

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de Génie mécanique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Par

- **MOHAMADI Housseem Eddine**
- **ZEGHEDANE Yasser**

Intitulé

Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle par cheminée solaire

Soutenu le : 04/07/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Dr. TAYEBI Tahar</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. SAIDANI lyamine</i>	<i>MAA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr. BELFEGAS Billal</i>		<i>Co-Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr. GOUIDMI Hamza</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Remerciements

Louange et remerciements à dieu le tout-puissant, le misé cordieu qui nous a donné le courage la patience, la volontéet la force afin de réaliser ce modeste travail de recherche

Un grand remerciement à nos parents : pour leurs encouragements et leur patience.

*Les plus chaleureux et les plus vifsremerciements s'adressent à Notre encadreurs, **BELFEGES Bilal** et **SAIDANI El Yamine** qui nous sont accompagnés tout au long de cette expérience avec beaucoup de pédagogie,patience et le temps qu'ils nous sontconsacrés afin de réaliser ce travail.*

Les membres du jury qui ont bien accepté de lire ce travail et de l'évaluer.

Nous tenons aussi à remercier les plus sincères et les plus profonds tous nos enseignants du département du Mécanique pour les efforts consentis tout au long de notre cursus universitaire.

Sans oubliés notre chers collègues de l'université de El Bachir EL IBRAHIMI - Bordj Bou Arriridj -, surtout et sans exception, les étudiants de Génie mécanique – énergétique -. Merciinfiniment notre chers amis et sœur.

Enfin,Toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

A vous, nous devons notre profonde gratitude et de nombreux remerciements,santé et prospérité.

MOHAMADI Housseem Eddine

ZEGHDANE Yasser

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail de recherche

*À mes très chers **parents** qui m'ont donné le meilleur d'eux-mêmes et qui ont su m'encourager tout au long de mes études, je les remercie infiniment pour tout ce qu'ils ont fait pour moi et ils l'ont fait pour toujours, que dieu vos bénisses et vos protèges.*

*À mes sources de joie et de bonheur mes chères **femme** et **enfants Ibrahim et Tasnime**, je t'aime infiniment et que le dieu vos protège.*

*À mes chers **frères** et mes chères **sœurs** qui ont toujours présents au moment du besoin.*

*À toutes mes **amies** et mes **collèges**, merci à vous mes chères.*

*Enfin, à toute la famille **MOHAMADI** et **SAIDANI**.*

MOHAMADI Housseem Eddine

Je dédie ce modeste travail pour

toute ma famille et Tous mes amis

Yasser ZEGHDANE

Nomenclatures

Symbole	Désignation	Unité
X,Y	Système des coordonnées	[m]
$T_{f;0}$	Température de sortie de l'air dans le cheminée	[K]
$T_{f;i}$	Température d'entrée de l'air dans cheminée	[K]
T_w	Température de l'absorbeur	[K]
T_v	Température de vitrage	[K]
L	Hauteur de la cheminée	[m]
H	Intensité solaire sur une surface verticale	[W /m ²]
W	Largeur du canal d'air	[m]
\dot{m}	Débit massique	[kg/ s]
A_0, A_i	Surfaces de la section transversale de la sortie et de l'entrée du canal d'écoulement d'air	[m ²]
ACH	Changement d'air par heure	[h ⁻¹]
Nu	Nombre de Nusselt	[-]
Q_V	Débit volumique	[m ³ /s]
C_d	Coefficient de débit du canal d'air	[-]

c_f	Chaleur spécifique de l'air	$[J \times Kg^{-1}K^{-1}]$
T_r	Température de la chambre	[K]
T_f	Température moyenne de l'air dans la cheminée	[K]
d	Distance entre le mur et le vitré	[m]
γ	Constante dans l'approximation de la température moyenne	
g	Constante gravitationnelle	
$\rho_{f,0}$	La densité de l'air	$[Kg m^{-3}]$
V	Volume de la chambre	[m ³]
u	Composantes de la vitesse dans les directions x	[m/s]
v	Composantes de la vitesse dans les directions y	[m/s]
\dot{q}''	Gain net de chaleur par le flux d'air	[W/m ²]
P	Pression	[N/m ²]
A_r	Le rapport de A_0 / A_i	[-]
η_i	Rendement instantané de la cheminée solaire	[%]

Symboles Grecs :

α	Absorptivité	[-]
β	Facteur de dilatation	[K ⁻¹]
ε	Emissivité.	[-]
τ	Transmittivité	[-]
ρ	La densité	[Kg / m ³]
λ	Conductivité thermique du matériau	[W/m K]
μ	Viscosité dynamique	[N.s/m ²]

Liste des figures

Chapitre 1: Recherche bibliographique.

Figure 1.1: Schéma du système, coupe transversale.

Figure 1.2: La cheminée solaire expérimentale de type murale.

Figure 1.3: Schéma général du domaine physique.

Figure 1.4: Schéma de principe du banc d'essai (pas à l'échelle).

Figure 1.5: Schéma et dimension du GSCW.

Figure 1.6: Cheminée solaire.

Figure 1.7: Montage expérimental pour étudier les performances d'une cheminée solaire inclinée.

Figure 1.8: Circulation de l'air dans le mur cheminée solaire et détails de construction.

Figure 1.9: Schéma d'une cheminée solaire avec géométrie d'absorbeur verticale.

Figure 1.10: Schéma d'une cheminée solaire à toit incliné.

Figure 1.11: Vue d'une cheminée solaire conventionnelle dans une cellule d'essai.

Figure 1.12: Géométrie et condition aux limites de la configuration de validation.

Figure 1.13: Géométrie 2D de base et conditions aux limites.

Figure 1.14: Configurations de la cheminée solaire.

Figure 1.15: Schéma de principe du mur de Trombe classique (sans amortisseurs).

Figure 1.16:Dispositif expérimental pour investir la performance de la cheminée solaire.

Figure 1.17:Schéma de principe de la cheminée solaire et de la cavité de refroidissement.

Chapitre 2: La ventilation et la cheminée solaire

Figure 2.1:Exemples de capteurs de vent.

Figure 2.2:Ventilation par cheminée.

Figure 2.3:Ventilation par atrium.

Figure 2.4:Différents modes de fonctionnement d'une façade double peau.

Figure 2.5:Puits canadien en kit pour maison individuelle.

Figure 2.6:Circulation de l'air pour de la ventilation mécanique dans les bureaux.

Figure 2.7: Ventilation simple flux avec extraction sanitaire dans un immeuble tertiaire.

Figure 2.8:Ventilation double flux avec extraction sanitaire.

Figure 2.9: Diffusion murale et plafonnière.

Figure 2.10:Exemple d'utilisation de la cheminée solaire dans un système de ventilation naturelle dans les bâtiments de l'université de KITAKYUSHU en Japon.

Figure 2.11:Principe de ventilation d'une construction munie d'une cheminée solaire.

Figure 2.12:Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire.

Figure 2.13:Cheminée solaire avec haute capacité de stockage thermique utilisée pour la ventilation nocturne dans des climats chauds arides.

Figure 2.14:Cheminée solaire avec des pentes de capteurs solaires.

Chapitre 3 :Modélisation mathématique et résolution numérique.

Figure 3.1:Représentation schématique d'un système de ventilation passive.

Figure 3.2: Configuration géométrique et conditions aux limites correspondantes.

Figure 3.3:Maillage choisi du problème.

Chapitre 4:Techniques et resultat experimentaux.

Figure 4.1: Maquette d'une cheminée solaire.

Figure 4.2: L'ouverture de la chambre.

Figure 4.3:Cheminée solaire.

Figure 4.4:Mesure de l'intensité de flux (Pyranomètre).

Figure 4.5:Emplacement des sondes de Température.

Figure 4.6:Sonde de température.

Figure 4.7 :Projecteurs halogènes de 1000W.

Figure 4.8:Evolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=200 \text{ w/m}^2$).

Figure 4.9:Evolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=650 \text{ w/m}^2$).

Figure 4.10: Evolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=1000 \text{ w/m}^2$).

Figure 4.11: Evolution de la vitesse de sortie et débit massique en fonction du temps à une intensité de flux ($H=200 \text{ w/m}^2$).

Figure 4.12:Evolution de la vitesse de sortie et débit massique en fonction du temps à une intensité de flux ($H=650 \text{ w/m}^2$).

Figure 4.13:Evolution de la vitesse de sortie et débit massique en fonction du temps à une intensité de flux ($H=1000 \text{ w/m}^2$).

Figure 4.14:L'évolution d'ACH en fonction du temps pour différentes intensités de flux ($H=200 \text{ W /m}^2$, $H= 650 \text{ w/m}^2$ et $H= 1000 \text{ w/m}^2$).

Figure 4.15 :L'évolution de l'efficacité en fonction du temps pour différentes intensités de flux ($H=200 \text{ W /m}^2$, $H= 650 \text{ w/m}^2$ et $H= 1000 \text{ w/m}^2$).

Chapitre 5:Résultats théoriques et validations

Figure 5.1:Champs de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 200 \text{ W/m}^2$.

Figure 5.2:Champs de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$.

Figure 5.3:Champs de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 1000 \text{ W/m}^2$.

Figure 5.4:Champs de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre ($1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$).

Figure 5.5:Champs de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre ($1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$).

Figure 5.6:Champs de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre ($2\text{m} \times 2\text{m}$).

Figure 5.7:Champs de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre ($3\text{m} \times 3\text{m}$).

Figure 5. 8:Evolution de la température d'absorbeur à l'intensité de flux ($H= 650 \text{ w/m}^2$) avec les cinq cas des différents volumes de la chambre.

Figure 5.9:Evolution de la température de vitrage à l'intensité de flux ($H= 650 \text{ w/m}^2$) avec les cinq cas des différents volumes de la chambre.

Liste des tableaux

Chapitre 4:Techniques et resultat experimentaux

Tableau 4.1:Caractéristiques de la vitre.

Tableau 4.2:Caractéristiquesde l'absorbeur.

Tableau 4.3 :Caractéristiques des isolants.

Chapitre 5:Résultats et discussions

Tableau. 5-3 : Comparaison des résultats obtenus avec ceux de la littérature.

T able des matières

Remerciements

Dédicaces

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Table des matières

Introduction.....1

Chapitre 1 : Recherche bibliographique

1.1	Introduction.....	4
1.2	Analyse générale des différentes cheminées solaires	4
1.3	Références bibliographiques	20

Chapitre 2 : La ventilation et la cheminée solaire

2.1	Introduction.....	22
2.2	Pourquoi aérer ou ventiler ?	22
2.2.1	Comment bien ventiler ?	23
2.2.2	Ventilation naturelle ou contrôlée ?	23
2.2.3	Comment faire ?	24
2.3	Les types de ventilation.....	25
2.3.1	La ventilation naturelle	25
2.3.1.1	Capteur de vent et variantes	25
2.3.1.2	Ventilation par cheminées	26
2.3.1.3	Ventilation par atrium	27
2.3.1.4	Ventilation par façade double peau (FDP).....	28
2.3.1.5	Ventilation par puits canadiens	29
2.3.2	La ventilation mécanique	30
2.3.2.1	Ventilation simple flux avec extraction sanitaire	31
2.3.2.2	Ventilation double flux avec extraction sanitaire	32
2.3.2.3	VMC thermodynamique	33
2.4	Les avantages et les inconvénients de la ventilation	34
2.4.1	Les avantages de la ventilation	34

2.4.2	Les inconvénients de la ventilation	35
2.5	La cheminée solaire	35
2.5.1	Description de la cheminée solaire	36
2.5.2	Principe général de fonctionnement de la cheminée solaire	37
2.5.3	Effet de la cheminée	38
2.5.4	Les Modes d'opérations d'une cheminée solaire	39
2.5.5	Types de cheminée solaire	40
2.5.5.1	Cheminée solaire verticale	40
2.5.5.2	Cheminée solaire inclinée	41
2.6	Conclusion	41
2.7	Références bibliographiques	42

Chapitre 3 : Modélisation mathématique et résolution numérique

3.1	Introduction.....	43
3.2	Modèle mathématique	44
3.2.1	Equations générales	44
3.2.2	Hypothèses simplificatrices	44
3.2.2.1	Les équations de Navier-Stokes	45
3.2.2.2	L'équation de l'énergie	45
3.2.2.3	Conditions aux limites correspondantes	45
3.2.2.4	Maillage relatif	46
3.2.2.5	La convergence	47
3.3	Paramètres et caractéristiques de la cheminée solaire.....	47
3.3.1	Température de fluide	47
3.3.2	Débit massique d'air à travers la cheminée	48
3.3.3	La vitesse	48
3.3.4	Rendement instantané	48
2.4	Références Bibliographique	49

Chapitre 4 : Techniques et résultats expérimentaux

4.1	Introduction.....	50
4.2	Installation et techniques de mesure	50
4.3	Analyse et interprétation des résultats	50
4.3.1	La chambre.....	50
4.3.2	La cheminée solaire	51
4.3.3	Le vitre	51
4.3.4	L'absorbeur	52
4.3.5	L'isolation des parois	52
4.4	Principe de fonctionnement de ce système.....	52
4.5	Instruments de mesure.....	53
4.5.1	Mesure du l'intensité de flux	53
4.5.2	Mesure des températures	53
4.5.3	Les projecteurs	54
4.6	Instruments de mesure.....	55
4.6.1	Différentes températures pour H= 200, 650 et 1000 W/m ²	55

4.6.2	Débit massique et vitesse de sortie pour $H= 200, 650$ et 1000 W/m^2	57
4.6.3	ACH et l'efficacité pour $H= 200, 650$ et 1000 W/m^2	59
4.7	Conclusion	60
4.8	Références Bibliographique	61

Chapitre 5 : Etude numérique

5.1	Introduction.....	62
5.2	Variation de l'intensité de flux égale ($H= 200, 650$ et 1000 W/m^2)	62
5.3	Variation des dimensions de système pour une intensité de flux 650W/m^2	65
5.4	Validation des résultats	70
5.5	Conclusion	70
5.6	Références Bibliographique	71
Conclusion.....		72
Annexes.....		74
Résumé.....		80

Introduction

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenu en 1973 a conduit une première fois l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables au premier rang desquelles l'énergie solaire. Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque, étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence du risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.

On s'est vite aperçu que l'énergie solaire, contrairement à une idée répandue, n'est pas tout à fait gratuite : son utilisation nécessite un investissement de départ souvent plus lourd que pour les sources d'énergie conventionnelles et nombre d'installations solaires sont aujourd'hui à l'arrêt faute d'avoir prévu un budget pour la maintenance des équipements. Toutefois, sans être totalement gratuite, l'énergie solaire présente des coûts de fonctionnement réduits et offre dans certains cas une alternative économiquement rentable par rapport aux sources d'énergie conventionnelles. Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques (qui grandiront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront) mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement : pas de rejets polluants (fumées contenant du CO₂ et des NO_x par les centrales thermiques), pas de danger radioactif et de déchets encombrants (centrales nucléaires).[1]

La ventilation naturelle est depuis des décennies la méthode standard pour le contrôle de l'ambiance de nombreux types de bâtiments, et spécifiquement les immeubles de bureau dans les pays développés. La pollution et le souci de la consommation d'énergie ont conduit à une nouvelle approche de la conception des bâtiments plus respectueuse de l'environnement. Des technologies innovantes alliées aux principes d'architecture bioclimatique et à ceux des constructions traditionnelles sont souvent utilisées pour créer de nouvelles solutions potentiellement fructueuses. La cheminée solaire est un des concepts actuels étudiés aussi bien par les scientifiques que par des ingénieurs, principalement au travers de la recherche et de l'expérimentation.

Introduction

Une cheminée solaire peut être utilisée à différentes fins. Le gain de l'exposition directe réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée lui permettant de s'élever et d'aspirer celui venant du bas. Cette aspiration peut être utilisée pour ventiler des maisons ou des bureaux, pour pomper l'air d'un puits provençal ou pour aérer des endroits spécifiques comme des toilettes sèches.

L'étude, présentée dans ce mémoire, s'inscrit dans le cadre de la ventilation naturelle par cheminée solaire. Notre but étant d'obtenir une vue complète des différentes configurations et trouver la conception optimale qui permet une meilleure performance climatique maximale sur notre santé et habitats avec des sources énergétiques minimale.

Nous avons organisé notre mémoire en cinq chapitres principaux comme suit :

Dans le premier chapitre, une étude bibliographique a été présentée pour citer les différents travaux théoriques, numériques et expérimentaux ayant trait au domaine des cheminées solaires et ce pour diverses configurations et pour différentes conditions.

Le deuxième chapitre présentera la ventilation et ses avantages et différents types et ses modes d'emploi ainsi que la cheminée solaire avec ses différentes configurations existant.

Le troisième chapitre s'intéresse au modèle mathématique, ainsi que la discrétisation numérique de l'équation générale de transfert de chaleur qui régissent l'écoulement du fluide en régime laminaire au niveau des composants de la cheminée solaire.

Dans le quatrième chapitre, comporte une description de notre expérimentation dans laboratoire sur un modèle de la cheminée solaire avec présentation de ses composants et principe de fonctionnement de ce système, ainsi que les instruments de mesure, et finalement les paramètres physique (température, débit massique, vitesse de sortie, ACH et l'efficacité) dans des différentes intensités de flux.

Le cinquième chapitre est la partie la plus importante de ce mémoire, à l'aide des codes de calculs FLUENT et GAMBIT, on a obtenu les principaux résultats numériques des champs de température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à différents intensités de flux et surfaces des chambres, on rassemble la validation de nos simulations et résultats avec une comparaison avec du résultat théorique de ONG, ainsi que les commentaires et interprétations des résultats obtenus.

Enfin, notre mémoire est clôturé par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

Introduction

Références Bibliographique

- [1] Jean-Marie HAUGLUSTAINE, “La ventilation dans les bâtiments résidentiels”, une présentation à l’université de Liège, 18/05/2011.

Chapitre 1

Recherche bibliographique

Sommaire

1.1	Introduction.....	4
1.2	Analyse générale des différentes cheminées solaires.....	4
1.3	Références bibliographiques.....	20

1.1. Introduction

Les systèmes conventionnels de confort climatique intérieur représentent une part importante de la consommation d'énergie dans les secteurs résidentiels. La conception passive est une approche qui peut réduire la demande d'énergie des bâtiments en minimisant la consommation d'énergie des systèmes mécaniques.

Les cheminées solaires en tant que composants à tirage naturel qui utilisent l'énergie solaire pour augmenter la pression de la cheminée sont une conception passive innovante. La cheminée solaire contribue à une augmentation de l'efficacité du chauffage et de la climatisation des espaces résidentiels en plus d'une réduction considérable des émissions de gaz à effet de serre.

Les cheminées solaires sont différentes 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 ces deux dernières décennies, ont illustré leurs avantages en montrant leur bas coût de maintenance et leur durabilité. Les cheminées solaires ont été utilisées dans tous les domaines dans notre vie quotidienne pour le renouvellement d'air comme les habitas (maison, bureau, établissements scolaires et usines ...), l'agriculture 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. [1]

Cette recherche bibliographique nous a permis de mettre un point de vue sur les différentes recherches et les différentes configurations dans le domaine de la ventilation naturelle par la cheminée de chauffage.

1.2. Analyse générale des différentes cheminées solaires

K.S. ONG et al [2] proposent un modèle mathématique afin de déterminer la performance d'une cheminée solaire pour différents 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. Les 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 solaire sur la performance de la cheminée ont été étudiés.

Pour vérifier le modèle théorique, des expériences ont été faites sur un modèle physique de 2m de longueur avec des entrées d'air de 0.1, 0.2 et 0.3m. L'expérience a été réalisée sur un toit exposé aux rayonnements solaire diffus et direct. Les vitesses d'air entre 0.25ms^{-1} et 0.39ms^{-1} ont été obtenues pour une intensité radiative de 650Wm^{-2} . Ils n'ont observé aucune circulation inverse d'air même pour un grand espace de 0.3m. 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.

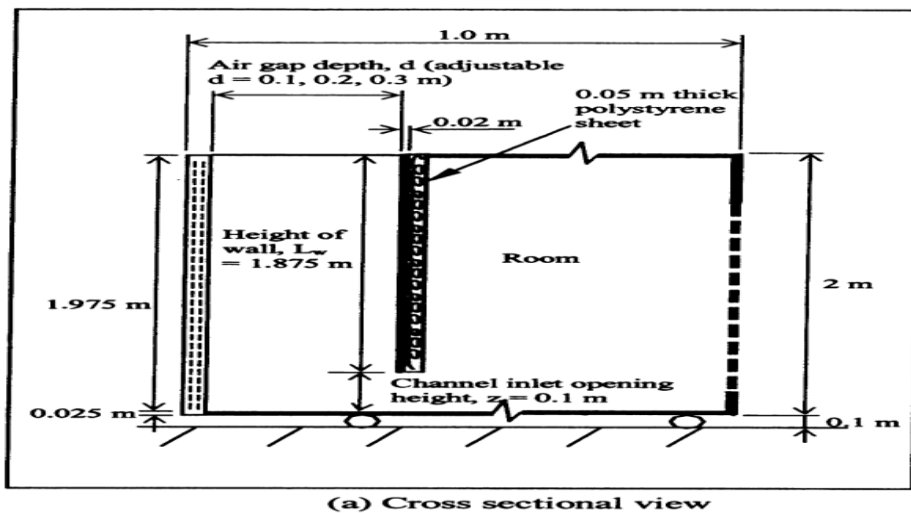


Figure 1.1. Schéma du système, coupe transversale [2]

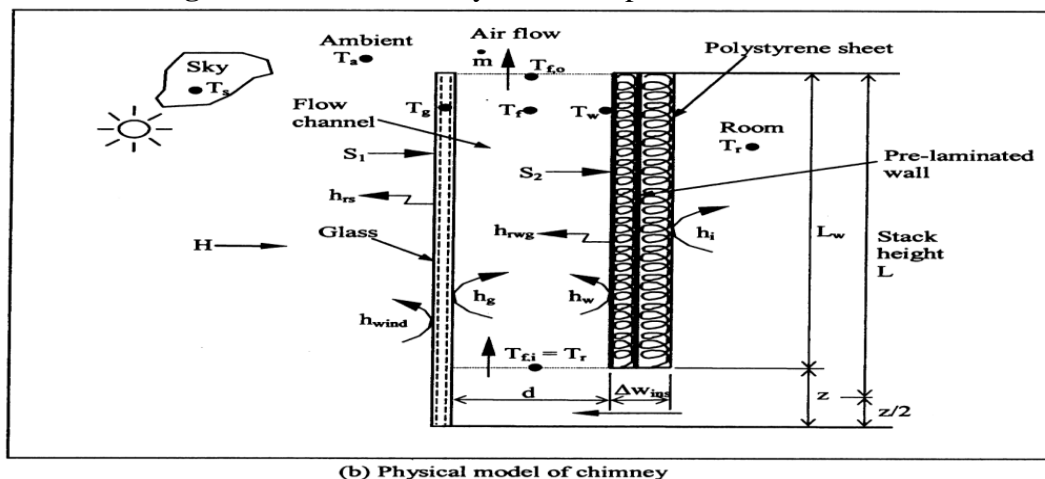


Figure 1.2. La cheminée solaire expérimentale de type murale [2]

Ramadan BASSIOUNY et al [3] ont étudiés le concept de cheminée solaire utilisée pour améliorer la ventilation naturelle de la pièce de manière analytique et numérique. Ils ont pris en compte certaines variables techniques telles que la taille et la largeur de l'entrée de la cheminée, qui, selon eux, avaient un effet significatif sur la ventilation du lieu. Son objectif d'analyse numérique était de prédire le modèle d'écoulement dans la pièce ainsi que dans la cheminée afin d'améliorer les paramètres de conception. Ils ont ensuite comparé les résultats obtenus avec les données expérimentales et théoriques publiées. Ils ont trouvé une correspondance acceptable entre les résultats d'analyse et les données publiées de changement d'air ambiant par heure, ACH. De plus, notons que la largeur de la cheminée a un effet plus important sur l'ACH que la taille de l'entrée de la cheminée. Les résultats ont montré que la température moyenne de l'absorbeur peut être liée à la densité comme suit : $(T_w = 3.51L^{0.461})$ avec une plage d'erreur d'approximation acceptée. En outre, on a constaté que la vitesse moyenne de sortie de l'air varie en fonction de l'intensité, comme suit $(v_{ex} = 0.013L^{0.4})$.

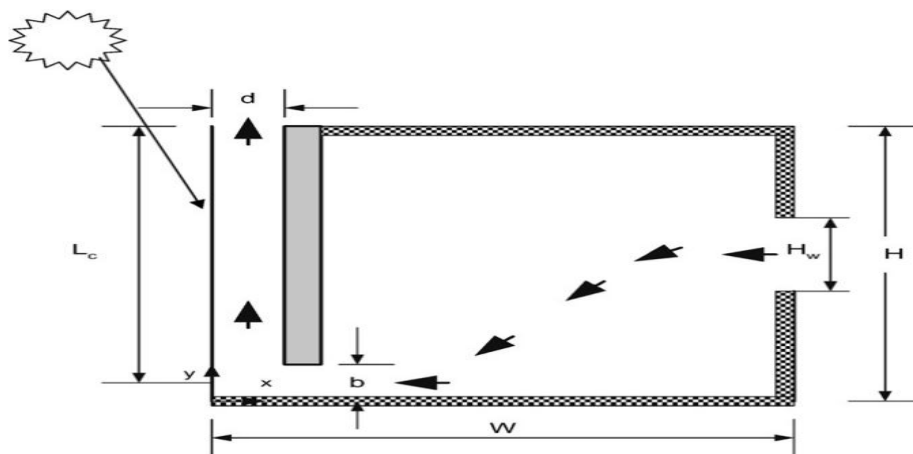


Figure 1.3. Schéma général du domaine physique [3]

S.A.M. BUREK et al [4] proposent une étude expérimentale sur le transfert de chaleur et le flux de masse dans les réchauffeurs d'air par thermosiphon, tels que les cheminées solaires et les murs de Trombe. Le banc d'essai comprenait un canal vertical à extrémités ouvertes et à côtés fermés, ressemblant à un collecteur solaire ou à une cheminée solaire d'une surface d'environ 1m^2 . Un contrôle étroit de l'apport de chaleur a été réalisé en utilisant un tapis chauffant électrique, les apports de chaleur en régime permanent varient de 200 à 1000W, et la profondeur du canal varie de 20 à 110mm. Les températures ont été enregistrées dans tout le banc d'essai, de même que la vitesse de l'air.

Les principaux résultats des données ont montré :

- Le débit massique à travers le canal était fonction à la fois de l'apport de chaleur et de la profondeur du canal.
- L'efficacité thermique du système (en tant que capteur solaire) était fonction de l'apport de chaleur et ne dépendait pas de la profondeur du canal.

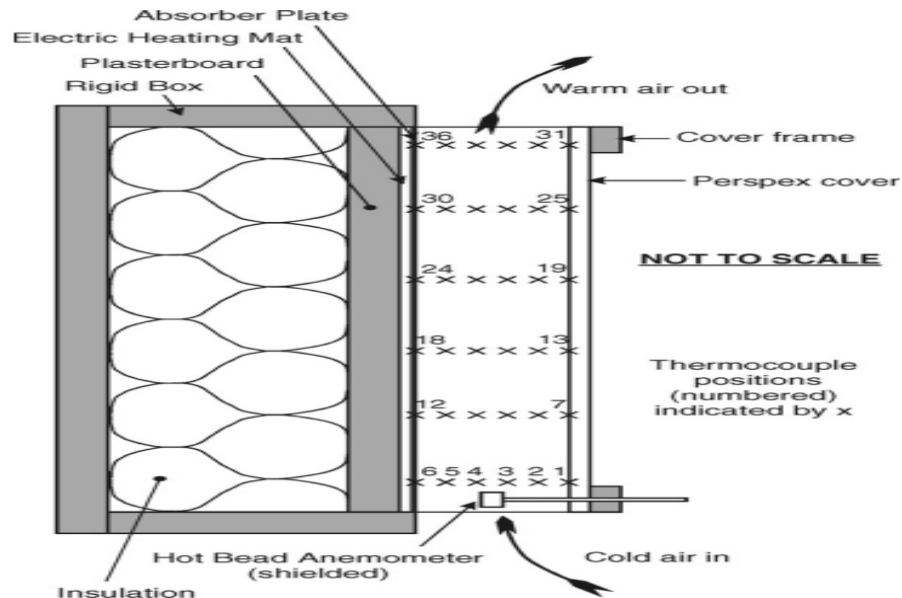


Figure 1.4. Schéma de principe du banc d'essai (pas à l'échelle) [4]

Preeda CHANTAWONG et al [5] ont présenté les résultats d'une étude sur la performance thermique des murs de cheminées solaires vitrés (GSCW) dans les conditions climatiques tropicales de la Thaïlande. Le GSCW est composé de doubles vitrages avec une couche d'air et des ouvertures situées en bas (vitrage côté pièce) et en haut (vitrage côté ambiance). Un prototype de GSCW a été intégré dans le mur sud d'une petite pièce d'un volume de 2.8m^3 . Ses dimensions étaient les suivantes : 0.74m de hauteur, 0.50m de largeur et une lame d'air de 0.10m . La taille des ouvertures était de $0.05 - 0.5\text{m}^2$. Avec un verre transparent de 6mm d'épaisseur, la mesure du champ de vitesse a indiqué que le débit d'air induit était d'environ $0.13 - 0.28\text{m}^3/\text{s}$. La différence de température entre la pièce et l'ambiance était inférieure à celle d'une fenêtre en verre transparent à couche unique.

La réduction de la lumière du jour due à la double couche de verre est négligeable. La comparaison entre les résultats simulés et expérimentaux a montré un accord raisonnable. Le modèle numérique développé est valide et peut être utilisé comme un outil pour la conception de GSCW.

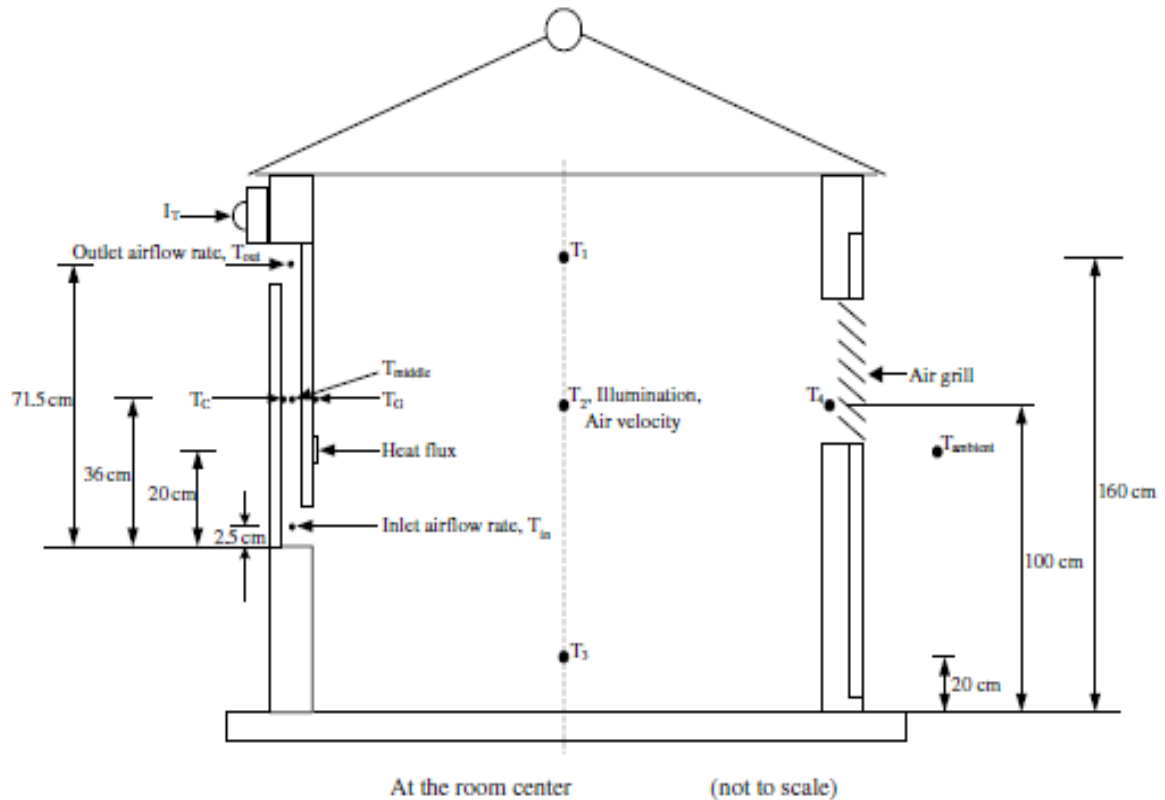


Figure 1.5. Schéma et dimension du GSCW [5]

A.S. Kaiser et al [6] proposent une étude d'une cheminée solaire, le flux d'air induit par la flottabilité génère une ventilation du bâtiment où la cheminée est fixée. Lorsque le vent atmosphérique souffle sur la partie supérieure d'une cheminée solaire, un flux mixte induit par la flottabilité et le vent apparaît, et le comportement thermique de la cheminée change alors radicalement. En supposant que la cheminée est dépourvue de tout dispositif de protection à sa partie supérieure, le nombre de NUSSELT moyen et le débit massique induit sont obtenus pour des valeurs de nombre de Rayleigh variant de 10^7 à 10^{12} (symétriquement, condition de chauffage isotherme) et de 10^{11} à 10^{15} (symétriquement, condition de chauffage à flux de chaleur uniforme), avec des vitesses de vent de 0 à 10 m/s. Une corrélation pour le débit massique non dimensionnel est présentée, qui est valable pour toute la gamme des paramètres pertinents considérés, avec une corrélation entre le débit massique et la vitesse du vent. Une gamme complète de paramètres pertinents est considérée, avec une déviation moyenne d'environ 6%.

Mark SCHOLLER et al [7] ont présenté une simulation CFD et une comparaison avec des caractéristiques réelles de la cheminée solaire. Deux types de cheminées solaires ont été construits au département de thermodynamique et d'ingénierie environnementale de

l'université de technologie de BERNO. L'objectif principal des expériences et des simulations est d'étudier les performances de la cheminée solaire dans les conditions climatiques de la République Tchèque et d'explorer le potentiel des cheminées solaires pour la ventilation des bâtiments résidentiels. Les deux cheminées solaires ont été testées et connectées en parallèle les unes aux autres et placées dans un boîtier. Les dimensions de chaque cheminée sont les suivantes : largeur 750mm, hauteur 1500mm et espacement 200mm. L'une des cheminées contient une couche de stockage de la chaleur en béton pour rendre le débit d'air à travers la cheminée plus uniforme dans le temps. Cela devrait également permettre l'utilisation de la cheminée solaire pour le refroidissement nocturne. L'autre cheminée est équipée d'une couche d'absorption en tôle métallique pour obtenir une température de paroi plus élevée. La cheminée solaire est orientée vers le sud est inclinée de 30 degrés par rapport à la verticale. Les paramètres suivants sont contrôlés : débit d'écoulement induit par la flottabilité, les températures de surface ainsi que les températures de l'air dans les cheminées et les conditions météorologiques.

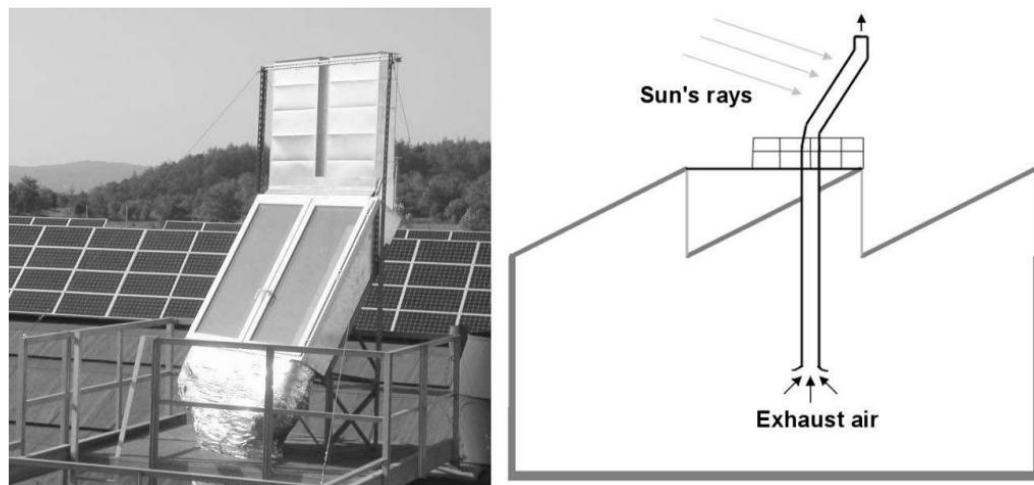


Figure 1.6. Cheminée solaire [7]

Jyotirmay MATHUR [8] a étudié dans un système de ventilation solaire utilisant le concept de cheminée solaire de toit (RSC), l'effet de l'inclinaison de l'absorbeur sur le débit d'air. Pendant les mois d'été, en raison de l'altitude plus élevée du soleil, l'absorbeur à faible inclinaison par rapport au plan horizontal capte plus de rayonnement solaire, mais souffre de la réduction de la hauteur de la cheminée. Les résultats de la solution développée montrent que l'inclinaison optimale de l'absorbeur varie entre de 40° à 60° en fonction de la latitude du lieu. À Jaipur (Inde), l'inclinaison de 45° est optimale pour obtenir un taux de ventilation maximal. A cette inclinaison, le taux de ventilation est

environ 10% plus élevé que les inclinaisons 60° et 30°. Les études expérimentales montrent un bon accord avec les résultats théoriques. Une cheminée solaire de toit de cette taille peut facilement être montée sur des bâtiments résidentiels pour améliorer la ventilation naturelle.

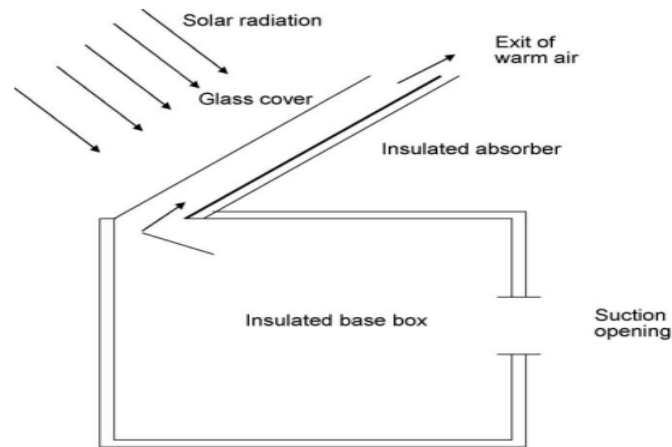


Figure 1.7. Montage expérimental pour étudier les performances d'une cheminée solaire inclinée [8]

Evangellos BACHAROUDIS et al [9] ont fait une recherche qui se concentre sur quatre cheminées solaires murales construites et placées à chaque mur et orientation d'une salle de test à petite échelle afin d'être utilisées pour l'évaluation et la mesure de leur comportement thermique et la certification de leur efficacité à l'intérieur des cheminées solaires murales, les équations elliptiques qui les gouvernent sont résolues dans un domaine bidimensionnel en utilisant une méthode de volume de contrôle. L'écoulement est turbulent et six modèles de turbulence différents ont été testés pour cette étude. Comme le modèle $k-\varepsilon$ réalisable est susceptible de fournir des performances supérieures pour les couches limites d'écoulement sous de forts gradients de pression défavorables, il a été sélectionné pour être utilisé dans les simulations. Ceci est également confirmé par la comparaison avec les résultats expérimentaux. Les profils de vitesse et de température prédits sont présentés pour différents endroits, près de l'entrée, à différentes hauteurs et près de la sortie du canal, et ils sont conformes aux prévisions de la théorie. Des paramètres importants tels que le nombre moyen de NUSSELT sont également comparés et calculés à plusieurs résolutions de grille. Le modèle développé est général et peut être facilement adapté pour décrire différentes conditions de cheminées solaires, de rapports d'aspect, etc. Les résultats de l'application du modèle aideront à la mise en place efficace des prochaines configurations du système.

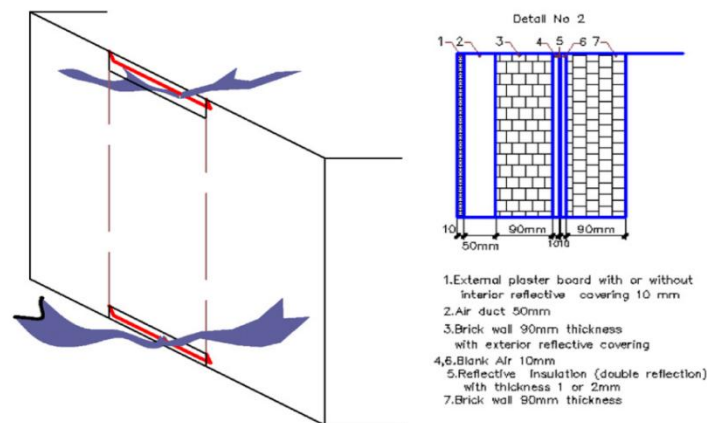


Figure 1.8. Circulation de l'air dans le mur cheminée solaire et détails de construction

[9]

Rakesh KHANAL et al [10] ont proposés une théorie comme alternative aux systèmes de ventilation mécanique en raison de leurs avantages potentiels en termes de coûts opérationnels. Les systèmes de ventilation passive sont de plus en plus souvent à cause des besoins énergétiques et l'émissions de dioxyde de carbone. La cheminée solaire est un excellent système de ventilation passive qui s'appuie sur une force motrice naturelle, à savoir l'énergie solaire naturelle. De nombreux travaux de recherche ont été menés sur la cheminée solaire depuis les années 1990 présente une vue d'ensemble des recherches sur les cheminées solaires qui ont eu lieu au cours des deux dernières décennies. L'examen se concentre sur deux domaines de recherche principaux : les effets de la géométrie et de l'angle d'inclinaison sur les performances de ventilation. Les recherches expérimentales des cheminées solaires ont dominé la littérature existante. Cependant, la modélisation numérique de la cheminée solaire en utilisant la technique de la dynamique des fluides numérique (CFD) a attiré une attention croissante. En outre, cette étude a révélé que la cheminée solaire en tant que stratégie de ventilation passive n'a pas été entièrement comprise.

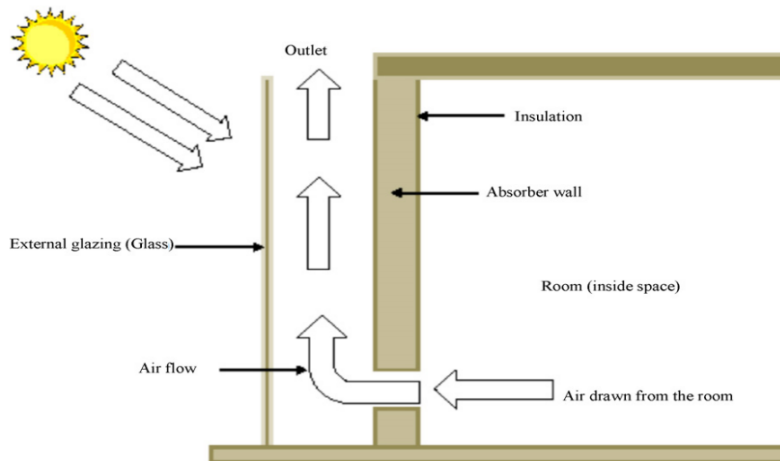


Figure 1.9. Schéma d'une cheminée solaire avec géométrie d'absorbeur verticale [10]

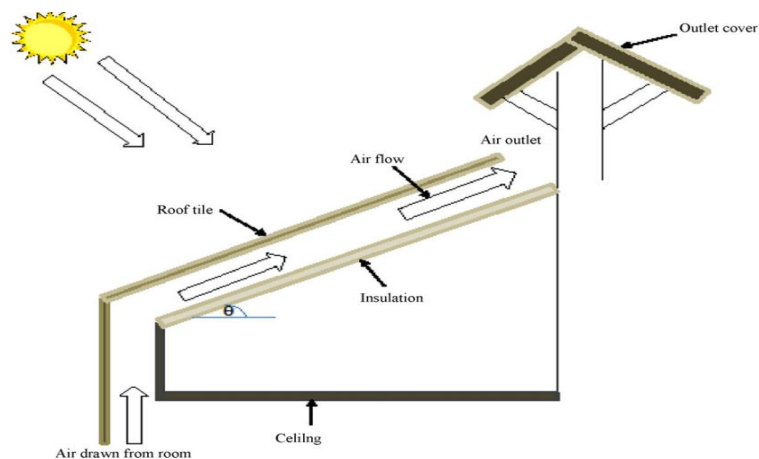


Figure 1.10. Schéma d'une cheminée solaire à toit incliné [10]

Guohui GAN et al [11] ont utilisé pour améliorer la ventilation naturelle des bâtiments, des cavités de ventilation hautement chauffées par le soleil, y compris les cheminées solaires. Un modèle CFD validé a été utilisé pour prédire le flux d'air poussé par la flottabilité et les taux de transfert de chaleur dans les cavités de ventilation verticales avec différentes combinaisons de distribution de chaleur sur deux parois verticales allant d'un chauffage symétrique à un chauffage totalement asymétrique. Le taux de ventilation naturelle et le taux de transfert de chaleur varient en fonction de l'apport total de chaleur, de la distribution de la chaleur sur les parois de la cavité, de la largeur et de la hauteur de la cavité et de la position de l'ouverture d'entrée. Des expressions générales pour ces variables ont été obtenues et présentées en termes non dimensionnels, nombre de NUSSELT, nombre de Reynolds, nombre de Rayleigh et rapport d'aspect (H/b), comme $Nu = f(Ra, H/b)$ et $Nu = f(Ra, Re)$ ou $Re = f(Ra, Nu)$, pour la conception de la ventilation naturelle.

AFONSO et al [12] proposent un modèle simplifié. Un programme informatique permettant de quantifier le débit de ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire a été développé. Ils tiennent compte des variations temporelles des conditions climatiques, ainsi que du stockage de chaleur dans les parois de la cheminée. Les résultats du modèle se sont avérés prédire de manière satisfaisante les résultats expérimentaux obtenu avec une technique de mesure de gaz traceur.

Des changements dans le modèle ont été mis en œuvre, de sorte que l'effet du vent, qui a été noté comme significatif, a été inclus; les différences entre les résultats du modèle et les résultats expérimentaux sont faibles, tant pour les journées ensoleillées que pour les journées à faible insolation; ils sont plus significatifs pour le débit de ventilation, certains jours, qui peuvent être dus à des variations du coefficient de pression du vent, qui n'est pas constant, comme le suppose le modèle; cependant, une valeur constante conduit à des débits calculés qui se situent à moins de 10% des valeurs mesurées. Par conséquent, le modèle offre suffisamment de confiance pour permettre son utilisation dans différentes situations et géométries. En raison de la nature variable (presque aléatoire) du vent, la conception d'une cheminée solaire peut se faire sans tenir compte de l'effet du vent.

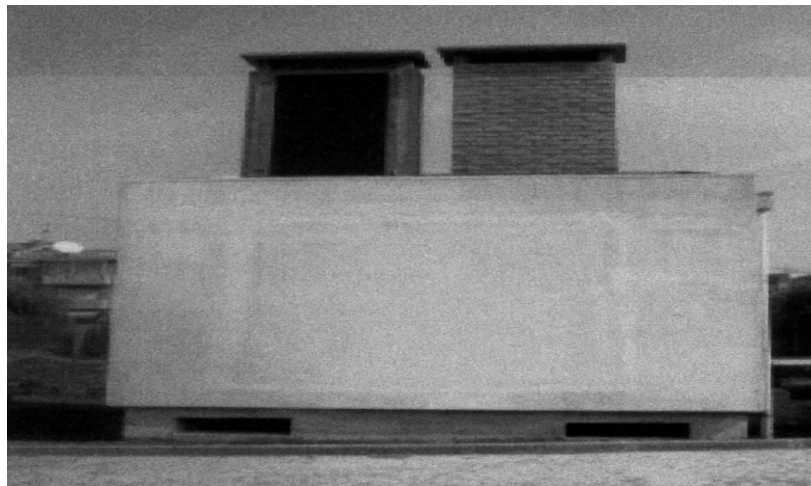


Figure 1.11. Vue d'une cheminée solaire conventionnelle dans une cellule d'essai [12]

Catherine BAX et al[13] présentent un modèle CFD développé pour l'examen de la ventilation naturelle dans un bâtiment à deux étages avec une cheminée solaire. Les équations de transport en régime permanent pour les grandeurs vectorielles et scalaires (vecteurs vitesse, turbulence, énergie et intensité spectrale du rayonnement) sont résolues numériquement par une méthode numérique FV. La nature turbulente de l'écoulement est simulée par le modèle de Reynolds à deux équations $k-\omega$ tandis que pour le rayonnement

incident le modèle des Ordonnées Discrètes (DO) est utilisé. Le modèle rend efficacement les effets de flottabilité à l'intérieur du bâtiment, grâce à la variation de densité causée par l'augmentation de la température. La modélisation du rayonnement prend en compte les propriétés spectrales thermiques et optiques des matériaux. Le modèle numérique développé a été validé par rapport aux travaux publiés pour les écoulements relatifs. Trois modifications de la géométrie 2D de base ont été examinées afin d'exploiter la conception fonctionnelle d'une cheminée solaire. La meilleure performance a été obtenue avec la conception la plus simple qui a des ouvertures simples reliant la cheminée solaire et les pièces ventilées, tandis que le taux de ventilation a été comparé aux modèles analytiques. Les résultats des simulations 2D peuvent être utilisés en toute sécurité comme indication sur les performances qualitatives de la cheminée solaire alors qu'ils sous-estiment le débit massique par rapport aux approches 3D équivalentes. La cheminée solaire fonctionne mieux le matin et l'après-midi, alors que le pire fonctionnement est observé le midi de juin, en ce qui concerne la ventilation de l'ensemble du bâtiment.

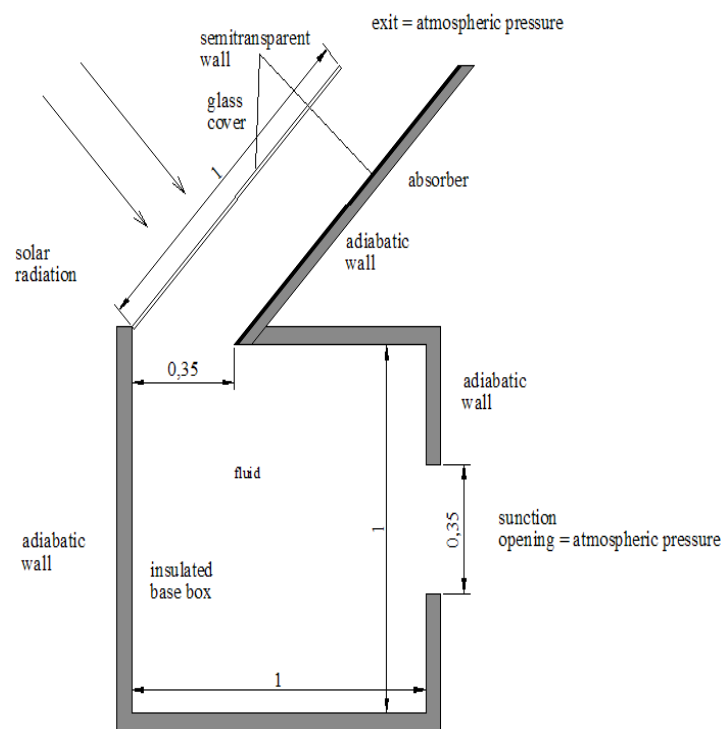


Figure 1.12. Géométrie et condition aux limites de la configuration de validation [13]

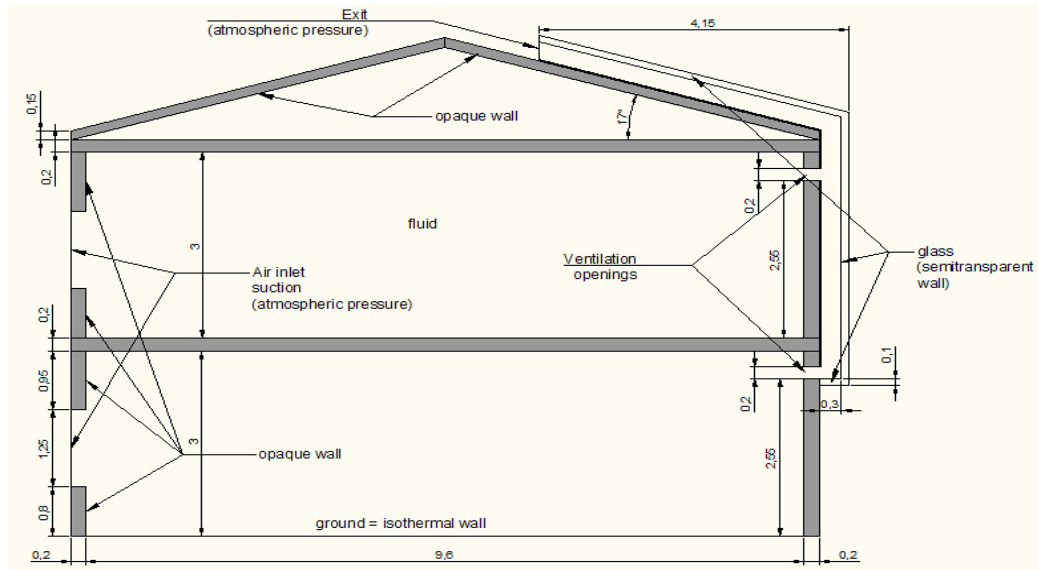


Figure 1.13. Géométrie 2D de base et conditions aux limites [13]

AMORI et al [14] extraient après une étude expérimental et numérique que :

- La position de l'ouverture de l'entrée affecte les performances de la cheminée. La cheminée solaire d'entrée latérale a les meilleures performances thermiques.
- Les performances thermiques de la cheminée solaire sont réduites lorsque les deux portes d'entrée d'air sont ouvertes. Quantitativement, la température maximale de l'air atteinte à la sortie des cheminées était de 61°C pour le bas d'entrée alors qu'il faisait 52°C lorsque les portes inférieures et latérales sont ouvertes.
- Le rendement de la cheminée inclinée est meilleur que celui de la cheminée verticale car le rayonnement solaire incident sur la cheminée inclinée est supérieur à celui de la verticale. Le rayonnement solaire mesuré sur la cheminée solaire inclinée était de $760\text{W}/\text{m}^2$ à midi solaire le 25-9-2010 contre $650\text{W}/\text{m}^2$ pour la cheminée verticale à midi solaire le 22-9-2010.
- Le PCM modifie les performances thermiques de la cheminée et prolonge les heures de ventilation après l'absence solaire ou la nuit (en déchargeant l'énergie de stockage). Quantitativement, l'énergie stockée était de (5016W) de 8h00 à 13h00 (charge d'énergie prolongée pendant 5 h), et l'énergie déchargée était de (4954,4W) de 13h00 à 22h00. PM (vers 9h).
- 100 % est la contribution du PCM au stockage et à l'évacuation de l'énergie dans la cheminée solaire intégrée au PCM.

HARRIS et al [15] proposent une étude porte sur la conception d'une cheminée solaire pour induire la ventilation dans un bâtiment. Des techniques de modélisation CFD ont été utilisées pour évaluer les impacts de l'angle d'inclinaison, du double vitrage et des finitions à faible émissivité sur le taux de ventilation induit. Il a été constaté que pour une cheminée orientée au sud, un angle d'inclinaison de $67,5^\circ$ par rapport à l'horizontale était optimal pour l'emplacement choisi, donnant un rendement supérieur de 11% à la cheminée verticale, et qu'un rendement supérieur de 10% était obtenu en utilisant une surface murale à faible émissivité.

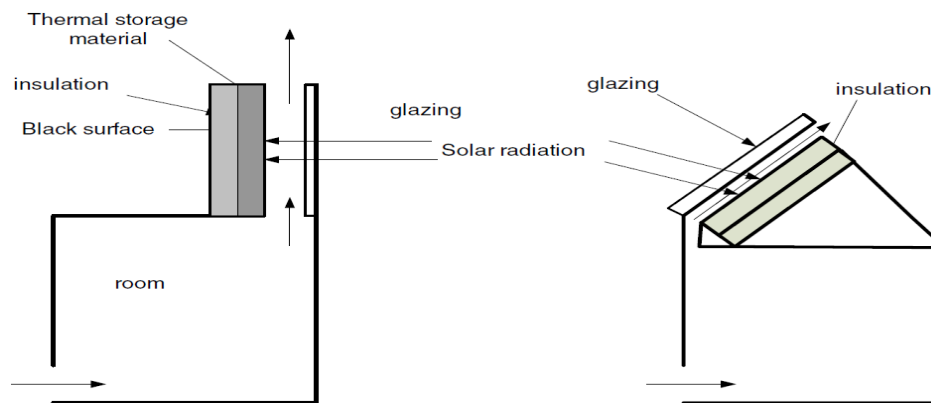


Figure 1.14. Configurations de la cheminée solaire [15]

Il a été constaté que la variation de la pente de la cheminée entraînait des variations de performance mesurées par le débit d'air à travers la cheminée. L'angle de pente optimal pour un débit maximal est de $67,5^\circ$ par rapport à l'horizontale, ce qui donne un avantage moyen de 11 % d'augmentation du débit par rapport à celui d'une cheminée verticale. Cela améliore les performances de refroidissement et de ventilation du bâtiment et réduit le risque de surchauffe. L'application de finitions à faible émissivité sur le mur offre un moyen supplémentaire d'améliorer les performances, offrant une amélioration supplémentaire d'environ 10 % à cet angle. L'ajout de double vitrage a apporté une légère amélioration des performances, mais ce n'était pas assez significatif pour être rentable. Bien que l'effet du vent sur les débits n'ait pas été étudié ici, ce serait une piste intéressante pour de futures recherches. Avec des angles de toit inférieurs à 23° par rapport à l'horizontale, l'effet du vent est toujours d'augmenter la pression d'aspiration de la cheminée. Avec des angles de toit supérieurs à cela, la direction du vent joue un rôle dans la détermination de l'augmentation ou de la diminution de la pression de la cheminée. Pour les toits à faible angle, par conséquent, le vent augmenterait toujours le débit d'air. Alternativement, la direction du flux d'air pourrait être inversée en ajoutant un ventilateur

et des conduits. Lorsque le système pourrait être utilisé pour le chauffage, des travaux supplémentaires actuellement en cours, prévoit une modélisation physique pour confirmer ces résultats et une étude de coût du cycle de vie.

Hoy_Yen CHAN et al [16] dit que le chauffage, la ventilation et la climatisation (CVC) font partie de la principale consommation d'énergie d'un bâtiment. Les systèmes de chauffage et de refroidissement conventionnels ont un impact sur les émissions de dioxyde de carbone, ainsi que sur la sécurité de l'approvisionnement énergétique. À cet égard, l'une des tentatives entreprises par les chercheurs est le développement de technologies de chauffage et de refroidissement solaires. L'objectif est de passer en revue les technologies solaires passives pour le chauffage et le refroidissement des locaux. Les examens ont été discutés en fonction des mécanismes de travail, c'est-à-dire la flottabilité et les effets d'évaporation. Les avantages, les limites et les défis des technologies ont été mis en évidence et les futurs besoins de recherche dans ces domaines ont également été suggérés.

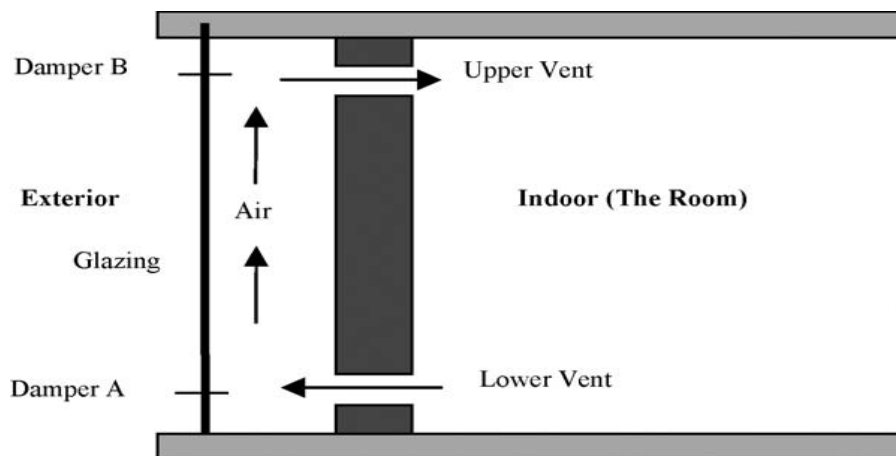


Figure 1.15. Schéma de principe du mur de Trombe classique (sans amortisseurs) [16]

Même si de nombreuses conceptions solaires actives et passives pour le chauffage et le refroidissement ont été développées, elles ont généralement leurs propres limites. Les technologies solaires actives nécessitent des développements de plus petite capacité, plus simples, à faible coût et plus de maintenance et systèmes opérationnels conviviaux. Alors que les conceptions solaires passives pourraient ne pas être suffisantes pour fournir un confort thermique intérieur, en particulier dans les régions aux climats extrêmes. Les domaines de recherche qui doivent être menés pour améliorer les performances des technologies solaires existantes et l'acceptation par le marché sont l'efficacité du système, l'esthétique architecturale et la rentabilité. En fait, elles ont été menées de manière

intensive. Sinon, la combinaison de systèmes de chauffage et de refroidissement est capable d'exploiter l'énergie solaire tout au long de l'année dans les pays avec des saisons chaudes et froides, alors qu'un hybride de technologies solaires actives et passives améliorerait l'efficacité et la rentabilité du système. Par conséquent, les limites des technologies sont surmontées par les avantages les unes des autres et rendent le système global de chauffage et de refroidissement solaires réalisable, plus commercialisable et augmentent l'acceptation du public.

JIANLIU et al [17] ont fait une étude portée sur les performances d'une cheminée solaire intégrée dans un bâtiment d'un étage. Un module a été développé et implémenté dans le programme Energie Plus pour la simulation et la détermination de l'impact énergétique des cheminées thermiques. Les concepts de base, les hypothèses et les algorithmes sont mis en œuvre dans le programme Energie Plus pour prédire les performances d'une cheminée solaire. Les résultats ont montré qu'à Nanjing 45° s'est avéré optimal pour obtenir un taux de ventilation maximal et que le taux de ventilation augmente avec l'augmentation du rapport entre la hauteur de l'absorbeur et l'espace entre le verre et l'absorbeur. Cette constatation est en accord avec les résultats expérimentaux.

Dans la région de Nanjing 45° est considéré comme optimal pour obtenir un taux de ventilation maximal, le débit à 45° d'inclinaison est supérieur d'environ 8% au débit à 30° et 60° d'inclinaison. On peut également conclure que le taux de ventilation augmente avec l'augmentation du rapport entre la hauteur de l'absorbeur et l'espace entre le verre et l'absorbeur.

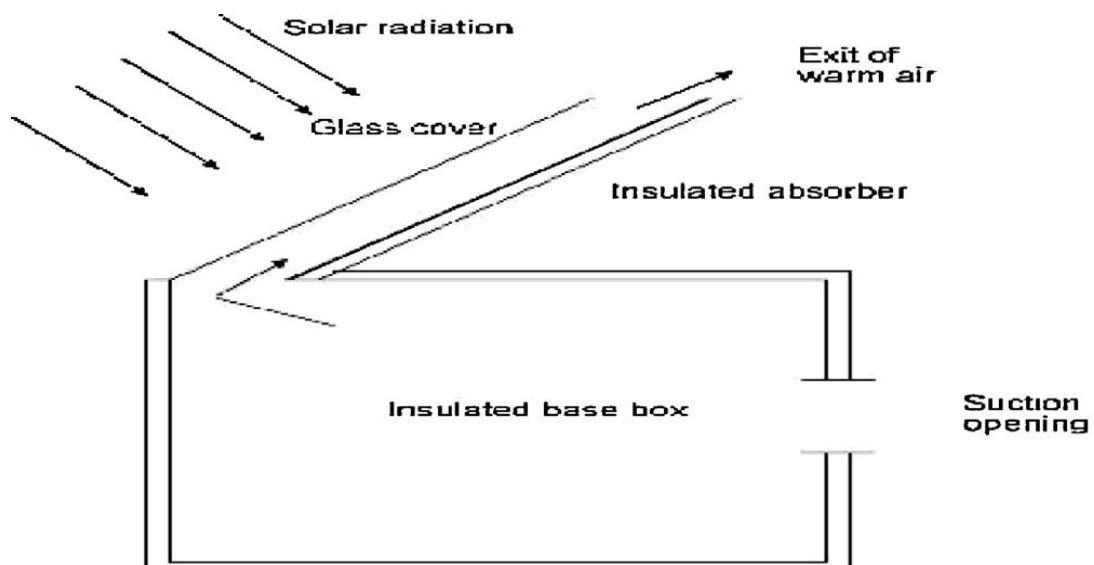


Figure 1.16. Dispositif expérimental pour investiger la performance de la cheminée solaire [17]

MONGHASEMI et al[18] ont conclu que la cheminée solaire en tant qu'excellente stratégie passive est utilisée pour améliorer la ventilation naturelle et ainsi réduire le besoin d'énergie auxiliaire pour le confort thermique. Au cours des dernières décennies, les cheminées solaires ont été largement étudiées numériquement et expérimentalement. L'utilisation de la cheminée solaire n'est pas efficace dans les climats chauds arides ou humides et dans les régions à faible ensoleillement. Par conséquent, la recherche sur le développement d'un système combiné pourrait être une alternative. Une cheminée solaire couplée à un échangeur de chaleur terre-air est conseillée pour utiliser à la fois l'énergie solaire et l'énergie géothermique. Le système est fondamentalement préféré car il est capable de fournir un chauffage des locaux en hiver et un effet de refroidissement en été. Cependant, son applicabilité dépend largement de la latitude et de l'altitude de l'emplacement, du type de sol, de la nappe phréatique, de l'humidité du sol et de la conception du bâtiment. Un modèle optimisé sur la base d'études paramétriques du système couplé révélerait davantage l'efficacité du système. Il est conclu que chaque système a ses propres avantages et inconvénients qui pourraient convenir à une région tout en étant peu pratiques pour l'autre.

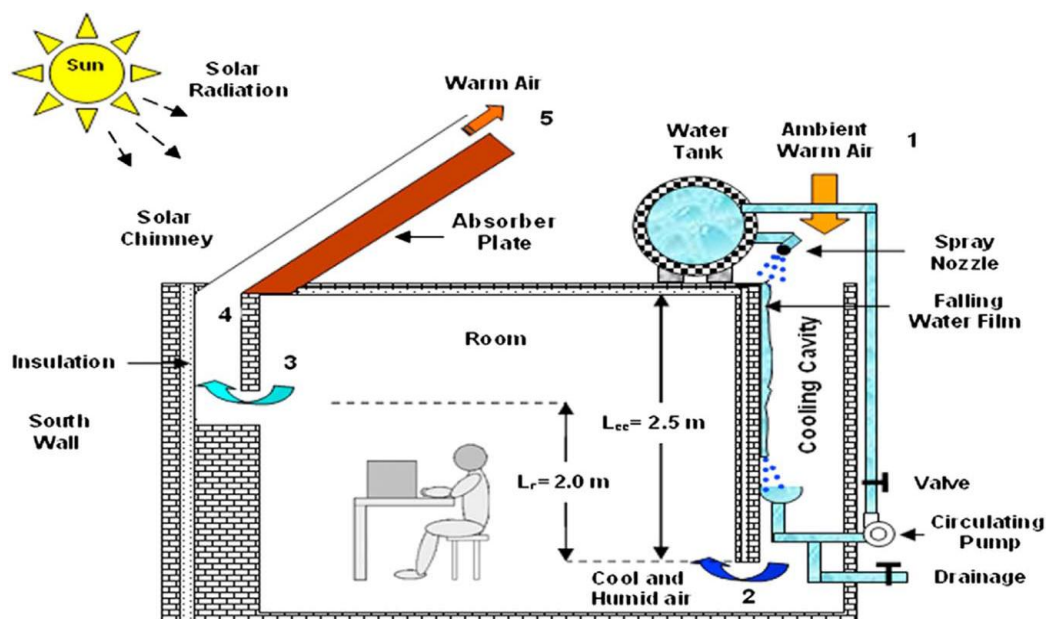


Figure 1.17 :Schéma de principe de la cheminée solaire et de la cavité de refroidissement [18]

Références bibliographiques

- [1] MONGHASEMI 2017 “A review of solar chimney integrated systems for space heating and cooling application”, University of Technology, Shiraz, Iran.
- [2] ONG 2003, “Performance of a solar chimney”, K.S. ONG, C.C. Chow, MONASH University Malaysia, JALAN KOLEJ, BANDAR SUNWAY, PETALING JAYA, Malaysia.
- [3] BASSIOUNY 2008, “An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation”, Ramadan BASSIOUNY, Nader S.A. KOURA, Department of Mechanical Power Engineering and Energy, Minia University, Egypt.
- [4] S.A.M. Burek, A. Habeb , Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls, *Energy and Buildings* 39 (2007) Pages 128–135.
- [5] Preeda CHANTAWONG, Jongjit HIRUNLABH, Belkacem ZEGHMATI, Joseph KHEDARI, Sombat TEEKASAP, Maung WIN, Investigation on thermal performance of glazed solar chimney walls, *Solar Energy* 80 (2006) 288–297.
- [6] B. ZAMORA, A.S. KAISER, Numerical study on mixed buoyancy-wind driving induced flow in a solar chimney for building ventilation, *Renewable Energy* 35 (2010) Pages 2080-2088.
- [7] Marek SCHOLLER, Pavel CHARVAT, Miroslav JÍCHA, CFD SIMULATIONS OF A SOLAR CHIMNEY, *World Renewable Energy Congress (WREC 2005)* 1168-1173.
- [8] Jyotirmay MATHUR, Sanjay MATHUR, Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation, *Energy and Buildings* 38 (2006) Pages 1156–1163.
- [9] Evangellos BACHAROUDIS, Michalis Gr. Vrachopoulos, Maria K. KOUKOU, Dionysios MARGARIS, Andronikos E. FILIOS, Stamatis A. Mavrommatis, Study of the natural convection phenomena inside a wall solar chimney with one wall adiabatic and one wall under a heat flux, *Applied Thermal Engineering* (2007).
- [10] Rakesh KHANAL, Chengwang LEI, Solar chimney-A passive strategy for natural ventilation, *Energy and Buildings* Volume 43, (August 2011), Pages 1811-1819.
- [11] Guohui GAN, General expressions for the calculation of air flow and heat transfer rates in tall ventilation cavities, *Building and Environment* Volume 46 (October 2011) Pages 2069-2080.
- [12] Clito AFONSO, Armando OLIVEIRA, Solar chimneys: simulation and experiment, Porto, Portugal 1999.
- [13] Catherine BAXEVANOVA, Dimitris FIDAROSA: Numerical Study of Solar Chimney Operation in a Two story Building, Center for Research and Technology – Hellas- Institute for Research and Technology, Thessaly, Dimitriados 95, Volos, 38333, Greece.
- [14] Karima E. AMORI, SaifWatheq Mohammed; Experimental and numerical studies of solar chimney for natural ventilation in Iraq, Univ of Baghdad/Mech. Eng. Dept., Aljaderiya, Baghdad, Iraq.
- [15] D.J. HARRIS, N. HELWIG: Solar chimney and building ventilation, School of the Built Environment, Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom.

- [16] Hoy-Yen CHAN, Saffa B. RIFFAT, Jie ZHU: Review of passive solar heating and cooling technologies, Department of the Built Environment, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, UK.
- [17] JIANLIU, Liu WEIHUANANJING: Study on solar chimney used for room natural ventilation in NanjingXu, University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing210016, China.
- [18] Nima MONGHASEMI, Amir VADIEE: A review of solar chimney integrated systems for space heating and cooling application, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran.
-

Chapitre 2

La ventilation et la cheminée solaire

Sommaire

2.1	Introduction.....	22
2.2	Pourquoi aérer ou ventiler ?.....	22
2.2.1	Comment bien ventiler ?.....	23
2.2.2	Ventilation naturelle ou contrôlée ?.....	23
2.2.3	Comment faire ?.....	24
2.3	Les types de ventilation	25
2.3.1	La ventilation naturelle	25
2.3.1.1	Capteur de vent et variantes.....	25
2.3.1.2	Ventilation par cheminées.	26
2.3.1.3	Ventilation par atrium	27
2.3.1.4	Ventilation par façade double peau (FDP).....	28
2.3.1.5	Ventilation par puits canadiens	29
2.3.2	La ventilation mécanique	30
2.3.2.1	Ventilation simple flux avec extraction sanitaire.....	31
2.3.2.2	Ventilation double flux avec extraction sanitaire.....	32
2.3.2.3	VMC thermodynamique	33
2.4	Les avantages et les inconvénients de la ventilation.....	34
2.4.1	Les avantages de la ventilation	34
2.4.2	Les inconvénients de la ventilation	35
2.5	La cheminée solaire	35
2.5.1	Description de la cheminée solaire	36
2.5.2	Principe général de fonctionnement de la cheminée solaire.....	37
2.5.3	Effet de la cheminée	38
2.5.4	Les Modes d'opérations d'une cheminée solaire.....	39
2.5.5	Types de cheminée solaire	40
2.5.5.1	Cheminée solaire verticale	40
2.5.5.2	Cheminée solaire inclinée	41
2.6	Conclusion	41
2.7	Références bibliographiques.....	42

2.1. Introduction

Nous sommes tous persuadés aujourd'hui qu'une bonne ventilation influence favorablement notre santé et notre confort de vie. Depuis la première crise du pétrole, toute l'attention aux mesures d'économies d'énergie a été portée sur l'isolation des habitations, parfois à outrance, et presque toujours au détriment des critères de bonne ventilation des bâtiments. Depuis lors, le nombre de personnes souffrant d'allergies a fortement augmenté. Ces diverses raisons justifient qu'une habitation ne peut désormais être conçue sans une ventilation efficace. [1]

Ces dernières années, on a constaté avec plaisir que la préoccupation d'un air sain et d'une bonne ventilation fait l'objet de beaucoup plus d'attention. De nombreuses solutions efficaces de ventilation existent actuellement sur le marché : appareils de ventilation, systèmes complets capables de moduler le climat intérieur dans la maison. Celui qui s'est habitué à vivre dans sa maison bien ventilée ne fera plus marche arrière : il réalise bien vite le temps perdu en absence de confort et de dégâts sur la santé. [1]

Dans ce chapitre, vous pouvez lire tout ce qui concerne la ventilation, pourquoi la ventilation est importante et à quoi les systèmes et les types de ventilation doivent répondre.

2.2. Pourquoi aérer ou ventiler ?

Nous passons aujourd'hui 80% à 90% de notre temps au sein de notre habitat ou dans un lieu clos. Un renouvellement d'air est indispensable pour conserver le confort et l'hygiène de nos logements. Une mauvaise qualité de l'air et donc une mauvaise aération pourrait entraîner certains dommages comme des maux de tête, fatigue, difficultés à respirer pour les occupants et de la condensation et moisissures pour les locaux.

Ventiler permet d'apporter un air neuf, d'évacuer l'air vicié et ainsi pourvoir à nos besoins en oxygène. La ventilation permet également d'évacuer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent, d'éliminer l'excès d'humidité et de fournir aux appareils à combustion l'oxygène dont ils ont besoin pour fonctionner sans danger pour notre santé. Alors que les systèmes de ventilation mécaniques se développent de plus en plus pour offrir un confort thermique satisfaisant, la ventilation naturelle est à nouveau au goût du jour, à la fois dans les habitations individuelles et dans les bâtiments publics.

Renouveler l'air n'est pas le seul objectif de la ventilation. Elle peut également être utilisée dans les régions plus arides pour modifier la température intérieure et pour créer une sensation de fraîcheur pour les bâtiments.

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.

Aussi dans 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. 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. [1]

2.2.1. Comment bien ventiler ?

Aujourd'hui, les nouveaux logements bénéficient d'une ventilation efficace mais cela n'a pas toujours été le cas. De nombreux logements anciens, surtout s'ils ont été rénovés et bien isolés, ont besoin de repenser leur ventilation.

2.2.2. Ventilation naturelle ou contrôlée ?

Dans les bâtiments anciens, le renouvellement de l'air était réalisé uniquement par l'ouverture des fenêtres, les conduits de cheminée et les multiples défauts d'étanchéité des constructions. On ne contrôlait alors ni la circulation de l'air, ni les déperditions de chaleur. À cette aération « hasardeuse », s'est substituée jusqu'à la fin des années 60 la ventilation naturelle des pièces humides (cuisine, salle de bains), à l'aide de grilles d'aération basses et hautes. Ce système ne permet pas de ventiler tout le logement et laisse souvent entrer trop d'air froid en hiver, surtout quand il y a beaucoup de vent, et pas assez

d'air en été. De plus, les chambres et les pièces principales ne sont pas ventilées. En 1969, l'obligation de prévoir des entrées d'air dans ces pièces apparaît pour que l'air traverse le logement des pièces principales et des chambres jusqu'aux pièces humides. Au milieu des années 70, la ventilation mécanique contrôlée (VMC) commence à être installée dans les logements neufs mieux isolés. Cela permet de faire circuler l'air dans tout le logement sans dépendre des conditions climatiques. Elle se généralise dans la décennie suivante. Aujourd'hui, les technologies ont beaucoup évolué pour mieux prendre en compte la situation du logement : adaptation des débits grâce aux systèmes hygroréglables, à la détection de présence ou de CO₂, récupération de chaleur avec la ventilation double flux. [2]

2.2.3. 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 3.6m³/h et par m² 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. [2]

2.3. Les types de ventilation

Nous allons les classer en deux catégories, selon que l'on parle de ventilation naturelle, qui repose sur les différentiels de pression liés au vent et/ou au gradient de température, ou de ventilation mécanique, où les différentiels de pression sont obtenus par le biais d'appareils motorisés. Les solutions techniques sont ainsi à choisir en fonction de paramètres spécifiques au projet, que cela soit lié au terrain environnant, à la finalité du bâtiment, au désir de l'architecte ou du maître d'ouvrage.

2.3.1. La ventilation naturelle

La ventilation naturelle est contrainte avant tout par les choix architecturaux. En effet, de par les faibles différentiels de pression qui se créent naturellement, il faut que les espaces à ventiler soient conçus intelligemment pour que la ventilation naturelle soit efficace. Il n'est typiquement pas possible de considérer un bâtiment quelconque et de décréter que la ventilation utilisée sera naturelle. Il est ainsi plus important que pour la ventilation mécanique d'intégrer les dispositifs de ventilation à l'architecture et de penser à l'aménagement intérieur, pour ne pas se retrouver contraint à utiliser de la ventilation mécanique faute d'efficacité de la ventilation naturelle. La ventilation naturelle sera ainsi fortement contrainte par la géométrie des pièces que l'on considère. Lorsque la ventilation naturelle est utilisée en saison de chauffage, il est indispensable de prévoir des modules automatiques de régulation des débits pour que ce mode de ventilation n'engendre pas de déperditions excessives. [2]

2.3.1.1. Capteur de vent et variantes

Les fenêtres sont le moyen le plus couramment utilisé pour la ventilation transversale. C'est une manière basique qui a fait ses preuves.

D'autres approches plus sophistiquées peuvent être employées avec succès. Les capteurs de vent sont des dispositifs utilisés traditionnellement en Iran. Ils sont également appelés BADGIR.



Figure 2.1.Exemples de capteurs de vent. [3]

C'est une sorte de cheminée montée en toit qui capture le vent à grande hauteur, où la vitesse du vent, et donc la pression dynamique du vent, est généralement plus élevée. Le différentiel de pression étant alors plus important, le débit de ventilation s'en trouve augmenté. Il faut tout de même prêter attention au tirage thermique qui peut jouer contre cet effet, et donc l'inverser si la vitesse du vent est faible. Il peut être intéressant d'utiliser des dispositifs permettant de fermer les ouvrants en sortie ou en entrée d'air. Il est également possible d'étudier l'utilisation du dispositif en tirage thermique lorsqu'il n'y a pas de vent. Par contre dans cette situation il faut que les entrées d'air ne donnent pas sur une source de pollution (rue par exemple) ce qui est souvent le cas, puisque le capteur de vent est essentiellement utilisé pour capter de l'air en altitude loin de toute source de pollution. [3]

2.3.1.2. Ventilation par cheminées

C'est une ventilation qui repose sur l'effet de tirage thermique, et qui peut être assistée par le vent si la sortie est conçue pour être toujours dans des zones de pression négative. La ventilation se fait dans l'espace ciblé, puis est extraite le long de conduits verticaux. C'est un cas de ventilation transversale, d'abord la règle de moins de 5 fois de la hauteur sous plafond pour la longueur de la zone ventilée s'applique ici. Il est possible d'avoir de l'air entrant d'un côté puis sortant de l'autre, ou bien d'avoir de l'air rentrant des deux côtés et s'échappant par le milieu (atrium par exemple). Les sorties devront être à une hauteur au moins égale à la moitié d'un étage au-dessus du dernier étage ventilé, pour éviter qu'il ne faille faire des ouvertures trop grandes pour obtenir un débit suffisant. Le point essentiel à respecter est que l'air dans la cheminée soit plus chaud que l'air ambiant.

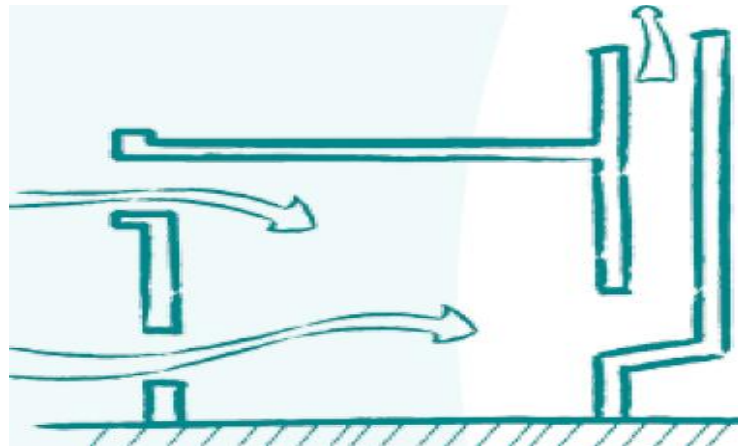


Figure 2.2. Ventilation par cheminée. [3]

2.3.1.3. Ventilation par atrium

L'atrium permet de remplir de nombreuses fonctions, en amenant de la lumière naturelle notamment. Il joue également un rôle dans la ventilation naturelle, car il agit comme une cheminée solaire géante. De plus, l'intérêt de l'atrium est que le volume de bâtiment que l'on peut ventiler naturellement est doublé par rapport au cas précédent de la cheminée placée sur un côté, puisque l'entrée d'air se fait des deux côtés du bâtiment, tandis que l'extraction se fait au milieu (effet équivalent à mettre une rangée de cheminées au centre du bâtiment). [3]

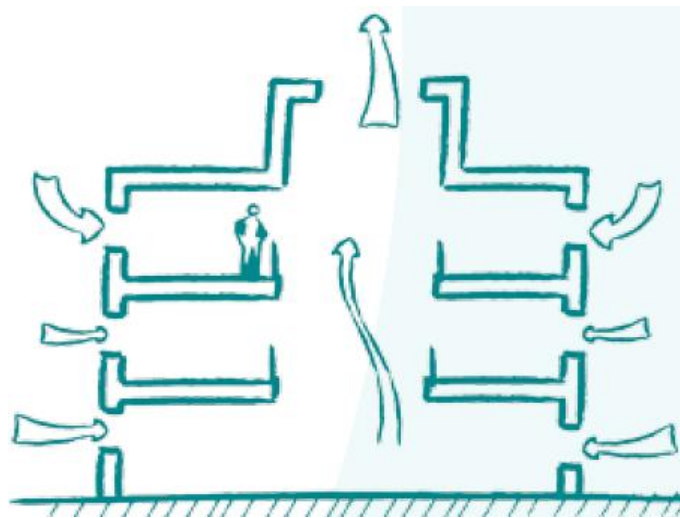


Figure 2.3. Ventilation par atrium. [3]

La stratification de l'air sur la hauteur de l'atrium est doit être très importante, afin que le tirage thermique soit maximal. Il est très probable que les températures dans les niveaux supérieurs de l'atrium soient inconfortables pour les occupants. Cela est le cas si l'atrium est ouvert sur les étages, ou bien s'il permet la circulation entre des étages. [3]

La hauteur de l'atrium doit être la plus élevée possible, car le débit généré pour la ventilation naturelle est fonction du produit hauteur x gradient de température. Le gradient de température étant variable et difficilement maîtrisable, il faut donc jouer sur le facteur de la hauteur de l'atrium. [3]

Il est possible d'adapter une solution de ventilation naturelle assistée mécaniquement dans le cas de l'atrium, comme pour le cas des cheminées. En équipant les sorties d'air de ventilateurs extracteurs, il est possible de forcer la ventilation les jours où le débit naturel n'est pas suffisant, tels que les jours de grande chaleur. Enfin, les règles d'isolation s'appliquent ici tout comme pour les cheminées, notamment solaires. Il ne faut pas que les déperditions thermiques soient plus fortes que les apports solaires en hiver, et il faut pour cela utiliser un vitrage performant thermiquement, et qui laisse passer la lumière. [3]

2.3.1.4. Ventilation par façade double peau (FDP)

Ce choix de conception est judicieux lorsqu'il s'agit de répondre à un certain nombre de contraintes, tels qu'un grand pourcentage de vitrage, pas de dispositifs extérieurs d'ombrage, ou bien lorsque les matériaux de façade nécessitent d'être protégés des éléments. Le principe permet en théorie d'apporter une bonne luminosité aux locaux sans compromettre les performances thermiques du bâtiment. D'une manière générale, on considère qu'il n'est jamais bon du point de vue de la thermique d'été d'avoir une grande façade entièrement vitrée ou presque, même en double peau. Le choix d'une grande surface vitrée n'étant pas toujours discutable, l'option façade double peau est alors la meilleure alternative. [3]

La FDP est la solution la plus performante, elle est plus souvent constituée de deux parois en verre avec des protections solaires entre les deux. La cavité constituée entre les deux unités vitrées est ventilée afin d'extraire les gains solaires et d'éviter qu'ils ne réchauffent l'intérieur du bâtiment. C'est notamment ce phénomène qui rend la façade double peau plus performante qu'une simple façade, fut-elle entièrement en triple vitrage. [3]

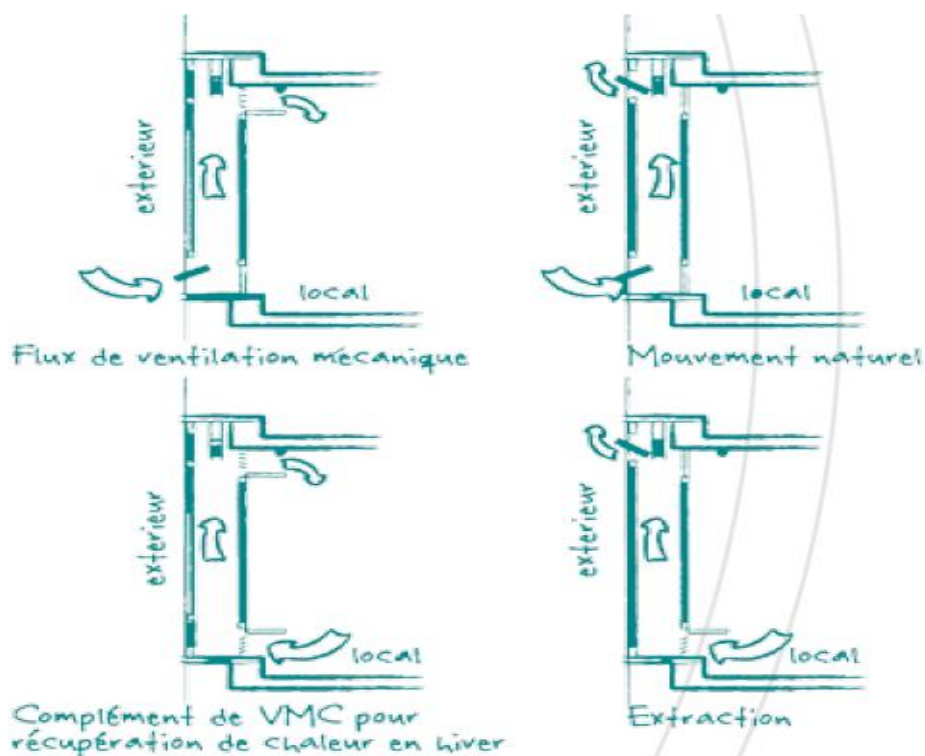


Figure 2.4. Différents modes de fonctionnement d'une façade double peau. [3]

2.3.1.5. Ventilation par puits canadiens

La ventilation par puits canadien peut fonctionner naturellement ou à l'aide d'un tirage par ventilateur. Dans tous les cas l'air transite par de longs conduits qui passent dans la terre. Ceci permet de tempérer l'air par échange avec la terre : en hiver, l'air froid est réchauffé et en été l'air chaud est rafraîchi. Le système est basé sur le simple constat que la température de la terre est plus ou moins constante à partir d'une certaine profondeur. A deux mètres environ, elle se maintient autour de 15°C pendant l'été et de 5°C pendant l'hiver. [3]



Figure 2.5. Puits canadien en kit pour maison individuelle. [3]

Cette solution convient aussi bien aux logements qu'aux bâtiments tertiaires. Elle est justifiée :

- en zone sud, pour rafraîchir les locaux, en ce cas, il faudrait plutôt la qualifier de puits provençal ;
- en zone de bruit, lorsqu'il faut assurer le confort d'été sans pouvoir ouvrir les fenêtres ou des orifices spécifiques placés en façade ;
- lorsqu'on veut éviter une installation double flux.

Les puits canadiens individuels destinés aux logements peuvent maintenant être réalisés à l'aide de systèmes en kit. Dans ces derniers, l'entrée d'air du puits canadien possède un système de filtration et est conçue pour éviter d'aspirer de la poussière, des sources de pollution (route, compost...), pour éviter que des animaux (rongeurs, moustiques...) ou les feuilles mortes n'y pénètrent. Les tuyaux sont enterrés à une profondeur de l'ordre de 1,5m à 2m en moyenne : cela dépend du pouvoir calorifique du terrain, du niveau hors-gel dans le terrain, du diamètre des tuyaux choisis (15 à 20cm) et de la longueur mise en œuvre de 25 à 50m. Les tuyaux sont posés avec une pente de 2% dans le sens de l'aspiration (vers la maison) pour l'évacuation des condensats. Le PEHD (polyéthylène haute densité) est le matériau le plus utilisé. Certains sont traités pour limiter le développement d'éventuelles bactéries dans les tuyaux. Moins onéreux, le PVC utilisé pour l'assainissement convient mais il peut dégager des vapeurs nocives lorsqu'il est soumis à des températures élevées (> 30°C). Les tuyaux d'un seul tenant sont recommandés. A défaut, les systèmes de raccords entre tuyaux avec des joints caoutchouc à lèvres sont recommandés plutôt que le collage (risque de rupture lors du remblai, dégagement de vapeurs nocives due aux colles). [3]

2.3.2. La ventilation mécanique

Nous allons passer en revue les configurations les plus courantes pour les immeubles de bureaux, et plus généralement pour les bâtiments tertiaires. Il faut savoir qu'il existe un grand nombre de types de ventilation mécanique, qui peuvent assurer le prétraitement de l'air (filtration, préchauffage, refroidissement, déshumidification, humidification, etc.) mais par souci de simplification nous allons nous en tenir aux configurations les plus souvent rencontrées. [3]

Les zones de bureaux sont très souvent articulées autour de circulations, qui permettent l'accès aux bureaux ainsi qu'aux sanitaires. De fait, on rencontre très souvent une orientation commune à la ventilation découlant de cet agencement. L'air neuf est

introduit au niveau des bureaux, dans les zones occupées par les travailleurs, là où le besoin d'air propre est le plus important. L'air est extrait au niveau des zones « sales », qui correspondent aux sanitaires. La circulation d'air se fait au moyen de grilles à travers les cloisons. L'air pur est ainsi distribué aux locaux, tandis que l'air vicié est extrait au niveau des sanitaires. Notons que le principe est le même que pour la ventilation naturelle, c'est-à-dire qu'il faut faire circuler l'air neuf de la zone la plus propre vers la zone la plus polluée. [3]



Figure 2.6. Circulation de l'air pour de la ventilation mécanique dans les bureaux. [3]

2.3.2.1 Ventilation simple flux avec extraction sanitaire

La ventilation simple flux avec extraction sanitaire est utilisable lorsque les conditions environnementales extérieures sont bonnes. En effet, il ne faut pas de sources de pollution ni de bruit. Typiquement, un axe routier très encombré sera éliminatoire dans ce cas. Si la pollution est limitée mais que le bruit peut être gênant, il faut étudier la possibilité d'installer des grilles à atténuation de bruit. [3]



Figure 2.7. Ventilation simple flux avec extraction sanitaire dans un immeuble tertiaire. [3]

L'air neuf sera alors introduit en façade dans les bureaux, au moyen de grilles auto réglables dans les menuiseries ou la maçonnerie. L'air vicié est extrait dans les sanitaires, au moyen d'un ventilateur d'extraction. Mettre les sanitaires en légère dépression permet d'éviter que les mauvaises odeurs s'échappent dans les circulations voire dans les bureaux.

Bien souvent, les circuits d'extraction, composés des conduits et des ventilateurs, desservent plusieurs étages. Ainsi, la partie verticale du réseau emprunte les gaines techniques verticales, et permet l'évacuation de l'ensemble de l'air vicié de plusieurs étages, tandis qu'à chaque niveau, un réseau horizontal dessert plusieurs sanitaires, ce réseau horizontal étant lui-même relié au réseau vertical. Les conduits horizontaux passent eux généralement dans les faux plafonds. Mais étant donné l'absence de conduit de distribution vers chaque bureau, la place accordée aux faux plafonds dans les bureaux est très faible. L'influence du vent peut être non négligeable en grande hauteur, c'est pourquoi il est préférable de réserver ce type de solution à des immeubles de moyenne hauteur. [3]

2.3.2.2 Ventilation double flux avec extraction sanitaire

Le système de ventilation double flux avec extraction sanitaire offre la plus grande maîtrise des débits, et permet de s'assurer de l'approvisionnement en air neuf et de l'évacuation de l'air vicié dans les sanitaires. Dans le cas de ce système, la pulsion et l'extraction se font mécaniquement. [3]

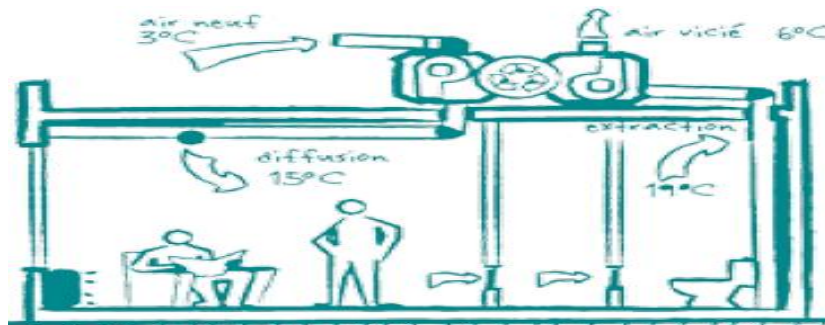


Figure 2.8. Ventilation double flux avec extraction sanitaire. [3]

C'est un système très couramment utilisé en milieu urbain pour les bureaux, car il est peu dépendant des conditions extérieures, telles que la pollution et le bruit. Contrairement au cas précédent, la distribution de l'air neuf se fait ici par le biais de conduits qui sont placés dans les faux plafonds des zones de circulation. L'air neuf est diffusé dans chaque bureau par le biais d'une ou plusieurs bouches, qui peuvent être murales dans la retombée des faux plafonds de la circulation ou bien en plafond s'il y a un faux plafond dans le local ventilé. [3]

Le reste est identique au simple flux, l'extraction et le transfert se feront de la même manière. Le choix du double flux dépend de nombreux paramètres, par exemple si l'on souhaite avoir une garantie sur la répartition correcte des flux d'air, être indépendant des conditions extérieures (bruit et sources locales de pollution), ou prétraiter l'air neuf. [3]

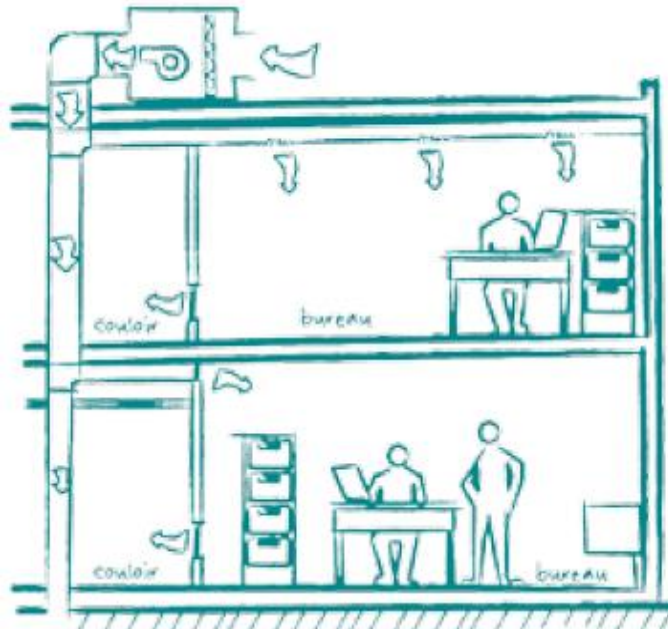


Figure 2.9. Diffusion murale et plafonnière. [3]

Enfin, dans le cadre d'économies d'énergie, le choix d'une ventilation double flux permet d'adjoindre un récupérateur de chaleur, qui va récupérer la chaleur de l'air extrait vicié pour réchauffer l'air neuf. Parmi les avantages de ce système, la filtration de l'air neuf n'est pas la moindre chose, aussi bien d'un point de vue acoustique que pour la qualité de l'air intérieur. Néanmoins il faut garder à l'esprit que l'entretien et le changement des filtres entre 2 et 3 fois par an est une condition indispensable à cette qualité d'air. Faute de quoi une ventilation double flux avec des filtres encrassés peut très bien faire l'inverse de ce que l'on attendait d'elle. [3]

2.3.2.3 VMC thermodynamique

La VMC simple ou double flux thermodynamique consiste à récupérer l'énergie présente dans l'air extrait par un système de pompe à chaleur. Ce système permet d'atteindre de très faibles niveaux de consommation énergétique due au renouvellement d'air avec des rendements supérieurs aux systèmes d'échangeur double flux classiques. L'énergie récupérée par la PAC peut être réinjectée dans le système de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. Son avantageuses pour les rénovations performantes lorsqu'il n'y a pas

de possibilité d'installer de système double flux. Leur entretien est aussi plus simple que ce dernier (pas de filtre à changer, ni de gaine à nettoyer). [3]

2.4. Les avantages et les inconvénients de la ventilation

Qu'il s'agisse de la ventilation naturelle ou de la ventilation mécanique, chaque procédé présente des avantages et des inconvénients.

2.4.1. Les avantages de la ventilation

Dans un premier temps, la ventilation naturelle a comme net avantage d'être un moyen passif d'aération des bâtiments :

- Elle est le plus souvent bien acceptée par les occupants car elle est facilement compréhensible et n'est pas compliquée à utiliser.
- De plus, l'investissement nécessaire est quasiment nul. Comme la ventilation naturelle ne nécessite pas normalement d'énergie électrique, elle permet une économie d'énergie, une économie financière et est donc beaucoup plus écologique. Elle permet ainsi des débits importants, notamment pour le refroidissement passif sans coût excessif puisque les systèmes mis en place ne tombent pas en panne et ne génèrent que très peu d'entretien. La durée de vie de ce principe est donc beaucoup plus longue.
- L'habitation peut également être dispensée de climatisation, ce qui réduit encore une fois les frais. Même dans le cas d'une ventilation naturelle à l'aide de puits canadiens, le coût est réduit, dépendant essentiellement du coût de terrassement il est donc particulièrement intéressant car seul le système de ventilation consomme de l'électricité et ce principe ne demande que très peu d'entretien.
- Il existe également de nombreuses autres qualités pour la ventilation naturelle au niveau ergonomique. Ce principe permet en effet d'avoir une arrivée supplémentaire de lumière naturelle grâce aux ouvertures créées. On parle ici d'éclairage zénithal. Ces ouvertures permettent donc une plus grande clarté de l'espace. Cette sensation est également amplifiée par les plafonds des habitations beaucoup plus hauts.
- Pour finir, la ventilation naturelle est un procédé qui contrairement à la ventilation mécanique possède un fonctionnement silencieux. Elle élimine tous les bruits causés par les ventilateurs. Cependant, tous ces avantages et notamment l'économie d'énergie importante ne compensent pas toujours la dépendance de la ventilation naturelle au climat.
- Procure une ventilation qui assure la sécurité, les conditions de confort et de santé aux occupants des bâtiments sans l'utilisation de ventilateur. [2]

2.4.2. Les inconvénients de la ventilation

Malgré leur forte propagation et leur utilité prouvée, ces systèmes de ventilation mécanique sont parfois mal acceptés notamment à cause du fait que les occupants ne sentent pas avoir le contrôle sur leur environnement. Pour certains, ces systèmes peuvent montrer de nombreux points négatifs :

- Être très volumineux.
- Couteux dans leur installation et utilisation.
- Tomber en panne.
- Etre bruyants.

Ils sont également responsables de consommation d'énergie électrique et enfin, l'air qu'ils fournissent est d'une qualité parfois mauvaise, qui laisse à désirer du fait d'une mauvaise installation et/ou utilisation. Une étude portant sur la qualité de l'environnement dans différents immeubles européens a ainsi pu montrer et prouvé que ce sont les systèmes de traitement de l'air qui sont à l'origine d'une grande partie de la pollution à l'intérieur des bâtiments. [2]

2.5. La cheminée solaire

Une cheminée solaire (appelé également cheminée provençale ou cheminée thermique) est un moyen 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.

Une description simple d'une cheminée solaire verticale utilisant l'énergie solaire pour améliorer la ventilation naturelle de la cheminée à travers un bâtiment. La figure suivante montre une cheminée solaire installée pour effectuer une expérience.

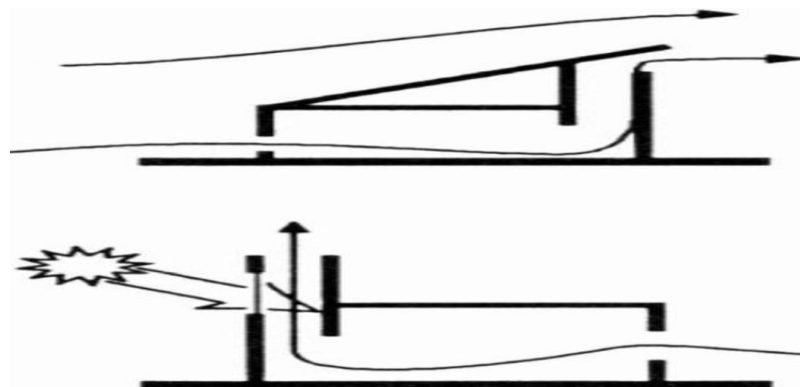


Figure 2.10. Exemple d'utilisation de la cheminée solaire dans un système de ventilation naturelle dans les bâtiments de l'université de KITAKYUSHU en Japon. [4]

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.

La cheminée solaire est utilisée depuis des siècles, notamment au Moyen-Orient et au Proche-Orient par les Perses, ainsi qu'en Europe par les Romains. [4]

2.5.1. Description de la cheminée solaire

Dans sa forme la plus simple, la cheminée solaire se compose d'une cheminée peinte en noir afin qu'elles absorbent plus efficacement la chaleur du soleil. Pendant la journée, l'énergie solaire chauffe la cheminée et l'air qu'elle contient, créant un courant d'air ascendant dans la cheminée. L'aspiration créée à la base de la cheminée peut être utilisée pour ventiler et refroidir le bâtiment en dessous. Dans la plupart des régions du monde, il existe cependant un certain nombre de variantes de cheminées solaires. Les éléments de conception de base d'une cheminée solaire sont : La zone du capteur solaire, l'orientation, le type de vitrage, l'isolation et les propriétés thermiques de cet élément sont cruciaux pour l'exploiter. L'emplacement, la hauteur, la section transversale et les propriétés thermiques de cette structure sont également très importants. Les ouvertures d'entrée et de sortie d'air : les dimensions, l'emplacement ainsi que les aspects aérodynamiques de ces éléments sont également importants, l'épaisseur de la cheminée doit être proche de l'épaisseur de la couche limite développée pour éviter les recirculations d'air. [6]

La cheminée solaire est une architecture durable, elle aspire l'air pour fournir un refroidissement passif à la maison. Les cheminées solaires, peuvent également être utilisées dans des environnements architecturaux pour réduire l'énergie utilisée par les systèmes mécaniques. Pendant des décennies, la climatisation et la ventilation mécanique ont été la méthode standard de contrôle de l'environnement dans de nombreux types de bâtiments, en particulier les bureaux, dans les pays développés. La pollution et la réaffectation des approvisionnements énergétiques ont conduit à une nouvelle approche environnementale dans la conception des bâtiments. Les technologies innovantes ainsi que

les principes bioclimatiques et les stratégies de conception traditionnelles sont souvent combinés pour créer des solutions de conception nouvelles et potentiellement réussies. La cheminée solaire est l'un de ces concepts actuellement explorés par les scientifiques ainsi que les designers, principalement à travers la recherche et l'expérimentation. Une cheminée solaire peut servir à plusieurs fins. La cheminée doit être plus haute que le niveau du toit et doit être construite sur le mur faisant face à la direction du soleil. L'absorption de la chaleur du soleil peut être augmentée en utilisant une surface vitrée sur le côté faisant face au soleil. Un matériau absorbant la chaleur peut être utilisé sur le côté opposé. La taille de la surface absorbant la chaleur est plus importante que le diamètre de la cheminée. Une grande surface permet un échange thermique plus efficace avec l'air nécessaire au chauffage par rayonnement solaire. Le chauffage de l'air à l'intérieur de la cheminée améliorera la convection, et donc le flux d'air à travers la cheminée. La cheminée solaire peut être améliorée en l'intégrant à un mur Trombe. L'avantage supplémentaire de cette conception est que le système peut être inversé pendant la saison froide, fournissant un chauffage solaire à la place. Une variante du concept de cheminée solaire est le grenier solaire. Dans un climat chaud et ensoleillé, le grenier est souvent extrêmement chaud en été. L'utilisation d'une cheminée solaire peut bénéficier aux stratégies de ventilation naturelle et de refroidissement passif des bâtiments, contribuant ainsi à réduire la consommation d'énergie, les émissions de CO² et la pollution en général. [6]

2.5.2. Principe général de fonctionnement de la cheminée solaire

Un fluide a tendance à s'élever lorsqu'il s'échauffe, en raison de la diminution de sa densité. Ce phénomène thermique naturel est utilisé 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. Le tirage thermique induit une dépression intérieure provoquant l'aspiration de l'air plus frais du dehors à travers des ouvrants en partie basse. Un tirage naturel de l'air est assuré par une cheminée haute utilisée en exutoire. L'air chaud s'élève naturellement et s'échappe par la cheminée pendant que l'air extérieur entre dans le bâtiment par les ouvertures dédiées. La cheminée solaire est un élément de conception architecturale permettant de favoriser la ventilation naturelle d'un bâtiment. Le soleil chauffe la cheminée, qui augmente localement la température de l'air sortant et par corolaire augmente le flux. [5]

La cheminée solaire idéale devra être placée avec la surface collectrice à une exposition maximale au soleil et les matériaux de fabrication devront être d'excellents complices : les parois en verre sont excellentes pour filtrer la lumière et la peinture noire peut absorber la chaleur sans la redistribuer. [5]

Grâce à la cheminée solaire, vous pouvez refroidir votre maison de manière naturelle et, pour minimiser l'utilisation de climatiseurs.

Tout comme les systèmes de refroidissement solaire, la cheminée solaire peut être exploitée de deux manières. Si, d'une part, la cheminée solaire peut rafraîchir la maison, d'autre part, elle est également capable de la chauffer passivement. Inverser le fonctionnement de la cheminée solaire peut être transformé en un système passif d'accumulation de chaleur ; ceci est rendu possible par le soi-disant "mur de Trombe", mur de pierre ou de béton grâce auquel l'environnement sera chauffé par le rayonnement solaire collecté pendant les heures de pointe de la journée. À l'extérieur, le mur de Trombe présente une plaque de verre capable de capter le rayonnement solaire en exploitant l'effet de serre créé par le verre lui-même. [5]

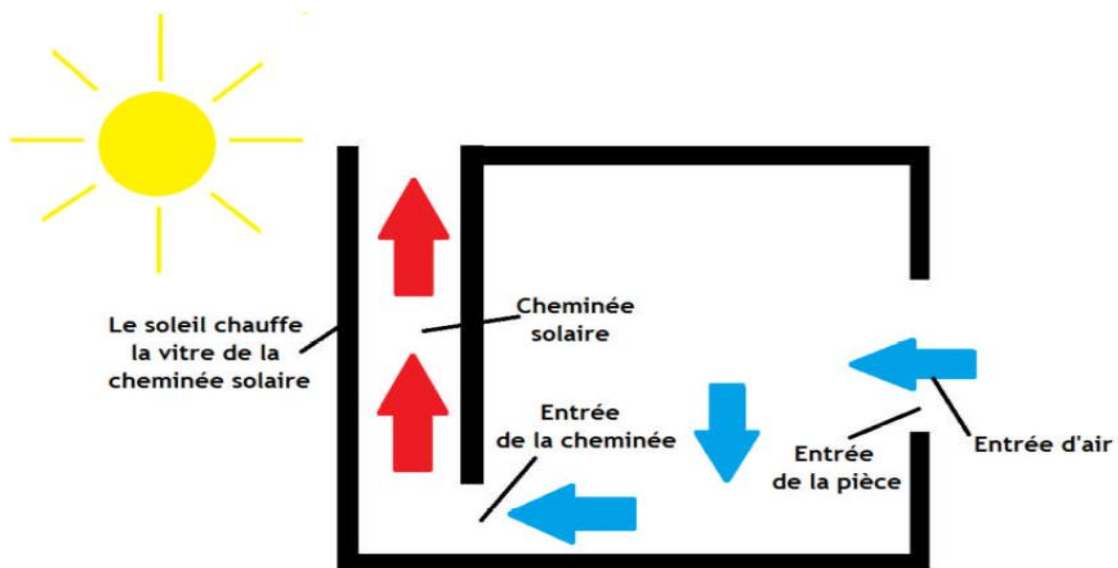


Figure 2.11. Principe de ventilation d'une construction munie d'une cheminée solaire. [5]

2.5.3. Effet de la cheminée

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 d'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.

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 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.

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. [5]

2.5.4. Les Modes d'opérations d'une cheminée solaire

Trois modes d'opérations de la cheminée solaire, qui sont appropriés à chaque saison sont illustrés dans la figure ci-dessous.

- 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 une température d'extérieure 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 avec une température d'extérieure supérieure 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-refrigerer résulte une augmentation de la température à l'intérieur. Par conséquent, l'air entre dans la cheminée s'échappe vers l'extérieur 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. [5]

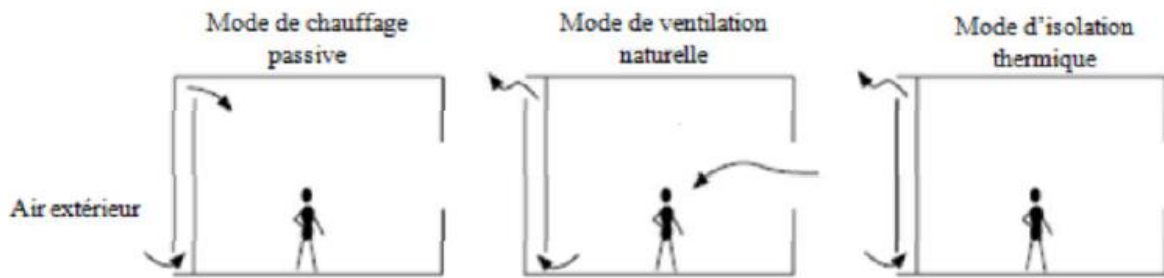


Figure 2.12. Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire. [5]

2.5.5. Types de cheminée solaire

Actuellement, on peut distinguer deux types de cheminée :

2.5.5.1 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. 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 à 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) [6].

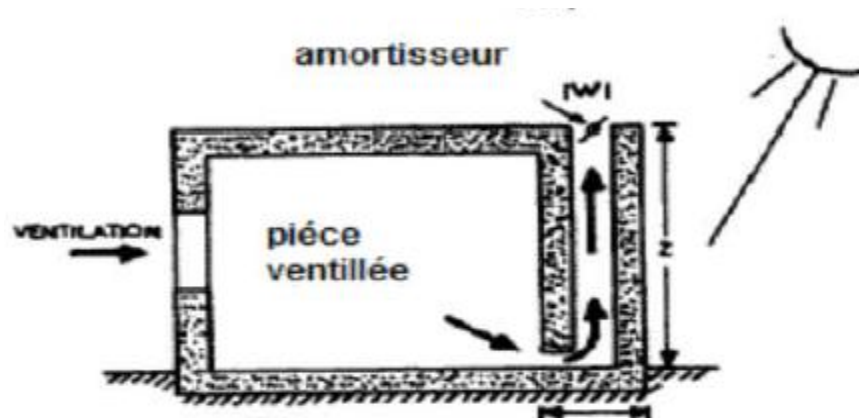


Figure 2.13. Cheminée solaire avec haute capacité de stockage thermique utilisée pour la ventilation nocturne dans des climats chauds arides. [7]

2.5.5.2 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 [6].

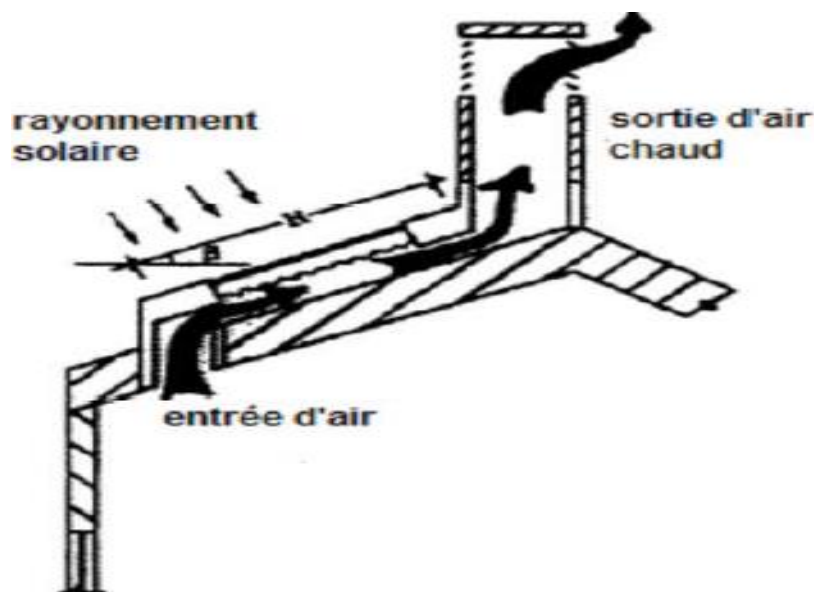


Figure 2.14. Cheminée solaire avec des pentes de capteurs solaires. [7]

2.6. Conclusion

La ventilation naturelle par cheminée solaire est un nouveau potentiel en faveur de l'engineering de la mécanique énergétique. Elle donne aux concepts strictement architecturaux, une suprématie sur la machine et la technologie, et permet à l'ingénieur énergétique de reprendre sa place d'acteur principal dans la conception d'un projet.

En contrepartie, l'ingénieur énergétique doit introduire la problématique de la ventilation dès le début de la conception d'un projet. Il doit la considérer avec le même rang de priorité que la problématique thermique à laquelle il doit l'adosser.

References Bibliographique

- [1] L'ABC de la ventilation des habitations, Codumé SA, Rue d'Assaut 91000 Bruxelles, info@codume.com, www.codume.com.
- [2] Dominique Sellier, Guide bio Tech ventilation naturelle et mécanique, ARENE Ile-de-France, Février 2012.
- [3] « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.
- [4] Solar chimney by wikipedia, consulter à 13/03/2022.
- [5] Cheminée solaire, voici comment ça marche, édition 2018.
- [6] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Radiom%C3%A8tre>
- [7] Insaf MEHANI, N. SETTOU, Passive Cooling of Building by using Solar Chimney.

Sites web

- www.codume.com
 - www.energie.wallonie.be
 - www.itho.nl
 - www.atdc.eu
 - www.ademe.fr/guides-fiches-pratiques
-

Chapitre 3

Modélisation mathématique et résolution numérique

Sommaire

3.1	Introduction.....	43
3.2	Modèle mathématique	44
3.2.1	Equations générales	44
3.2.2	Hypothèses simplificatrices	44
3.2.2.1	Les équations de Navier-Stokes	45
3.2.2.2	L'équation de l'énergie	45
3.2.2.3	Conditions aux limites correspondantes	45
3.2.2.4	Maillage relatif	46
3.2.2.5	La convergence	47
3.3	Paramètres et caractéristiques de la cheminée solaire	47
3.3.1	Température de fluide	47
3.3.2	Débit massique d'air à travers la cheminée	48
3.3.3	La vitesse	48
3.3.4	Rendement instantané	48
3.4	Références Bibliographique	49

3.1. Introduction :

L'objectif de ce chapitre est relatif à la modélisation mathématique d'un problème de ventilation passive à base de cheminée solaire par la détermination des distributions de températures d'une surface de mur absorbeur, de vitrage et le long de l'écoulement d'air dans la cheminée. Le taux de renouvellement d'air ainsi que l'efficacité globale de la cheminée seront ainsi déterminés.

La **figure 3.1** montre le schéma de principe de base d'une cheminée solaire utilisée pour la ventilation.

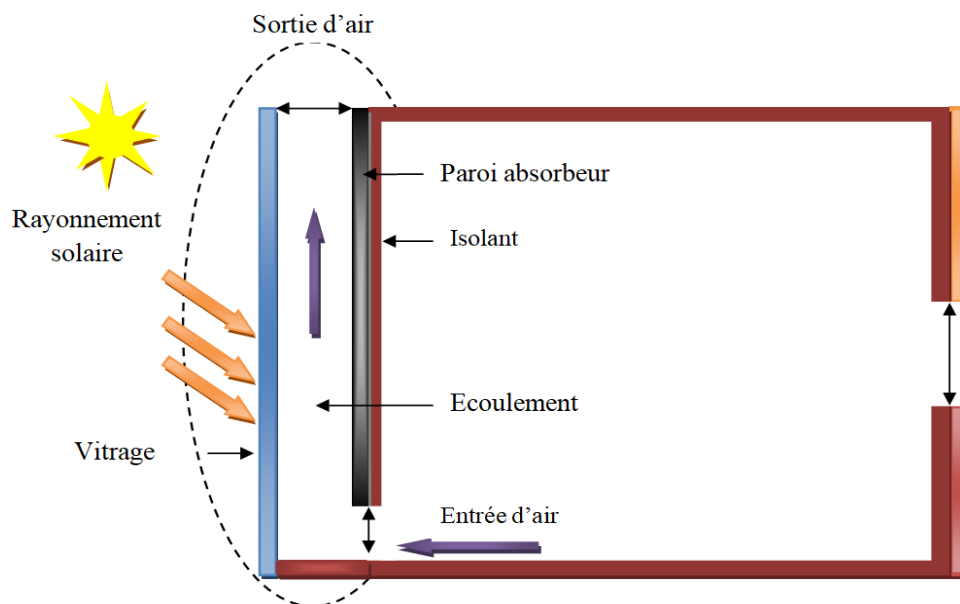


Figure 3.1. Représentation schématique d'un système de ventilation passive.

L'air dans la cheminée est chauffé par convection et rayonnement de l'absorbeur. La diminution de la densité de l'air sous l'effet de la température crée un mouvement ascendant du fluide.

Le taux auquel l'air est soumis pour son renouvellement dépend d'un certain nombre de paramètres relatifs à l'ouverture de la salle, de la résistance pour traverser la cheminée, et de la résistance à l'entrée d'air frais dans la salle. Les cheminées solaires peuvent être utilisées aussi bien pour la ventilation de l'espace que pour le chauffage. Un avantage significatif de la cheminée utilisée seulement pour le refroidissement est que la demande de refroidissement et de l'approvisionnement en rayonnement solaire ont lieu dans la phase.

3.2. Modèle mathématique :

3.2.1. Equations générales :

Les hypothèses de travail considérées dans le cadre de cette étude que dans la littérature [1] sont les suivantes :

- ✚ L'écart de température entre la face supérieure et la face inférieure de la couverture transparente est considéré négligeable.
- ✚ Les propriétés physiques des matériaux sont supposées constantes.
- ✚ Le régime d'écoulement est laminaire.
- ✚ Les flux de chaleur sont unidimensionnels.
- ✚ La température d'entrée d'air dans la cheminée est supposée uniforme et égale à celle de la chambre.
- ✚ Les forces de frottements d'air aux parois de la cheminée sont supposées négligeables, comparativement aux forces de pression d'air générées par le gradient thermique.
- ✚ Les capacités de stockage du vitrage et de l'absorbeur sont supposées négligeables.
- ✚ Le fluide caloporteur est incompressible et newtonien.
- ✚ Les propriétés des milieux fluide et solide sont invariables ; par contre, la densité, dans le domaine fluide et dans les termes de forces volumique, varie linéairement avec la température, qui est régie par l'approximation de BOUSSINESQ. Cette variation est donnée par l'expression suivante :

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

ρ_0 : La valeur de densité constante.

T_0 : La température de référence.

3.2.2. Hypothèses simplificatrices:

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-Stockes et d'énergie).

3.2.2.1. Les équations de Navier-Stockes :

Les équations de Navier Stockes qui s'écrivent, dans le cas général, comme suit:

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

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho F_x \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho F_y \quad (3.3)$$

F_x, F_y : Représentent les projections du vecteur résultant des forces de volume (force de pesanteur).

3.2.2.2. L'équation de l'énergie :

On déduit cette équation en se basant sur la loi de conservation de l'énergie pour le régime instationnaire :

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.4)$$

et pour un régime stationnaire, les équation régissant le phénomène s'écrivent comme suit :

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \end{cases}$$

$$\left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho F_x \quad (3.5)$$

$$\left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho F_y \quad (3.6)$$

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3.7)$$

3.2.2.3. Conditions aux limites correspondantes :

La **figure 3.2** montre la configuration géométrique relative au problème de cheminée solaire ainsi que les conditions aux limites correspondantes.

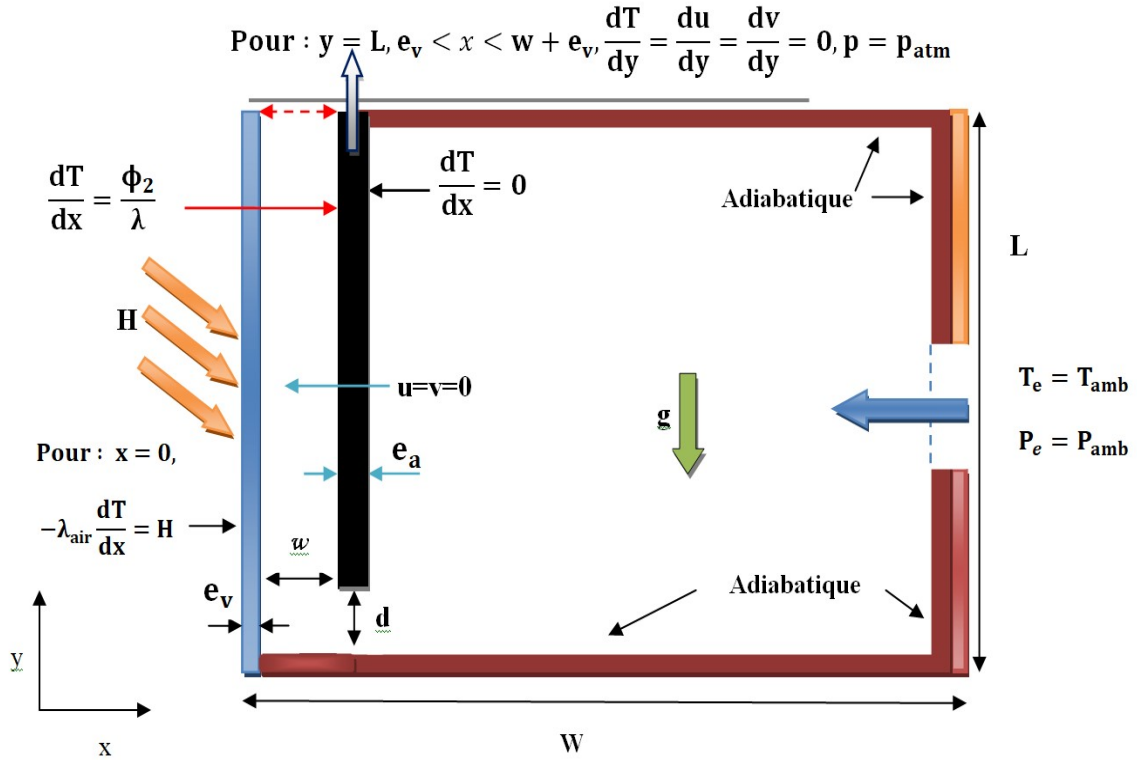


Figure 3.2 : Configuration géométrique et conditions aux limites correspondantes.

- Pour: $x = 0, -\lambda_{air} \frac{dT}{dx} = H$
- Pour: $x = e_v, -\lambda_{verre} \frac{dT}{dx} = \phi_1 = \tau H, u = v = 0$. (τ : Transmittivité)
- Pour: $x = w + e_v, -\lambda_{absorbeur} \frac{dT}{dx} = \phi_2 = \phi_1$ (corps noir), $u = v = 0$)
- Pour: $d < y < (L - d), x = w + e_v + e_a, \frac{dT}{dx} = 0$
- Pour : $y = L, e_v < x < w + e_v, \frac{dT}{dy} = \frac{du}{dy} = \frac{dv}{dy} = 0, p = p_{atm}$

3.2.2.4. Maillage relatif :

Pour une meilleure précision et stabilité, un maillage quadrilatéral structuré à multi blocs a été choisi. Il est 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 44685 cellules a été adopté. La **figure 3.3** montre le maillage choisi.

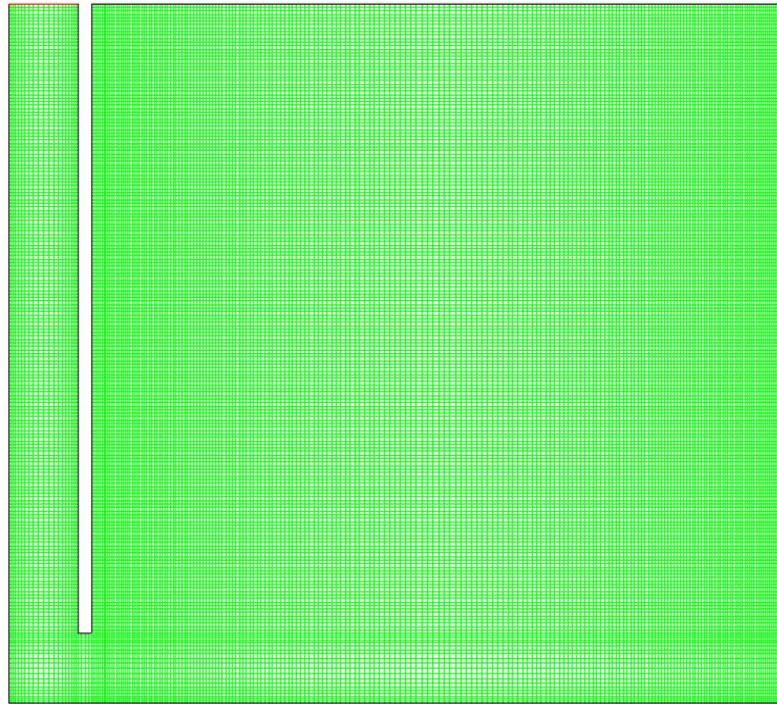


Figure 3.3 : Maillage choisi du problème.

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

3.3. Paramètres et caractéristiques de la cheminée solaire :

3.3.1. Température de fluide :

Pour la température de l'air circulant dans la cheminée peut être calculée en utilisant un facteur de pondération entre les températures d'entrée d'air, T_{fi} , et de sortie d'air, T_{f0} , de la cheminée. Cette température moyenne peut être évaluée par : [2]

$$T_f = \omega T_{f0} + (1 - \omega) T_{fi} \quad (3.8)$$

ω : Facteur de pondération de température moyenne qui vaut généralement 0,74 [3]. On prend : [2]

$$T_{fi} = T_c \quad (3.9)$$

L'équation écrit :

$$T_f = \omega T_{f0} - \omega T_{fi} + T_{fi} \Rightarrow T_{f0} - T_{fi} = \frac{T_f - T_{fi}}{\omega} \quad (3.10)$$

3.3.2. Débit massique d'air à travers la cheminée :

Le débit massique de l'air peut être calculé par la relation suivante : [2]

$$\dot{m} = C_d \frac{\rho_{f,0} A_0}{\sqrt{1+(A_r)^2}} \sqrt{\frac{2gL(T_f - T_r)}{T_r}} \quad (3.11)$$

Surfaces de la section de la sortie :

$$A_0 = 0.29 \times 0.1 = 0.029 \text{ m}^2$$

$$A_i = 0.305 \times 0.1 = 0.0305 \text{ m}^2$$

$$A_r \text{ Le rapport : } A_r = \frac{A_0}{A_i}$$

Le débit volumique, Q est calculé comme suit :

$$Q_v = \frac{\dot{m}}{\rho_f} \quad (3.12)$$

3.3.3. La vitesse :

La vitesse de sortie peut être calculée à travers le débit massique à l'aide de l'équation suivante [2] :

$$V_0 = \frac{\dot{m}}{\rho_f A_0} \quad (3.13)$$

3.3.4. Rendement instantané :

Le rendement de la cheminée solaire est calculé à partir de la relation [2] :

$$\eta_i = \frac{\dot{m} c_f (T_{f,0} - T_{f,i})}{WL * H} \times 100\% \quad (3.14)$$

Références Bibliographique

- [1] Jyotirmay MATHUR, Sanjay MATHUR, Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation, *Energy and Buildings* 38 (2006) Pages 1156–1163.
 - [2] 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.
 - [3] 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.
-

Chapitre 4

Techniques et résultats expérimentales

Sommaire

4.1	Introduction.....	50
4.2	Installation et techniques de mesure.....	50
4.3	Analyse et interprétation des résultats	50
4.3.1	La chambre	50
4.3.2	La cheminée solaire	51
4.3.3	Le vitre	51
4.3.4	L'absorbeur	52
4.3.5	L'isolation des parois	52
4.4	Principe de fonctionnement de ce système	52
4.5	Instruments de mesure	53
4.5.1	Mesure du l'intensité de flux	53
4.5.2	Mesure des températures	53
4.5.3	Les projecteurs	54
4.6	Résultats expérimentaux	55
4.6.1	Différentes températures pour H= 200, 650 et 1000 W/m ²	55
4.6.2	Débit massique et vitesse de sortie pour H= 200, 650 et 1000 W/m ²	57
4.6.3	ACH et l'efficacité pour H= 200, 650 et 1000 W/m ²	59
4.7	Conclusion	60
4.8	Références Bibliographique	61

4.1. Introduction :

Ce chapitre a pour objectif d'étudier expérimentalement le comportement dynamique et thermique d'une cheminée solaire pour améliorer la ventilation naturelle déterminé. En mesurant les températures en différents points de ce système après avoir imposé différentes intensités de flux.

4.2. Installation et techniques de mesure:

Le dispositif réalisé c'est composé par en bois compressé MDF (Mélaminé et stratifié). L'air ambiant s'écoule la chambre. La configuration étudiée est représentée sur la figure suivante **figure 4.1**.



Figure 4.1 : Maquette d'une cheminée solaire.

4.3. Les compositions de cheminée solaire :

4.3.1. La chambre :

C'est une chambre cubique de dimension (0.7m×0.7m×0.7m), elle est bien isolée sur tous les côtés par le polystyrène comprimé d'épaisseur de 0.035m pour éliminer de transfert de chaleur avec le milieu ambiant. La chambre contient une ouverture rectangulaire 0.18m×0.06m au milieu bas, sur la paroi verticale destinée à faire passer l'air avec la cheminée solaire.



Figure 4.2 :L'ouverture de la chambre.

4.3.2. La cheminée solaire :

La cheminée est constituée d'une plaque plate en acier inoxydable peinte en noir mat (absorbeur) avec des dimensions de 0.29x0.1 à l'entrée de la cheminée et de 0.305x0.1 à la sortie de la cheminée. En avant se trouve une plaque de verre transparent de 0,003m d'épaisseur, utilisée pour être exposée au rayonnement solaire.



Figure 4.3 : Cheminée solaire.

Les principales parties constitutives de la cheminée solaire représentée sur la **figure 4.3** sont :

- L'absorbeur.
- Le coffre ou le cadre.
- Le couvercle transparent (le vitrage).

4.3.3. Le vitre :

Le vitrage transparent est utilisé pour laisser passer le maximum de rayonnement solaire et éviter le refroidissement de l'absorbeur, il augmente l'efficacité du dispositif, réduit les phénomènes de convection de l'air et crée l'effet de serre.

Le vitrage est installé sur la cheminée, la transmission d'énergie est le pourcentage du flux d'énergie solaire transmis directement à travers le verre. Une partie du rayonnement solaire est réfléchié par les parois du verre, tandis qu'une autre partie est absorbée et se transforme en chaleur, provoquant une augmentation de la température.

Désignation	Epaisseur	Masse Volumique	Chaleur massique	Conductivité thermique	Coefficient d'absorption	Emissivité de verre	Coefficient de transmission
Valeurs	000.3 m	$\rho = 2515 \text{ kg/m}^3$	$C_p = 720 \text{ j/kg k}$	1.05 w/m °C	$\alpha = 0.06$	$\epsilon = 0.90$	$\tau = 0.85$

Tableau 4.1.Caractéristiques de vitre [1]

4.3.4. L'absorbeur :

L'absorbeur est le principal élément de la cheminée solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire et transmettre la chaleur produite à l'air entrant avec une perte minimale. Les absorbeurs sont généralement fabriqués en métal et ont une bonne conductivité.

Matière	Conductivité (λ) W/m°C	Chaleur massique Kj/kg °C	Masse volumique Kg/ m ³
Acier Inoxydable	52	0.711	7.900

Tableau 4.2. Caractéristiques de l'absorbeur[1].

4.3.5. L'isolation des parois :

L'isolation thermique des parois de la cheminée est réalisée par le MDF. En revanche, du polystyrène comprimé utilisé dans le domaine de l'isolation.

Désignation	Conductivité Thermique (W/M°C)	Masse Volumique (Kg/m ³)	Epaisseur (mm)
Polystyrène	0.035	35	35

Tableau 4.3. Caractéristiques des isolants[1].

4.4. Principe de fonctionnement de ce système :

La cheminée solaire est un système naturel indépendant de tout besoin énergétique basé sur la ventilation naturelle, composé d'une cheminée qui remplace la (ventilation mécanique consommatrice d'énergie), En été, la température est plus haute, Après avoir été exposée au soleil, la cheminée solaire fait circuler l'air dans la chambre.

Le rôle de la cheminée solaire est de créer le tirage d'air, le rayonnement solaire incident atteint la surface du vitrage, une partie de ce rayonnement solaire traverse le vitrage et est absorbé par la surface de l'absorbeur.

Celui-ci émet à son tour un rayonnement infrarouge (chaleur) à l'intérieur de la cheminée, cette énergie va créer une différence de température entre l'absorbeur et le verre. L'air entre dans la cheminée, réchauffé par l'énergie solaire, sa densité diminue, l'air chaud est évacué par l'ouverture supérieure et remplacé par l'air froid entré par l'ouverture inférieure et la différence de densité entre l'air extérieur et l'air intérieur est directement proportionnel à la température). On peut dire que la différence de température crée un mouvement d'air ascendant appelé courant d'air naturel ou ventilation naturelle.

4.5. Instruments de mesure :

Les mesures ont été effectuées au niveau du laboratoire de génie mécanique à l'Université Bordj Bou Arreridj. Afin d'estimer l'efficacité du système de ventilation nous avons pris les mesures pour différentes intensités de flux imposés en utilisant 2 projecteurs halogènes de 1000W et 650W et 200W.

Nous avons utilisé les instruments de mesure suivants :

4.5.1. Mesure de l'intensité de flux:

L'intensité de flux reçu sur le plan de la cheminée est exprimée en W/m^2 et déterminé à l'aide d'un pyromètre, et ceci durant la journée de l'expérience. Les résultats obtenus sont affichés sur l'appareil de façon numérique (**figure 4.4**)



Figure 4.4 : Mesure de l'intensité de flux (Pyranomètre).

4.5.2. Mesure des températures :



Figure 4.5 : Emplacement des sondes de Température.

Les mesures des températures ont été effectuées à l'aide des sondes de température avec un afficheur numérique (**figure 4.6**) dans plusieurs endroits présélectionnés du système :

- Température haute dans la chambre.
- Température basse dans la chambre.
- Température de vitre.
- Température de l'absorbeur.
- Température à l'entrée de la cheminée.
- Température à la sortie de la cheminée.



Figure 4.6 : Sonde de température

4.5.3. Les projecteurs :

Deux projecteurs de 1000 W ont été utilisés pour réaliser l'expérience dans laboratoire afin d'avoir une intensité de flux ajustés.



Figure 4.7 : Projecteurs halogènes de 1000W.

4.6. Analyse et interprétation des résultats:

Dans cette partie on va présenter les résultats expérimentaux de différents composants de la cheminée solaire afin de mesurer les températures T_v (vitrage), T_f (fluide), T_w (absorbeur) et la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée.

4.6.1. Différentes températures pour $H= 200, 650$ et 1000 W/m^2 :

La **figure 4. 8** montres l'évolution de la température de l'absorbeur, du vitrage et de l'air circulé dans la cheminée en fonction du temps à l'intensité de flux ($H=200 \text{ w/m}^2$).

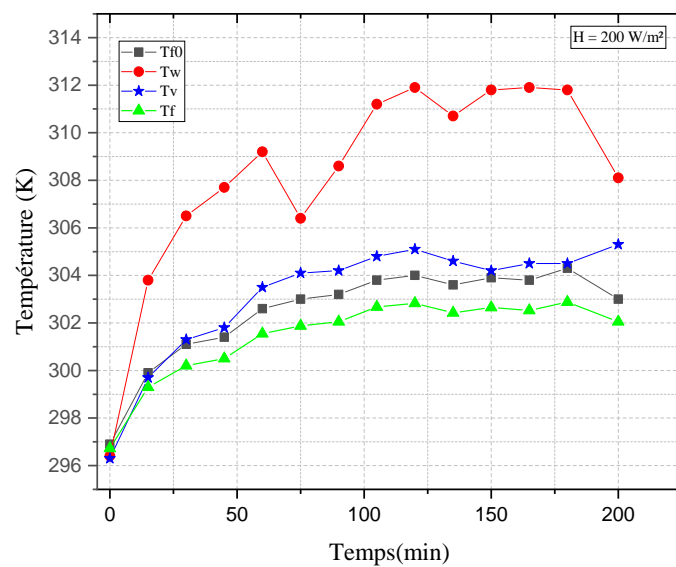


Figure 4. 8 : Evolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=200 \text{ w/m}^2$).

La **figure 4. 8** montre l'évolution de la température du vitrage T_v , de fluide T_f , de l'absorbeur T_w et à la sortie de la cheminée T_{f0} en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=200 \text{ w/m}^2$).

La température est élevée au niveau de l'absorbeur de la cheminée solaire. On note également une augmentation des températures pour la première période de temps, où les valeurs maximales atteintes pour une intensité de flux 200 W/m^2 après 100 min de fonctionnement.

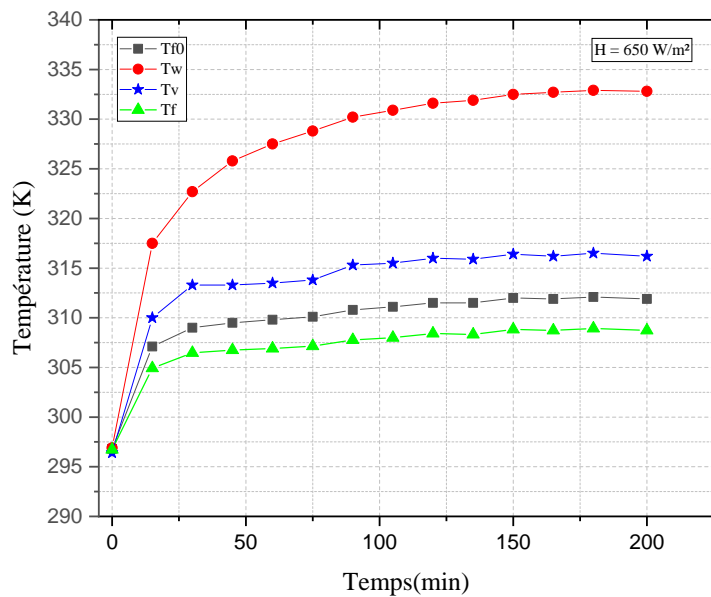


Figure 4.9 : Evolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=650 \text{ w/m}^2$).

La **figure 4.9** montre l'évolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=650 \text{ w/m}^2$). Une augmentation des températures pour la période de 0 à 70 min, où la valeur maximale de la température de l'absorbeur atteinte est 332.5 K, et celles de la vitre et de l'air atteignent respectivement 317K, et 308 K.

La **figure 4.10** montre l'évolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=1000 \text{ w/m}^2$).

Une augmentation des températures pour la période de 0 à 50 min, où la valeur maximale de la température de l'absorbeur atteinte est 345K à 1000 W/m^2 , et celles de la vitre et de l'air à la sortie de la cheminée atteignent respectivement 323K, et 312 K. En outre, les températures restent constantes après cette période, c'est la stabilisation en régime laminaire.

L'absorption du rayonnement thermique élève la température de la paroi du mur absorbeur et contribue à l'élévation de la température de l'air en contact avec ces parois. Plus

l'intensité de flux est importante, plus cet écart est important. La température du vitrage est un peu élevée pour les différents flux de chaleur où elle est influencée par le rayonnement des lampes.

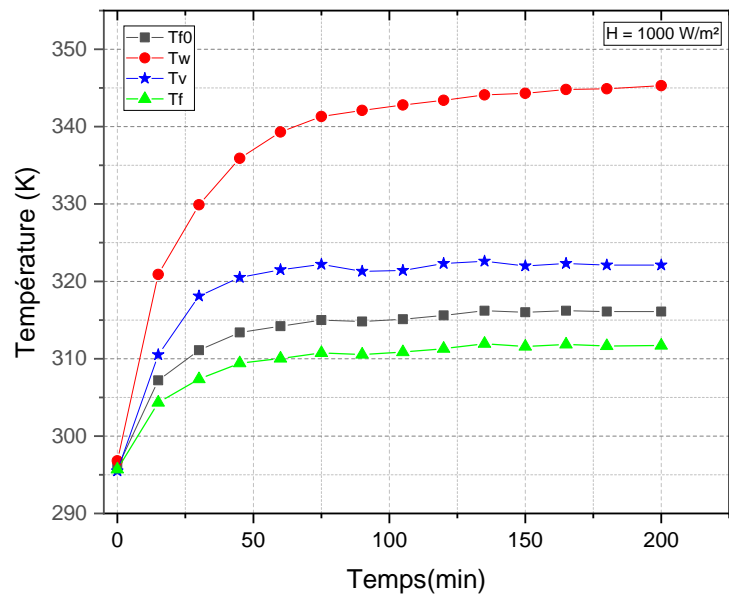


Figure 4. 10 : Evolution de la température du vitrage, de fluide, de l'absorbeur et à la sortie de la cheminée en fonction du temps pour une intensité de flux ($H=1000 \text{ w/m}^2$).

4.6.2. Débit massique et vitesse de sortie pour $H= 200, 650$ et 1000 W/m^2 :

Les Figures 4.11, 4.12 et 4.13 montrent respectivement l'évolution du débit massique et de la vitesse de sortie d'air en fonction du temps pour différentes intensités de flux respectivement égales à 200, 650 et 1000 W/m^2 . On remarque que les débits correspondant à 1000 W/m^2 sont plus élevés par rapport à ceux obtenus avec les deux autres flux : plus l'intensité de flux est importante plus le débit massique d'air et l'efficacité est maximale. Ce phénomène de convection naturelle est lié à des considérations d'accélération dynamique dans le sens vertical correspondant aux forces de flottabilité.

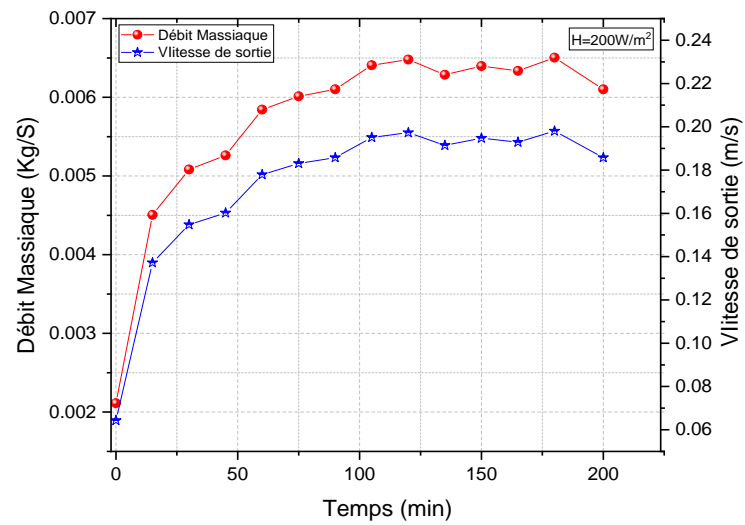


Figure 4.11 : Evolution de la vitesse de sortie et débit massique en fonction du temps à une intensité de flux ($H=200 \text{ w/m}^2$).

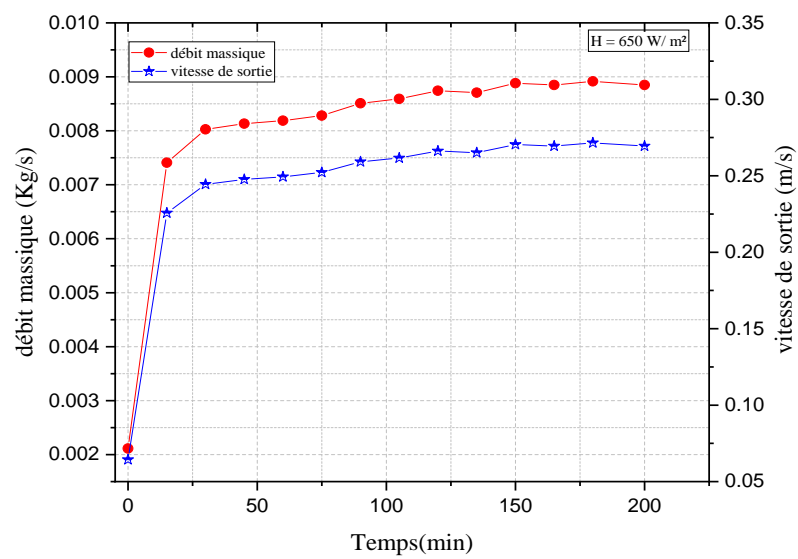


Figure 4.12 : Evolution de la vitesse de sortie et débit massique en fonction du temps à une intensité de flux ($H=650 \text{ w/m}^2$).

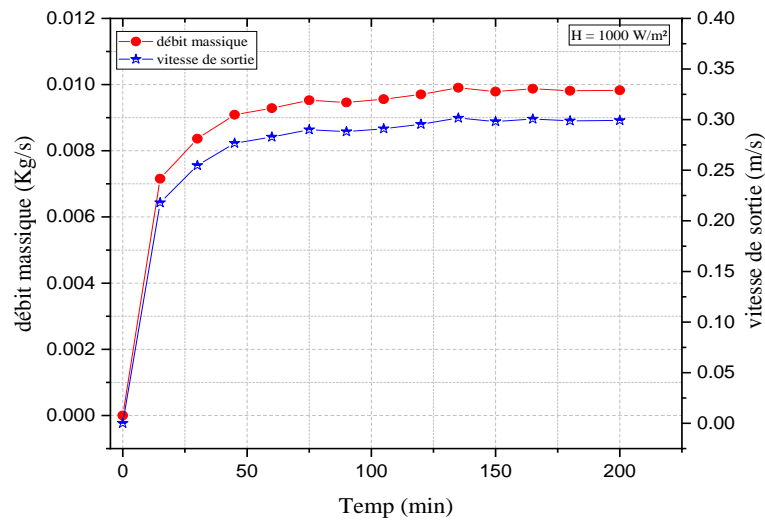


Figure 4.13: Evolution de la vitesse de sortie et débit massique en fonction du temps à une intensité de flux ($H=1000 \text{ w/m}^2$).

4.6.3.ACH et l'efficacité pour $H= 200, 650$ et 1000 W/m^2 :

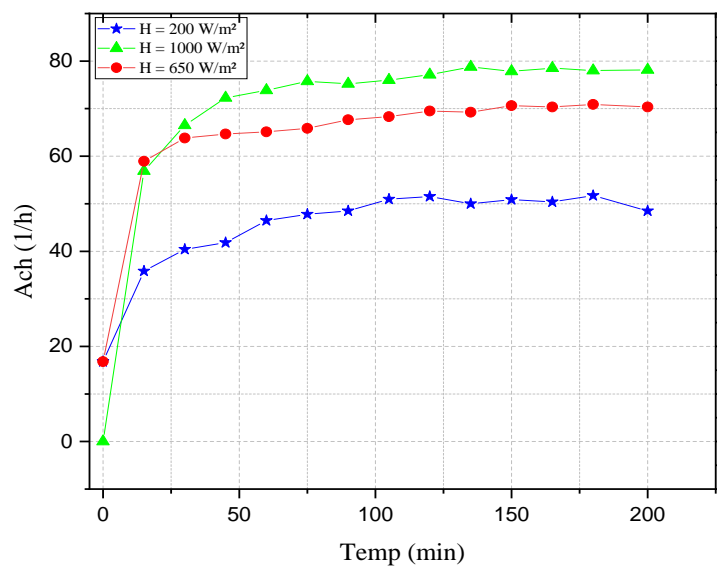


Figure 4.14 : L'évolution d'ACH en fonction du temps pour différentes intensités de flux ($H=200 \text{ W /m}^2$, $H= 650 \text{ w/m}^2$ et $H= 1000 \text{ w/m}^2$).

La **Figure 4.14** montre la variation du volume d'air renouvelé ACH en fonction du temps à des intensités de différents flux ($H=200$, $H= 650$ et $H= 1000 \text{ w/m}^2$). D'après la on

remarque que l'augmentation de l'ACH est proportionnelle avec l'augmentation de l'intensité de flux, l'augmentation de ce dernier traduit par l'augmentation la vitesse d'écoulement.

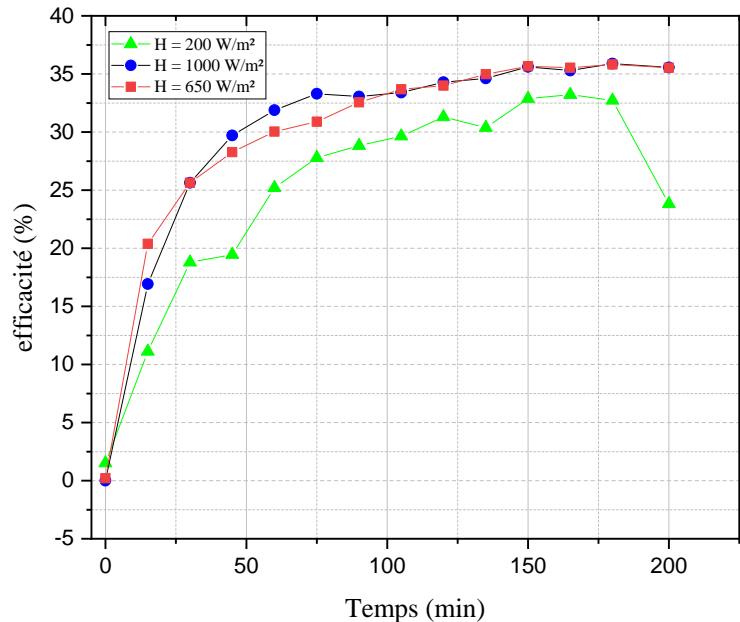


Figure 4.15 :L'évolution de l'efficacité en fonction du temps pour différentes intensités de flux ($H=200 \text{ W/m}^2$, $H= 650 \text{ w/m}^2$ et $H= 1000 \text{ w/m}^2$).

La **Figure 4.15** montre l'efficacité en fonction du temps pour différentes intensités de flux ($H=200 \text{ W/m}^2$, $H= 650 \text{ w/m}^2$ et $H= 1000 \text{ w/m}^2$). Plus l'intensité de flux est importante plus l'efficacité est maximale. Ce phénomène de convection naturelle est lié à des considérations d'accélération dynamique dans le sens vertical correspondant aux forces de flottabilité.

4.7. Conclusion :

La cheminée solaire a un effet important sur l'amélioration de la ventilation et l'augmentation du taux de renouvellement d'air. La vitesse de l'air à la sortie de la cheminée solaire augmente selon l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire. Cette élévation au niveau de la cheminée induit une augmentation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la pièce. Ce qui traduit l'efficacité du système considéré.

Références Bibliographique

- [1] JONAS Guerdat, M. Schaffner, J. Vuillaume, Travail interdisciplinaire L'isolation thermique des bâtiments, Rapport interne, CPP-MPT A, France, 2007
-

Chapitre 5

Etude numérique

Sommaire

5.1	Introduction.....	62
5.2	Variation de l'intensité de flux égale ($H= 200, 650$ et 1000 W/m^2)	62
5.3	Variation des dimensions de système pour une intensité de flux 650W/m^2	65
5.4	Validation des résultats	70
5.5	Conclusion	70
5.6	Références Bibliographique	71

5.1. Introduction :

On présentera les résultats théoriques issus de la résolution numérique des équations gouvernantes relatives au modèle mathématique développé au chapitre 3. L'analyse des écoulements avec transfert de chaleur dans les cheminées solaires sera réalisée sur la base de simulations numériques dans le logiciel ANSYS Fluent. Une comparaison avec des résultats expérimentaux et ce de littérature sera également présentée.

5.2. Variation de l'intensité de flux égale ($H= 200, 650$ et 1000 W/m^2):

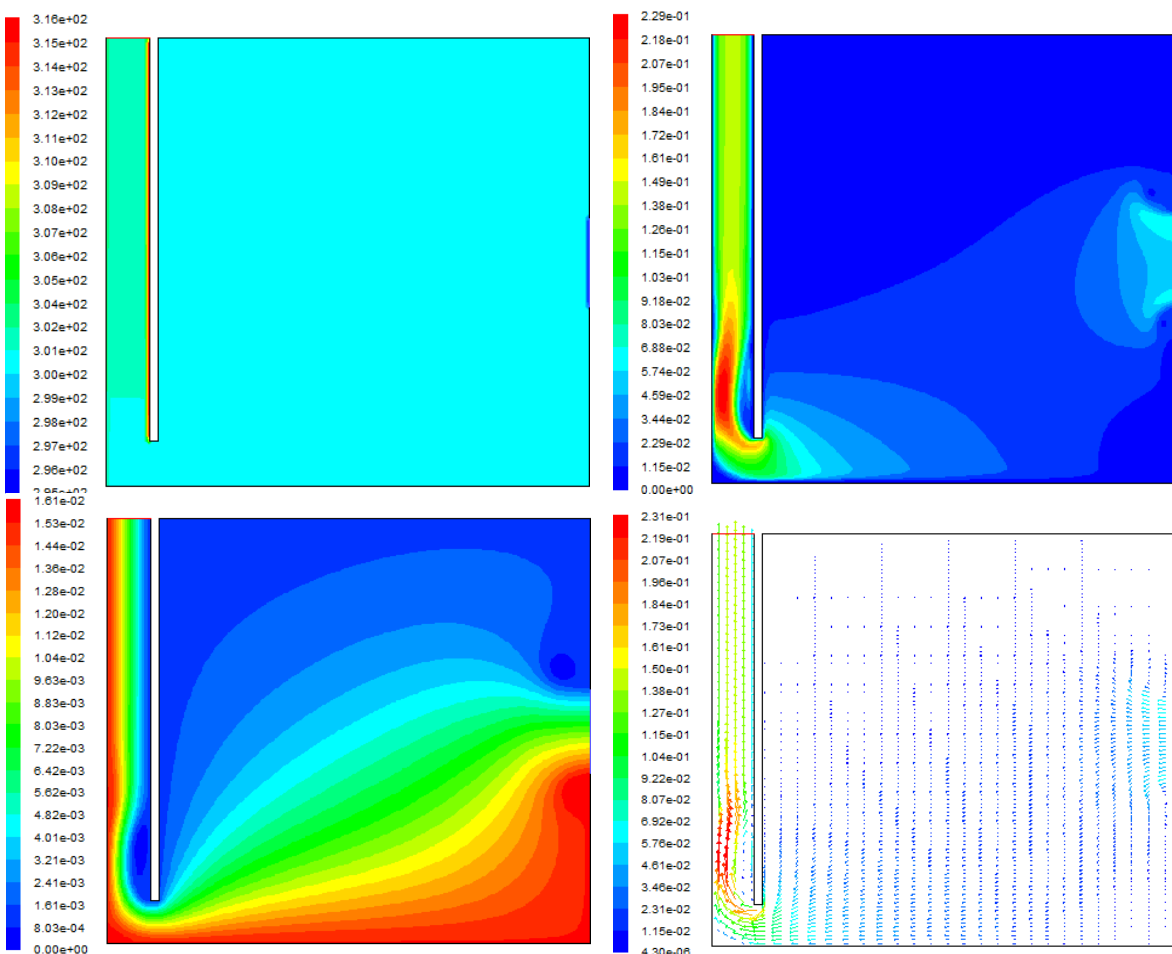


Figure 5.1 : Contours de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 200 \text{ W/m}^2$.

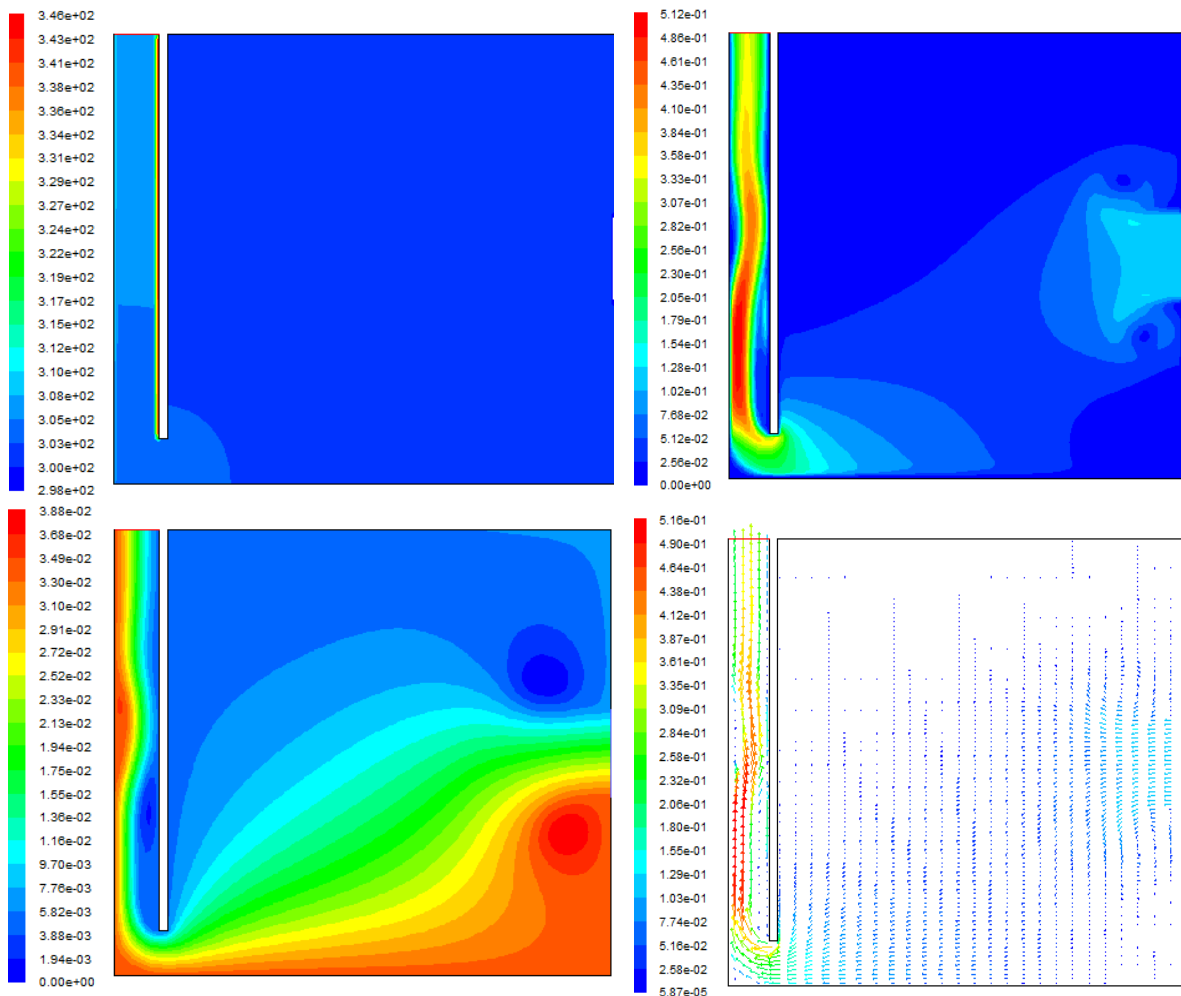


Figure 5.2 : Contours de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$.

Les Figures 5.1, 5.2 et 5.3 illustrent les champs de la température, les champs de vitesse, les lignes de courant et les vecteurs de vitesse d'un écoulement relatif à une pièce de dimension de $1\text{m} \times 1\text{m}$ et pour différentes intensités de flux de 200, 650 et 1000 W/m^2 .

Nous remarquons que les températures élevées sont toujours au voisinage de l'absorbeur, qui correspondent à l'épaisseur des couches limites thermiques et ces températures augmentent avec l'augmentation des intensités de flux.

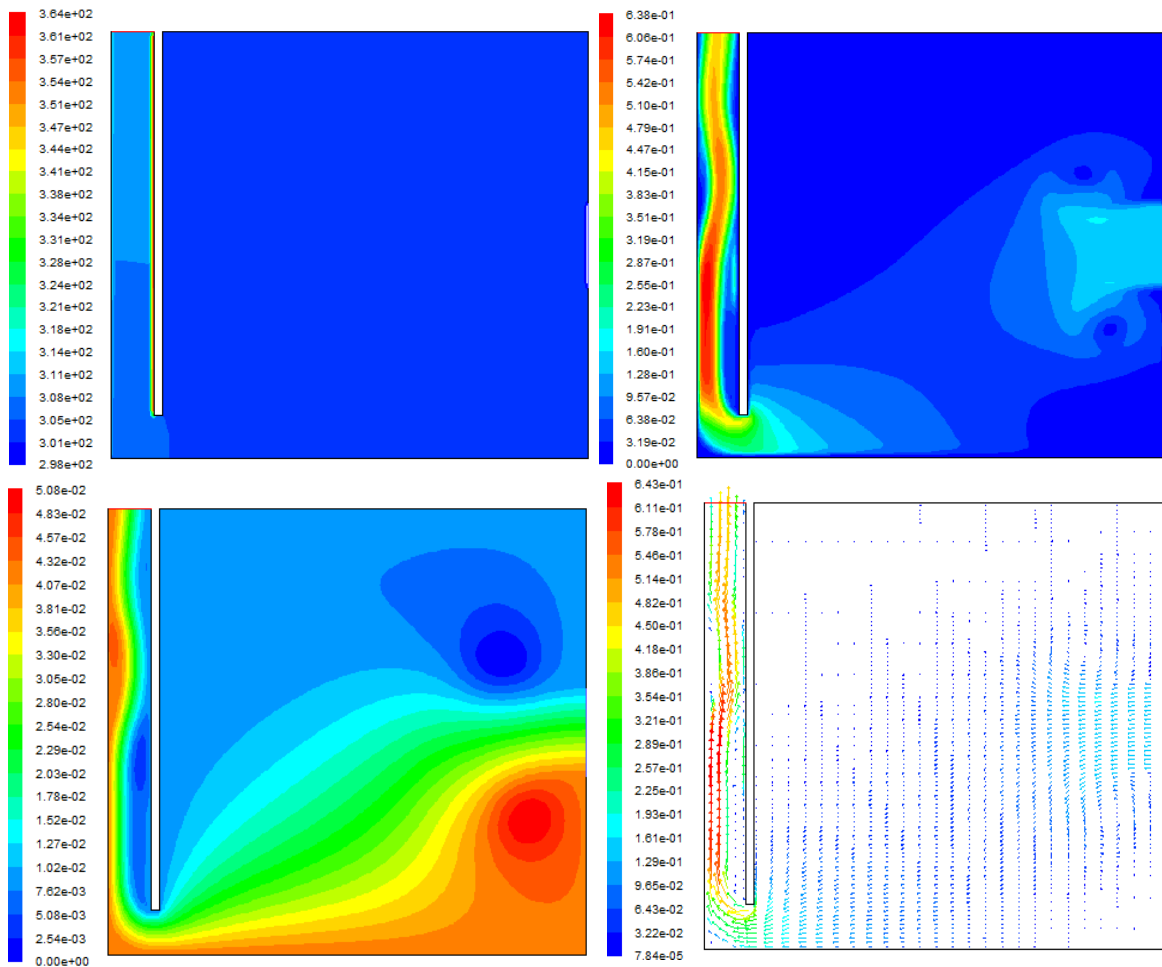


Figure 5.3 : Contours de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 1000 \text{ W/m}^2$.

La vitesse maximale d'air au niveau du système augmente avec l'augmentation de l'intensité de flux, elle s'accroît d'un maximum de 0,27 m/s à 0,86 m/s pour la variation de l'intensité de flux de 200, 650 et 1000 W/m^2 et cette augmentation s'observe aussi d'un moment à l'autre qui nous explique que la valeur du débit augmente avec l'intensité élevée.

L'air s'écoulait le long de la paroi opposée après être passé de l'horizontale à l'ouverture d'entrée à la direction verticale. Une zone de recirculation s'est formée au-dessus de l'absorbeur et cette zone augmente avec l'augmentation de l'intensité de flux. Le débit d'entrée vers la cheminée est certainement affecté par le coefficient de décharge qui est, à son

tour, dépendant de la zone contractée en raison de la contraction soudaine de la géométrie par rapport à la forme de la zone d'entrée principale.

Deux vortex engendrés dans la pièce, un situés en bas à droite de la pièce tournant dans le sens antihoraire pour les deux intensités de flux 650 et 1000W/m^2 , et l'autre situé en haut et aussi à droite de la pièce tournant dans le sens horaire. Les deux vortex soulignent la présence de la convection naturelle en ces zones. Les figures montrent que l'intensité de flux à un grand effet sur la taille des deux vortex dans la pièce.

5.3. Variation des dimensions de système pour une intensité de flux 650W/m^2 :

Les **Figures 5.4, 5.5, 5.6 et 5.7** illustrent les champs de la température, de vitesse, les lignes de courant et les vecteurs de vitesse relatif à des pièce de dimensions différentes et pour différentes intensités de flux égale à 650W/m^2 . Une recirculation notable du flux d'air est observée dans les régions proches des points d'entrée (supérieur et inférieur), ces zones de recirculations diminuent avec l'augmentation de dimensions de système. Le débit d'entrée vers la cheminée est certainement affecté par le coefficient de décharge qui, à son tour, dépend de la zone contractée en raison de la contraction soudaine de la géométrie par rapport à la forme de la zone d'entrée principale et la zone de recirculation en bas de l'absorbeur diminuée avec l'augmentation de dimensions de système.

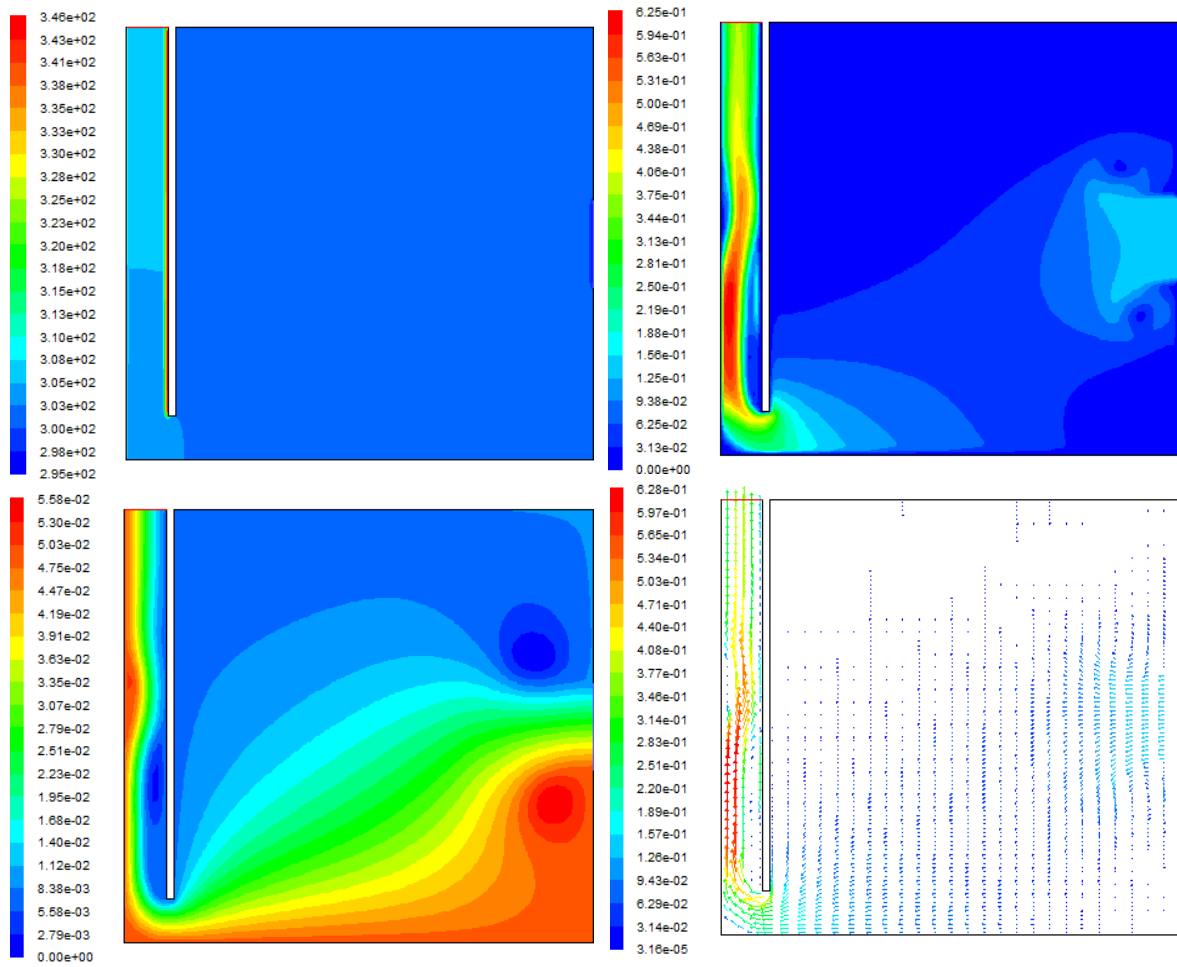


Figure 5.4 : Contours de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H = 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre (1.2m*1.2m).

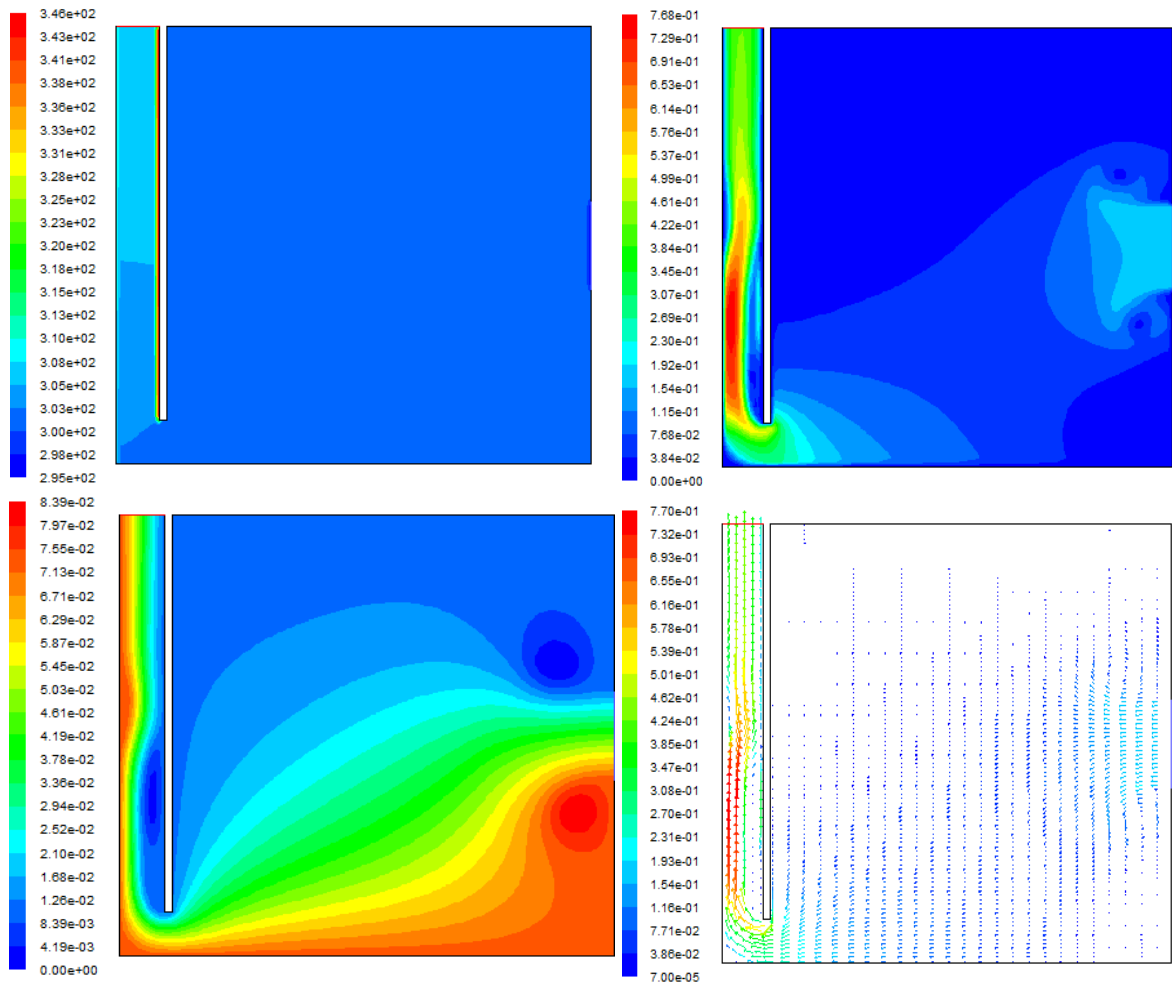


Figure 5.5 : Contours de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre ($1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$)

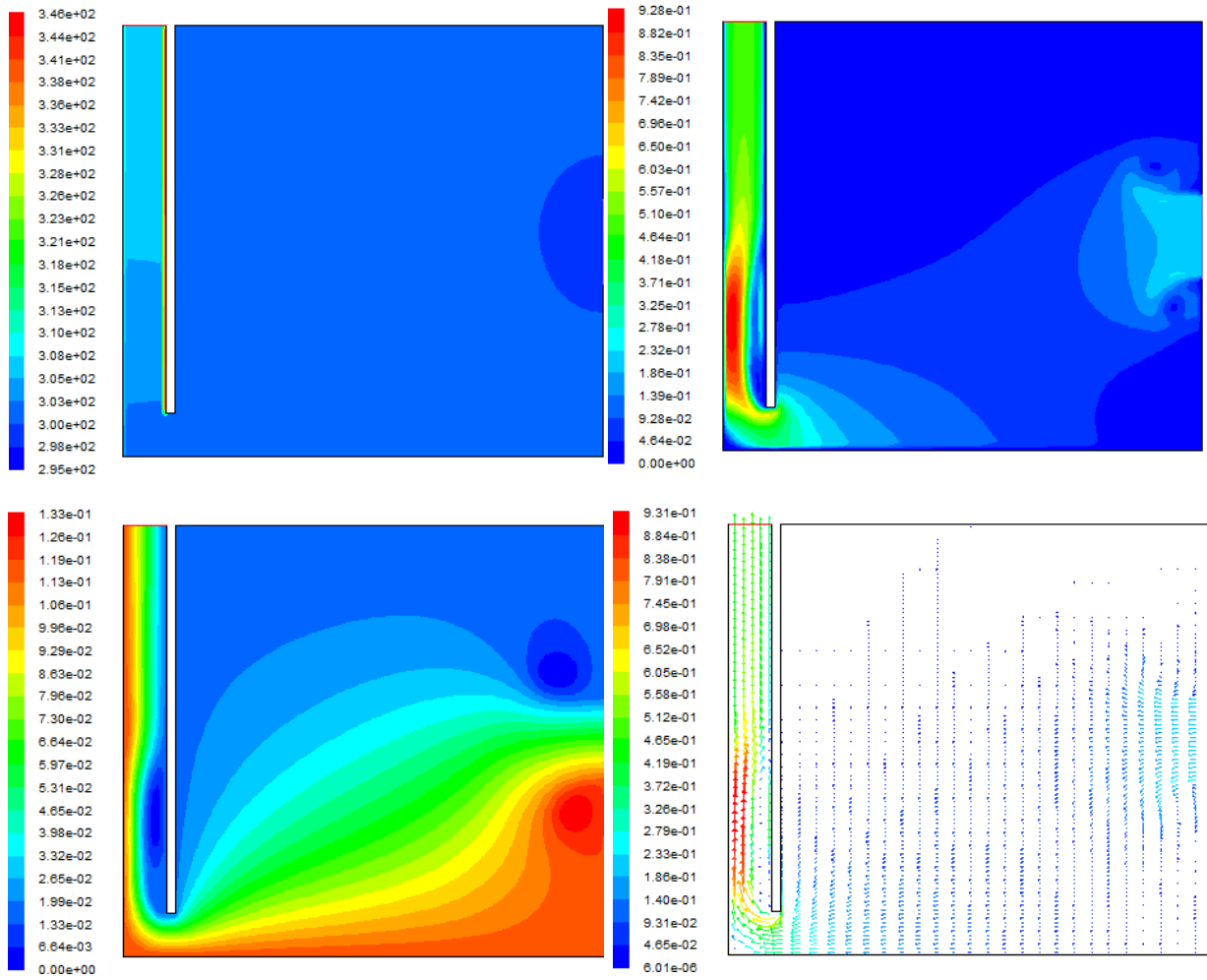


Figure 5.6 : Contours de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre (2m*2m)

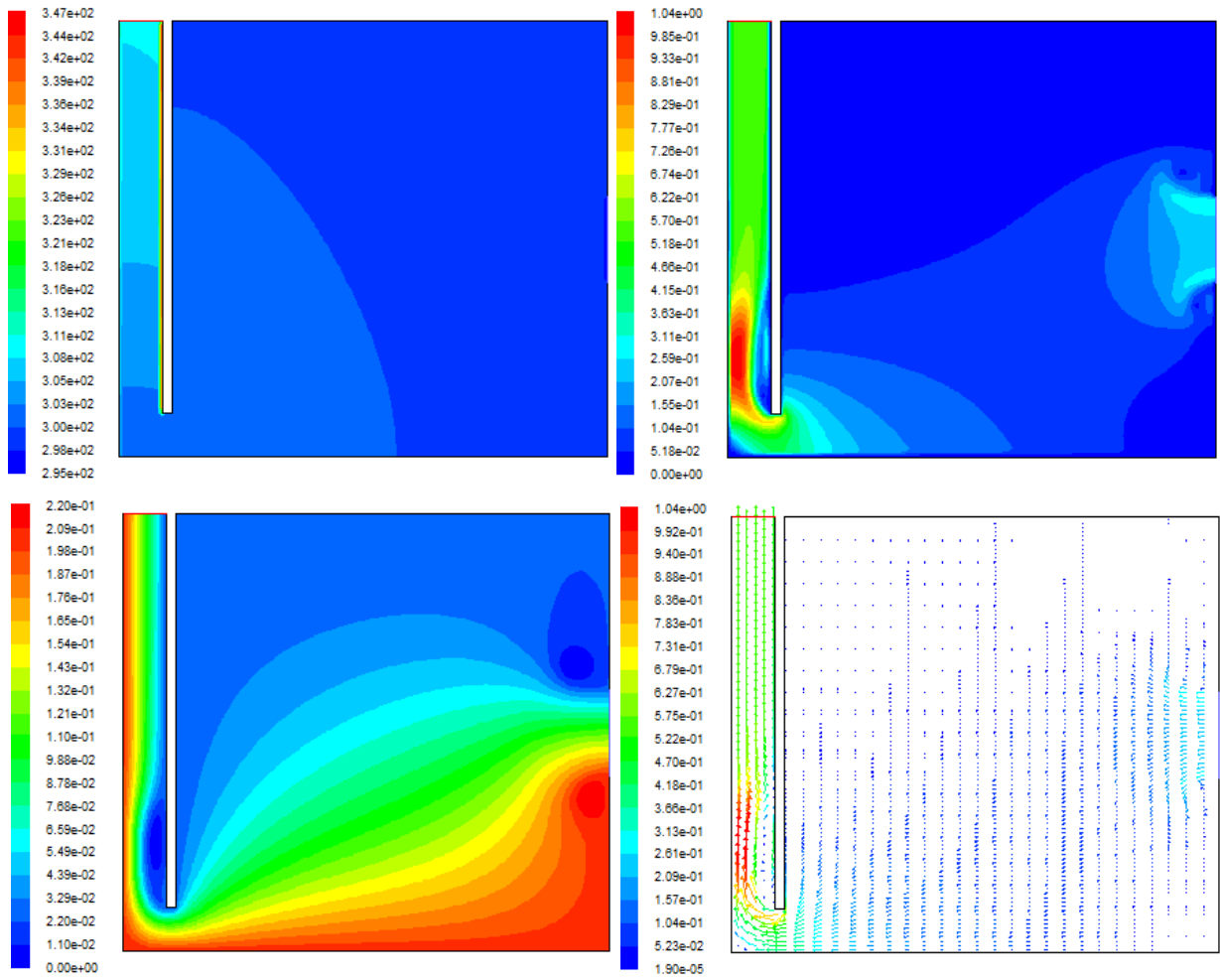


Figure 5.7 : Contours de la température, la vitesse magnitude, lignes du courant et les vecteurs de vitesse à l'intensité de flux $H= 650 \text{ W/m}^2$ pour une chambre (3m*3m)

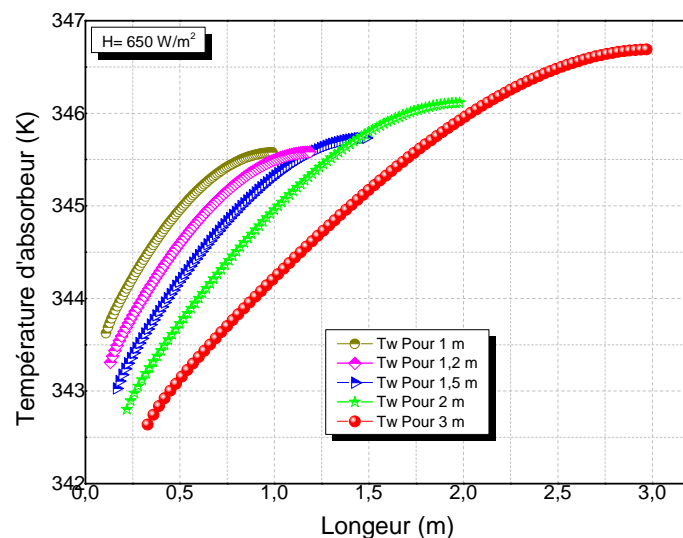


Figure 5. 8 : Evolution de la température d'absorbeur à l'intensité de flux ($H= 650 \text{ w/m}^2$) avec les cinq cas des différents volumes de la chambre.

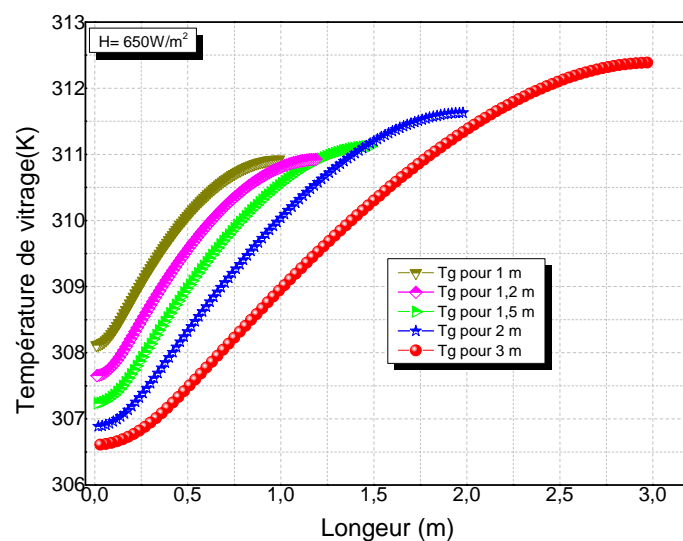


Figure 5.9 : Evolution de la température de vitrage à l'intensité de flux ($H= 650 \text{ w/m}^2$) avec les cinq cas des différents volumes de la chambre.

Les **Figures 5.8** et **5.9** illustrent les distributions de température du vitrage et de l'absorbeur pour différentes hauteurs de vitrage et de mur absorbeur et pour un flux radiatif de 650 W/m^2 . Les courbes montrent que pour une hauteur de vitrage et de mur absorbeur de 1 m, l'écart de températures correspondant est de 2°C . Pour une hauteur de 3 m cet écart de températures est de 6°C pour le vitrage et 4.25°C pour l'absorbeur.

5.4. Validation des résultats :

	Température de vitrage (K)		Température de l'absorbeur (K)		Température de fluide (K)		Vitesse sortie m/s	
	Num	Exp	Num	Exp	Num	Exp	Num	Exp
Nos Résultats Pour $H=200W/m^2$	304	305,1	317	311,9	302.5	304	0,19	0,1973
Résultats Pour $H=650W/m^2$	313	316,4	346	332,9	308	312	0,27	0,2662
Résultats K.S. Ong[1] Pour $H=200W/m^2$	305.44	307.88	318.48	313.72	305.40	306.66	0.164	
Résultats K.S. Ong[1] Pour $H=650W/m^2$	316.97	315.33	349.24	337.89	310.41	313.83	0.257	

Tableau. 5-3 : Comparaison des résultats obtenus avec ceux de **K.S. Ong [1]**.

Le tableau 5.3 montre une comparaison entre les résultats obtenus dans notre travail par ceux de **Ong et al[1]**, pour la température d'absorbeur, d'air du vitrage et la vitesse d'air à la sortie, la comparaison montre un bon accord entre les deux résultats avec une erreur moyenne des résultats obtenus par rapport aux valeurs de **Ong et al[1]**. Cette erreur moyenne est justifiée par l'influence du flux de chaleur imposé dégagé par les lampes halogène utilisées dans l'expérience et aussi la température ambiante était un peu élevée.

5.5. Conclusion :

Dans ce chapitre on s'est intéressé à la simulation du problème basée sur la résolution des équations gouvernantes relatives au modèle mathématique développé au chapitre III. Les simulations numériques effectuées ont permis une bonne compréhension des écoulements de fluide dans une chambre et de mettre en évidence l'influence de la hauteur du vitrage et de l'absorbeur sur les distributions de températures dans ces derniers. En termes de conclusion, on a constaté que l'influence du volume du système (chambre et cheminée) est négligeable sur la ventilation.

Références Bibliographique

- [1] ONG 2003, “Performance of a solar chimney”, K.S. ONG, C.C. Chow, MONASH University Malaysia, JALAN KOLEJ, BANDAR SUNWAY, PETALING JAYA, Malaysia.
-

Conclusion

Le présent travail, porte sur l'étude de l'impact d'intégration d'une cheminée solaire sur la ventilation naturelle et le rafraichissement des locaux. Le fonctionnement de la cheminée dépend du rayonnement solaire, puisque la température augmente dans les locaux aux heures ensoleillées, la cheminée intervient pour la création d'un courant d'air à l'intérieur des locaux par la circulation dû au renouvellement d'air. Notre modèle de cheminée solaire est considéré comme une chambre cubique de dimension (0.7m×0.7m×0.7m), équipée d'une cheminée solaire. Nous avons étudié expérimentalement le comportement dynamique et thermique d'une cheminée solaire pour améliorer la ventilation naturelle déterminé ; en mesurant les températures en différents points de ce système après avoir imposé différentes intensités de flux.

Nous avons renforcé l'étude expérimentale par une simulation numérique basée sur la résolution des équations gouvernantes relatives au modèle mathématique développé au chapitre 3.

Les simulations numériques effectuées ont permis une bonne compréhension des écoulements de fluide dans la chambre et de mettre en évidence l'influence de la hauteur du vitrage et de l'absorbeur sur les distributions de températures dans ces derniers. Les équations de conservation de masse, de quantité de mouvement et de l'énergie sont résolues par la méthode des volumes finis à l'aide du code de calcul **Fluent**. L'analyse de la structure thermique et dynamique de l'écoulement d'air a été menée pour différentes intensités solaire (200, 650, et 1000 W/m²), les champs de vitesse et de températures, les contours de vitesse, la variation de la température à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité solaire, la variation de la température à la sortie en fonction de la vitesse d'entrée et le temps de renouvellement d'air pour chaque modèle ont été également présentés et interprétés en détail dans ce mémoire

Conclusion

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

- La cheminée solaire a un effet important sur l'amélioration de la ventilation et l'augmentation du taux de renouvellement d'air.
- La vitesse de l'air à la sortie de la cheminée solaire augmente selon l'augmentation de l'intensité 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 ce qui traduit l'efficacité du système considéré.
- 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(flux solaire) aussi.
- l'influence du volume de système (chambre et cheminée) est négligeable sur la ventilation.

Finalement, ce système avec une bonne conception peut également fournir un environnement intérieur thermiquement confortable selon la norme du confort thermique et de réduire le coût exorbitant de l'énergie consommée par la climatisation artificielle pour un grand nombre d'heures pendant les journées d'été torrides.

On peut proposer les prévisions suivantes:

- En terme de simulation sur le code de calcul **Fluent**, il est préférable de faire la simulation en 3D.
- Il sera intéressant par la suite de ce travail d'étudier une cheminée solaire installée sur un toit d'un bâtiment ou des établissements de plusieurs étages.
- On prévoit d'étudier un vitrage ou absorbeur installé dans une cheminée solaire connectée avec des panneaux solaires pour exploiter à l'autre fonctionnement domestique et définir leurs performances.

L'intensité de flux H= 200 W/m² (Température ambiante de la chambre: 296.6 K°)

TEMP	VITRE K°		CHEMINEE K°		ABSORBEUR K°		CHAMBRE K°		ENTREE K°
	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	
0	296.1	296.3	296.2	296.9	295.9	296.4	296.5	296.9	296.5
15	299	299.7	297.5	299.9	301.8	303.8	297.3	298.3	296.8
30	300.5	301.3	297.5	301.1	303.8	306.5	297.2	298.2	296.8
45	300.4	301.8	297.8	301.4	304.5	307.7	297.4	298.3	298.8
60	301.9	303.5	298.4	302.6	305.7	309.2	297.9	299.1	297.9
75	302.3	304.1	298.5	303	305.6	306.4	297.9	298.9	298.1
90	302.3	304.2	298.6	303.2	305.1	308.6	298.2	299.1	299.3
105	303.1	304.8	299.3	303.8	306.2	311.2	298.9	300.1	298.6
120	303.2	305.1	299.3	304	306.3	311.9	298.9	300.1	297.7
135	302.5	304.6	298.9	303.6	306.9	310.7	298.4	299.7	297.8
150	302.3	304.2	298.9	303.9	308.2	311.8	298.5	299.6	297.8
165	302.5	304.5	298.7	303.8	308.1	311.9	298.3	299.4	297.8
180	302.5	304.5	298.6	303.5	308.2	311.8	298.2	299.4	297.5
200	303.4	505.3	299.2	303	307.4	308.1	298.7	299.6	298.3

Annexes

T_{f0} K°	T_v K°	T_w K°	T_f K°	\dot{m} kg/s	V_0 m/s	ACH (1/h)	η_i %	ρ_f Kgm ⁻³	Q_v m ³ /s
296.9	296.3	296.4	296.725	0.00211	0.06431	16.7922	1.517692	1.17296	0
299.9	299.7	303.8	299.3	0.00451	0.13719	35.82578	11.12221	1.16387	0.00181
301.1	301.3	306.5	300.2	0.00508	0.15478	40.41693	18.79185	1.16069	0.00388
301.4	301.8	307.7	300.5	0.00526	0.16021	41.8355	19.45770	1.15963	0.00438
302.6	303.5	309.2	301.55	0.00584	0.17792	46.46064	25.20377	1.15592	0.00455
303	304.1	306.4	301.875	0.00601	0.18306	47.80162	27.79011	1.15478	0.00505
303.2	304.2	308.6	302.05	0.0061	0.18576	48.50833	28.83308	1.15416	0.00520
303.8	304.8	311.2	302.675	0.00641	0.19512	50.95236	29.639709	1.15195	0.00529
304	305.1	311.9	302.825	0.00648	0.1973	51.52168	31.295093	1.15142	0.00556
303.6	304.6	310.7	302.425	0.00629	0.19143	49.98909	30.37749	1.15288	0.005620
303.9	304.2	311.8	302.65	0.0064	0.19476	50.85685	32.88163	1.15204	0.00545
303.8	304.5	311.9	302.525	0.00634	0.19292	50.37661	33.22483	1.15248	0.00555
304.3	304.5	311.8	302.875	0.0065	0.19802	51.71006	32.7275	1.15125	0.00550
303	305.3	308.1	302.05	0.0061	0.18576	48.50833	23.81863	1.15416	0.00563

Annexes

L'intensité de flux H= 650W/m²(Température ambiante de la chambre: 297.2 K°)

TEMP	VITRE K°		CHEMINEE K°		ABSORBEUR K°		CHAMBRE K°		ENTREE K°
	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	
0	296.2	296.4	296.5	296.8	296.4	296.9	296.9	297.2	297.3
15	305.6	310	298.4	307.1	309.3	317.5	297.8	298.5	297.8
30	307.8	313.3	298.9	309	312.2	322.7	298.1	299	299.5
45	307.5	313.3	298.5	309.5	313.8	325.8	297.8	299.1	296.9
60	307.4	313.5	298.2	309.8	314.5	327.5	297.5	299.1	296.7
75	307.5	313.8	298.3	310.1	315.3	328.8	297.4	299.2	296.6
90	308.9	315.3	298.7	310.8	316.1	330.2	298	299.8	297.1
105	309.1	315.5	298.7	311.1	316.5	330.9	298.1	299.9	297.1
120	309.7	316	299.2	311.5	317.1	331.6	298.3	300.2	297.6
135	309.6	315.9	298.8	311.5	317.2	331.9	298.3	300.3	297
150	310.1	316.4	299.3	312	317.8	332.5	298.7	300.6	297.7
165	309.8	316.2	299.2	311.9	317.8	332.7	298.5	300.6	297.5
180	310.2	316.5	299.4	312.1	318.1	332.9	298.9	301.1	297.7
200	310	316.2	299.2	311.9	317.9	332.8	298.6	300.8	297.5

Annexes

Tf0 K°	Tv K°	Tw K°	Tf K°	\dot{m} kg/s	V0 m/s	ACH (1/h)	η_i %	ρ_f Kgm ⁻³	Qv m ³ /s
296.8	296.4	296.9	296.725	0.00211	0.06431	16.7922	0.2001353	1.17296	0
307.1	310	317.5	304.925	0.00741	0.22562	58.91729	20.38250	1.14401	0.001844
309	313.3	322.7	306.475	0.00803	0.24443	63.82865	25.642298	1.13854	0.006508
309.5	313.3	325.8	306.75	0.00813	0.24762	64.66107	28.275042	1.13757	0.007058
309.8	313.5	327.5	306.9	0.00819	0.24934	65.11063	30.037371	1.13704	0.007150
310.1	313.8	328.8	307.15	0.00828	0.25218	65.85308	30.891029	1.13616	0.007208
310.8	315.3	330.2	307.775	0.00851	0.25916	67.67358	32.556294	1.13395	0.007301
311.1	315.5	330.9	308	0.00859	0.26162	68.31708	33.677115	1.13316	0.007509
311.5	316	331.6	308.425	0.00874	0.26621	69.51633	33.988858	1.13165	0.007590
311.5	315.9	331.9	308.325	0.00871	0.26514	69.23603	34.973726	1.13201	0.007720
312	316.4	332.5	308.825	0.00888	0.27046	70.62645	35.656336	1.13024	0.007706
311.9	316.2	332.7	308.725	0.00885	0.26941	70.35056	35.53587	1.13060	0.007854
312.1	316.5	332.9	308.925	0.00892	0.27152	70.90126	35.81695	1.12989	0.007832
311.9	316.2	332.8	308.725	0.00885	0.26941	70.35056	35.53587	1.13060	0.007889

Annexes

L'intensité de flux H= 1000W/m²(Température ambiante de la chambre: 295.3K°)

TEMP	VITRE K°		CHEMINEE K°		ABSORBEUR K°		CHAMBRE K°		ENTREE K°
	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	BAS	HAUT	
0	295.1	295.5	295.1	295.9	296.1	296.8	295.3	296.7	293.5
15	304.3	310.5	295.7	307.2	309.8	320.9	295	296.3	294.2
30	308.8	318.1	296.2	311.1	314.1	329.9	295.5	296.7	294.2
45	310.7	320.5	297.5	313.4	317.1	335.9	296.6	297.8	296.1
60	311.5	321.5	297.5	314.2	319.2	339.3	296.9	298.5	295.6
75	311.9	322.2	298	315	320.4	341.3	297.2	299.2	295.8
90	311.3	321.3	297.8	314.8	320.6	342.1	297.1	299.3	295.5
105	311.5	321.4	298.1	315.1	321.2	342.8	297.2	299.3	296.1
120	312.3	322.3	298.4	315.6	321.8	343.4	297.5	299.9	296.2
135	312.8	322.6	299.2	316.2	322.3	344.1	298.3	301.6	297
150	312.2	322	298.3	316	322.1	344.3	297.6	300.6	295.9
165	312.8	322.3	298.8	316.2	322.5	344.8	297.9	300.5	296.6
180	312.2	322.1	298.3	316.1	322.2	344.9	297.3	300.1	295.8
200	312.5	322.1	298.5	316.1	322.5	345.3	297.8	300.2	296.7

Annexes

Tf0 K°	Tv K°	Tw K°	Tf K°	\dot{m} kg/s	V0 m/s	ACH (1/h)	η_i %	ρ_f Kgm ⁻³	Qv m ³ /s
295.9	295.5	296.8	295.7	0	0	0	0	1.176579	0
307.2	310.5	320.9	304.325	0.00716	0.21791	56.90243	16.92171	1.146132	0
311.1	318.1	329.9	307.375	0.00837	0.25472	66.5142	25.62979	1.135366	0.0063063
313.4	320.5	335.9	309.425	0.00909	0.27672	72.25964	29.70259	1.128129	0.0074193
314.2	321.5	339.3	310.025	0.00929	0.28283	73.85673	31.88346	1.126011	0.0080727
315	322.2	341.3	310.75	0.00953	0.29005	75.74163	33.29470	1.123452	0.0082691
314.8	321.3	342.1	310.55	0.00946	0.28808	75.22638	33.0501	1.124158	0.0084774
315.1	321.4	342.8	310.85	0.00956	0.29103	75.99795	33.39951	1.123099	0.0084231
315.6	322.3	343.4	311.3	0.0097	0.29541	77.14084	34.28732	1.12151	0.0085242
316.2	322.6	344.1	311.95	0.00991	0.30162	78.76241	34.62230	1.119216	0.0086667
316	322	344.3	311.575	0.00979	0.29805	77.83101	35.61142	1.120540	0.0088439
316.2	322.3	344.8	311.85	0.00987	0.30067	78.51512	35.29391	1.119569	0.0087444
316.1	322.1	344.9	311.65	0.00981	0.29877	78.01818	35.88578	1.120275	0.0088103
316.1	322.1	345.3	311.7	0.00983	0.29925	78.14271	35.55490	1.12009	0.0087581

Résumé:

Pour raison de réduire la consommation d'énergie et de protéger l'environnement, plusieurs méthodes basées sur l'énergie solaire ont été développées, comme la cheminée solaire. Afin de prévoir le comportement de la cheminée solaire, on a réalisé un dispositif expérimental suivi d'une simulation numérique utilisant le code de calcul Fluent. Une comparaison qualitative avec quelques résultats de la littérature a été également réalisée, Les équations des bilans énergétiques ont été établies sur les différents composants de la cheminée solaire (vitre, absorbeur, fluide caloporteur entre l'absorbeur et le vitrage).

Un bon accord entre l'expérimentation et les résultats de la simulation est observé. La mise en œuvre de cheminées solaires a pour but d'assurer une meilleure ventilation naturelle et qualité d'air fraîche, et d'atteindre le niveau de confort thermique à moindre consommation d'énergie.

Mots clés : Cheminée solaire, Ventilation naturelle, Simulation numérique, Energie, Environnement.

Abstract:

For the reason of reducing energy consumption and protecting the environment, many methods based on solar energy have been developed, like the solar chimney. In order to predict the behavior of the solar chimney, an experimental setup was performed followed by a numerical simulation using the Fluent code. A qualitative comparison with some literature results was also performed. The energy balance equations were established for the different components of the solar chimney (glass, absorber, heat transfer fluid between the absorber and the glass).

A good agreement between the experimentation and the simulation results is observed. The implementation of solar chimneys aims to ensure a better natural ventilation and good quality of fresh air, and to achieve the level of thermal comfort with lower energy consumption.

Key words: Solar chimney, Natural ventilation, Numerical simulation, Energy, Environment.

الملخص:

لهدف تقليل استهلاك الطاقة وحماية البيئة تم تطوير العديد من الطرق التي تعتمد على الطاقة الشمسية، من أجل التنبؤ بسلوك المدخنة الشمسية، أجرينا في دراستنا جهازاً تجريبياً متبوعاً بمحاكاة عددية باستخدام كود Fluent. كما تم إجراء مقارنة نوعية مع بعض النتائج التجريبية الأخرى، حيث تم وضع معادلات توازن الطاقة على المكونات المختلفة للمدخنة الشمسية (زجاج، ماص، سائل نقل الحرارة بين الماص والزجاج).

لوحظ توافق جيد بين التجربة ونتائج المحاكاة. تهدف المداخل الشمسية إلى ضمان جودة أفضل للتهوية الطبيعية والحصول على هواء منعش، وتحقيق مستوى من الراحة الحرارية مع استهلاك أقل للطاقة.

كلمات مفتاحية: المدخنة الشمسية، التهوية الطبيعية، المحاكاة العددية، الطاقة، البيئة.