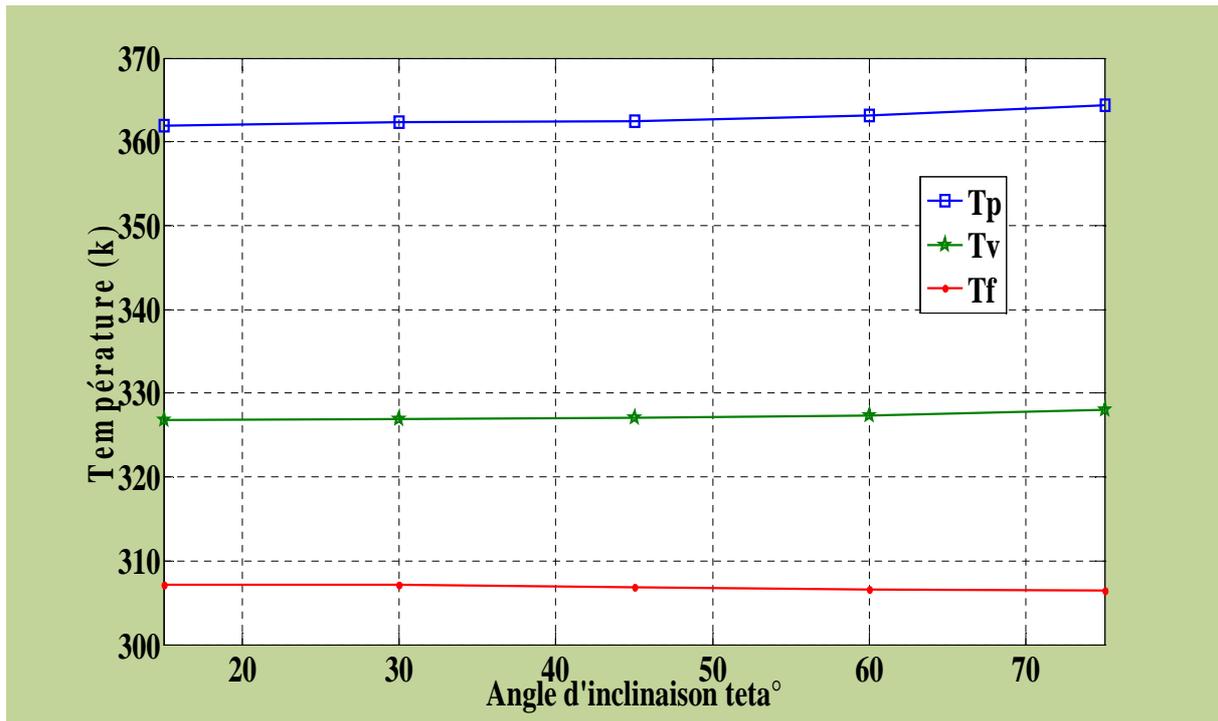
**IV.4.5.3 Influence de l'angle d'inclinaison :**



**Figure IV.12: L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'angle d'inclinaison de la cheminée solaire**

La figure (IV.12) montre l'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'angle d'inclinaison. La variation de la vitesse de sortie de l'air est fonction de l'angle d'inclinaison de la cheminée. La figure montre que la vitesse de sortie de l'air augmente à mesure que l'angle d'inclinaison augmente par rapport au plan horizontal. La vitesse atteint la valeur maximum au voisinage de 70°. Cette vitesse de sortie aidera à aspirer de l'air plus frais à l'espace.

- Ce phénomène de convection naturelle est lié à des considérations d'accélération dynamique dans le sens vertical correspondant aux forces de flottabilité.
- Un angle d'inclinaison petit, peut être entrainer une haute résistance à l'écoulement à l'entrée de la cheminée dû à la déviation brusque de l'écoulement dans la cheminée.

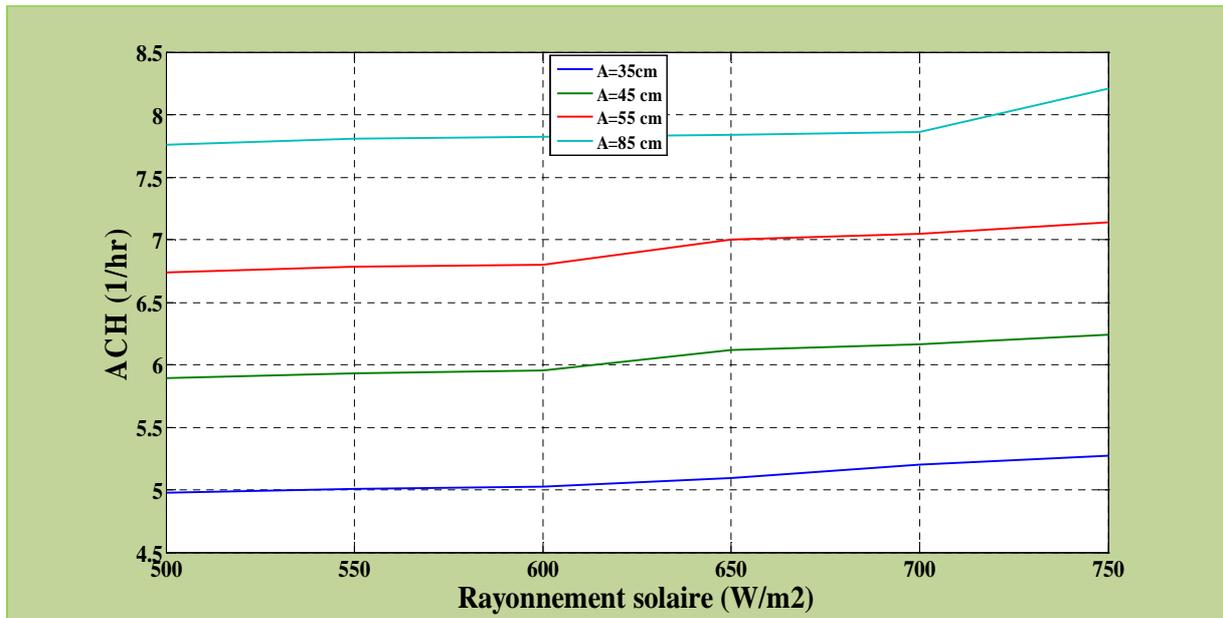


**Figure IV.13: L'évolution de la température de l'absorbeur, vitrage et le fluide en fonction de l'angle d'inclinaison de la cheminée solaire**

La figure (IV.13) montre l'influence de l'inclinaison de la cheminée sur le comportement thermique de ses composants (absorbeur, vitrage, air) pour une valeur constante du rayonnement solaire  $I=500 \text{ w/m}^2$  et une largeur de 0,35 m et une hauteur de 1m. On remarque que l'inclinaison de la cheminée influe sur les températures de la cheminée, la température de l'absorbeur et la température du vitrage augmentent avec un taux de 4,1% et 2.37%, respectivement. L'influence de l'inclinaison sur la température d'air qui traverse la cheminée est faible, puisque la cheminée est ouverte des deux cotés pour assurer le renouvellement d'air du local.

#### **IV.4.5.4 L'influence des paramètres géométriques sur ACH :**

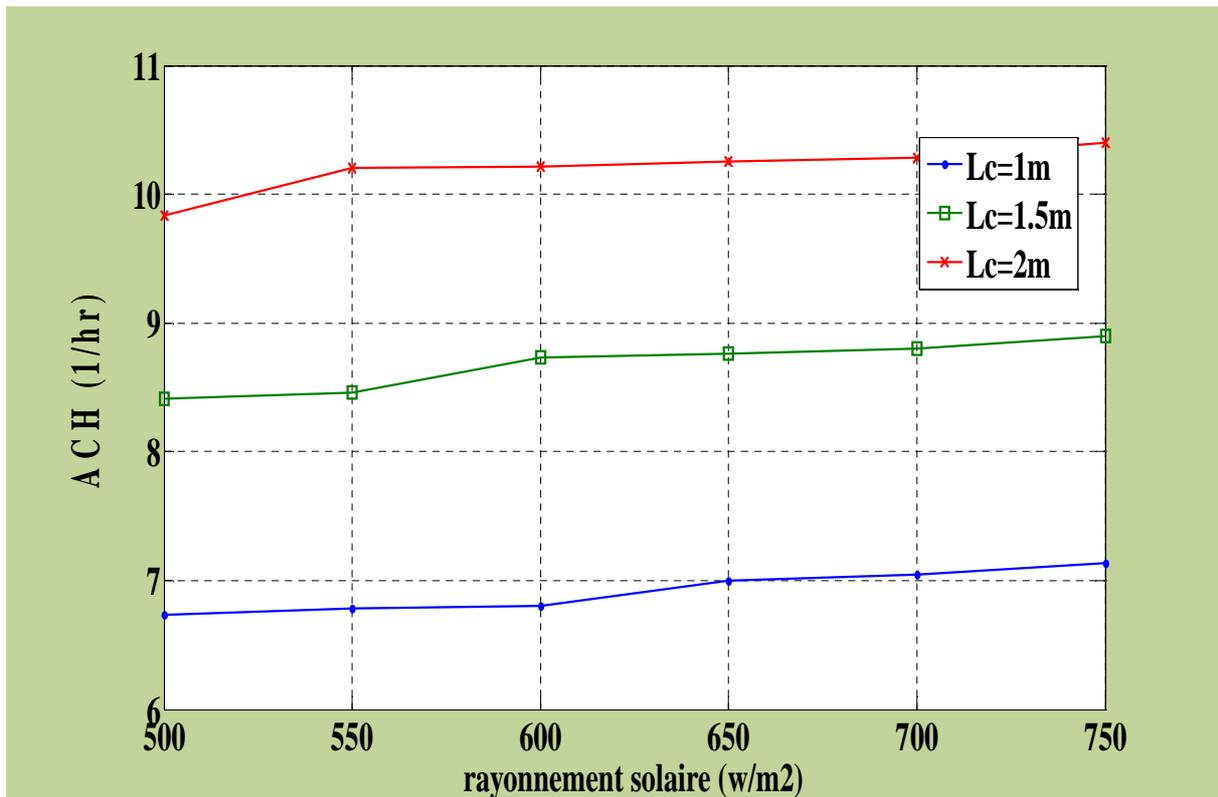
Les figures (IV.14, IV.15 et IV.16) montrent la variation du volume d'air renouvelé ACH en fonction de la largeur, de la hauteur et de l'angle l'inclinaison de la cheminée solaire à différentes intensités de rayonnement solaire.



**Figure IV.14 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour différentes largeurs de la cheminée.**

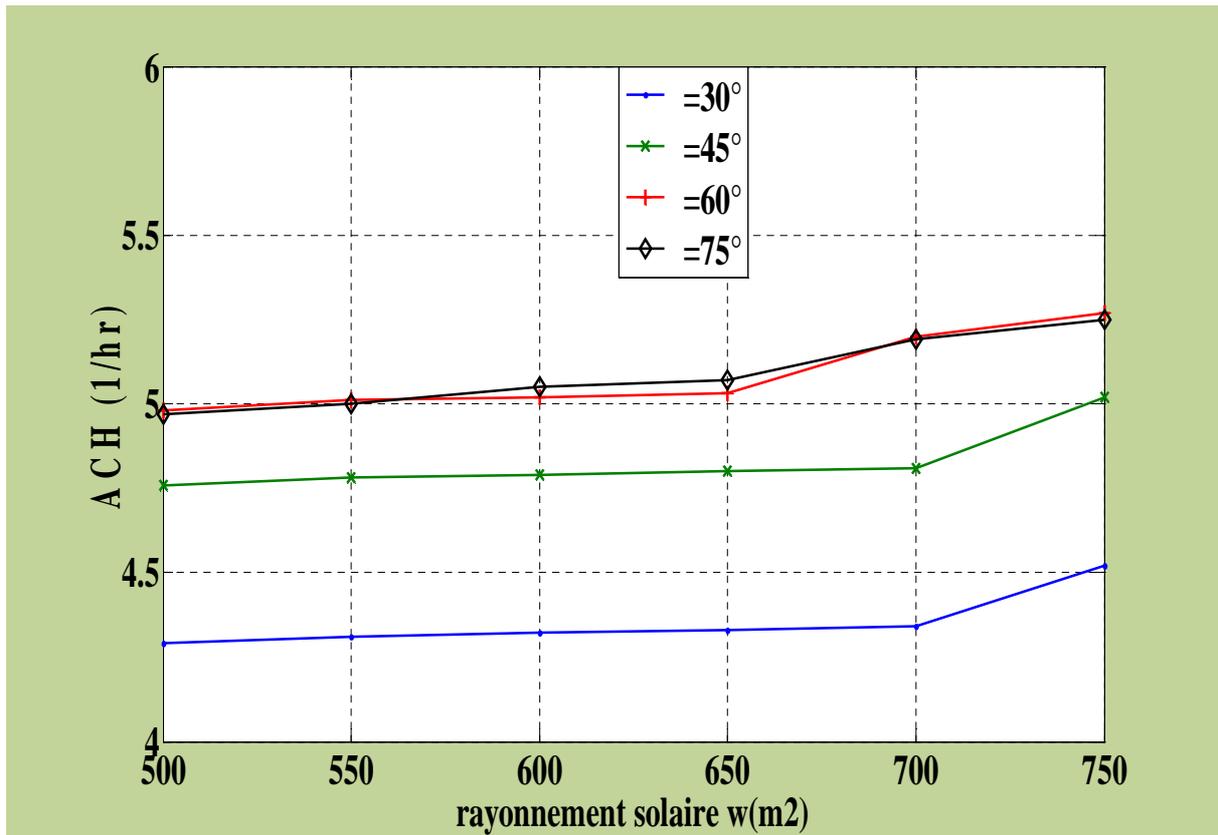
La figure (IV.14) montre la variation du volume d'air renouvelé ACH en fonction de la largeur de la cheminée Solaire (0,35m, 0,45m, 0,55m et 0,85m) pour un angle d'inclinaison de 45° et une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup>. On constate une visible amélioration dans l'ACH avec l'augmentation de la largeur de la cheminée solaire.

Ainsi que, les pertes de pression pour la circulation d'air ont été dues réduit à l'augmentation des ouvertures, qui mènent à obtenir le maximum taux de ventilation à la grande largeur de la cheminée mais le gain d'amélioration de l'ACH serait diminuée au-delà d'une largeur supérieure à 0,45 m pour une hauteur de la cheminée de 1m.



**Figure IV.15 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour différentes hauteurs de la cheminée.**

La figure (IV.15) montre la variation du volume d'air renouvelé ACH avec l'augmentation de la hauteur de la cheminée solaire. Ces résultats montrent qu'avec l'augmentation de la hauteur de la cheminée solaire, le taux d'écoulement d'air augmente rigoureusement. La superficie de l'absorbeur augmente avec l'augmentation de la hauteur de la cheminée. Par conséquent, un rayonnement solaire plus élevé a été absorbé et la température de l'air à l'intérieur de la cheminée solaire augmente. Cela provoque une meilleure différence de densité d'air entre l'entrée et la sortie. Par conséquent, on peut dire que l'augmentation de la hauteur de la cheminée solaire apporte l'augmentation évidente du taux d'écoulement de l'air.



**Figure IV.16 : L'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour différents angles d'inclinaison de la cheminée pour une intensité de  $500 W/m^2$ .**

La figure (IV.16) indique l'évolution d'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire pour différents angles d'inclinaison de la cheminée. D'après les résultats, on peut voir que l'ACH augmente avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison de la cheminée solaire. On remarque un bon gain de renouvellement d'air entre  $30^\circ$  et  $45^\circ$ . A partir de  $45^\circ$ , le gain diminue et arrive au maximum à  $60^\circ$ . Au delà de  $60^\circ$ , l'ACH diminue avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison.

# Chapitre V

The image features the text 'Chapitre V' in a large, bold, green, sans-serif font. Below the main text, there is a shadow or reflection of the same text in a brownish-gold color, creating a 3D effect. The shadow is slightly offset and has a soft, blurred edge.

# Chapitre V

## *Etude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire*

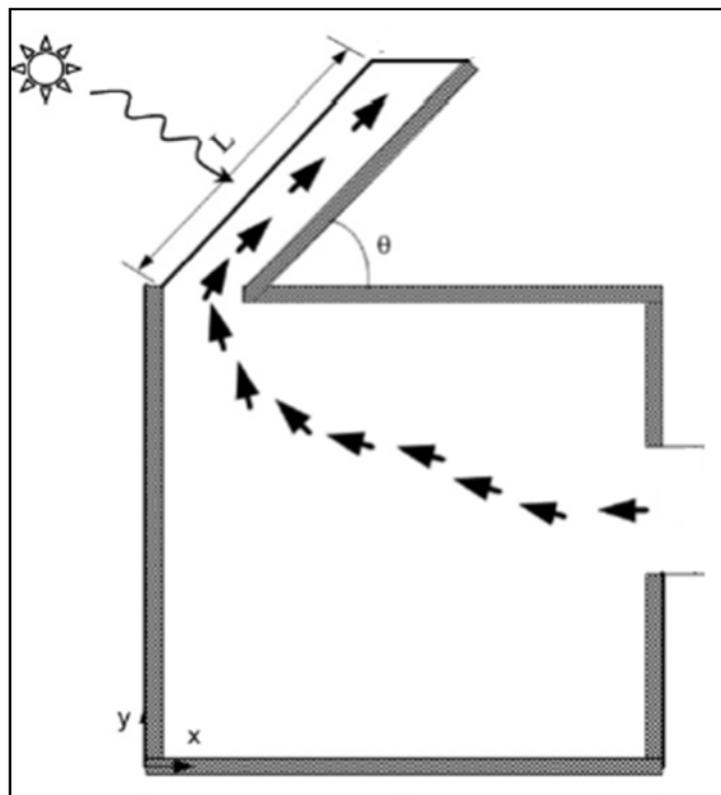
### **Sommaire**

V.1 Introduction .....	89
V.2 Equations générales en régime laminaire .....	90
V.3 Principes des codes CFD .....	90
V.4 Etude comparative entre des différentes géométries à l'aide de code de champs Fluent. ....	91
V.4.1.1 Description du phénomène .....	91
V.4.1.5 La convergence .....	91
V.4.2 Résultats obtenus dans le cas de la géométrie simple .....	95
V.4.2.1 l'influence de la largeur de la cheminée .....	95
V.4.2.1.1 Champs de vitesse et les lignes de courants .....	96
V.4.2.1.2 <i>Contours de la température</i> .....	99
V.4.2.2 Influence de l'intensité du rayonnement solaire .....	101
V.4.2.2.1 <i>Champs de vitesse</i> .....	102
V.4.2.2.2 <i>Contours de la température</i> .....	104
V.4.2.3 Influence de l'angle d'inclinaison de la cheminée .....	106
V.4.2.3.1 Champs de vitesse .....	106
V.4.2.3.2 <i>Contours de la température</i> .....	109
V.4.2.4 Effet de la position de l'ouverture .....	111
V.4.2.4.1 <i>Champ de vitesse et les lignes de courant</i> : .....	112
V.4.2.4.2 <i>Contours de température</i> .....	113
V.4.3 Cas de géométrie complexe (deux chambres à coté) .....	113
V.4.3.1 champ de vitesse et les lignes de courant .....	114
V.4.3.2 <i>Contours de température</i> .....	116

### **V.1 Introduction**

L'étude des phénomènes intervenant dans la thermique du bâtiment consiste à étudier le transfert de chaleur par convection thermique sous ses trois formes, naturelle, forcée, et mixte. Le système d'équation obtenu traduit la conservation de la masse et de la quantité de mouvement d'air à l'intérieur du local (équations de Navier-Stokes), ainsi que la conservation de son enthalpie (équations d'énergie). Ce système est souvent trop compliqué à résoudre, et nécessite une résolution à l'aide d'un code de calcul CFD (Computational Fluid Dynamics). Il existe un grand nombre de codes CFD disponibles, qu'ils soient commerciaux du domaine public ou encore propre à certaines institutions.

Dans ce chapitre, nous allons détailler les équations générales gouvernantes qui régissent les écoulements. En suite, nous discuterons le principe des codes de calcul et les différentes approches qui permettent de construire le modèle **CFD** étudié sous un environnement **Fluent**.



**Figure V.1: Intégration d'un système type cheminée solaire pour favoriser le tirage naturel.**

Pour formaliser la convection naturelle, il faut décrire le couplage des champs de température, de pression et de vitesse à partir des équations de conservation. La convection naturelle engendrée par des transferts de chaleur au voisinage des surfaces chauffées a été largement étudiée tant au niveau théorique qu'expérimental. En mécanique des fluides, en supposant que le fluide est un milieu continu, on peut utiliser les lois classiques de la conservation qui sont :

- Loi de Lavoisier (principe de conservation de la masse) pour atteindre l'équation de continuité.
- Deuxième loi de Newton (principe de conservation de quantité de mouvement) pour atteindre les équations de quantité de mouvement.
- Loi de conservation d'énergie (premier principe de la thermodynamique) pour atteindre l'équation d'énergie.

Ces trois lois de la physique classique peuvent être exprimées dans l'équation suivante.

$$\text{Accumulation} = (\text{entrée} - \text{sortie}) + \text{source}$$

## **V.2 Equations générales en régime laminaire**

Dans le cas laminaire, les problèmes d'écoulements de fluide peuvent être traités par la résolution de l'équation de continuité, de l'équation de Navier Stokes et l'équation d'énergie. Dans un écoulement permanent est laminaire, les lignes de courants confondues avec les trajectoires sont des courbes fixes dans l'espace et ne se mélangent pas au cours du mouvement. Les couches fluides glissent les unes sur les autres, sans qu'il y ait passage de particule d'une couche à l'autre.

### **V.2.1 Mise en équations de la convection**

Dans un processus de transfert de chaleur par convection, la résolution du problème passe d'abord par celle du phénomène du mouvement du fluide ; c'est pourquoi, le processus physique s'exprime du point de vue mathématique par un système d'équations différentielles qui comprend l'équation d'échange de chaleur superficiel (**équation de Newton**) et les équations relatives à l'écoulement (équations de **continuité**, de **Navier-Sokes** et d'**énergie**).

Dans le cas général, sous forme cartésienne, nous avons :

### **V.2.2 L'équation de l'énergie.**

On déduit cette équation en se basant sur la loi de conservation de l'énergie. Dans le régime permanent :

$$\rho c_p \left( v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad \text{V.1}$$

### **V.2.3 Les équations de Navier-Stokes :**

Pour résoudre l'équation d'énergie, il faut déterminer d'abord le champ des vitesses  $v_x$ , et  $v_y$ . Ceci nous conduit directement aux équations de **Navier Stokes** qui s'écrivent, dans le cas général, comme suit :

$$\rho \left( v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \rho F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right] \quad \text{V.2}$$

$$\rho \left( v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) = \rho F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right] \quad \text{V.3}$$

- $F_x, F_y$  , : représentent les projections du vecteur résultant des forces de surface (force de pesanteur).
- $v_x, v_y$  : représentent les projections du vecteur vitesse selon  $x$  et  $y$ .
- $P$  désigne la pression,  $\rho$  la densité du fluide et  $\mu$  la viscosité dynamique du fluide

Pour arriver aux expressions des équations de **Navier Stokes**, on doit tenir compte des forces de pesanteur, des forces de pressions et des forces de frottements. Les équations de **Navier Stokes** permettent de déterminer la répartition des vitesses à l'intérieur du fluide. Elles font intervenir cependant la pression comme une nouvelle inconnue et donc il est nécessaire d'avoir une quatrième équation qui est **l'équation de continuité** (loi de conservation de masse).

### **V.3 Principes des codes CFD :**

Les codes **CFD (Computational Fluid Dynamics)**, permettent de résoudre numériquement les équations régissant les mouvements d'un fluide c'est-à-dire les équations traduisent la conservation de la masse et de la quantité de mouvement du fluide (équations de Navier-Stokes), ainsi que la conservation de son enthalpie. Certains codes permettent également de décrire le transport de polluant ou les réactions chimiques au sein d'un fluide. Il existe un grand nombre de codes **CFD** disponibles, pour notre travail, nous avons choisi le

code CFD **Fluent** (commercialisé par **Fluent Incorporated, version 6.3**), ce dernier permet en effet de répondre à nos besoins de calcul.

Pour construire, un modèle **CFD**, il y a plusieurs étapes :

- La construction de la géométrie
- La construction du maillage
- La sélection des modèles physiques: en fait, ce sont rarement les équations exactes de **Navier-Stokes** qui sont à l'origine des modèles **CFD** parce que la résolution des équations exactes serait trop Coûteuse en temps de calcul comme c'est le cas pour la turbulence. Ce sont donc des équations approchées qui sont proposées pour décrire les phénomènes physiques et l'ensemble de ces équations constitue un 'modèle'.
- La prescription des conditions aux limites.
- La sélection de méthodes numériques pour obtenir une solution approchée
- Le traitement des résultats.

Dans ce chapitre, nous allons utiliser le code CFD **Fluent**, dans deux cas de configurations différentes. Dans chaque cas, nous allons détailler la géométrie du local, en suite le maillage de cette dernière, et puis citer les différentes conditions aux limites.

### **V.4 Etude comparative entre des différentes géométries à l'aide de code de champs Fluent.**

Nous avons effectué dans un premier temps une étude comparative entre les résultats numériques obtenus à l'aide du code CFD **Fluent** avec des différentes géométries du local

#### **V.4.1 Cas de la géométrie simple (une seule cavité) :**

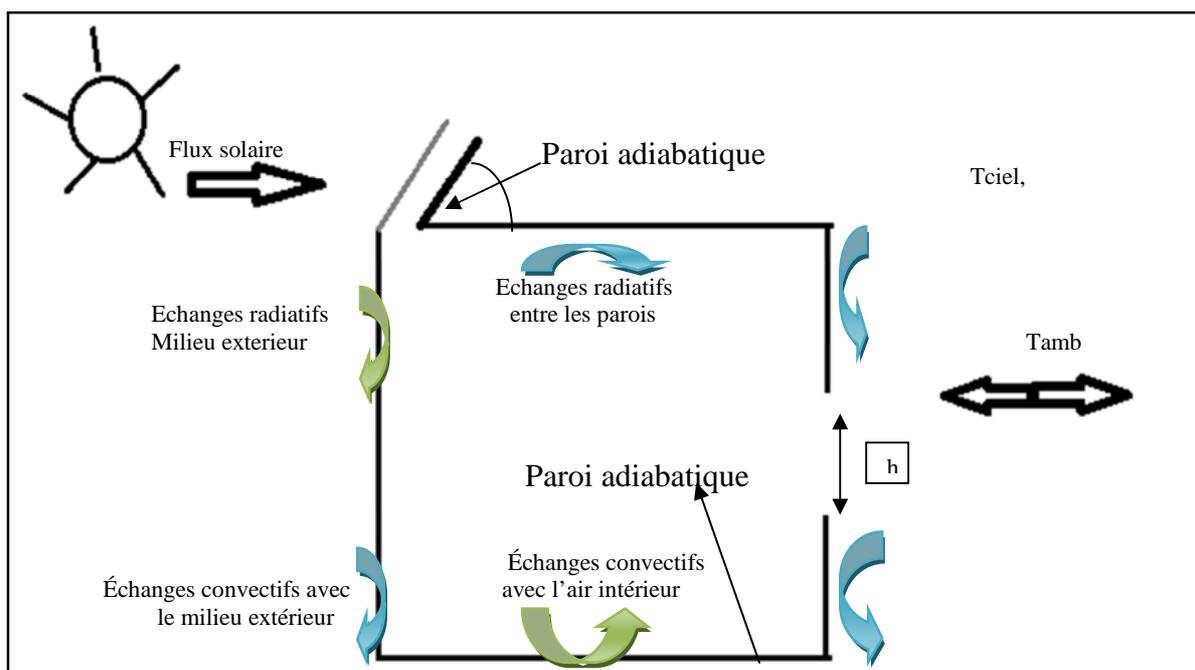
On va étudier la distribution de la vitesse et de la température dans une enceinte carrée avec une fenêtre dans le mur orienté dans le nord, menée d'une source de chaleur par une cheminée solaire située sur le toit, elle est inclinée et orientée vers le sud. Il s'agit d'étudier le transfert de chaleur par convection naturelle dans cette enceinte. L'objectif de cet étude est la prédiction de la distribution de température dans un local à géométrie simple ventilé par la force de la flottabilité et vérifier les conditions de confort en fonction de la position de sources de chaleur. Le choix de ce cas, est motivé par l'existence des données numériques permettant la validation des résultats obtenus dans notre travail.

**V.4.1.1 Description du phénomène :**

La configuration du local dans ce cas est une seule chambre carrée sans obstacles à l'intérieur du local (simple). Les phénomènes intervenant dans la thermique du bâtiment, comme le montre la Figure. (V.2), sont :

- Les échanges convectifs: entre les parois et l'air intérieur, et entre les parois à et l'air extérieur.
- Les échanges radiatifs: entre le ciel et l'environnement, et entre les parois elles même.
- La réception du flux solaire incident.
- L'écoulement convectif dû à la ventilation (renouvellement d'air) et aux infiltrations.

Pour ce cas, nous avons une enceinte, de longueur  $L = 3$  m, et largeur  $H = 3$  m.



**Figure V.2 : description du premier cas étudié (une seule chambre)**

**V.4.1.2 Les paramètres géométriques :**

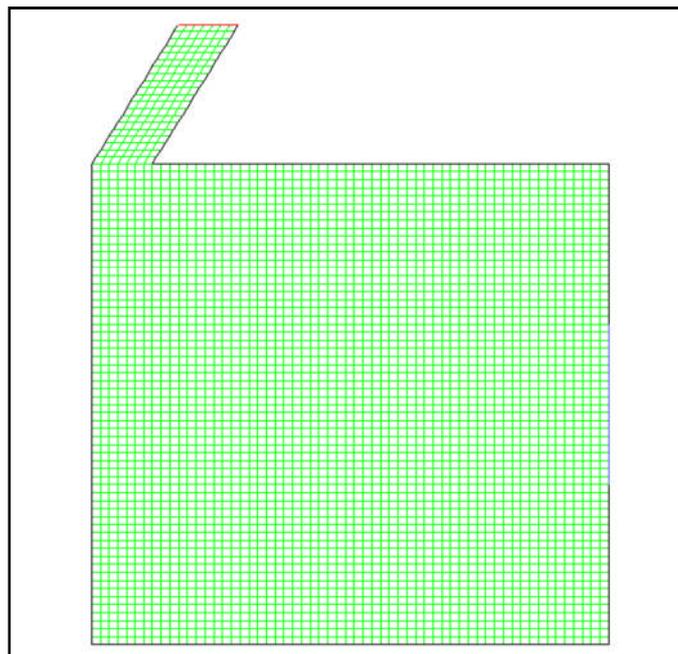
$A_o$	$A_i$	$h$	$L$	$H$	$L_c$	$\theta$
0.35 m	0.35m	1 m	3m	3 m	1 m	45°

**V.4.1.3 Les conditions aux limites :**

La résolution du système d'équations obtenu précédemment nécessite l'incorporation des conditions aux limites pour chaque variable dépendante. Les conditions de températures sont connues sur les parois de la cheminée. Elles sont le résultat du chapitre précédent. La température de l'absorbeur est égale à  $T_p$  et du vitrage à  $T_v$ . Les murs situés dans le côté du sud sont soumis à la convection avec le milieu extérieur et un échange radiatif avec le ciel. Le mur orienté vers le nord et la toiture sont soumis à la convection avec le milieu extérieur. La condition adiabatique est adoptée pour la paroi inférieure (le plancher).

#### **V.4.1.4 Maillages :**

Pour une meilleure précision et une meilleure stabilité, nous avons adopté un maillage quadrilatéral structuré à multi bloc formé de lignes continues à travers le domaine, qui suivent au mieux le contour des surfaces définissant la géométrie. Après des tests de précision, un maillage de 7073 cellules a été adopté.

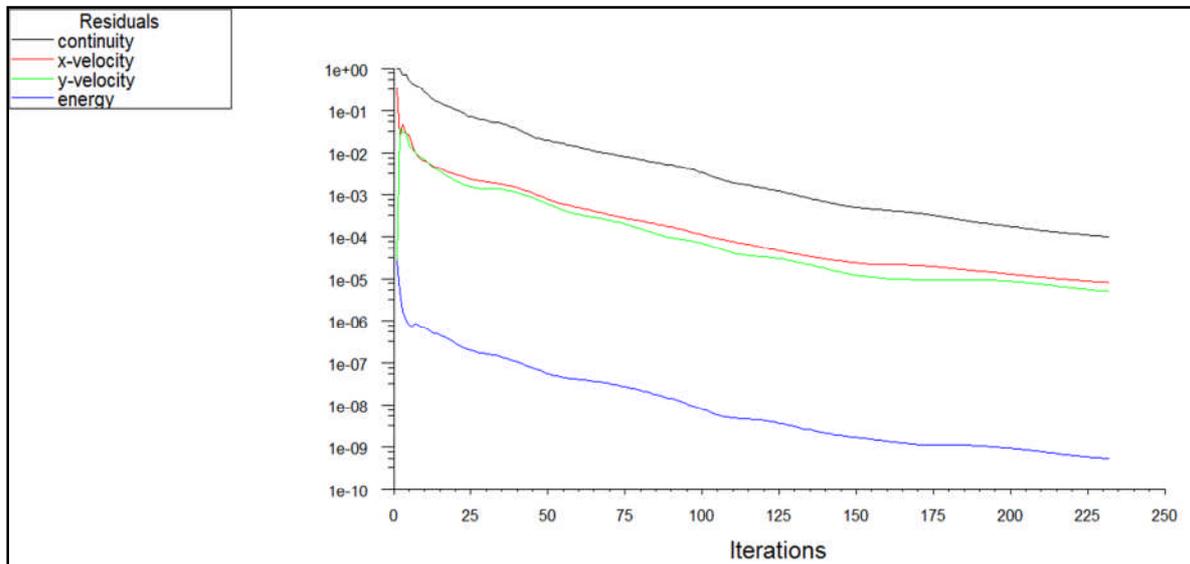


**Figure V.3 : Maillage pour chambre simple**

#### **V.4.1.5 La convergence :**

L'algorithme SIMPLE est utilisé pour résoudre le couplage entre la pression et la vitesse dans les équations de continuité et de quantité de mouvement. L'équation d'énergie est résolue numériquement en utilisant le modèle de radiation **ROSSELOND (annex)** Une

solution numérique est prise convergée lorsque les résidus pour les différentes grandeurs physiques deviennent inférieurs à  $10^{-6}$ .



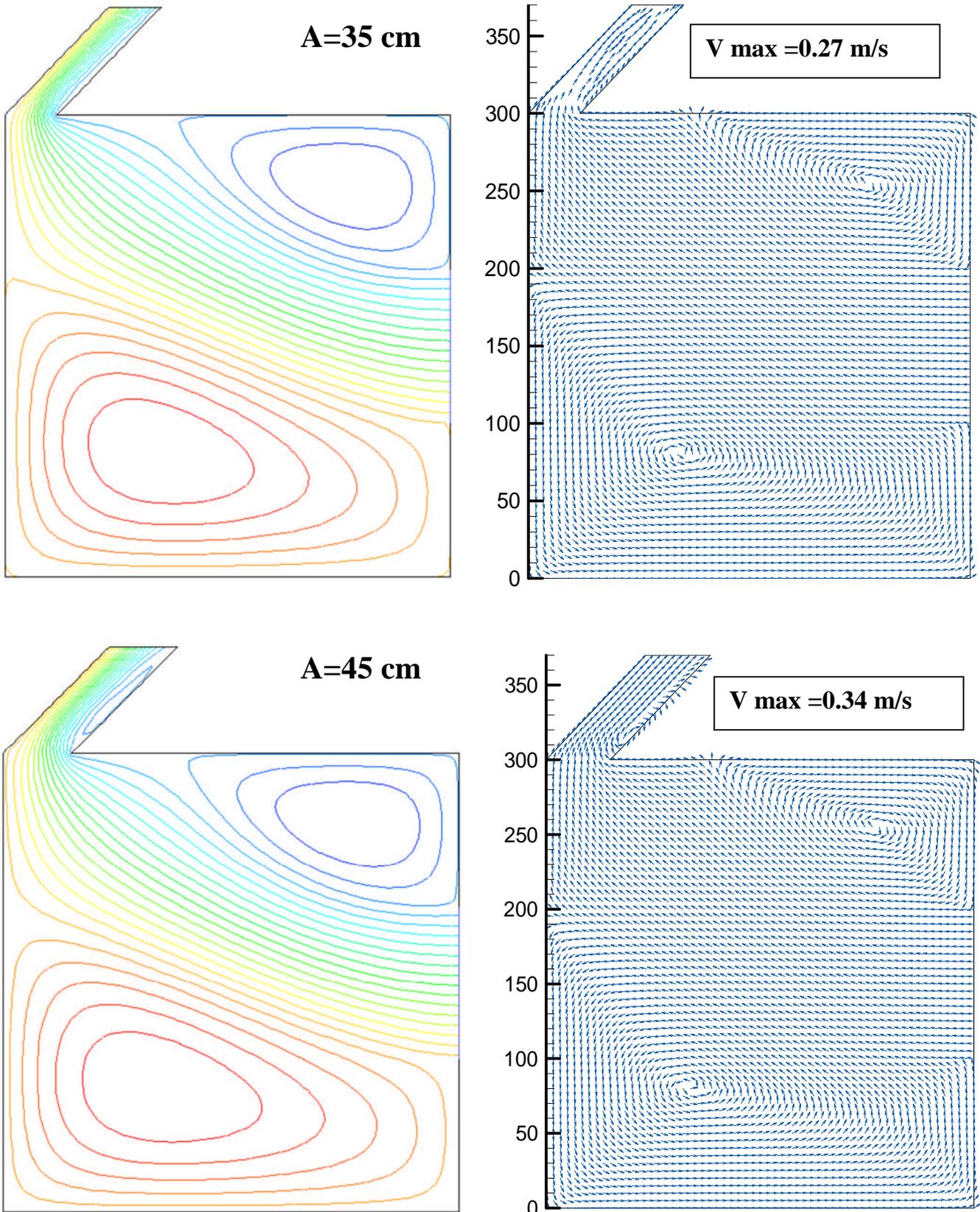
**Figure V.4. la convergence des résultats**

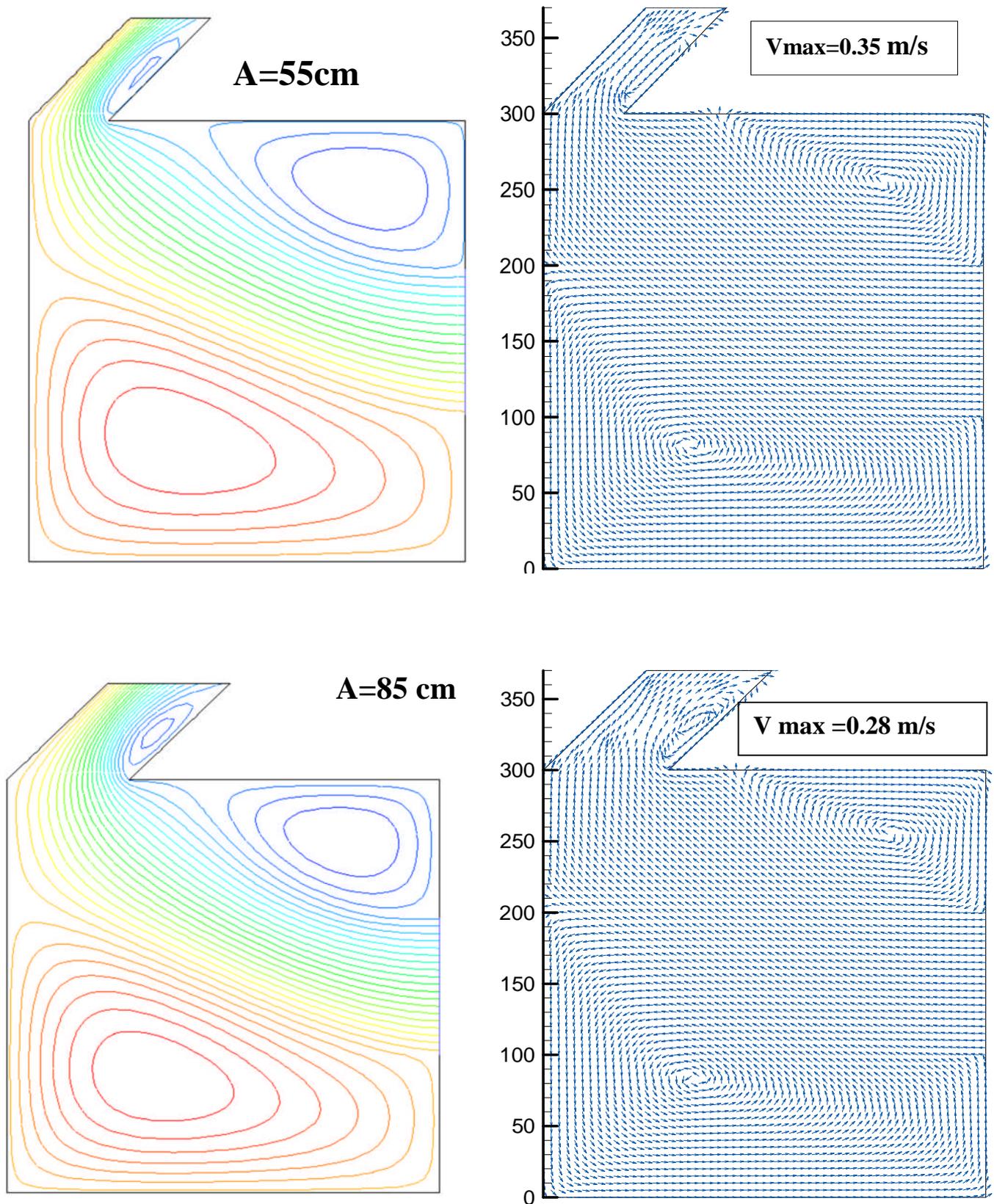
**V.4.2 Résultats obtenus dans le cas de la géométrie simple :**

**V.4.2.1 l'influence de la largeur de la cheminée :**

Les résultats représentés sur les figures (V.5) et (V.6) illustrent l'évolution des vecteurs de vitesse, de la température et des lignes de courant d'un écoulement relatif à une pièce munie d'une cheminée solaire de hauteur de 1m et une inclinaison de  $45^\circ$  pour différentes largeurs (0,35, 0,45, 0,55, 0,85 m) à une intensité solaire de  $500 \text{ W/m}^2$ .

**V.4.2.1.1 Champs de vitesse et les lignes de courants :**





**Figure V.5 : Champ de vecteur de vitesse et les lignes de courant d'air pour différentes largeur de la cheminée à une intensité solaire de  $500\text{ W/m}^2$ .**

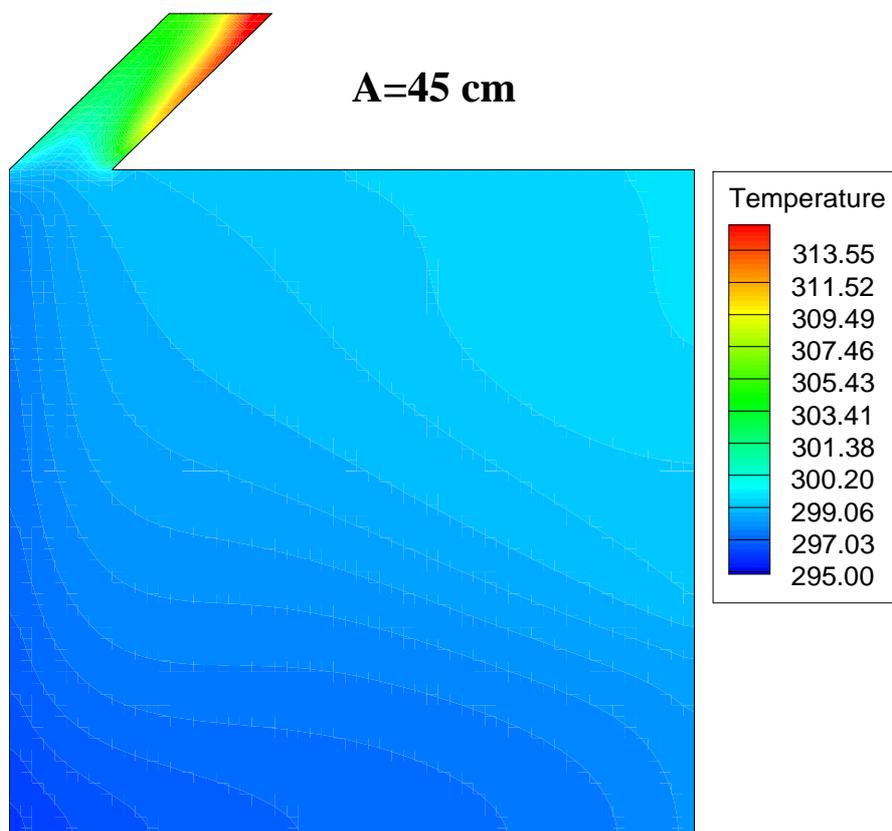
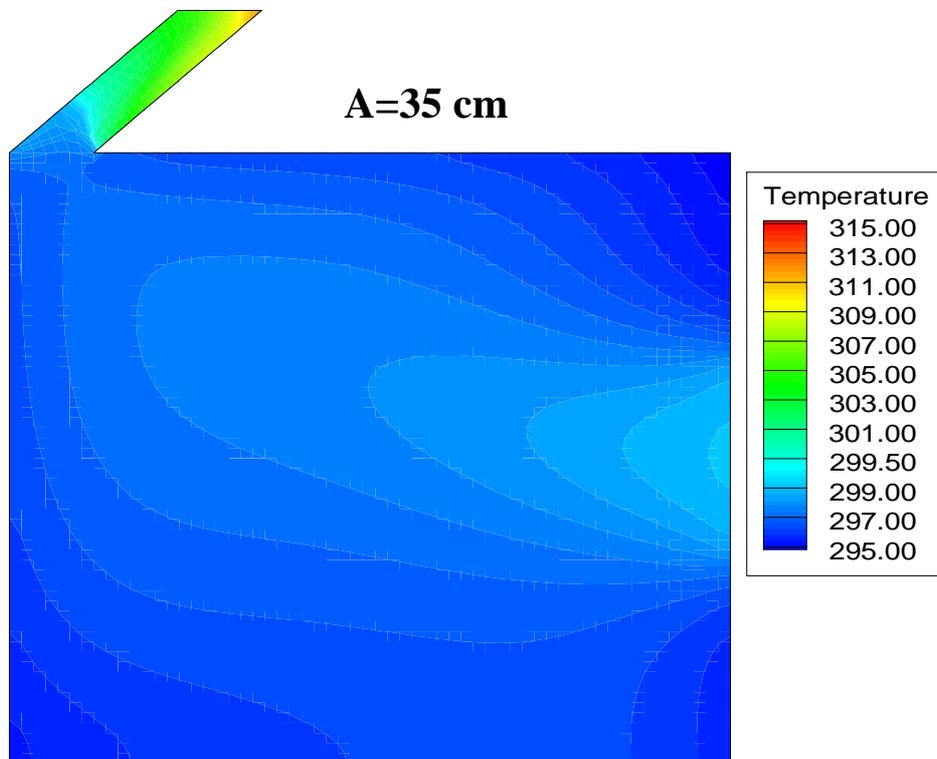
La figure (V.7) montre les champs des vecteurs de vitesses et des lignes de courant d'air pour différentes largeurs de la cheminée (35, 45, 55 et 85 cm) à une intensité solaire de  $500 \text{ W/m}^2$ . L'espace entre l'absorbeur et la couverture en verre (largeur de la cheminée) joue un rôle important dans la ventilation naturelle.

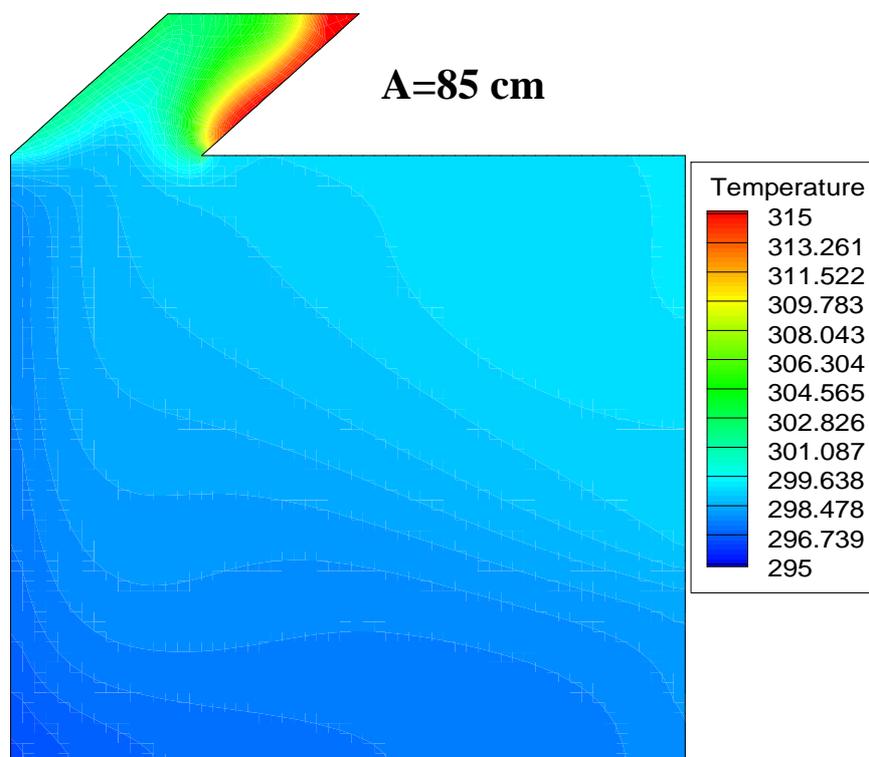
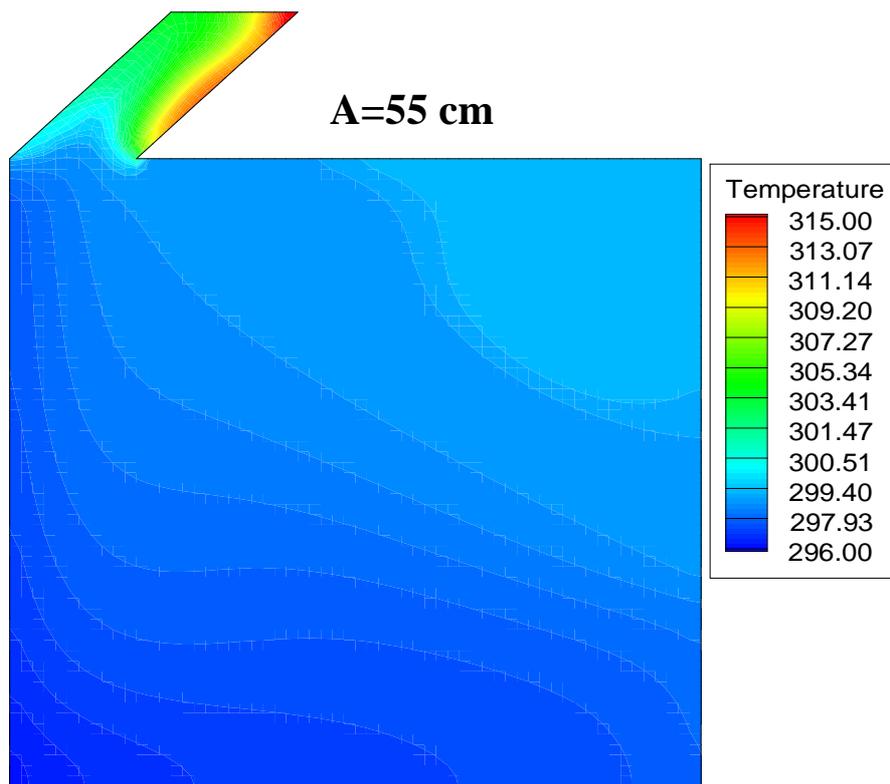
D'après les figures, la vitesse maximale d'air au niveau du système augmente avec l'augmentation de la largeur de la cheminée, elle s'accroît de 0,27 m/s à 0,34 m/s pour une variation de largeur de la cheminée de 35 cm à 45 cm. Pour une largeur de 55 cm, le gain en vitesse diminue considérablement et la vitesse maximale atteint 0,35 m/s. A partir de 55 cm, la figure montre que la vitesse d'air diminue avec l'accroissement de la largeur de la cheminée et atteint 0,28 m/s à la sortie de la cheminée pour une largeur 85 cm. qui nous explique que la valeur du débit augmente avec une largeur élevée.

Il faut souligner qu'avec l'augmentation de la largeur de la cheminée, il y a apparition d'un phénomène de recirculation qui peut prendre de l'ampleur et entraîne la diminution de la vitesse d'air ventilé dans le système. On constate l'apparition de deux vortex, un grand vortex situé en bas et à gauche de la pièce tournant dans le sens antihoraire, et un autre moins important situé en haut et à droite de la pièce tournant dans le sens horaire. Les deux vortex soulignent la présence de la convection naturelle à ces endroits. On remarque l'absence de vortex au milieu de la pièce qui souligne la dominance de la convection forcée au niveau du couloir d'air écrasé par les deux vortex.

La figure montre que la variation de la largeur de la cheminée n'a pas un grand effet sur la taille et la région des deux vortex dans la pièce. Par contre, l'augmentation de la largeur de la cheminée peut entraîner l'apparition d'un vortex au niveau de la cheminée près de l'absorbeur et ayant pour résultat un décollement de l'écoulement et un retournement d'air. Cette recirculation est expliquée par le prolongement de la largeur de la cheminée au delà de l'épaisseur de la couche limite.

*V.4.2.1.2 Contours de la température :*





**Figure V.6 : Contours de la température pour différentes largeurs de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup>.**

La figure (V.6) représente respectivement la répartition de la chaleur dans le système pour une inclinaison de  $45^\circ$  et une épaisseur de lame d'air respectivement égale à 35, 45, 55 et 85 cm. Nous remarquons que les températures élevées sont toujours localisés dans des espaces étroits au voisinage de l'absorbeur, qui correspondent à l'épaisseur des couches limites thermiques. Loin de l'absorbeur, les gradients de température sont plus faibles. On remarque la présence de stratification thermique verticale près de la paroi sud et horizontale près du bas, où le transfert par conduction est dominant.

Nous remarquons que le vortex inférieur favorise le déplacement du froid de la paroi sud vers le plancher. Pour une largeur de 35 cm, le vortex supérieur favorise le déplacement du froid de la paroi nord vers la toiture. Au-delà de 35 cm, le vortex supérieur favorise le déplacement de l'air chaud entrant vers la toiture.

Pour une largeur de 35 cm, nous constatons un échauffement du fluide à partir de l'entrée où les isothermes sont courbées témoignant le transfert par convection forcée. La cavité se divise en trois espaces, deux espaces plus frais en haut et en bas et un couloir au milieu plus chaud.

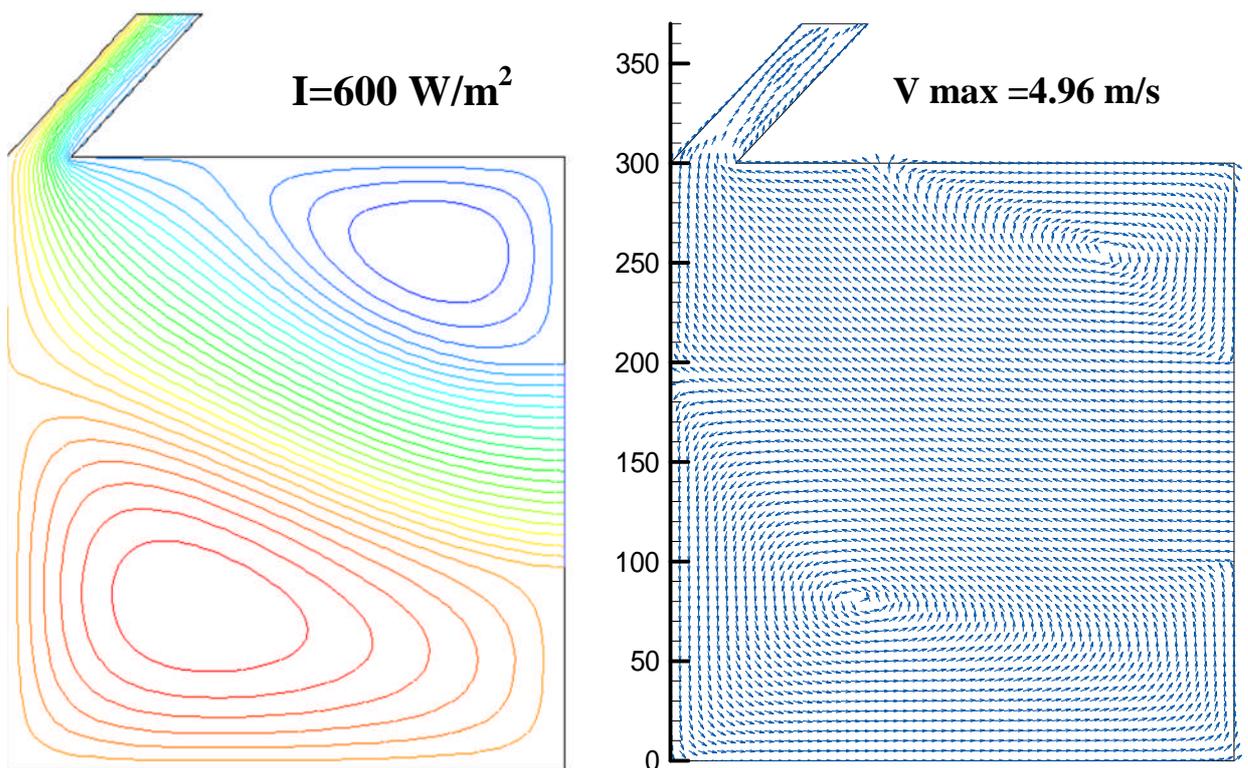
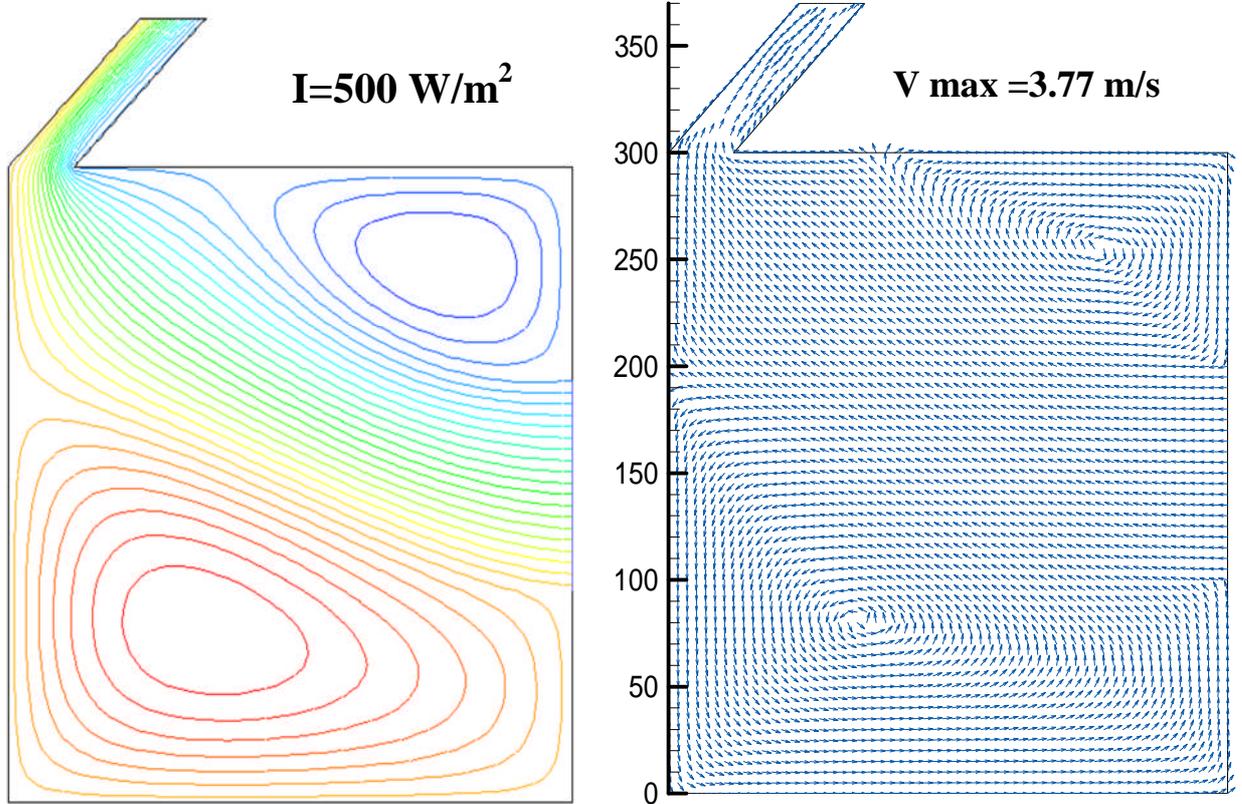
Au-delà de 35 cm, la chaleur de la cheminée influe davantage sur la cavité, et la partie froide qui existe en haut se réchauffe. Les isothermes de l'espace inférieur deviennent plus chaudes proportionnellement avec la largeur de la cheminée donc, il y a une réduction de l'espace froid dans le système.

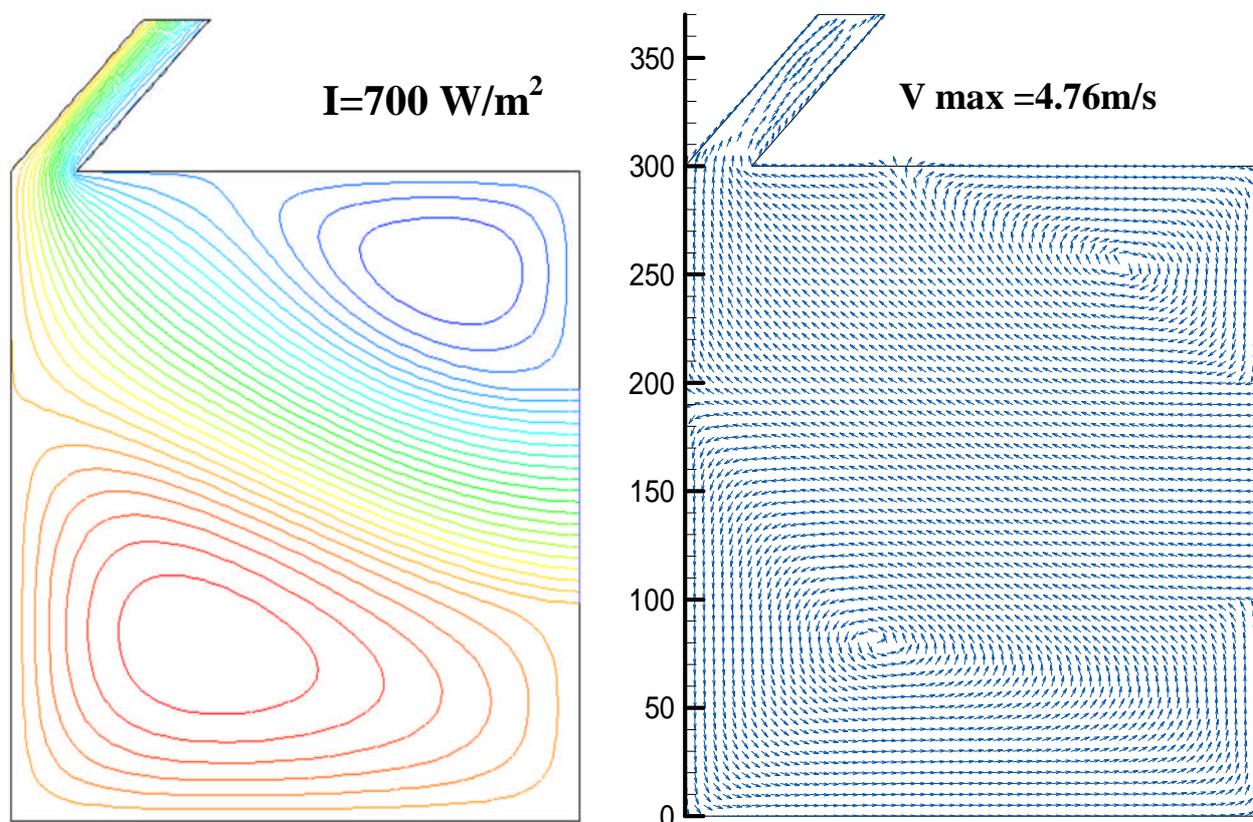
La chaleur produite par le rayonnement solaire, concentrée dans la cheminée, augmente avec l'augmentation de la largeur de la cheminée et qui entraîne le champ de vitesse vers le haut. Ce phénomène crée ainsi une convection naturelle dans le système et qui provoque la diminution des zones du confort et l'augmentation des zones chaudes.

### **V.4.2.2 Influence de l'intensité du rayonnement solaire :**

Les résultats représentés sur les figures (V.7) et (V.8) illustrent l'évolution des champs de vitesse, les lignes de courant et le contour de température d'un écoulement relative à une pièce munie d'une inclinaison de  $45^\circ$  pour différentes intensités solaires (500,600, 700  $W/m^2$ ) avec une largeur de la cheminée 0,35 m.

**V.4.2.2.1 Champs de vitesse :**





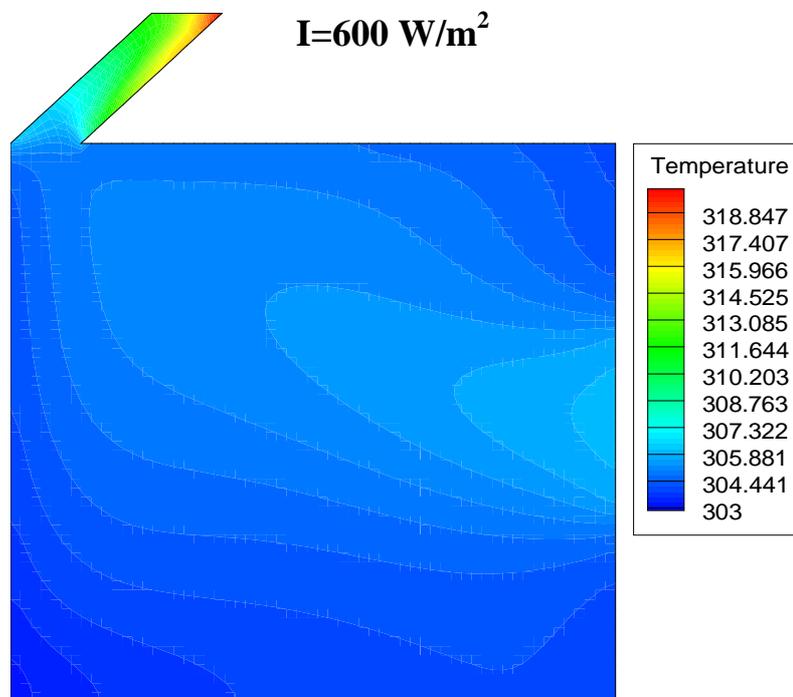
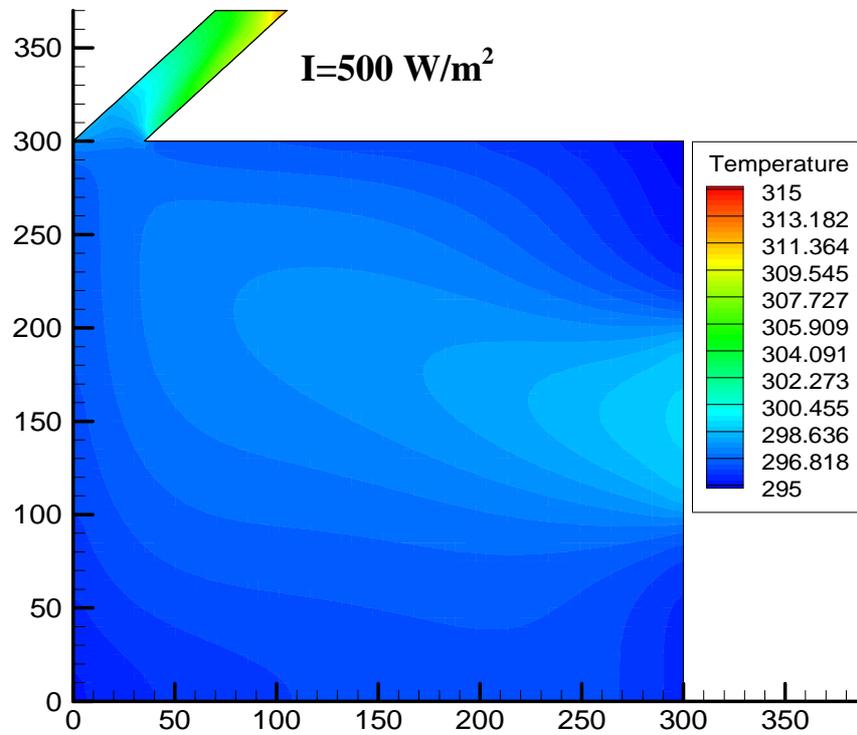
**Figure V.7 : Champs de la vitesse et lignes de courant d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à des intensités solaires différentes et une inclinaison de  $45^\circ$ .**

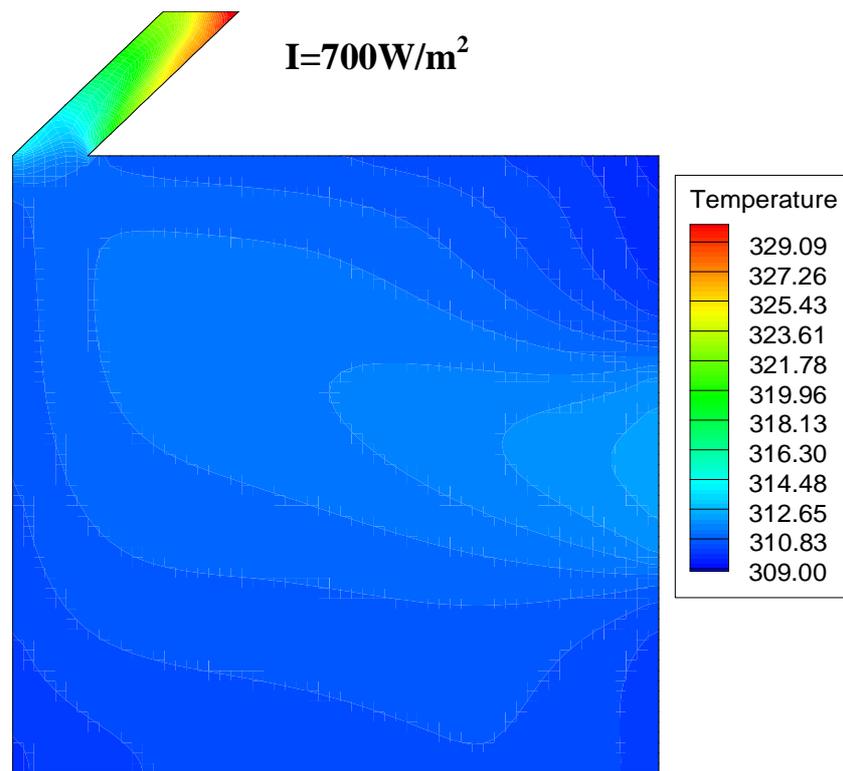
La figure (V.7) montre les champs de vecteur vitesses et des lignes de courant pour une cheminée solaire à un angle d'inclinaison de  $45^\circ$  à différentes intensités solaires : 500, 600 et  $700 \text{ W/m}^2$ . La figure montre l'amélioration de la vitesse d'air à mesure que l'intensité solaire augmente. En effet, l'augmentation d'énergie absorbée par l'absorbeur provoque l'accroissement de l'écart de température entre les deux parois de la cheminée, et donc, accélération de l'air conduisant et un meilleur renouvellement variant proportionnellement avec cet écart. La vitesse d'air augmente avec un taux presque de 20% entre 500 et  $600 \text{ W/m}^2$ . Par contre, l'influence de l'intensité solaire devient plus faible à partir de  $600 \text{ W/m}^2$  où le taux d'augmentation de la vitesse et de 2% lorsque l'intensité solaire augmente à  $700 \text{ W/m}^2$ .

La figure montre aussi que les valeurs maximales de la vitesse dans la chambre sont proportionnelles au rayonnement solaire, et qu'elles se situent dans la zone du couloir d'air. Cela est dû aux forces d'attraction générées par la poussée d'Archimède au niveau de la cheminée. La figure montre l'existence permanente des deux vortex séparés par un couloir d'air

et que, l'intensité du rayonnement solaire a un faible effet sur la forme globale de l'écoulement d'air à l'intérieur de la pièce.

**V.4.2.2.2 Contours de la température :**





**Figure V.8 : contours de la température pour une largeur de 0,35m de la cheminée à des intensités solaires différentes et une inclinaison de 45°.**

La figure (V.8) montre l'évolution des contours de la température pour une largeur de 0,35m de la cheminée à des intensités solaires différentes et une inclinaison de 45°. On remarque que les différents profils de température ont un aspect semblable, où les valeurs maximales sont toujours atteintes près des parois de la cheminée où les transferts de chaleur sont les plus intenses.

Pour une intensité de 500 W/m<sup>2</sup>, les contours de température dans toute la pièce montrent que la température d'air est entre 296 et 299 K. Cet intervalle est dans la zone du confort universelle qui est de 296 et 298 K. Au voisinage des parois, la vitesse est assez faible et le transfert par conduction est dominant conduisant à un faible réchauffement. Donc, les températures sont assez faibles mais ne constitue pas une gêne importante pour les occupants.

A partir du 600 W/m<sup>2</sup>, on remarque une forte influence du rayonnement solaire sur la température du local où les températures du confort sont presque absentes à cause de la répartition d'air chaud dans le local qui est entre 303 et 306 K. Pour 700 W/m<sup>2</sup>, on remarque e

même l'effet où la température moyenne de l'enceinte est entre 309 et 311 K. On peut conclure qu'au-delà d'un rayonnement solaire de  $500 \text{ W/m}^2$ , la cheminée solaire assure le renouvellement d'air mais provoque le réchauffement du local qui peut dépasser la limite du confort souhaité.

### **V.4.2.3 Influence de l'angle d'inclinaison de la cheminée**

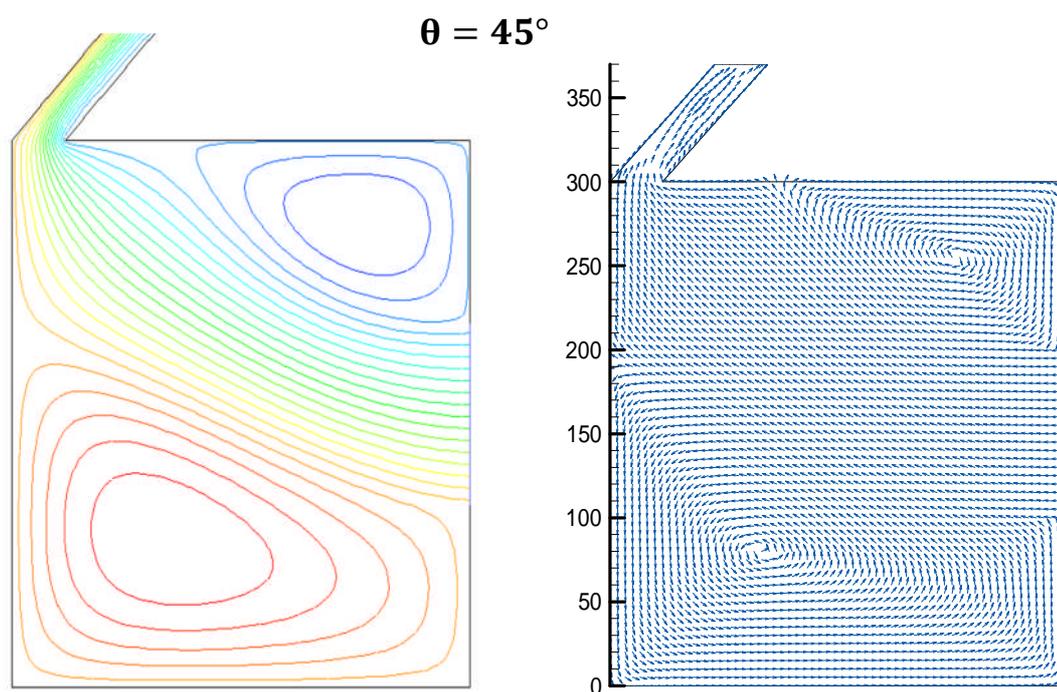
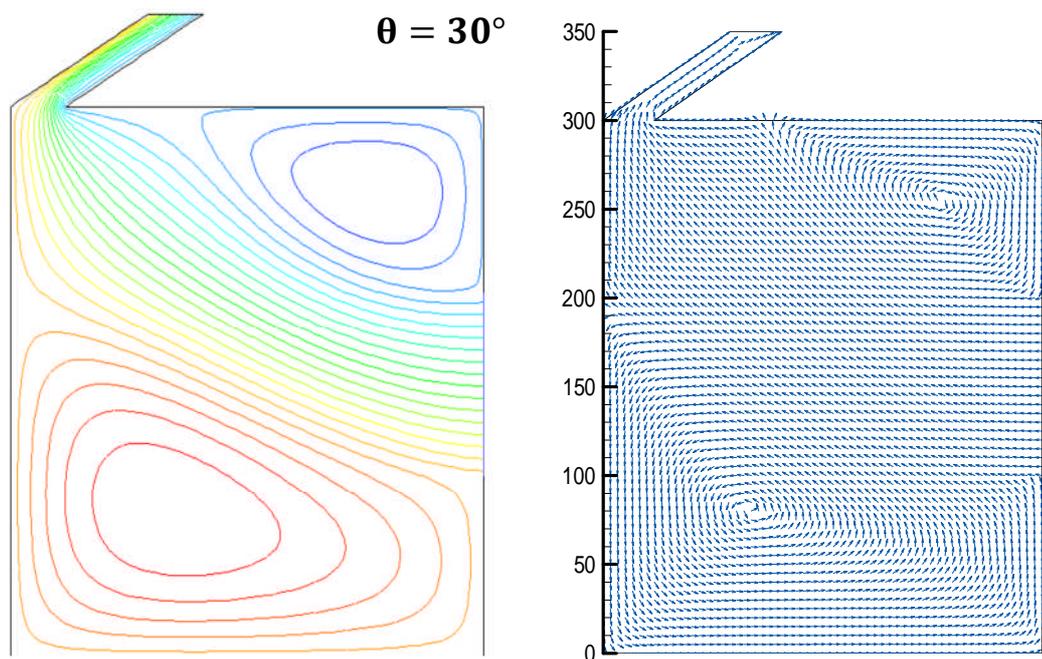
Les résultats représentés sur les figures (V.9) et (V.10) illustrent l'évolution des champs de vitesse et de température d'un écoulement relative à une pièce munie d'une cheminée solaire de cheminée 0,35 m de hauteur d'une intensité solaire  $600 \text{ W/m}^2$  pour différentes angles d'inclinaison ( $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ) .

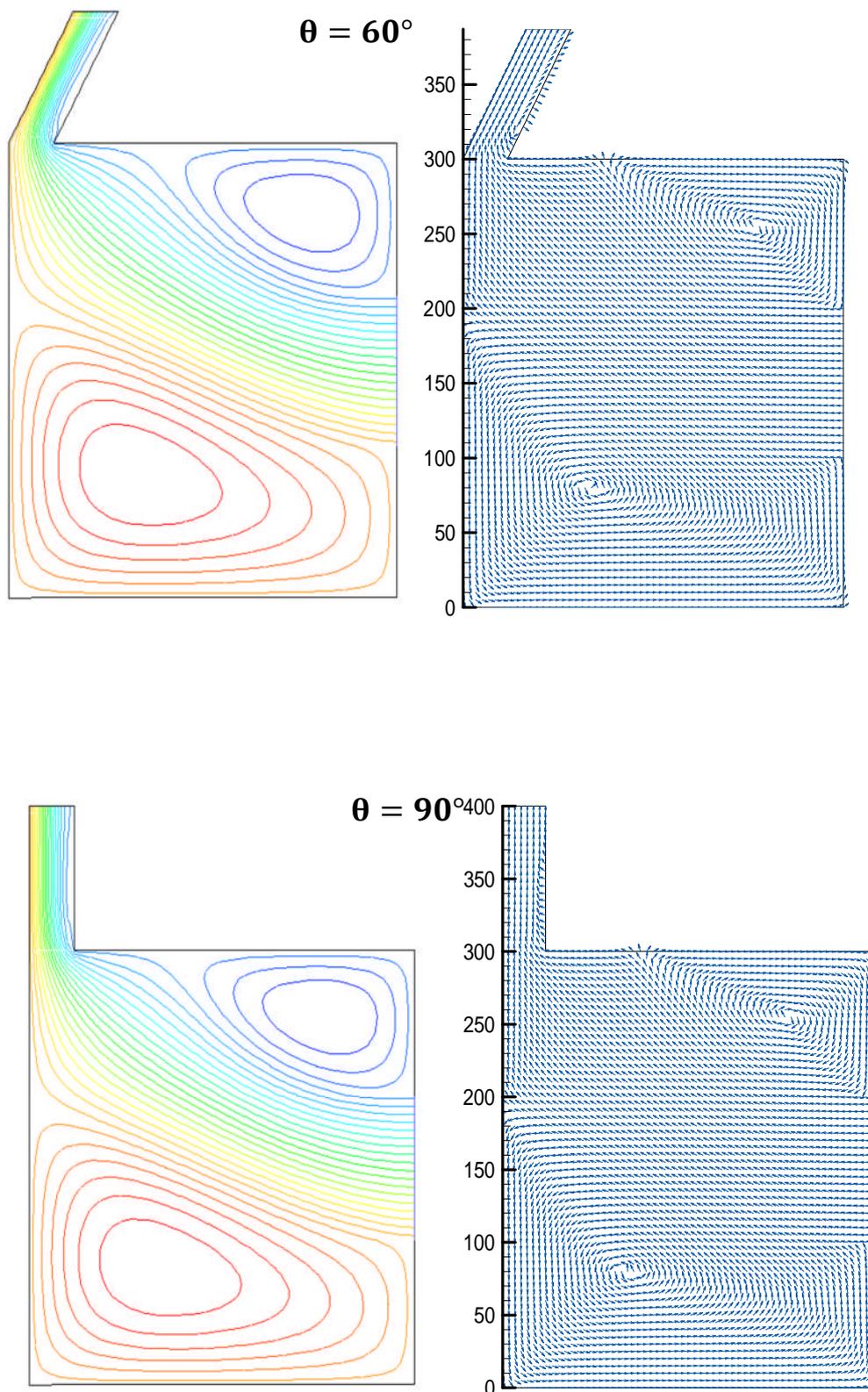
#### **V.4.2.3.1 Champs de vitesse**

La figure (V.9) illustre le champ de vitesse et lignes de courant de l'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de  $600 \text{ W/m}^2$  à différentes inclinaison, la figure (V.9) montre que la vitesse de sortie d'air diminue avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison avec le plan horizontal où la vitesse maximale diminue de 4.69 à 2.55 m/s pour un angle allant de  $30^\circ$  à  $90^\circ$ . La vitesse d'air de sortie atteint la valeur maximum pour un angle de  $30^\circ$  et qui aidera en mieux le renouvellement d'air plus frais dans l'espace. L'augmentation de la vitesse avec la diminution de l'angle peut être expliquée par la haute résistance d'écoulement à l'admission de la cheminée due au changement brusque dans la direction de l'écoulement.

Les lignes de courant montrent la présence des deux vortex avec un couloir d'air entre eux pour n'importe quel angle d'inclinaison. Par contre, on observe l'apparition un phénomène de décollement d'écoulement sur l'absorbeur à partir d'un angle de  $60^\circ$  dû à l'élargissement du passage à l'admission de la cheminée.

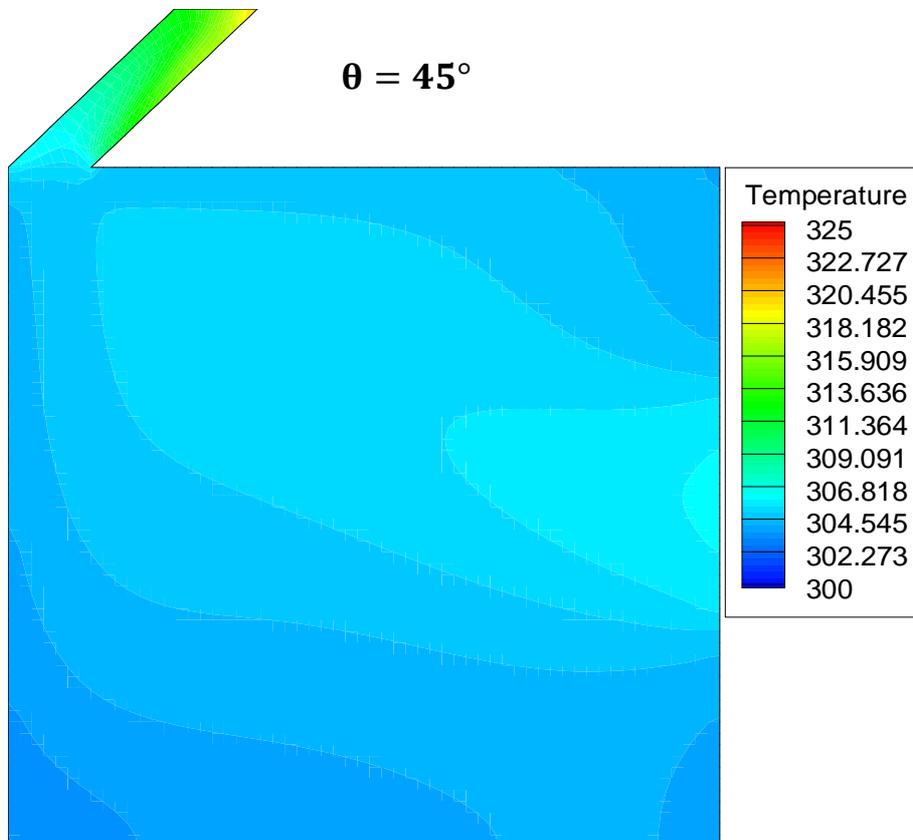
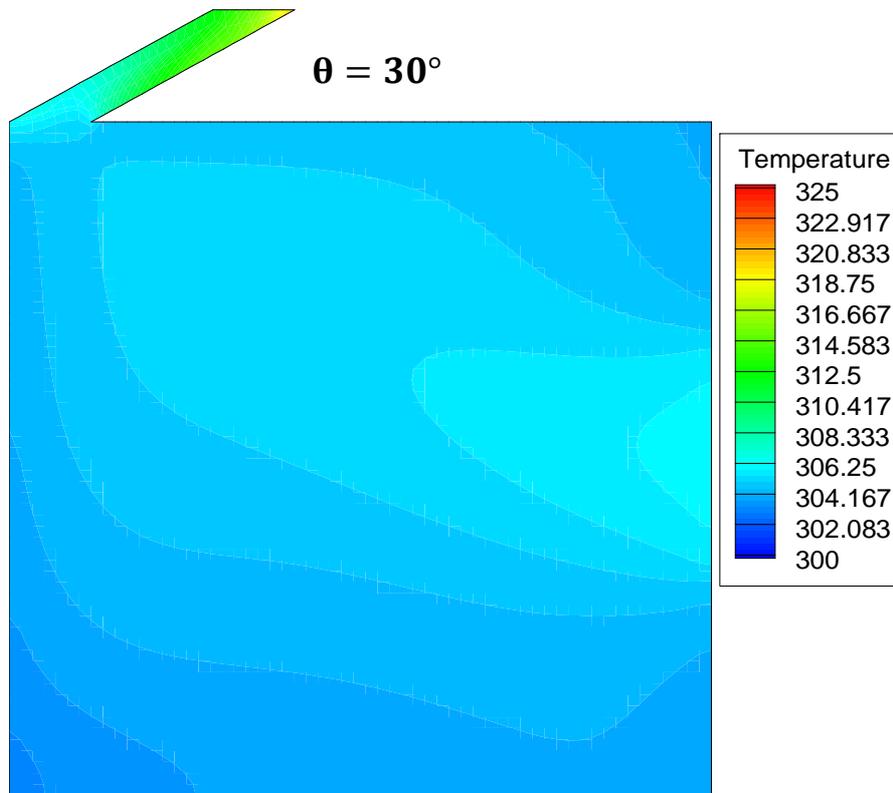
L'augmentation de l'angle d'inclinaison diminue la vitesse du couloir d'air et provoque une meilleure répartition d'air renouvelé dans la chambre surtout, vers la toiture où le vortex supérieur devient plus serré.

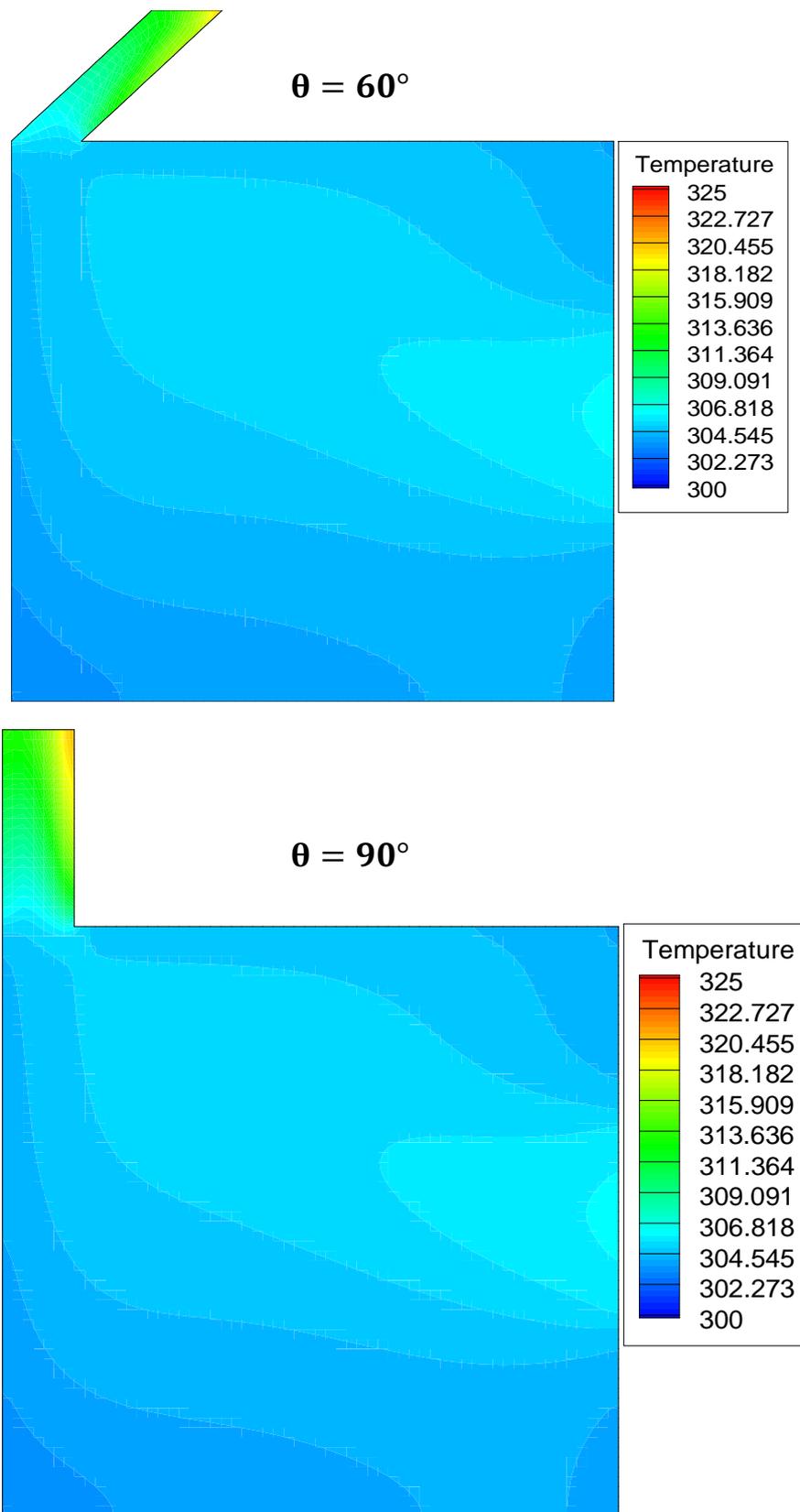




**Figure V.9 : Champ de vitesse et lignes de courant de l'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 600 W/m<sup>2</sup> à différentes inclinaison.**

*V.4.2.3.2 Contours de la température :*





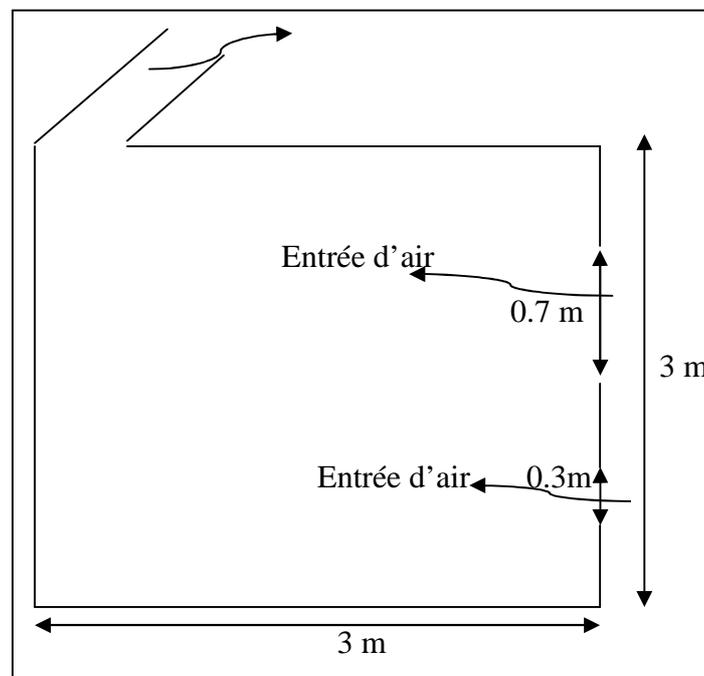
**Figure V.10 : Contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de  $600 \text{ W/m}^2$ , différentes inclinaisons.**

La figure (V.10) montre les contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de  $600 \text{ W/m}^2$ , différentes inclinaisons, la figure (V.10) montre qu'avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison, la vitesse du couloir d'air diminue. Alors, l'air plus chaud pénétrant par l'ouverture a suffisamment de temps pour réchauffer le reste de la chambre. La température de la pièce augmente donc avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison. On remarque une augmentation de température de 1 à 2 K pour un changement de l'angle de  $30^\circ$  à  $90^\circ$ .

Pour les grands angles, on remarque un phénomène de retour de la chaleur vers le bas au voisinage de l'absorbeur. Cela est le résultat de phénomène de décollement observé dans cette région qui se comporte comme un obstacle au passage de la chaleur.

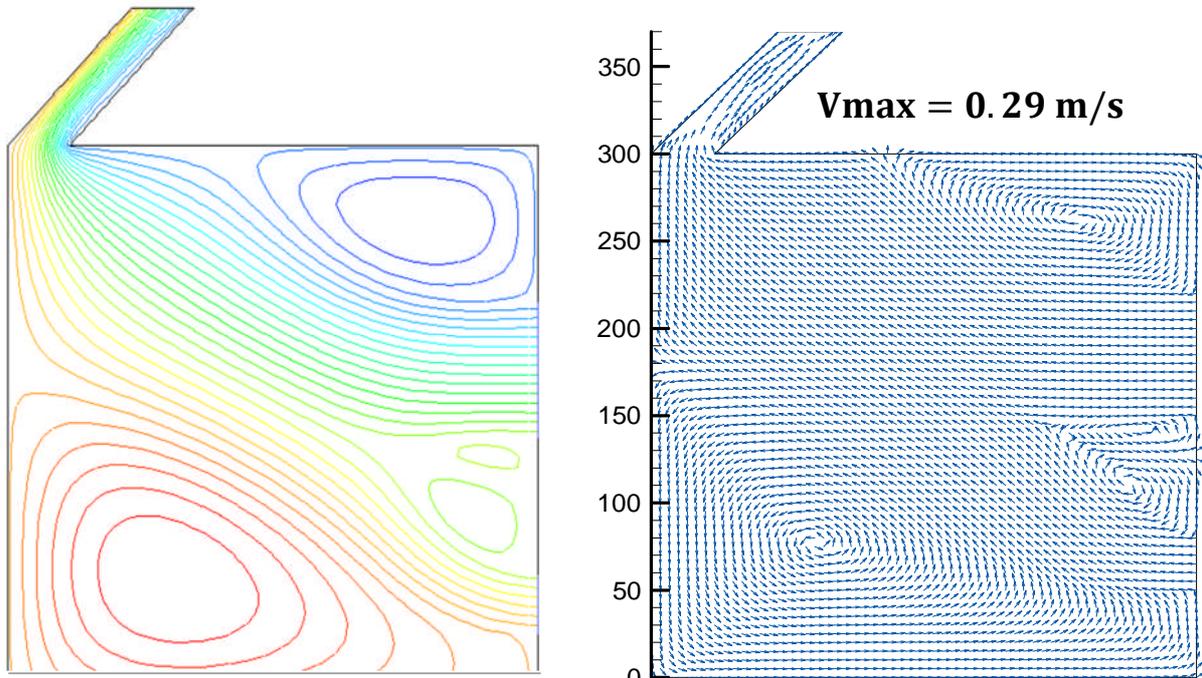
#### **V.4.2.4 Effet de la position de l'ouverture :**

Dans ce cas, on traite une cavité carrée de  $27\text{m}^3$  de volume ventilée par deux ouvertures, l'une est de 30 cm de hauteur et l'autre située au dessus de 70 cm. L'air dans l'enceinte est initialement à 298,2 K. La cheminée solaire de largeur de 35cm d'inclinaison de  $45^\circ$  est exposée à un rayonnement solaire d'intensité de  $500\text{W/m}^2$ .



**Figure V.11 : local ventilé par deux ouvertures.**

**V.4.2.4.1 Champ de vitesse et les lignes de courant :**



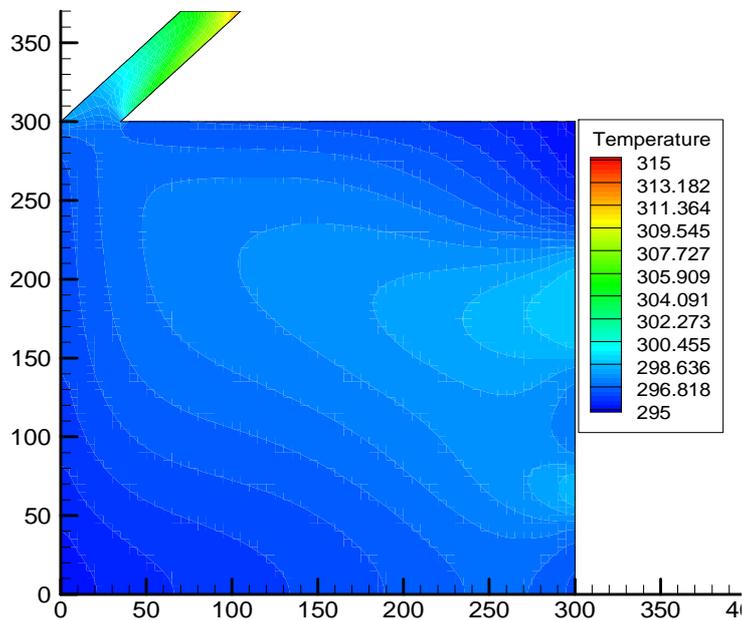
**Figure V.12 : Lignes d'écoulement et le vecteur de la vitesse d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de  $500 \text{ W/m}^2$  et une inclinaison de  $45^\circ$ .**

La Figure V.12 présente les lignes de courant et les vecteurs de la vitesse d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de  $500 \text{ W/m}^2$  et une inclinaison de  $45^\circ$ .

La position des deux ouvertures provoque l'apparition de deux nouveaux vortex au voisinage des deux ouvertures. Le vortex inférieur qui tourne dans le sens horaire est plus important que le deuxième qui tourne dans le sens antihoraire.

On remarque, que le renouvellement d'air est meilleur par rapport à une seule ouverture au milieu. Le couloir d'air est nettement plus large ayant tendance à écraser le grand vortex du bas de la pièce à l'entrée. Donc, d'air renouvelé est mieux réparti dans la chambre.

**V.4.2.4.2 Contours de température :**



**Figure V.13 : contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup> et inclinaison de 45°.**

La figure V.13 montre les contours de la température pour une cheminée de largeur 0,35m avec une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup> et une inclinaison de 45°. On remarque que la forme et la position et de l'ouverture d'entrée d'air a un impact sur le comportement thermique dans l'espace. L'air plus chaud entrant par l'ouverture est plus large et fait réduire les zones froides, surtout, dans la partie inférieure en provoquant un meilleur réchauffement dans la pièce.

**V.4.3 Cas de géométrie complexe (deux chambres à coté) :**

La configuration étudiée est représentée sur la figure (V.14). Il s'agit d'un local divisé en deux cavités carrées de côté L, équipée par deux ouvertures de 1 m de hauteur dans chaque cavité par lesquelles se fait l'admission d'air neuf.

Les résultats représentés sur les figures (V.15) et (V.16) illustrent l'évolution des champs de vitesse, les lignes de courant et les contours de la température d'un écoulement relative à cet local pièce munie d'une cheminée solaire de cheminée 0,35 m subit d'une intensité solaire 500 W/m<sup>2</sup> pour et un angles d'inclinaison de 45°.

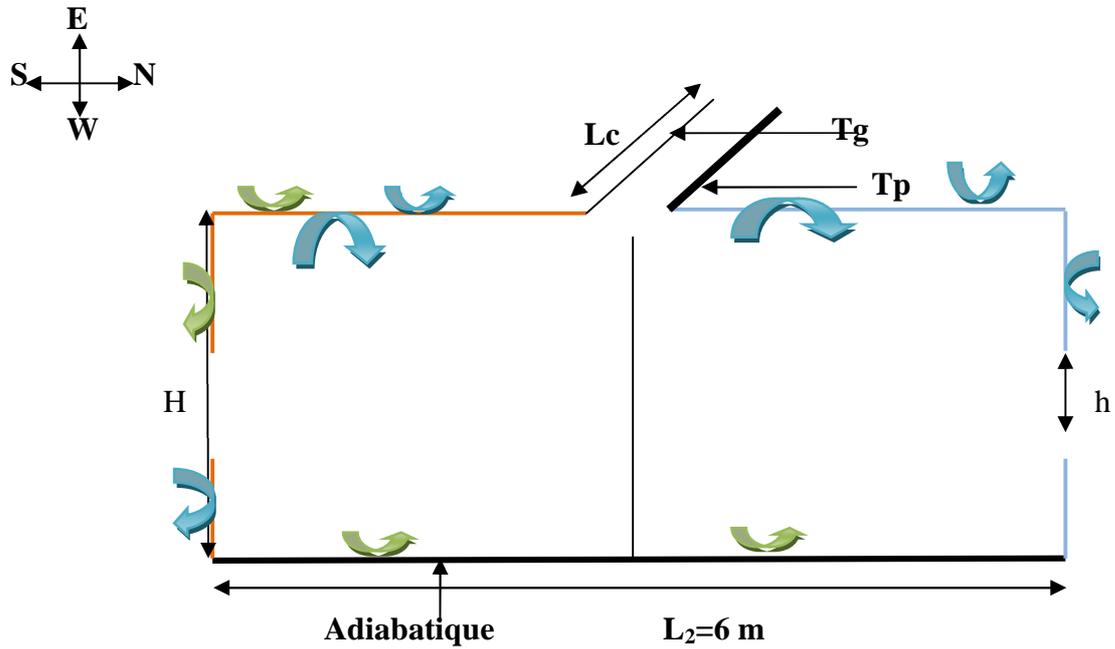
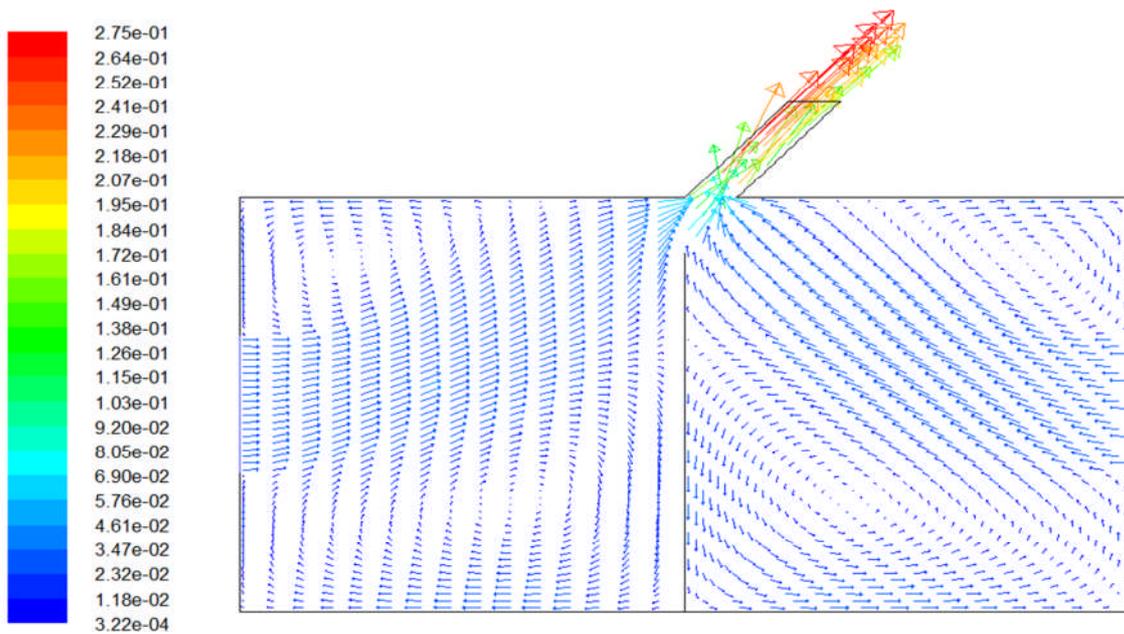
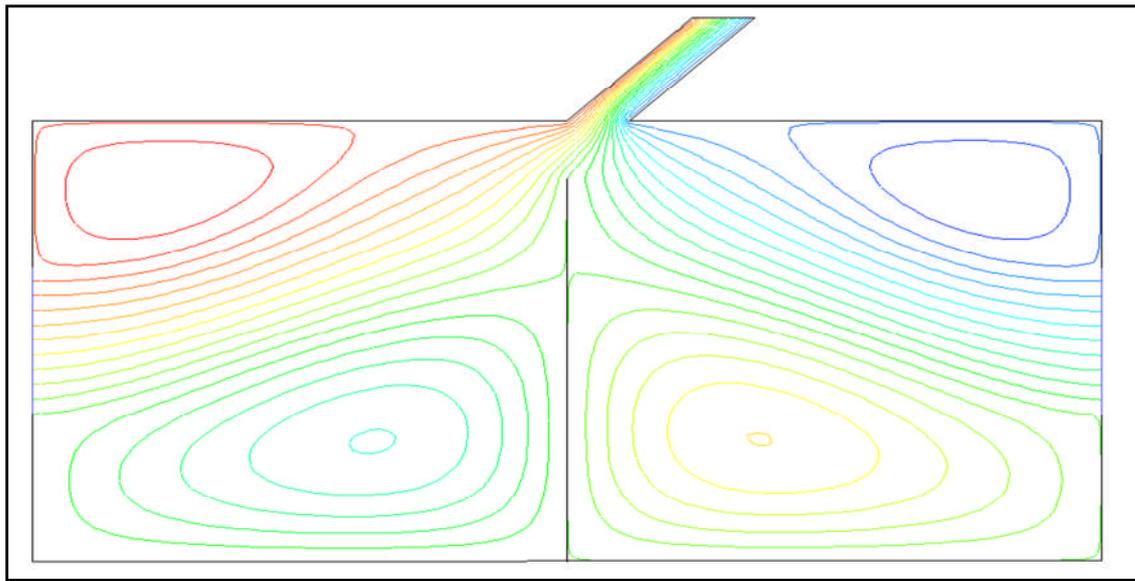


Figure V.14 : Le domaine du cas de géométrie complexe (deux chambres à coté)

V.4.3.1 champ de vitesse et les lignes de courant :



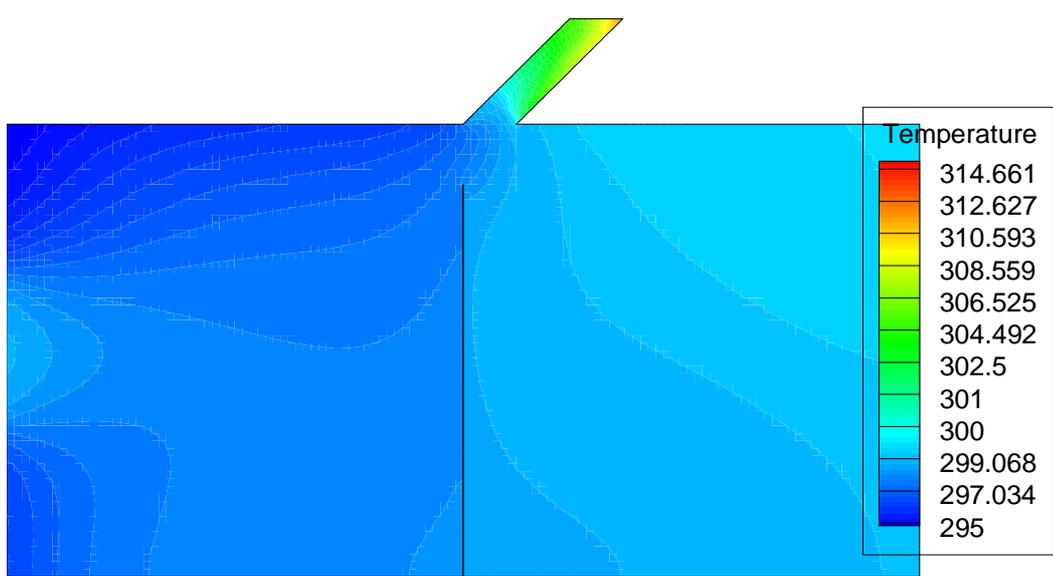


**Figure V.15: Lignes d'écoulement et le vecteur de la vitesse d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup> et une inclinaison de 45°.**

La figure (V.15) les lignes d'écoulement et le vecteur de la vitesse d'air pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup> et une inclinaison de 45°. Dans ce cas, on a proposée une cheminée solaire commune entre deux chambres qui ont les mêmes dimensions. La figure montre qu'il y a présence de deux vortex dans chaque pièce et que les lignes de courant sont presque symétriques entre les deux pièces.

On remarque aussi une faible vitesse au voisinage des parois de la pièce du sud par contre une importante vitesse au voisinage des parois de la pièce du nord.

On remarque que l'influence de la cheminée est différente sur les deux pièces et que l'aspiration d'air neuf est meilleure dans la cavité du sud. A l'admission de la cheminée, les vecteurs de vitesse venant de la pièce sud sont directs et le sens d'inclinaison de la cheminée favorise l'écoulement d'air. Par contre, pour la cavité nord, le sens d'inclinaison de la cheminée ralenti et défavorise l'écoulement d'air venant de l'ouverture. Dans la pièce sud, l'écoulement d'air a une faible vitesse par rapport à la pièce nord à cause de la faible attraction d'air par la cheminée.



**Figure V.16 : Contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup> et inclinaison de 45°.**

La figure (V.16) les contours de la température pour une largeur de 0.35m de la cheminée à une intensité solaire de 500 W/m<sup>2</sup> et inclinaison de 45°. La figure (V.16) montre une différence de la distribution de température dans les deux chambres. On trouve que la chambre qui se situe au coté sud a un bon confort par apport à l'autre. qui nous explique l'influence de la chaleur émis par l'absorbeur sur la pièce positionnée dans le nord,

Dans la pièce du sud, on remarque que les isothermes sont parallèles près de la toiture et de la paroi sud où les vitesses sont faibles et le transfert par conduction est dominant. Dans la pièce du nord, le gradient de température est moins important car la vitesse du couloir d'air est plus faible donnant suffisamment de temps à l'ambiance de s'échauffé.

**Conclusion**

**générale**

## *Conclusion générale*

---

### *Conclusion générale :*

La motivation principale de cette étude visait l'évaluation du comportement de la cheminée solaire ajustée à la construction et sa performance thermique sur l'intérieur de l'habitat. Par conséquent développer une méthodologie d'analyse de fonctionnement d'une cheminée solaire introduite dans une enceinte, et de déterminer l'épaisseur, l'inclinaison et l'intensité du rayonnement solaire qui assurent les débits d'air importants est d'une grande importance. Pour mener à bien, ce travail a été validé par une comparaison avec les résultats disponibles dans la littérature. Un bon accord a été trouvé. Afin d'atteindre l'objectif désiré, une simulation numérique de l'écoulement convectif a été effectuée avec le code de calcul Fluent pour visualiser les différents phénomènes qui gouvernent l'écoulement.

En premier lieu, on démarre par étudier le comportement thermique de la cheminée pour différents angles d'inclinaison, différents épaisseurs de lame d'air entre l'absorbeur et la vitre et différentes intensités de rayonnement solaire.

Cette étude nous a permis de tirer de multiples conclusions.

- L'augmentation de la température de l'air dans la cheminée solaire, du vitrage et de l'absorbeur est proportionnelle avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire.
- La vitesse d'air qui traverse la cheminée augmente avec l'augmentation du rayonnement solaire.
- L'augmentation de l'épaisseur de lame d'air joue un rôle très important et augmente significativement le débit volumique de l'air sortant de la cheminée.
- Le tirage thermique optimal d'air par la cheminée correspond à une inclinaison d'un angle de  $60^\circ$  par rapport à l'horizontale.

Les différentes températures et vitesses obtenues dans l'étude primaire ont été utilisées comme des données pour la simulation numérique sous FLUENT. Des profils de température et de vitesse à l'intérieur de la cheminée solaire et dans le local ont été déterminés.

Les calculs numériques sont effectués pour des géométries différentes du local, pour différentes positions et largeurs de la cheminée et avec des différentes valeurs du rayonnement solaire.

## *Conclusion générale*

---

L'écoulement d'air dans le système est assuré grâce à une différence de densité qui provoque une poussée verticale (poussée d'Archimède). Cette différence est due aux gradients des températures générés par les parois chaudes de la cheminée.

Les résultats de nos simulations numériques montrent que :

- L'écoulement d'air augmente avec l'augmentation du rayonnement solaire, en raison du stockage de l'énergie thermique par l'absorbeur qui provoque l'accélération d'air. Cette élévation au niveau de la cheminée induit une augmentation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la pièce.
- En revanche, il faut souligner qu'il y a une largeur optimale de 55 cm au-delà de laquelle le débit massique d'air introduit dans le local commencerait à diminuer du fait de l'augmentation de la section de passage qui induit la diminution de la vitesse d'air renouvelé et favorise le réchauffement du local.
- Cette étude montre qu'il est préférable d'avoir un angle d'inclinaison 30° et 45°, car les grands angles, provoquent un phénomène de retour de la chaleur vers la chambre.
- La division de l'ouverture du milieu en deux ouvertures, assure un meilleur renouvellement d'air dans le local.

En général, l'énergie solaire avec une intensité élevée est disponible en été. Ces conditions encouragent l'adoption d'un tel concept fournissant un environnement thermiquement approprié pour le confort humain et de réduire le coût exorbitant de l'énergie consommée par la climatisation artificielle fortement utilisée pour une adaptation au climat hostile.

### **Les prévisions :**

- Il sera intéressant par la suite de ce travail d'étudier une cheminée solaire installée sur un toit d'un bâtiment de plusieurs étages.
- Faire une étude pour définir une hauteur de la cheminée solaire optimale pour un bon renouvellement d'air dans des locaux.
- On prévoit d'étudier une cheminée solaire installée dans l'une des parois des habitats et définir leur performances .

**Annexe**

### **Introduction au logiciel FLUENT**

#### **1. Introduction**

L'étude de notre problème, implique la résolution d'un système d'équations mathématiques, aux dérivées partielles. Cela nécessite une approche par une voie numérique. Nous avons optée dans cette étude pour l'utilisation du code de calcul FLUENT comme solveur, et le GAMBIT pour la description géométrique

#### **2. Présentation du code Fluent :**

Le code Fluent est un logiciel de modélisation en mécanique des fluides et des transferts de chaleur ainsi que les phénomènes qui leurs sont liés. Le logiciel utilise la méthode des volumes finis pour la résolution des équations de conservation et qui sont aux dérivées partielles. Le domaine de calcul est divisé en un grand nombre de cellules ou volumes de contrôle, et dans chacune de ces cellules les équations aux dérivées partielles décrivant l'écoulement sont intégrées sur chaque volume élémentaire. Elles mettent en relation la pression, la vitesse, la température et d'autres variables telles que la concentration des composants avec les valeurs des cellules voisines. Ces équations sont alors résolues numériquement. Le logiciel fluent propose un nombre assez important d'options qui déterminent la forme des équations de Navier-Stokes et des équations de transport. L'utilisateur a le choix entre un écoulement avec des mailles structurées et non structurées, tridimensionnel ou bidimensionnel, monophasique ou multiphasique (homogène ou non), turbulent ou laminaire, permanent ou non, incompressible ou compressible, avec ou sans transfert de chaleur, avec ou sans introduction de substances, polluantes chimiquement réactives ou non, multiples repères de référence en mouvement, incluant des interfaces glissantes et des plans de mélange, mélange et réaction d'espèces chimiques, incluant des modèles de combustion et des réactions de surface, source volumique arbitraires de chaleur, masse, quantité de mouvement, turbulence, et espèces chimiques, écoulement à travers les matériaux poreux, calculs de trajectoires Lagrangiennes pour une phase dispersée de particules /gouttes /bulles , incluant le couplage avec la phase continue, écoulements à surface libre avec surfaces complexes

#### **3.1. Maillage sous "Gambit":**

La génération du maillage bidimensionnel ou tridimensionnel est une phase très importante dans une analyse CFD, vu l'influence de ses paramètres sur la solution calculée. Dans un premier temps, il faut caractériser la géométrie de problèmes par le logiciel de GAMBIT. Il est conçu pour la construction de la géométrie et de maillage des modèles de mécanique des fluides numérique (CFD). L'interface graphique de GAMBIT contient des commandes qui permettent de faire

les principales étapes de la construction de maillage, et l'affectation des types de zone et ses conditions aux limites. Ce logiciel permet de varier les domaines de calcul suivant les études.

**3. La procédure de simulation par le logiciel Fluent :** L'ensemble géométrie et génération de maillage se fait à l'aide du logiciel GAMBIT qui constitue un préprocesseur livré avec FLUENT, qu'il présente une grande flexibilité d'adaptation avec n'importe quel type de maillage, et il permet le raffinement du maillage en fonction des conditions aux limites.

### **4. SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations):**

L'algorithme couramment utilisé se nomme SIMPLE de Patenkar S.V. et Spalding D.B. (1972) L'idée générale de cet algorithme est de corriger petit à petit la pression ainsi que les composantes de la vitesse afin que ces variables qui vérifient les équations de la quantité de mouvement vérifient également l'équation de continuité donc simple soit l'algorithme qui nous avons utilisé pour notre étude.

### **5. Approximation de Boussineq**

Pour des configurations d'écoulement dans une enceinte, la résultante des forces externes est limitée aux forces gravitationnelles de sorte que l'influence de la convection naturelle provoquée par des gradients de la température soit évidente. Quand les forces de flottabilité se produisent dans l'écoulement, la conception des propriétés physiques fixes n'assortit plus le comportement de l'écoulement du fluide. L'effet de la convection naturelle est pris en considération dans l'équation de quantité de mouvement par la variation de la masse volumique.

Si en prenant un état thermodynamique de référence (masse volumique  $\rho_0$  et température  $T_0$ ) l'équation d'état pour la masse volumique  $\rho$  devient en utilisant le développement de Taylor :

$$\rho = \rho_0 \left( 1 - \frac{T - T_0}{T_0} + \dots \right)$$

En se limitant à un développement du premier ordre :

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta(T - T_0))$$

Le terme  $\beta$  de l'équation (II.5) est le coefficient de dilatation isobare du fluide, soit :

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_{p=cte}$$

En effet, c'est la variation de la masse volumique du fluide qui est à l'origine du phénomène de convection naturelle, créant une force motrice volumique (Archimède) à laquelle s'oppose notamment une force de frottement visqueux. L'approximation de

Boussinesq consiste à négliger les variations de la masse volumique dans les équations de conservation, sauf son implication comme force motrice dans le terme  $F$  de l'équation de conservation de la quantité de mouvement.

### 6. Le modèle de rayonnement Rosseland

L'approximation de la diffusion ou Rosseland de rayonnement est valide lorsque le milieu est optiquement épais ( $(\sigma + \sigma_s)\Gamma \gg 1$ ), Et est recommandé pour une utilisation optimale dans lequel l'épaisseur optique est supérieur à 3. Elle peut être dérivée à partir des équations du modèle P-1, avec certaines approximations. Cette section fournit des détails sur les équations utilisées dans le modèle Rosseland.

#### 6.1 Les équations du modèle Rosseland

Comme pour le modèle P-1, le vecteur flux de chaleur radiatif dans un milieu gris peut être approché par l'équation (1)

$$q_r = -\Gamma \nabla G \quad (1)$$

où  $\Gamma$  est donnée par l'équation

$$\Gamma = \frac{1}{(3(\sigma + \sigma_s) - c\sigma_s)} \quad (2)$$

Le modèle de rayonnement Rosseland diffère du modèle P-1 en ce que le modèle Rosseland suppose que l'intensité est l'intensité du corps noir à la température du gaz. (Le P-1 modèle calcule en fait une équation de transport pour  $G$ .) Ainsi  $G = 4\sigma T^4$ . En substituant cette valeur pour  $G$  dans l'équation (1) rendements

$$q_r = -16\sigma\Gamma T^3 \nabla T \quad (3)$$

Puisque le flux de chaleur par rayonnement a la même forme que la loi de conduction de Fourier, il est possible d'écrire

$$q = q_c + q_r \quad (4)$$

$$= -(k + k_r) \nabla T \quad (5)$$

$$k_r = 16\sigma\Gamma T^3 \quad (6)$$

où  $k$  est la conductivité thermique et  $k_r$  est la conductivité radiative. Équation (4) est utilisée dans l'équation pour calculer l'énergie du champ de température.

### 6.2 Diffusion anisotrope

Le modèle Rosseland permet la diffusion anisotrope, en utilisant la fonction même phase .

### 6.3 Traitement condition aux limites pour le modèle Rosseland aux murs

Depuis l'approximation de la diffusion n'est pas valide près des murs, il est nécessaire d'utiliser une condition aux limites de température de glissement. Le flux de chaleur radiatif au mur d'enceinte,  $q_{r,w}$ , Est défini en utilisant le coefficient de glissement  $\psi$ :

$$q_{r,w} = - \frac{\sigma (T_w^4 - T_g^4)}{\psi} \quad (7)$$

où  $T_w$  est la température de paroi,  $T_g$  est la température du gaz à la paroi, et le coefficient de glissement  $\psi$  est approchée par une courbe .

$$\psi = \begin{cases} 1/2 & N_w < 0.01 \\ \frac{2x^3 + 3x^2 - 12x + 7}{54} & 0.01 \leq N_w \leq 10 \\ 0 & N_w > 10 \end{cases} \quad (8)$$

où  $N_w$  est le paramètre de conduction de rayonnement à la paroi:

$$N_w = \frac{k(a + \sigma_s)}{4\sigma T_w^3} \quad (9)$$

#### **6.4 Traitement condition aux limites pour le modèle à Rosseland Entrées et sorties de flux**

Aucun traitement spécial n'est requis à entrées et sorties d'écoulement pour le modèle Rosseland. Le flux de chaleur radiatif à ces limites peuvent être déterminées en utilisant l'équation(4).

**FLUENT** comprend une option qui vous permet d'utiliser des températures différentes pour le rayonnement et convection à entrées et sorties. Cela peut être utile lorsque la température extérieure de l'entrée ou de la sortie diffère considérablement de la température dans l'enceinte.

#### **7. Les étapes de la simulation numérique par FLUENT**

La simulation numérique de cheminée solaire par FLUENT passe par les étapes suivantes :

1- Importer le fichier (.msh) qui généré sous Gambit. **File** → **Read** → **Case...**

2- Vérifier du maillage sou Fluent **Grid**→ **Check**

3- Vérifier des unités **Grid** → **Scale**

4- choisir du modèle **define** → **models** → (solver – énergie – viscous)

5- Définir la Matière. **Define**→ **Materials**

6- choisir de valeur de la pression de référence **Define** → **Operating conditions**

7- Définir les conditions aux limites. **Define**→ **Boundary**→ **Conditions**

8- Choisir du control de solution. **Solve**→ **Controls**→ **Solution**

10- sauvegarder le fichier de problème. **File**→ **write**→ **Case & data** (Le fichier Case regroupe toutes informations liées à la géométrie et le fichier data contient tous les paramètres et données des calculs).

11- Résidus des calculs. **Solve**→ **Monitors**→ **Residual**

12- lancer du calcul. **Solve**→ **Initialize** → **Initialize**

13- choisir le nombre d'itérations que Fluent devra réaliser. **Solve** → **iterate**

14- visualiser des résultats. (**Display, Plot, Repport** )

## **Bibliographiques :**

- [1] M. Chartier, “Ventilation des bâtiments,” un guide gratuit , 05 mars 2008 .
- [2] K.S. Ong, C.C. Chow, Performance of a solar chimney, *Solar Energy*, vol. 74, pp.1–17 (2003)
- [3] Jyotirmay Mathur, Sanjay Mathur, Anupma, Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation, *Energy and Buildings*, vol. 38, pp.1156–1163, (2006).
- [4] M. Macias , A. Mateo , M. Schuler , E.M. Mitre, Application of night cooling concept to social housing design in dry hot climate, *Energy and Buildings*, vol. 38, pp. 1104–1110, (2006).
- [5] G. Gan , S.B. Riffat. A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery. *Applied Thermal Engineering* 18 (1998) pp 1171-1187
- [6] Guohui Gan. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. *Energy and Buildings* 38 (2006) pp 410–420.
- [7] Preeda Chantawong , Jongjit Hirunlabh , Belkacem Zeghmami ,Joseph Khedari , Sombat Teekasap , Maung Maung Win, Investigation on thermal performance of glazed solar chimney walls, *Solar Energy*, vol. 80, pp. 288–297, (2006)..
- [8] J. Martí'-Herrero \*, M.R. Heras-Celemin, Dynamic physical model for a solar chimney, *Solar Energy*, vol. 81, pp. 614–622, (2007).
- [9] Ramadan Bassiouny , Nader S.A. Koura. An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation. *Energy and Buildings* 40 (2008) pp 865–873.
- [10] H.F. Nouanégué, E. Bilgen . Heat transfer by convection, conduction and radiation in solar chimney systems for ventilation of dwellings .*International Journal of Heat and Fluid Flow* 30 (2009) pp 150–157.
- [11] Jyotirmay Mathur , Sanjay Mathur, Anupma. Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation. *Energy and Buildings* 38 (2006) pp 1156–1163
- [12] Ramadan Bassiouny , Nader S.A. Korah. Effect of solar chimney inclination angle on space flow pattern and ventilation rate. *Energy and Buildings* 41 (2009) pp 190–196.
- [13] Tawit Chitsomboon and Pornsawan Thongbai, Natural ventilation in building using attic and solar chimney, *The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE) Hua Hin, Thailand, (1-3 December 2004 )*.
- [14] Zoltan Adam, Toshio Yamanaka and Hisashi Kotan, Mathematical model and experimental study of air flow in solar chimneys, *Natural ventilation 5 in Osaka University, Japan, (2002)*.

- [15] D.J. Harris, N. Helwig, Solar chimney and building ventilation, *Applied Energy*, vol. 84, pp. 135–146, (2007).
- [16] Sompop Punyasompun, Jongjit Hirunlabh. Investigation on the application of solar chimney for multi-storey buildings. *Renewable Energy* 34 (2009) .pp 2545–2561.
- [17] K. Hami\*, B. Draoui et O. Hami. Modélisation d'un système de chauffage passif dans la région de Béchar. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 (2010) pp 355 – 368.*
- [18] J.K.Afriyieet al Simulation and optimisation of the ventilation a chimney-dependent solar crop dryer.solar Energy pp 1560-1573,2001.
- [19] E.P. Sakonidou , T.D. Karapantsios . Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow. *Solar Energy* 82 (2008) 80–94.
- [20] K.Bansal et al. Solar chimney for ventilation.enhanced stack building and environment pp 373-377,1993.
- [21] Yoshiteru Shinada, Ken-ichi Kimura, Hiromasa Katsuragi, Sung-ki Song, Natural Ventilation System for a School Building Combined with Solar Chimney and Underground Pit, Proceedings of Annual Meeting of Japan Solar Energy Society. Suwa. pp. 83-86. (In Japanese) (2007).
- [22] Introduction aux transferts thermiques, École des mines de Paris, 2008.
- [23] M<sup>r</sup> KHADRAUI.cours de transfert thermique,université de tlemcen.2011.
- [24] M<sup>r</sup>.saim.cours de l'énergie renouvelable ,université de tlemcen.2011.
- [25] Rafraîchissement sans air conditionné: Etude sur les alternatives, économie, énergie, société.
- [26] L'énergie solaire thermique, usages résidentiel et collectif.
- [27] Le gisement solaire, Noémie Poize – Rhônealpeénergie Environnement, CNFPT – 21-23 février 2007.
- [28] Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette , *La Météorologie* 8e série - n° 31 - septembre 2000.
- [32] Alain Ricaud, Master Energies Renouvelables, Université de CERGY-PONTOISE.(2011).
- [34] M.RAoust (Terao) et al. Ventilation naturelle et validation mécanique dans les batiments à haute qualité environnementale.
- [35] Insaf Mehani, N. Settou Passive Cooling of Building by using Solar Chimney . *Engineering and Technology* 69 2012.

- [36] H. M'Sellem et D. Alkama, Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°3, pp. 471 – 488 (2009).
- [37] Alain Liébard, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*, édition Le Moniteur. (2005).
- [38] AKCHICHE Zineb, *étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique*, mémoire de magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA (2011).
- [39] J. Koffi, *Analyse Multicritère Des Stratégies De Ventilation En Maisons Individuelles*", Thèse De Doctorat, université de la rochelle, France, (2009).
- [40] Hugues Boivin, *la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale*, maître ès sciences (M.Sc.), université Laval Québec, (2007)
- [41] N. Fezzioui; B. Daroui; A. Aït-Mokhtar; S. Larbi, *Stratégie de l'architecture bioclimatique dans le ksar de kenadsa*, The third architecture and sustainability conference in biskra (BASC 2008).
- [42] H. Bencheikh, *Etude et réalisation d'un système de refroidissement passif en utilisant une toiture radio évaporative dans les climats chauds et arides*, Thèse doctorat, Université Mentouri de Constantine, (2007).
- [43] <http://forum.d4school.com/t46740.html>, 25-02-2011.
- [44] T. Miyazaki, A. Akisawa, T. Kashiwagi, *The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate*, *Renewable Energy*, vol. 31, pp. 987–1010, (2006).
- [47] Amina Ouled-Henia, *Choix climatiques et construction. Zones arides et semi arides. Maison à Bou-Saada*, Thèse doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, (2003).
- [45] D. Medjelekh, *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma*, mémoire de magister, l'université Mentouri de Constantine, (2006).
- [46] GUIDE AITF/EDF. BATIMENTS BASSE CONSOMMATION
- [47] <http://www.crit.archi.fr/produits%20innovants/FICHES/ventilation%20naturelle/presentation.html>, 14-01-2010.

**Web bibliographiques :**

[29] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Radiom%C3%A8tre>

[30] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pyranom%C3%A8tre>

[31] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pyrh%C3%A9liom%C3%A8tre>