

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



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

Thème

Etude de l'amélioration des performances d'une cheminée solaire en vue de la possibilité de chauffage domestique.

Présenté Par :

1) Sahraoui Abdelkader

Devant les jurys composés de :

BENSAAD Bourassia	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
BENZENINE Hamidou.	MCA.	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
NEHARI Tayeb	MCB	C.U.B.B(Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2018/2019

REMERCIEMENT

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude et remerciement à ALLAH qui m'a donné la force et le pouvoir pour effectuer ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon encadreur monsieur Benzenine Hamidou pour son suivi, sa patience, sa disponibilité, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers l'ensemble des membres de jury :
BENSAAD Bourassia, NEHARI Tayeb

Enfin je remercie mes parents et les membres de ma famille ainsi que mes amis : pour leur soutien moral et leur aide, ainsi que tous ce qui m'ont soutenu et aidé tout au long de mes études.

RESUME

Résumé :

La conception bioclimatique des bâtiments, s'intègre dans une démarche de maîtrise de l'énergie et constitue de ce fait un enjeu primordial. Elle nécessite la connaissance des performances énergétiques et des systèmes associés et doit permettre d'éviter le recours à des dispositifs de chauffage ou de refroidissement à forts consommateurs d'énergie.

Le présent travail porte sur l'étude de l'impact d'intégration d'une cheminée solaire sur la ventilation naturelle, le modèle est considéré comme une enceinte de dimension (3m x 1m x2m) équipée d'une cheminée solaire incliné de 40° par rapport à l'horizontal. Les équations de conservation de masse, de continuité 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 (100-800 W/m²), épaisseurs de la lame d'air entre la vitre et l'absorbeur (100,200 et 300 mm) et pour différentes longueurs de la cheminée solaire (1,2 et 3 m).

Les champs de vitesse et de températures, les contours de vitesse, la variation de la température a 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

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

ملخص

ملخص :

التصميم البيومناخي للمباني يدمج في عملية التحكم في الطاقة وبذلك يمثل قضية أساسية. هذا التصميم يعتمد على معرفة الفعالية الطاقوية والأنظمة المرتبطة به ويجب ان يسمح بتجنب استعمال أجهزة التسخين او التبريد ذات الاستهلاك الطاقوي الكبير.

هذا العمل يحتوي على دراسة تأثير ادماج المدخنة الشمسية على التهوية الطبيعية النموذج المدروس هو عبارة عن غرفة ذات الابعاد (3م×1م×2م) مزودة بمدخنة شمسية مائلة ب 40° بالنسبة للأفق. معادلات انحفاظ الكتلة واستمرارية الحركة ومعادلة الطاقة محلولة باستعمال طريقة الحجم المحدودة عن طريق المحاكاة العددية في برنامج الحساب Fluent.

تم اجراء تحليل للتركيبية الحرارية والحركية لتدفق الهواء لعدة كثافات للطاقة الشمسية (100-800 واط/م²) وسمك فجوة الهواء داخل المدخنة (100، 200، 300 مم) وعدة اطوال للمدخنة الشمسية (1م، 2م، 3م).

مجالات السرعة والحرارة وتغيرات درجة الحرارة عند مخرج المدخنة بدلالة كثافة الطاقة الشمسية وتغيرات درجة الحرارة عند مخرج المدخنة بدلالة سرعة الهواء عند مدخل الغرفة ومدة تجدد الهواء لكل نموذج مفسرة في هذه المذكرة.

الكلمات المفتاحية : التهوية الطبيعية المدخنة الشمسية المحاكاة العددية

ABSTRACT

Abstract

The bioclimatic design of buildings is part of an approach to energy management and is therefore a key issue. It requires knowledge of energy performance and associated systems and must avoid the use of heating or cooling devices with high energy consumption.

The present work concerns the study of the impact of integration of a solar chimney on the natural ventilation, the model is considered as a chamber of dimension (3m x 1m x2m) equipped with a solar chimney inclined of 40° compared to the horizontal. The conservation of mass, continuity of motion and energy equations are solved by the finite volume method using the fluent computer code.

The analysis of the thermal and dynamic structure of the air flow was carried out for different solar intensities (100-800 W / m²), thicknesses of the air gap between the glass and the absorber (100,200 and 300 mm) and for different lengths of the solar chimney (1, 2 and 3 m).

The velocity and temperature fields, the velocity contours, the variation of the temperature at the outlet of the chimney according to the solar intensity, the variation of the temperature at the exit according to the speed of entry and the air renewal times for each model were also presented and interpreted in detail in this memo

Key words : natural ventilation, solar chimney, numerical simulation.

NOMENCLATURE

Nomenclature :

H	La hauteur de la chambre (m)
L	La hauteur de la cheminée (m)
d	L'épaisseur de la lame d'air (m)
Cp	La chaleur spécifique (kJ/kg.k)
μ	La viscosité dynamique (Pa.s)
ρ	La masse volumique (kg/m ³)
λ	La conductivité thermique (W/m .k)
s	La surface de conduction (m ²)
g	La constante de la gravité (m/s ²)
k	Energie cinétique turbulente
ε	Dissipation d'énergie turbulente

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Chapitre I : Généralités

Figure I.1 :	Projet de tour solaire d'une hauteur de 1000 mètres	3
Figure I.2 :	Fonctionnement d'une centrale solaire à effet de cheminée	4
Figure I.3 :	Mur Trombe	5
Figure I.4 :	Living Wall	6
Figure I.5 :	Echange de chaleur entre le corps humain et son environnement	7
Figure I.6 :	Les sources de chaleur et de froid	8
Figure I.7 :	Mouvement de chaleur dans le cas d'un chauffage par convection	9
Figure I.8 :	Transfert de chaleur dans le cas du chauffage par rayonnement	9
Figure I.9 :	Température de consigne et taux d'humidité	10
Figure I.10 :	Configuration de la ventilation naturelle	11
Figure I.11 :	Grilles de ventilation	13
Figure I.12 :	Emplacement de la grille d'ouverture	14
Figure I.13 :	Cheminées solaires de l'immeuble Michelin à Bordeaux	16
Figure I.14 :	Fonctionnement du système	17
Figure I.15 :	La cheminée solaire aspire l'air d'un puits provençal pour rafraichir passivement une habitation.	18
Figure I.16 :	Modélisation de cheminée solaire CAO (TAS)	19

LISTE DES FIGURES

Chapitre II : Etude bibliographique

Figure II.1 :	La configuration géométrique de la cheminée solaire étudié par N.K Bansal et al.	20
Figure II.2 :	Dimensions de la cheminée solaire vitrée étudiée par G.Gan et S.B Riffat	21
Figure II.3 :	Sécheur solaire direct avec un circuit thermique étudiée par P. Gbaha et al.	21
Figure II.4 :	Conception de la cheminée solaire réalisée par Ramdan Bassiouny et Nader S.A.Korah	22
Figure II.5 :	Cheminée solaire inclinée étudiée par Ramdan Bassiouny et Nader S.A.Korah	23
Figure II.6 :	Schéma fonctionnel d'un sécheur thermique réalisé par J.K.Afriyie et al.	24
Figure II.7 :	Schéma de la cavité du test effectué par Guohui Gan	25
Figure II.8 :	Illustration de 3 types de cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle réalisée par Guohui Gan	26
Figure II.9 :	Effet de la largeur de la cavité sur le débit d'air et la température à la sortie de la cheminée du type 1 (flux de chaleur de l'absorbeur=300 W/m ²) réalisé par Guohui Gan	27
Figure II.10 :	Le prototype de la cheminée solaire avec modules PCM intégrés pour la ventilation naturelle réalisé par Kaneko et al.	28

LISTE DES FIGURES

Figure II.11 :	Vue de coupe de la cheminée avec PCM intégré réalisée par Kaneko et al.	28
Figure II.12 :	Schéma de la cheminée solaire à base de PCM pendant la journée étudiée par Lu et al.	29
Figure II.13 :	Schéma de la cheminée solaire associée au PCM : (a) mode fermé, (b) mode ouvert étudié par Liu et Li.	29
Figure II.14 :	Les sept Modèles de cheminée solaire étudiés par Somaye Asadi et al.	32

Chapitre III : Résolution numérique

Figure III.1 :	Schéma générale du domaine physique	34
Figure III.2 :	Génération de maillage pour un cas étudié	40
Figure III.3 :	La convergence des résidus	41
Figure III.4 :	La Procédure de résolution numérique	43

Chapitre IV : Résultats et discussion

Figure IV.1 :	Contours de vitesse et de température pour une cheminée de largeur de de 0.1 m et pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2	45
Figure IV.2 :	Contours de vitesse et de température pour une cheminée de largeur de 0.2 m et pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2	47
Figure IV.3 :	Contours de vitesse et de température pour une	48

LISTE DES FIGURES

	cheminée de largeur de 0.3 m et pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2	
Figure IV.4 :	Champ de vitesse de l'air pour une cheminée de largeur de 0.1 m et pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2	51
Figure IV.5 :	Champ de vitesse de l'air pour une cheminée de largeur de 0.2 m et pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2	52
Figure IV.6 :	Champ de vitesse de l'air pour une cheminée de largeur de 0.3 m et pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2	54
Figure IV.7 :	L'évolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité solaire pour différentes longueurs de cheminée (a)1m b)2m c)3m) et pour différentes largeurs (0.1m,0.2m,0.3m)	56
Figure IV.8 :	L'évolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de la vitesse d'entrée pour différentes longueurs de cheminée (a)0.1m b) 0.2m c)0.3m) et pour différentes largeurs (1m, 2m, 3m).	59
Figure IV.9 :	Temps de renouvellement d'air pour les 9 modèles	60

LISTE DES TABLEAUX

Liste des Tableaux :

Chapitre III : Résolution numérique

Tableau III.1 :	Schémas de discrétisation par fluent	40
Tableau III.2 :	Les conditions aux limites dans Gambit	42

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau IV.1 :	Evolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité solaire	54
Tableau IV.2 :	L'évolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de la vitesse d'entrée	57
Tableau IV.3 :	temps de renouvellement d'air pour les 9 modèles	60

SOMMAIRE

Introduction Générale	1	
Chapitre I : Généralités		
I.1	Introduction	3
I.2	Les centrales solaires à effet de cheminée	3
I.2.1	Définition	3
I.2.2	Principe de fonctionnement d'une centrale solaire à effet de cheminée	4
I.2.3	Avantages.	4
I.2.4	Inconvénients.	5
I.3	Le mur Trombe	5
I.4	Living Wall	5
I.5	Le confort thermique	6
I.5.1	Introduction	6
I.5.2	Paramètres affectant l'environnement thermique intérieur	6
I.5.3	Les facteurs qui influent sur le confort thermique	8
I.5.3.1	La température ambiante (ou de consigne)	8
I.5.3.2	La température des parois	8
I.5.3.3	Le mode chauffage	9
I.5.3.3.1	La production de la chaleur	9
I.5.3.3.2	L'humidité relative de l'air (hygrométrie)	9
I.5.3.4	L'occupant	10
I.6	La ventilation naturelle	10
I.6.1	Définition	10

SOMMAIRE

I.6.2	Les types de ventilation	11
I.6.2.1	La ventilation mécanique	11
I.6.2.2	La ventilation naturelle	11
I.6.2.3	Les systèmes mixtes de ventilation	12
I.6.3	Principe de la ventilation naturelle	12
I.6.3.1	Ventilation par ouverture des fenêtres	12
I.6.3.2	Ventilation traversante	12
I.6.3.3	Tirage thermique	12
I.6.4	Avantages et Inconvénients de la ventilation naturelle	13
I.6.4.1	Avantages	13
I.6.4.2	Inconvénients	13
I.7	Cheminées solaires (ou thermique)	14
I.7.1	Introduction	14
I.7.2	Description	15
I.7.3	Principe	15
I.7.4	Fonctionnement	16
I.7.5	La cheminée solaire et l'architecture durable	17

Chapitre II : Etude bibliographique

II.1	Introduction	20
II.2	Impact des sections d'entrée et sortie d'air sur la performance de la cheminée solaire	20
II.3	Cheminée solaire vitrée	21

SOMMAIRE

II.4	Sécheur solaire simple	21
II.5	Cheminée solaire verticale	22
II.6	Cheminée solaire inclinée	22
II.7	Sécheur solaire à toiture inclinée	23
II.8	Effet de l'inclinaison et de la largeur de la cheminée solaire sur ses performances thermiques	24
II.9	Cheminée solaire à double faces	25
II.10	Intégration de la Cheminée solaire dans un bâtiment	26
II.11	Effet de la largeur de la cheminée solaire sur le débit d'air, la vitesse moyenne et la température	26
II.12	Cheminée solaire avec matériau à changement de phase	27
II.13	Performance de la cheminée solaire	30
II.14	Comparaison du taux de ventilation de sept modèles de cheminée solaire	31
II.15	Facteurs influençant la performance de la cheminée solaire	33

Chapitre III : Résolution numérique

III.1	Introduction	34
III.2	Modèle physique	34
III.3	Les hypothèses simplificatrices	35
III.4	Les équations régissantes	35
III.4.1	La conservation de la masse	35
III.4.2	La conservation de la quantité de mouvement	35

SOMMAIRE

III.4.3	La conservation de l'énergie	35
III.5	Les modèles de turbulence	36
III.5.1	Modèle k- ϵ	36
III.6	La mécanique des fluides numérique CFD	36
III.7	La Méthode des volumes finis	37
III.8	Génération du maillage	38
III.8.1	Maillage structuré	38
III.8.2	Maillage non structuré	38
III.9	Schémas de discrétisation	40
III.10	La convergence	40
III.11	Le processeur GAMBIT	41
III.11.1	Etapas générales du travail sur gambit	42
III.11.2	Les conditions aux limites dans gambit	42
III.12	Le code Fluent	42
III.12.1	Etapas générales du travail sur FLUENT	42
III.12.2	Les conditions aux limites dans fluent	43
III.12.3	Procédure de résolution numérique	43

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1 :	Introduction	44
IV.2 :	Contours de vitesse et de température	44
IV.3 :	Champs de vitesse	49
IV.4	L'évolution de la température moyenne à la sortie en fonction	54

SOMMAIRE

	de l'intensité solaire	
IV.5	L'évolution de la température moyenne à la sortie en fonction de la vitesse d'entrée	56
IV.6	Temps de renouvellement d'air de la salle pour les 9 modèles	59
	Conclusion Générale	62

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'augmentation du prix de l'énergie a suscité l'intérêt d'utiliser des sources d'énergie gratuite et inépuisable comme le rayonnement solaire. Une moitié de la consommation d'énergie dans les bâtiments est liée à la climatisation.

Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence pour le comportement morale et physique de l'individu. Il est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs.

L'architecture traditionnelle a apporté des solutions liées aux problèmes d'adaptation climatique, mais actuellement l'architecture doit aussi répondre aux exigences de la vie moderne.

Les systèmes de refroidissement traditionnels doivent être révisés et améliorés pour pouvoir répondre de manière adéquate aux exigences du confort thermique dans les constructions actuelles.

Les techniques de refroidissement passives sont devenues plus attractive ces dernières années ce qui justifie leur exploitation sous différentes formes.

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

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.

Organisation du travail :

Cette étude comporte cinq chapitres :

1. Le premier chapitre présente des généralités sur le confort thermique, la ventilation naturelle et la cheminée solaire.
2. Le deuxième chapitre est réservé à une étude bibliographique sur la ventilation naturelle par la cheminée solaire.
3. Le troisième chapitre comporte une description du problème étudié.

INTRODUCTION GENERALE

4. Le quatrième chapitre englobe les interprétations et les résultats de simulation numérique de l'écoulement dans la configuration étudiée afin de bien comprendre des phénomènes qui régissent le transit d'air.

Enfin, notre étude est clôturée par une conclusion.

I.1 Introduction :

L'énergie solaire est disponible partout sur la planète avec des degrés diverse. Elle est entièrement renouvelable avec un apport variable, au gré des jours et des saisons. Le potentiel de l'énergie solaire de produire la chaleur et l'électricité à fournir pour nos économies modernes dans une série d'activités productives a été largement démontré.

I.2 Les centrales solaires à effet de cheminée :

I.2.1 définition :

La tour solaire à effet de cheminée est l'un des projets les plus ambitieux de la planète pour la production d'énergie alternative. C'est une usine d'énergie renouvelable qui pourrait fournir une puissance électrique importante (200 MW) tout en étant sûr et propre.

Son principal avantage est qu'elle peut fonctionner sans intermittence en utilisant le rayonnement du soleil le jour et la chaleur de la croûte terrestre la nuit.



Figure I.1 : Projet de tour solaire d'une hauteur de 1000 mètres. [1]

Une tour solaire, appelée également cheminée solaire, est une centrale à énergie renouvelable. Le colonel Isidoro Cabanyes en a conçu le premier prototype en 1903.

La première centrale à l'échelle a été construite en Espagne (Manzanares) par l'ingénieur allemand Jörg Schlaich en 1981.

L'ingénieur français Edgard Nazare (1914-1998) a proposé un modèle amélioré dans les années 1950 sous le terme « centrale aérothermique » ou « tour à vortex », et sous la forme d'une tour métallique confinant un cyclone artificiel par différence thermique dont la puissance était captée par des éoliennes encastrées en périphérie de la tour.

I.2.2 Principe de fonctionnement d'une centrale solaire à effet de cheminée :

La tour est creuse, ce n'est en fait qu'une cheminée. Placée tout autour de la cheminée centrale, une serre gigantesque est chauffée par le soleil.

Le fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève.

L'air s'engouffre sous la serre et est dirigé vers le haut par convection (au sommet de la tour, l'air est plus froid qu'au sol). Le déplacement de l'air permettant à des turbines situées à l'embouchure de la cheminée de produire de l'électricité.

Le système produit de l'électricité jour et nuit grâce à la chaleur résiduelle du sol et au différentiel permanent de température qui existe entre le sol et le point culminant de la tour.

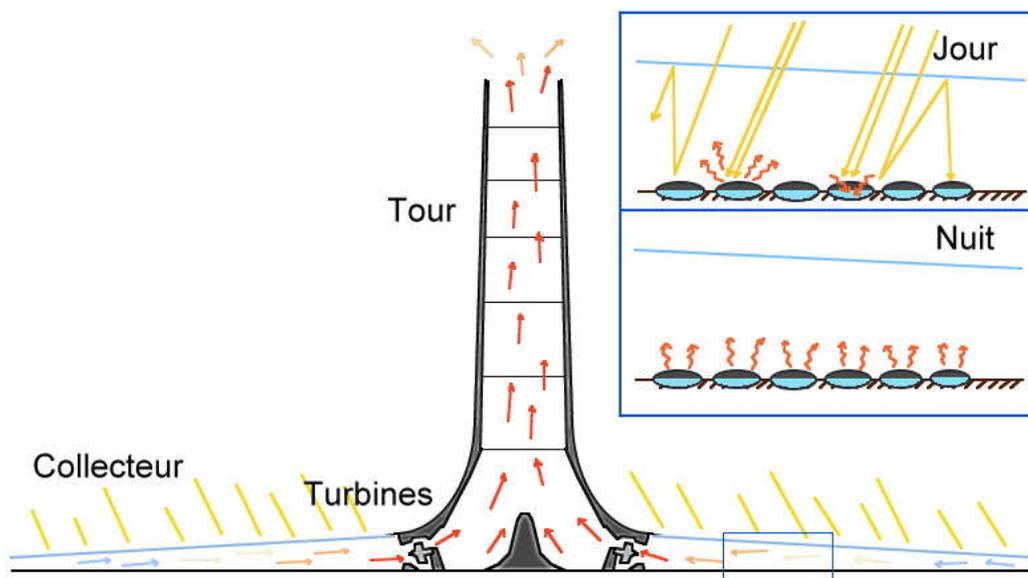


Figure I.2 : Fonctionnement d'une centrale solaire à effet de cheminée. [1]

I.2.3 Avantages :

- Source d'énergie inépuisable et gratuite ;
- Pas d'émission polluante ;
- Fonctionnement sans intermittence (jour et nuit) ;
- Mécanique simple, peu d'entretien nécessaire ;
- Impact visuel positif (certains y voient un symbole d'espoir, de vision à long terme).

I.2.4 Inconvénients :

- Investissement de départ
- Impact visuel négatif (certains y voient une dégradation du paysage). [1]

I.3 Le mur Trombe :

En 1881, l'ingénieur Felix Trombe et l'architecte Jacques Michel développent un mur capteur constitué d'un bloc de matériaux à forte inertie qui accumule l'énergie solaire durant la journée pour la restituer la nuit.

Un verre est placé en face de ce mur afin de créer un effet de serre pour réchauffer l'air circulant entre ces deux éléments.

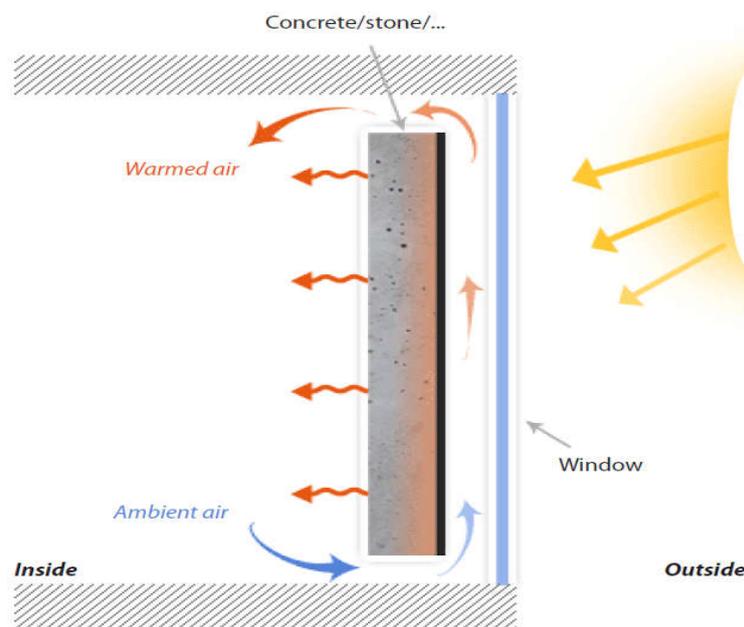


Figure I.3 : Mur Trombe. [2]

I.4 Living Wall :

Living Wall est un mur composé d'un absorbeur en bois constitué de petites lamelles ainsi que d'un verre. L'air circulant entre les deux est utilisé pour refroidir la paroi en été, tout comme l'eau qui s'écoule sur la paroi vitrée. En hiver, l'air sert cette fois-ci à réchauffer le bâtiment.

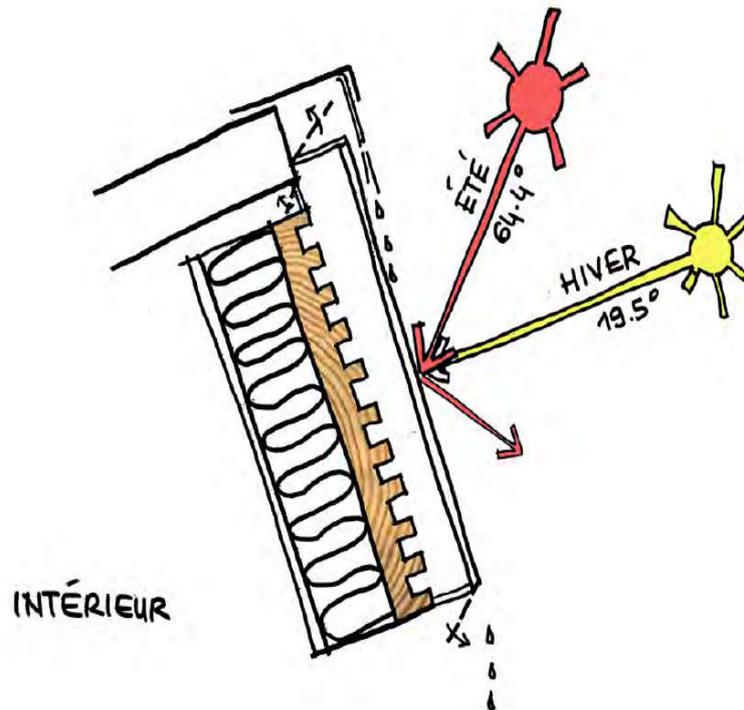


Figure I.4: Living Wall. [2]

Les lamelles sont orientées de telle sorte qu'en hiver la totalité du soleil soit captée par l'absorbeur. A l'inverse, en été, les lamelles se font de l'ombre les unes aux autres afin d'éviter une surchauffe. [2]

I.5 Le confort thermique :

I.5.1 Introduction :

Le confort thermique est perçu comme la satisfaction de la perception humaine par rapport à un environnement thermique. Il fait référence à un certain nombre de conditions dans lesquelles les personnes se sentent à l'aise. Selon plusieurs études, le confort thermique fait partie des conditions les plus importantes pour améliorer le confort et la satisfaction des occupants avec l'environnement intérieur.

I.5.2 Paramètres affectant l'environnement thermique intérieur :

L'échange de chaleur entre le corps humain et l'environnement se produit principalement de trois manières, par le biais de :

- la radiation
- la convection
- l'évaporation

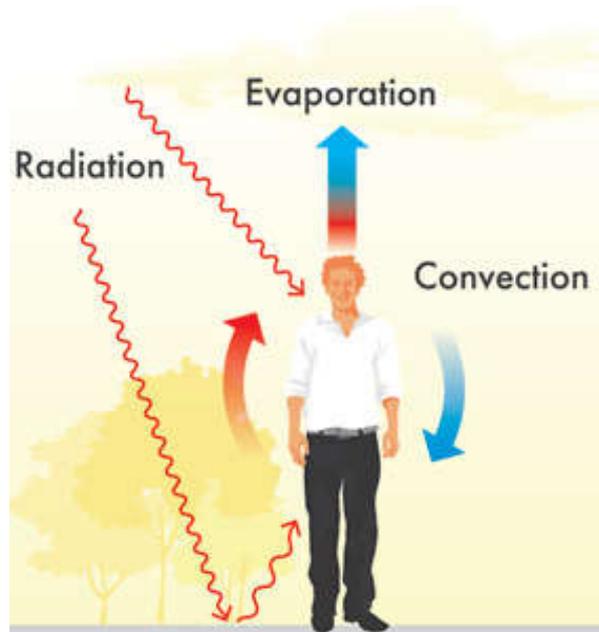


Figure I.5 : Echange de chaleur entre le corps humain et son environnement. [3]

L'environnement thermique intérieur est affecté par des sources internes et des sources externes.

Sources courantes de chaleur :

- les équipements électriques (comme l'éclairage ou les ordinateurs)
- les radiations du soleil
- la présence humaine

Sources courantes du froid :

- les surfaces vitrées
- les murs faiblement isolés
- les ponts thermiques dans les constructions

Toutes ces sources vont influencer la perception de l'homme pour l'environnement, ainsi que le niveau de confort.[3]

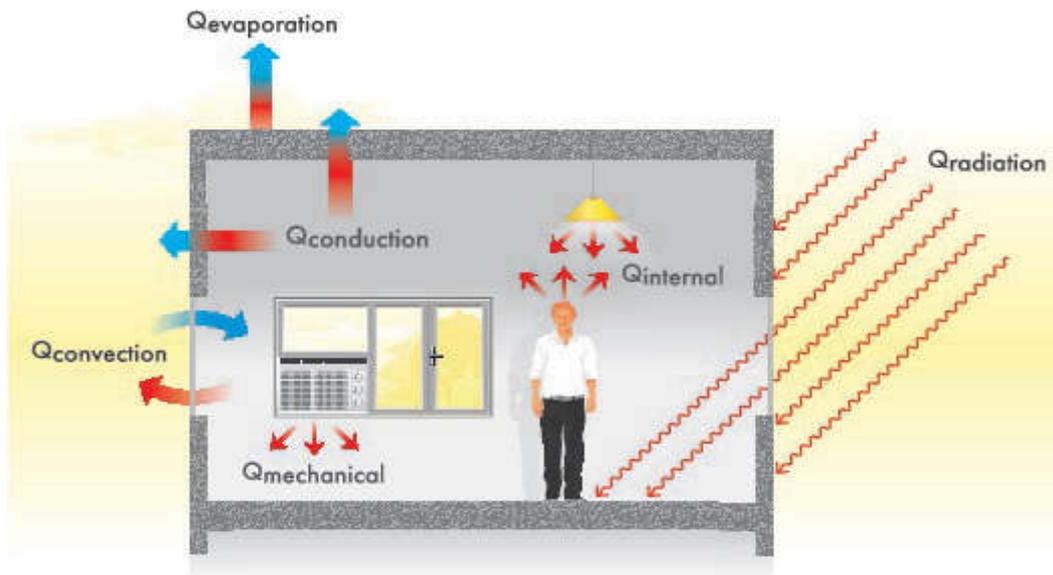


Figure I.6 : Les sources de chaleur et de froid. [3]

I.5.3 Les facteurs qui influent sur le confort thermique :

I.5.3.1 La température ambiante (ou de consigne) :

C'est le premier critère qui vient à l'esprit, qui même s'il est déterminant, n'est pas le seul. Pour obtenir un confort thermique satisfaisant, il faut paramétrer une température de consigne suffisante. On a l'habitude de dire que la température ambiante du confort se situe entre 19°C et 20°C.

I.5.3.2 La température des parois :

La température des parois a une grande influence sur la température ressentie. Pour calculer simplement la température ressentie, il faut faire la moyenne entre la température des parois et la température ambiante. Par exemple, pour une température d'ambiance de 20°C :

- Cas n°1 : Température de paroi de 16°C : la température ressentie sera de 18°C
- Cas n°2 : Température de paroi de 19°C : la température ressentie sera de 19,5°C

Pour une même température de consigne, le confort thermique sera insuffisant dans le cas 1 et satisfaisant dans le cas 2. Pour augmenter la température des parois, il convient d'isoler correctement le logement en limitant le plus possible les ponts thermiques.

I.5.3.3 Le mode chauffage :

I.5.3.3.1 La production de la chaleur :

Dans le cas d'un chauffage par convection, l'air en mouvement est utilisé pour transférer la chaleur du système de chauffage vers les occupants. De ce fait, l'air chaud remonte et l'air froid reste au niveau du sol. En conséquence, il se crée une stratification de l'air (plus chaud en haut qu'en bas) qui provoque un inconfort thermique (froid aux pieds).

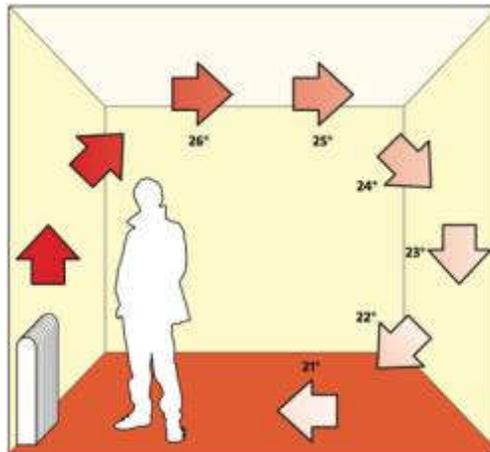


Figure I.7 : Mouvement de chaleur dans le cas d'un chauffage par convection. [4]

Dans le cas d'un chauffage par rayonnement, ce sont des ondes infrarouges qui sont utilisées pour transférer la chaleur du système de chauffage vers les occupants. Il y a peu de stratification de l'air et le confort thermique est meilleur.

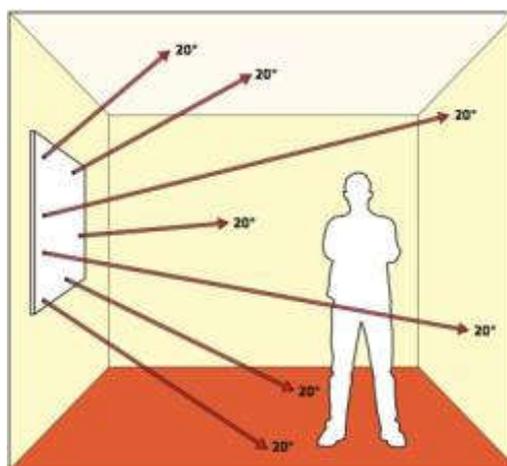


Figure I.8 : Transfert de chaleur dans le cas du chauffage par rayonnement. [4]

I.5.3.3.2 L'humidité relative de l'air (hygrométrie) :

Un taux d'humidité situé entre 40% et 60% permet un bon confort thermique. Avec un taux d'humidité élevé, on aura tendance à augmenter la température de consigne (sur

consommation d'énergie). A l'inverse, on aura tendance à diminuer la température de consigne dans un environnement plus sec mais il n'est pas recommandé de descendre en dessous de 40%.



Figure I.9 : Température de consigne et taux d'humidité.[4]

I.5.3.4 L'occupant :

En fonction de sa sensibilité, de son activité et de sa tenue, l'occupant va également avoir une influence sur le confort thermique. Plus l'occupant a une activité physique soutenue et plus il est habillé chaudement, plus la température de consigne pourra être faible. Porter des pulls en hiver est donc un bon moyen de faire des économies d'énergie. La sensibilité de chacun est également à prendre en compte. L'âge est une variable importante de ce ressenti. [4]

I.6 La ventilation naturelle :

I.6.1 Définition :

La ventilation est la solution la plus efficace pour lutter contre l'humidité due à la condensation à l'intérieur de l'habitation, particulièrement dans les pièces humides : salle de bain, toilettes, cuisine.

Elle peut être complétée par un absorbeur d'humidité lorsque cela est nécessaire ainsi que par un système de ventilation :

- Ventilation mécanique contrôlée (VMC simple flux ou double flux)
- Ventilation mécanique répartie ;
- Ventilation mécanique positive par surpression : plus adaptée en rénovation qu'une VMC double flux.
- Puits provençal : système efficace et écologique utilisant la géothermie. [5]

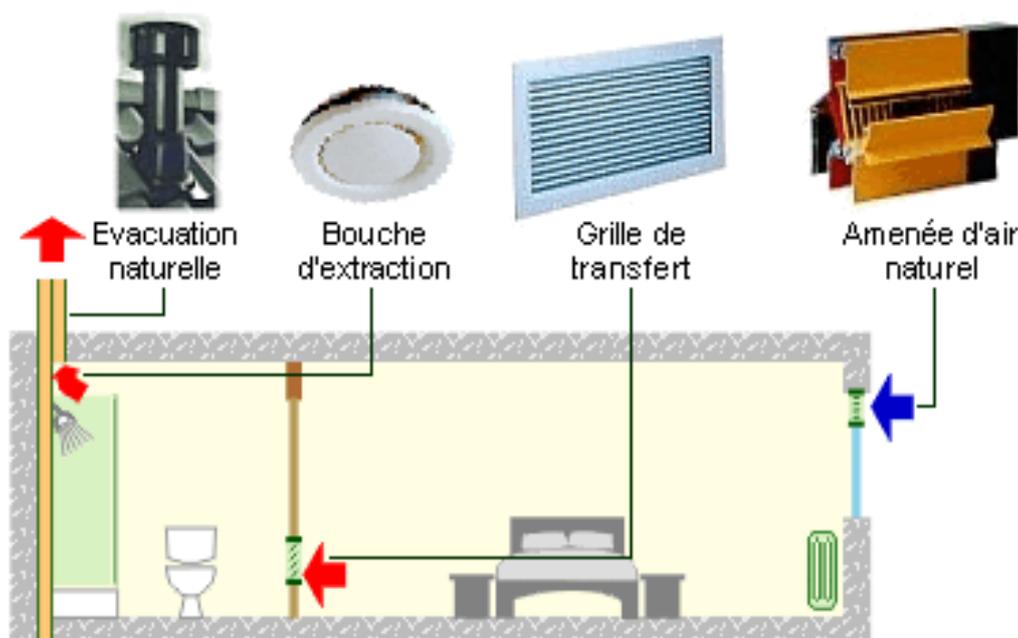


Figure I.10 : configuration de la ventilation naturelle.[6]

Pour renouveler l'air du logement, la ventilation naturelle par conduit exploite le tirage thermique ou encore le vent. On parle de ventilation hybride ou de ventilation naturelle hybride lorsqu'une assistance mécanique y est associée.

La ventilation naturelle, très répandue dans les logements collectifs et individuels avant 1975, a disparu des constructions neuves au début des années 1980 avec l'avènement de la ventilation mécanique contrôlée (VMC). [7]

I.6.2 Les types de ventilation :

I.6.2.1 La ventilation mécanique :

La ventilation mécanique consiste à recourir à des systèmes mécaniques pour apporter et extraire l'air des bâtiments. Elle permet d'affranchir des conditions climatiques.

I.6.2.2 La ventilation naturelle :

La ventilation naturelle est le flux passif intentionnelle de l'air extérieur dans un bâtiment par des ouvertures prévues (telles que les persiennes, les portes et les fenêtres).

La ventilation naturelle ne nécessite pas de systèmes mécaniques pour déplacer l'air extérieur, elle repose entièrement sur des phénomènes physiques passifs, tels que la pression du vent, ou l'effet de cheminée.

I.6.2.3 Les systèmes mixtes de ventilation :

Un système mixte utilise à la fois des procédés mécaniques et naturels. Les composants mécaniques et naturels peuvent être utilisés en conjonction avec l'autre ou séparément à différents moments de la journée ou de la saison de l'année. [8]

I.6.3 Principe de la ventilation naturelle :

La ventilation naturelle se base sur plusieurs principes simples et faciles à mettre en œuvre. Il s'agit en effet d'aérer le logement sans aide mécanique en se basant sur :

- L'ouverture des fenêtres ;
- Le tirage dû au vent : ventilation traversante ;
- Le tirage thermique.

I.6.3.1 Ventilation par ouverture des fenêtres :

Ouvrir ses fenêtres est le geste le plus simple pour ventiler. Ce fût d'ailleurs longtemps le seul moyen de ventiler les logements.

Il est ainsi essentiel d'aérer les maisons tous les jours, même l'hiver où il est conseillé d'ouvrir les fenêtres cinq minutes par pièces mais plusieurs fois dans la journée, afin de limiter les déperditions thermiques.

I.6.3.2 Ventilation traversante :

La ventilation traversante tire parti du vent :

- Des entrées d'air sont placées face au vent dominant.
- Des sorties d'air sont installées à l'opposé.
- Le vent engendre une pression qui fait entrer l'air frais extérieur d'un côté.
- Le vent engendre également une dépression qui va chasser l'air chaud et vicié de l'autre côté.

La ventilation traversante entraîne ainsi un courant d'air qui renouvelle l'air du logement.

I.6.3.3 Tirage thermique :

Le principe de la ventilation naturelle par tirage thermique est simple :

- L'air humide est plus léger que l'air sec donc il monte.
- L'air froid le remplace puis se réchauffe à son tour, etc.

La ventilation naturelle par tirage thermique se fait par l'installation de grilles d'aération hautes et basses :

- Des entrées d'air sont installées en bas des murs pour laisser entrer l'air frais de l'extérieur.
- Des bouches reliées à un conduit vertical évacuent l'air chaud par le toit. [9]

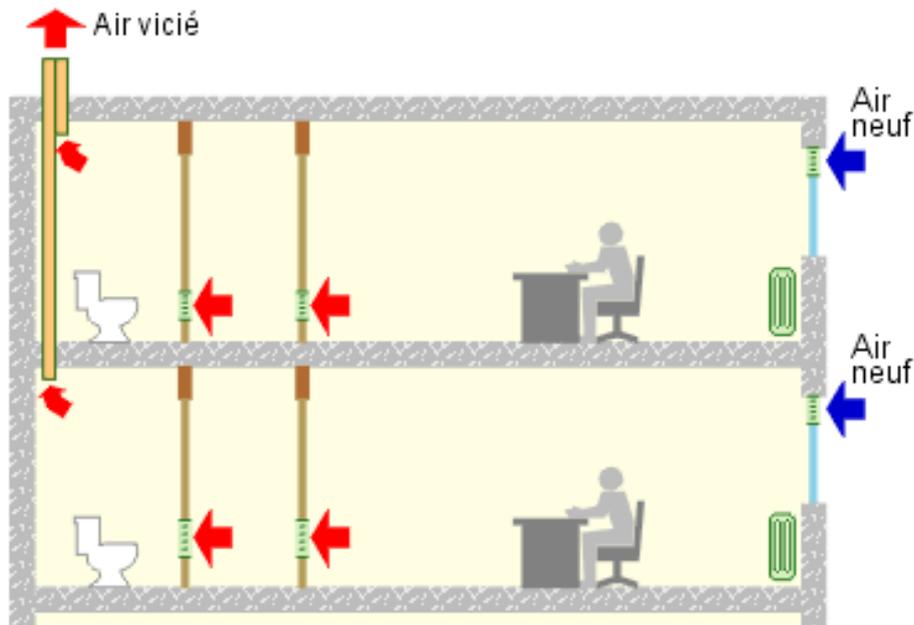


Figure I.11 : Grilles de ventilation. [10]

I.6.4 Avantages et Inconvénients de la ventilation naturelle :

I.6.4.1 Avantages :

- La ventilation entièrement naturelle ne demande aucune consommation électrique, le moteur du déplacement d'air étant la pression du vent et les différences de température.
- Elle est en ce sens économique et réduit l'impact du bâtiment sur l'environnement.

I.6.4.2 Inconvénients :

Cette apparente économie d'énergie doit être mise en balance avec la garantie de performance que l'on peut obtenir avec un tel mode de ventilation. En effet, la ventilation naturelle étant liée aux phénomènes naturels de mouvement de l'air, la qualité de l'air risque de ne pas être garantie dans tous les locaux. Le renouvellement d'air peut être fortement perturbé par le vent, par l'ouverture de fenêtres... Les débits d'air recommandés par les normes

sont ainsi difficilement atteignables sur la durée et la ventilation naturelle n'est jamais privilégiée lors d'une nouvelle construction.

Pour garantir un bon fonctionnement d'une évacuation naturelle, celle-ci doit consister en un conduit vertical débouchant correctement en toiture. Si cette condition, parfois difficile à mettre en œuvre, ne peut être remplie, l'évacuation naturelle doit être abandonnée.

Comme pour la ventilation simple flux (extraction mécanique) :

- L'air neuf n'est pas filtré et les grilles d'amenée d'air peuvent laisser filtrer les bruits extérieurs, ce qui peut être délicat en site urbain ou fortement pollué.
- Les grilles d'ouvertures peuvent engendrer un inconfort, par exemple en plein hiver, sauf si la grille d'ouverture est placée à une hauteur supérieure à 1,80 m par rapport au sol.

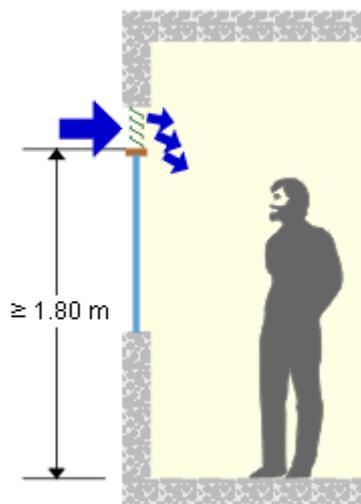


Figure I.12 : Emplacement de la grille d'ouverture. [10]

Les ouvertures entre locaux, favorisent le passage du bruit pouvant être très gênants.

Enfin, les ouvertures dans les façades ne sont pas toujours du goût des architectes.[10]

I.7 Cheminées solaires (ou thermique) :

I.7.1 Introduction :

Une cheminée solaire - appelé également cheminée provençale ou cheminée thermique - est un dispositif permettant d'améliorer la ventilation naturelle d'un bâtiment en utilisant le

mouvement convectif de l'air chauffé passivement dans un conduit exposé au rayonnement solaire.

I.7.2 Description :

Dans sa plus simple forme, la cheminée solaire est constituée d'une cheminée peinte en noir. Pendant le jour, l'énergie solaire réchauffe le conduit de la cheminée et l'air contenu à l'intérieur, y créant un appel d'air. L'aspiration ainsi créée à sa base peut être utilisée pour ventiler et refroidir le bâtiment en dessous.

Les cheminées solaires se déclinent en plusieurs genres. Les éléments de base d'une cheminée solaires sont :

1-La surface du capteur solaire : Elle peut être située dans la partie supérieure du conduit de cheminée ou peut être le tube tout entier. L'orientation, le type de vitrage, l'isolation et les propriétés thermiques du tube sont cruciaux pour exploiter, retenir et utiliser les gains solaires.

2-Le puits de ventilation principal : le lieu, la hauteur, les sections et les propriétés thermiques de cette structure sont également très importants.

3-Les entrées et sorties d'air : leurs dimensions, leur emplacement, aussi bien que leur aspect aérodynamique sont aussi cruciaux.

I.7.3 principe :

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.



Figure I.13 : Cheminées solaire de l'immeuble Michelin à Bordeaux. [11]

I.7.4 Fonctionnement :

Le fonctionnement de la cheminée de ventilation naturelle assisté par un système solaire est le suivant :

1. L'air frais entrant dans les salles de classe à travers des murs est préchauffé derrière les radiateurs. L'air des salles de classe est extrait vers les axes principaux d'extraction.
2. L'air monte dans les axes d'extraction grâce à l'effet de cheminée
3. L'air entre dans la cheminée solaire
4. L'air est chauffé dans des collecteurs solaires d'air qui augmentent l'effet de cheminée
5. L'air est évacué par le haut des cheminées solaires.

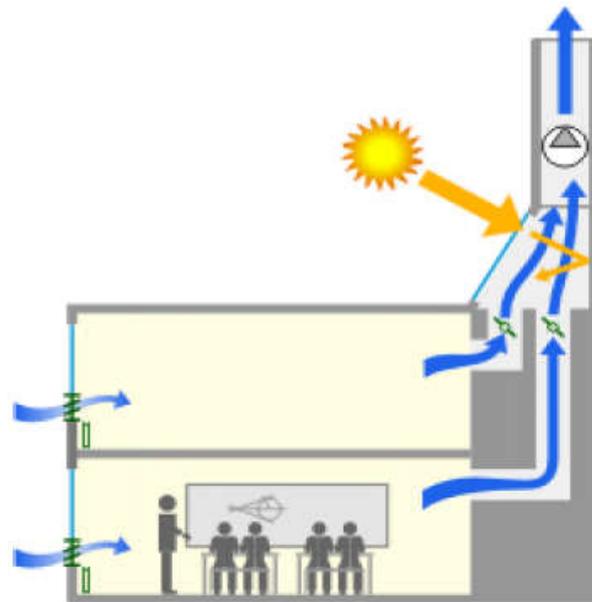


Figure I.14 : Fonctionnement du système. [11]

Les images montrent l'intérieur d'une des cheminées solaires. À l'intérieur du vitrage il y a également des plats absorbeurs réalisés en tôles d'aciers ondulés. [11]

I.7.5 La cheminée solaire et l'architecture durable :

L'air climatisé et la ventilation mécanique sont 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.

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.

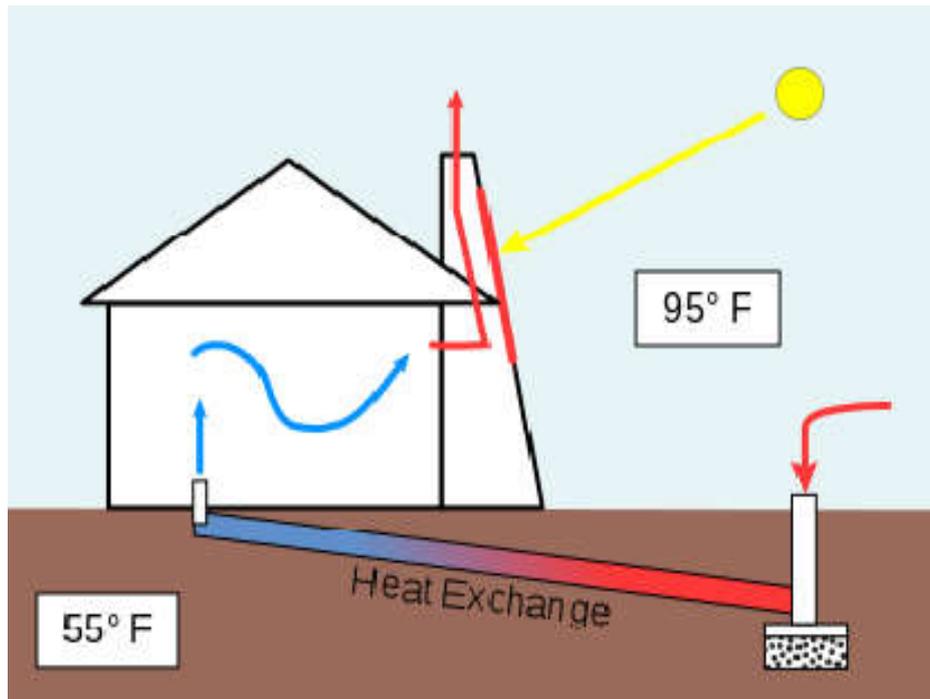


Figure I.15 : La cheminée solaire aspire l'air d'un puits provençal pour rafraîchir passivement une habitation. [12]

Une ventilation naturelle peut être créée en mettant des bouches d'aération dans les étages supérieurs d'un bâtiment pour permettre à l'air chaud de s'élever par convection et de sortir. En même temps, de l'air plus frais peut être introduit provenant d'autres bouches aux étages inférieurs. Des arbres peuvent être plantés de ce côté du bâtiment pour que l'ombre rafraîchisse l'air entrant extérieur.

Ce processus de ventilation naturel peut être amélioré par une cheminée solaire. Le conduit de cheminée doit être plus élevé que le haut du toit, et doit être construit contre le mur faisant face au soleil. L'absorption de la chaleur peut être augmentée par une surface vitrée du côté exposé au soleil. Un matériau absorbant la chaleur peut être mis sur le côté opposé. La taille de la surface absorbant la chaleur est plus importante que le diamètre du conduit de cheminée. Une grande surface permet un échange de chaleur plus efficace avec l'air, nécessaire pour le réchauffement par rayonnement solaire. Le réchauffement de l'air dans la cheminée améliore la convection, et de fait le flux d'air dans le conduit. La bouche de la cheminée doit être du côté opposé au vent dominant.

La cheminée solaire peut être améliorée en étant intégrée à un mur Trombe. L'avantage de cette conception est que le système peut être inversé durant la saison froide, fournissant à la place du chauffage solaire et de la géothermie basse énergie.

L'utilisation d'une cheminée solaire permet de bénéficier d'une ventilation et d'un rafraîchissement passif des bâtiments réduisant donc la consommation d'énergie, les émissions de CO₂ et la pollution en général. Les avantages potentiels de la cheminée solaire concernant la ventilation naturelle sont les suivants :

- Taux de ventilation amélioré les jours de canicule sans vent ;
- Dépendance du vent réduite pour la ventilation ;
- Contrôle du flux d'air amélioré dans un bâtiment ;
- Plus grande liberté de prise d'air (par exemple, côté sous le vent d'un bâtiment) ;
- Qualité d'air améliorée et niveau de bruit réduit dans un environnement urbain ;
- Taux de ventilation accru en période nocturne ;
- Permet la ventilation de petit espace étroit avec un minimum d'exposition aux éléments extérieurs.

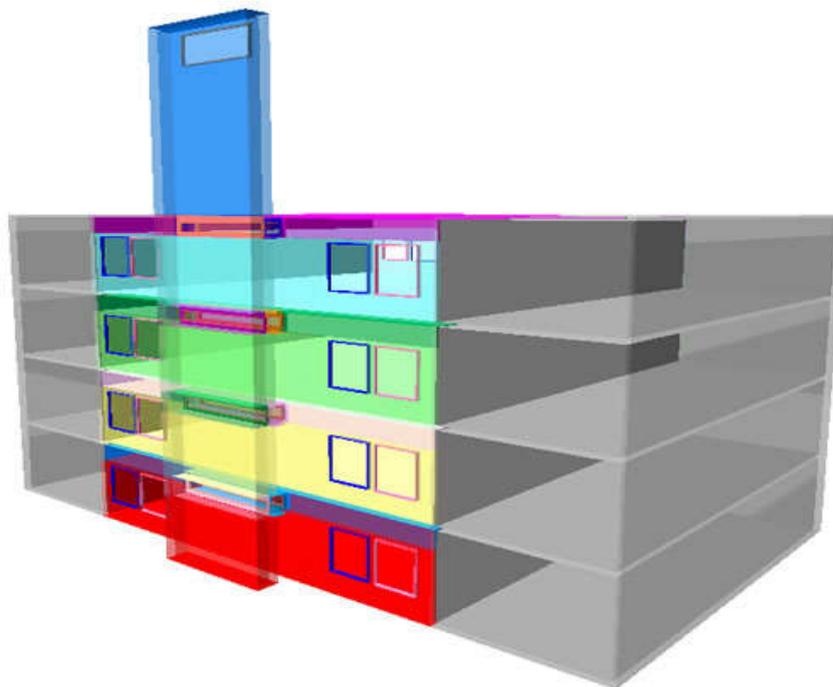


Figure I.16 : Modélisation de cheminée solaire CAO (TAS). [12]

Les avantages potentiels de la cheminée solaire concernant le rafraîchissement passif peuvent comprendre :

- Une amélioration du rafraîchissement pendant la saison chaude (principalement lors de période caniculaire et sans vent) ;
- Une amélioration du confort thermique (amélioration du contrôle du flux d'air, limitant les courants d'air). [12]

II.1 Introduction :

L'air climatisé et la ventilation mécanique sont 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 l'un des concepts actuels étudiés aussi bien par les scientifiques que par des ingénieurs, principalement au travers de la recherche et de l'expérimentation.

II.2 Impact des sections d'entrée et sortie d'air sur la performance de la cheminée solaire :

L'impact des sections d'entrée et sortie de la cheminée solaire sur son comportement thermique a été étudié par N. K. Bansal et al.[13] en 1993, ils ont conclu que, pour une section de captage du capteur de 2.24 m^2 , le débit d'air évacuée par heure été de $140 \text{ m}^3/\text{hr}$ et $330 \text{ m}^3/\text{hr}$ pour un rayonnement solaire de $200 \text{ W}/\text{m}^2$ et $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, respectivement.

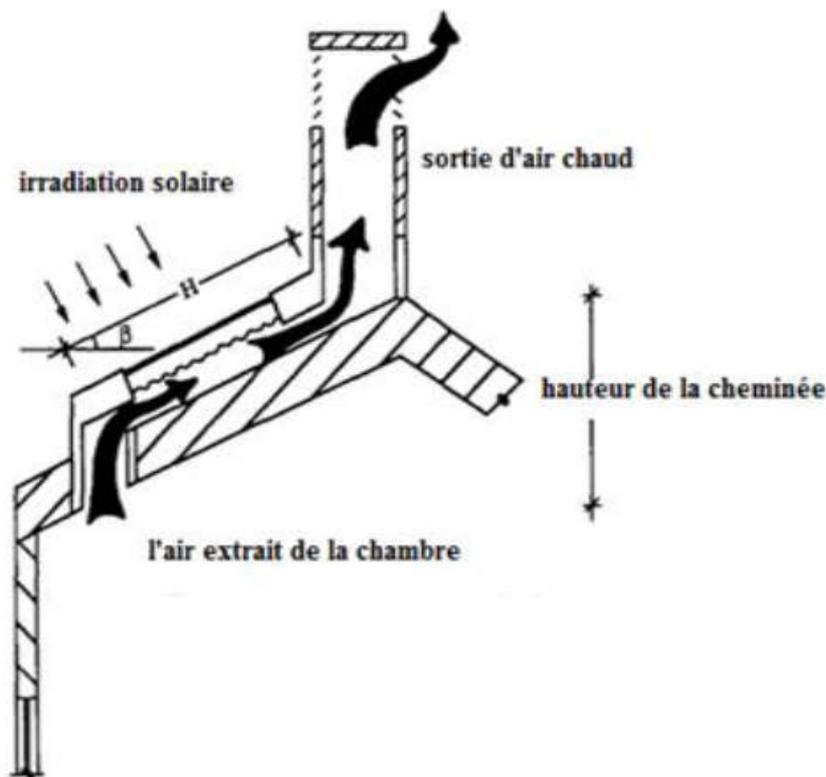


Figure II.1 : La configuration géométrique de la cheminée solaire étudié par N.K Bansal et al.[13]

II.3 Cheminée solaire vitrée :

L'utilisation des cheminées solaires avec simple ou double vitrage a posé certain problème. Pour y remédier, G. GAN et S.B Riffat [14] ont fait des études en 1998 et ils ont démontré que le triple vitrage peut réduire les risques de condensation et de courant d'air descendant possible en hiver froid. La récupération de chaleur dans la cheminée solaire en utilisant les caloducs fait Baisser la pression mais diminue la flottabilité thermique réduisant par conséquent les taux de ventilation.

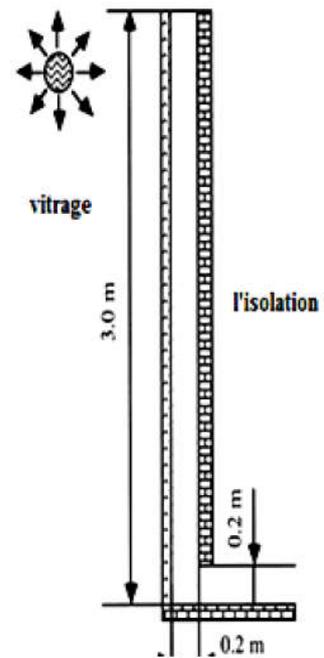


Figure II.2 : Dimensions de la cheminée solaire vitrée étudiée par G.Gan et S.B Riffat.[14]

II.4 Sécheur solaire simple :

Une étude expérimentale d'un sécheur solaire simple dont le principe de fonctionnement est basé sur la convection naturelle, a été effectuée par P. Gbaha et al. [15]. Ils ont découvert que le processus de séchage d'air était influencé par certains paramètres tels que la température et le débit d'air.

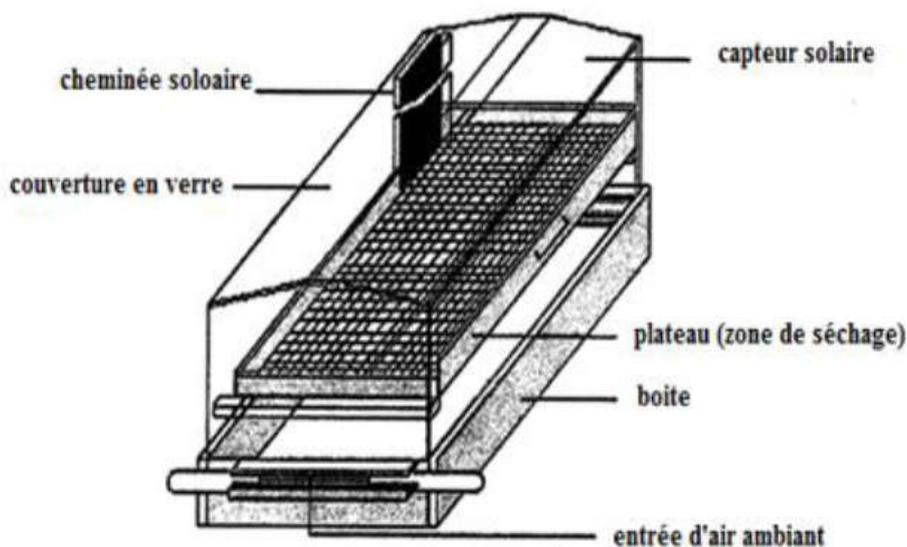


Figure II.3 : Sécheur solaire direct avec un circuit thermique étudiée par P. Gbaha et al.[15]

II.5 Cheminée solaire verticale :

La conception de la cheminée solaire a été étudiée en 2008 par Ramadan Bassiouny et Nader S.A. Korah [16]. Ils ont découvert que la modification de la largeur de la cheminée a une influence très importante sur l'ACH (renouvellement d'air par heure) par rapport au changement de la section d'entrée.

Cette étude a enregistré une amélioration de presque 11% quand la section d'entrée est augmentée trois fois. Cependant, en gardant la section d'entrée fixée et en ne modifiant que la largeur de la cheminée par facteur de trois, une amélioration de l'ACH de 25% est obtenue.

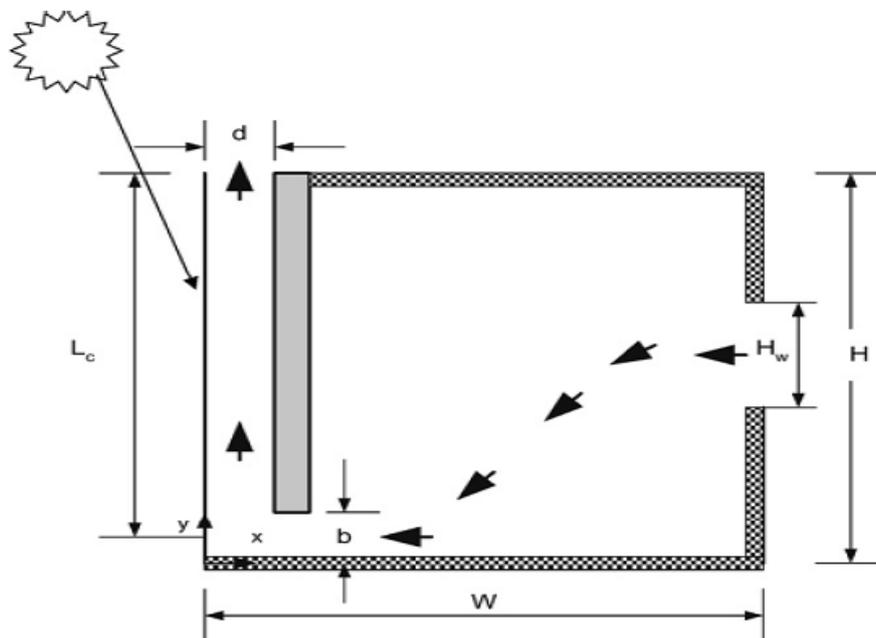


Figure II.4 : Conception de la cheminée solaire réalisée par Ramdan Bassiouny et Nader S.A.Korah.[16]

II.6 Cheminée solaire inclinée :

Une autre étude a été effectuée par Ramadan Bassiouny et Nader S.A. Korah [17] pour connaître l'impact de l'inclinaison de la cheminée solaire sur son comportement thermique.

Ils ont constaté qu'un angle optimal d'inclinaison située entre 45° et 75° pour une latitude de 28.4° améliore considérablement le taux de ventilation et le débit d'air qui traverse la cheminée.

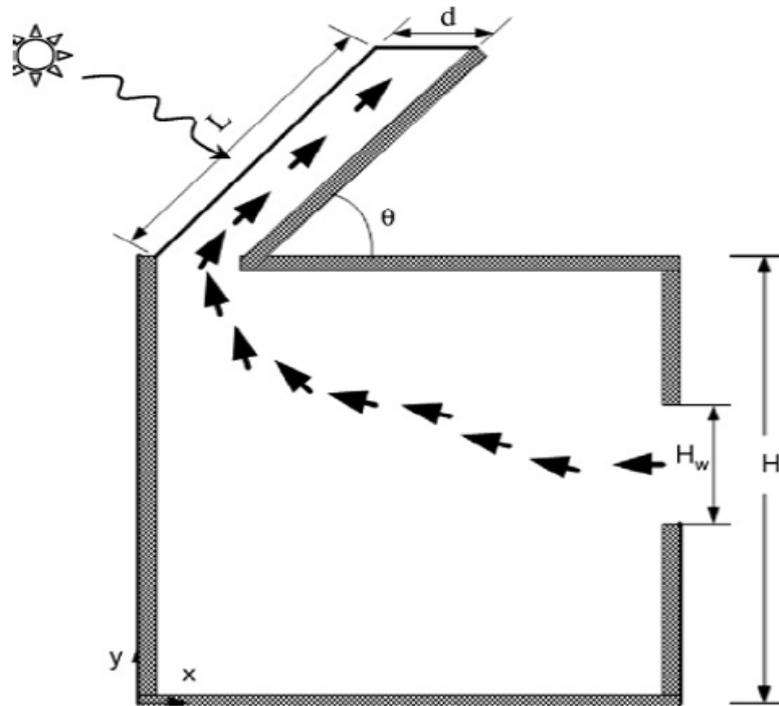


Figure II.5 : Cheminée solaire inclinée étudiée par Ramdan Bassiouny et Nader S.A.Korah.[17]

II.7 Sécheur solaire à toiture inclinée :

Le sécheur solaire à toiture inclinée a été le sujet d'étude de J.K. Afriyie et al. [18] pour déterminer l'impact de l'inclinaison de la toiture de la chambre ainsi que les dimensions de la cheminée sur le processus de séchage.

Dans les régions géographiques situées loin de l'équateur, les deux paramètres cités auparavant à savoir l'inclinaison du toit ainsi que la taille de cheminée sont des points critiques lors de la conception d'un séchoir solaire.

Pour les régions géographiques situées près de l'équateur, la taille de la chambre de séchage et le rapport section de l'absorbeur/ section transversale de la cheminée sont très importants.

Pour résumer il est favorable d'utiliser Une grande chambre de séchage avec une cheminée solaire étroite près de l'équateur alors qu'il est préférable d'utiliser une petite chambre de séchage avec une haute cheminée solaire loin de l'équateur.

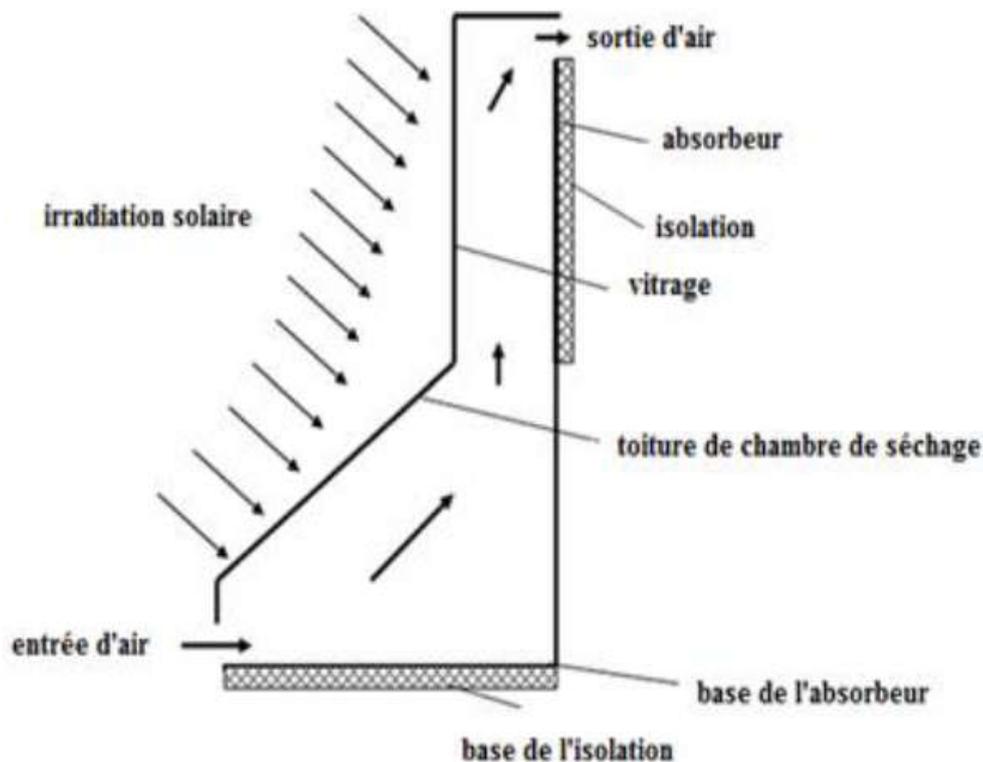


Figure II.6 : Schéma fonctionnel d'un sécheur thermique réalisé par J.K.Afriyie et al.[18]

II.8 Effet de l'inclinaison et de la largeur de la cheminée solaire sur ses performances thermiques :

Une étude expérimentale et numérique a été menée par Saifi Nadia et al. [19] pour une cheminée solaire inclinée. Les auteurs ont effectué des tests en changeant l'inclinaison de la cheminée (30° et 45°) et aussi l'épaisseur de la lame d'air située entre l'absorbeur et la vitre ($e=10\text{cm}$, 20cm et 30cm), cette étude a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le gradient de température entre l'absorbeur et la vitre varie en fonction du flux solaire incident.
- La conception adoptée a permis d'obtenir des débits d'air assez élevés à la sortie, favorable pour les exploiter dans la ventilation naturelle.

Les simulations numériques ont permis de déterminer les profils de température et de vitesse à l'intérieur de la cheminée solaire, elles sont effectuées pour les nombres de Rayleigh $Ra=10^9$ et pour différentes positions de la cheminée. En se basant sur les approximations de Boussinesq. Les résultats principaux se résument dans :

- La variation de l'épaisseur de la lame d'air (largeur de la cheminée) joue un rôle très important et augmente significativement le débit volumique de l'air.

- Pour qu'un captage thermique soit optimal, il faut que la valeur de l'angle d'inclinaison soit de 45° .

II.9 Cheminée solaire à double faces :

Dans le but de prévoir la circulation d'air turbulente et le transfert de chaleur dans une cavité ouverte comportant les cheminées solaires à doubles faces Guohui Gan [20] a utilisé un model CFD dont les résultats ont été vérifiées par une étude expérimentale pour la ventilation naturelle des bâtiments.

L'auteur a conclu que les résultats des simulations numériques ainsi que ceux de l'étude expérimentale concordaient bien, l'étude portait aussi sur l'effet de la largeur des cheminées solaires à doubles faces sur le taux de ventilation.

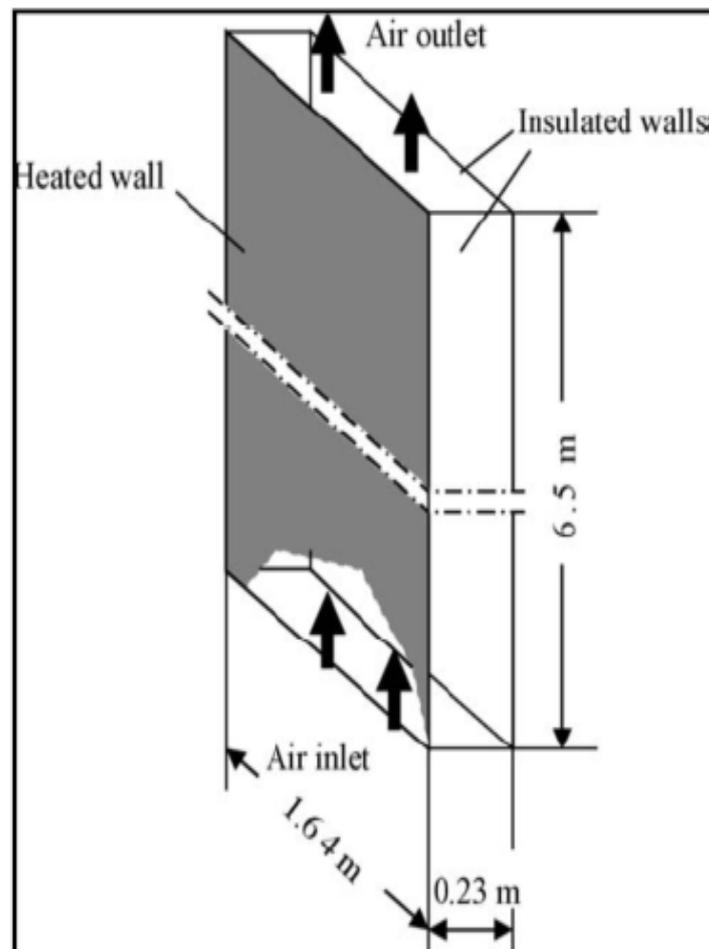


Figure II.7 : Schéma de la cavité du test effectuée par Guohui Gan.[20]

II.10 Intégration de la Cheminée solaire dans un bâtiment :

Il y'a trois façons pour intégrer une cheminée solaire dans un bâtiment, la 1ère est une cheminée dans la partie supérieure avec une ouverture horizontale, la 2ème cheminée a un orifice vertical au fond de la paroi de stockage, le 3ème type comporte un orifice vertical au fond du vitrage.

Dans les trois cas le mur de stockage n'a pas la même hauteur et la largeur de la cheminée varie de 0,2m à 0,8m.

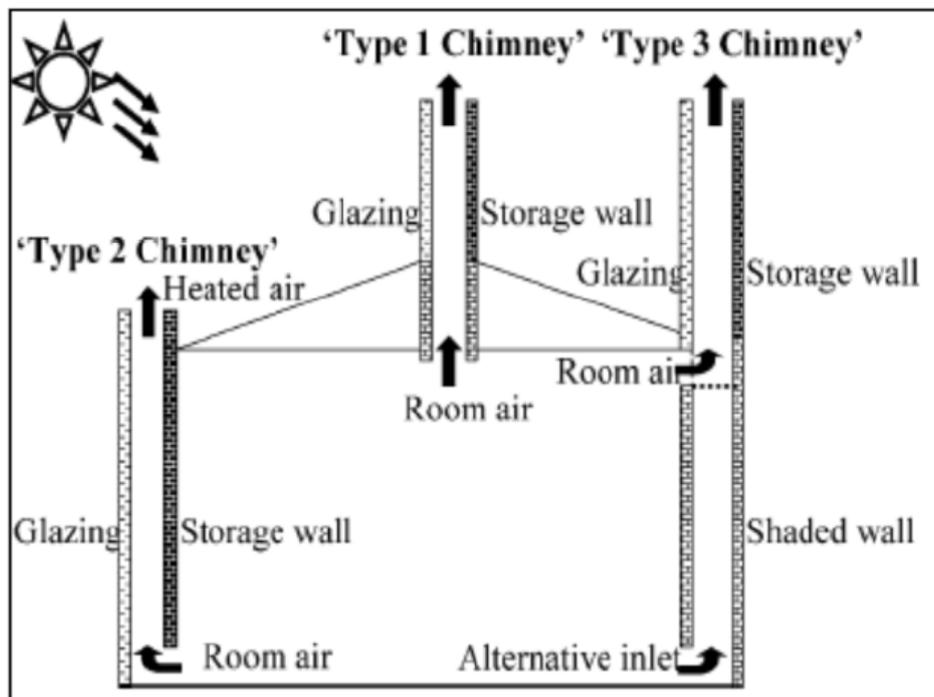


Figure II.8 : Illustration de 3 types de cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle réalisée par Guohui Gan.[20]

II.11 Effet de la largeur de la cheminée solaire sur le débit d'air, la vitesse moyenne et la température :

Guohui Gan [20] a effectué des simulations pour deux puissances de captage de 100 et 300 W/m². Il a remarqué que plus il augmente la largeur de la cavité plus le débit d'air augmente jusqu'à arriver à une largeur optimale ou le taux de ventilation atteint sa valeur maximale.

Pour une cheminée de 6 m de haut avec une sortie horizontale, il a enregistré une largeur optimale d'environ 0,55 m, tandis que pour une cheminée de 2m de hauteur, la largeur optimale est située entre 0,2 m et 0.3 m donc il a conclu que la largeur optimale varie selon la

hauteur de la cheminée, car l'épaisseur de la couche limite de vitesse augmente avec la hauteur.

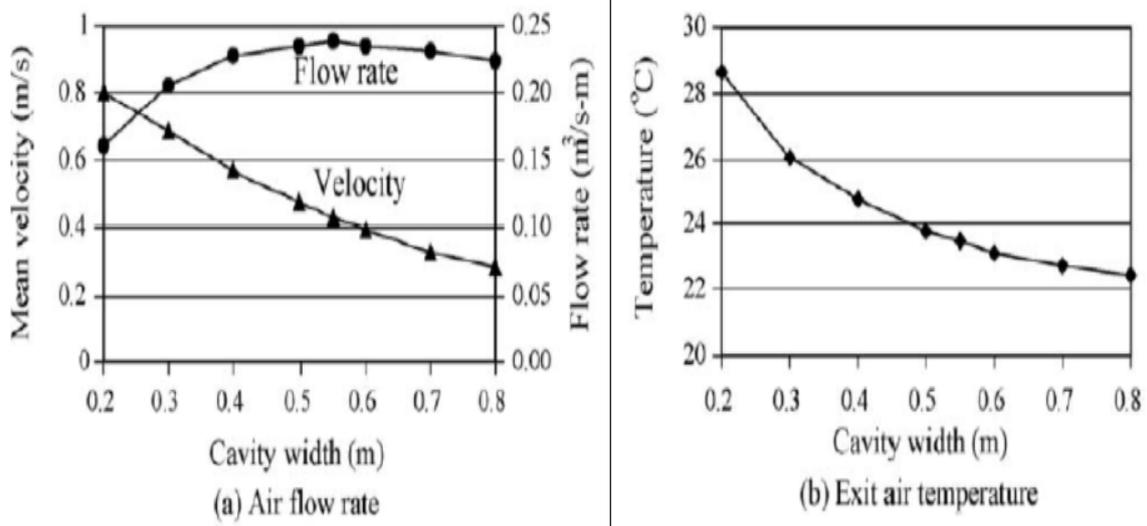


Figure II.9 : effet de la largeur de la cavité sur le débit d'air et la température à la sortie de la cheminée du type 1 (flux de chaleur de l'absorbeur=300 W/m²) réalisé par Guohui Gan.[20]

Contrairement au débit, plus la largeur de la cavité est grande plus la vitesse moyenne diminue. Il a été noté aussi une baisse de température à la sortie avec la croissance de la largeur de la cavité.

II.12 Cheminée solaire avec matériau à changement de phase :

Autres chercheurs tel que : Kaneko et al.[21], Sharma et al. [22], Li et Liu [23], Liu et Li [24], Lu et al. [25], et Li et al. [26] ont été intéressés par l'incorporation d'un matériau à changement de phase (PCM) dans leur étude sur la cheminée solaire.

En général, les résultats d'une cheminée solaire utilisant un matériau à changement de phase montrent que la variation de température du PCM et de l'air dans la cheminée ont été disponibles pour la ventilation naturelle en soirée et de nuit.

Les résultats ont également montré que la température du matériau à changement de phase du PCM affecte considérablement les performances thermiques d'une cheminée solaire. Par conséquent, il y a un besoin pour plus d'études axées sur l'allongement de la durée de fonctionnement de la cheminée solaire, soit par le biais d'un mur ou un autre matériau à changement de phase.

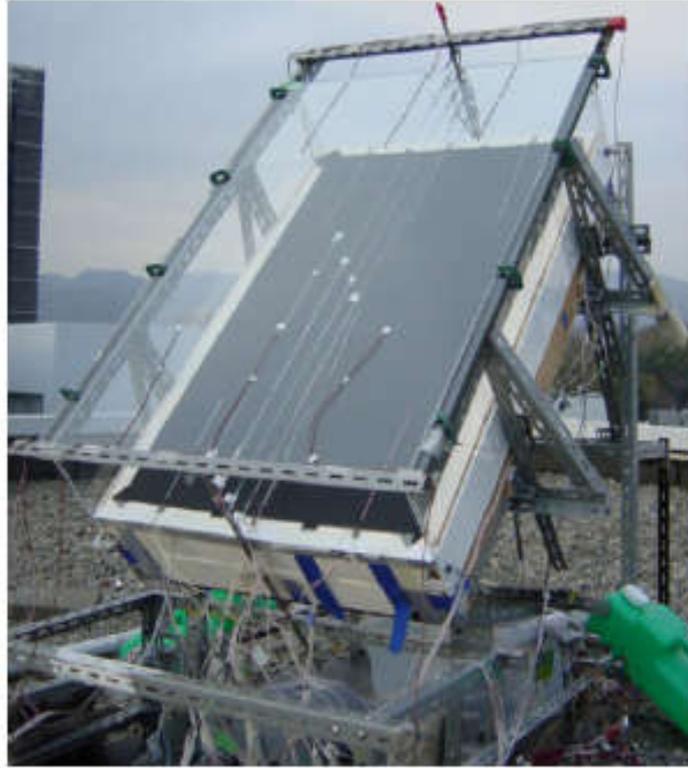


Figure II.10 : Le prototype de la cheminée solaire avec modules PCM intégrés pour la ventilation naturelle réalisé par Kaneko et al.[21]

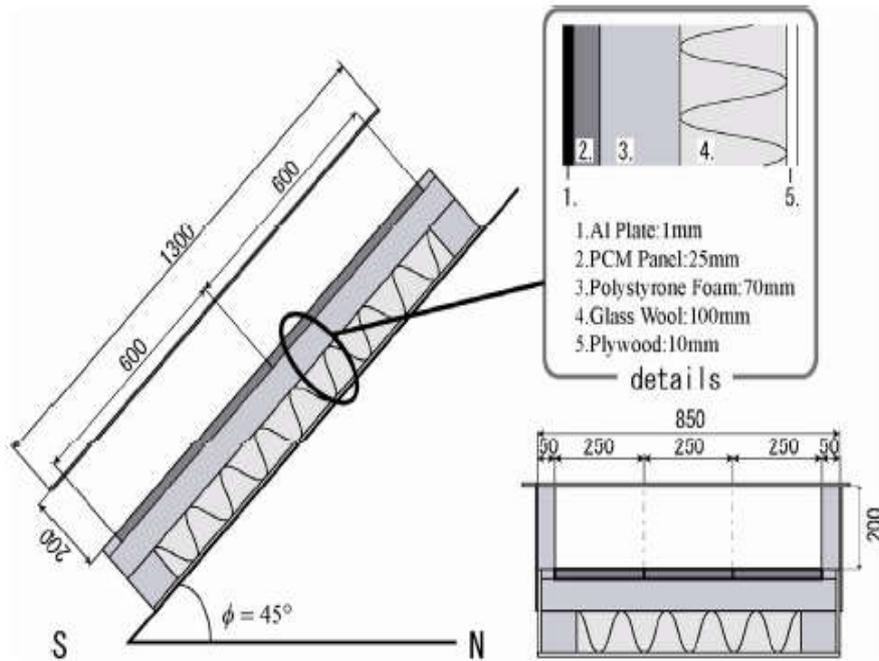


Figure II.11 : Vue de coupe de la cheminée avec PCM intégré réalisée par Kaneko et al.[21]

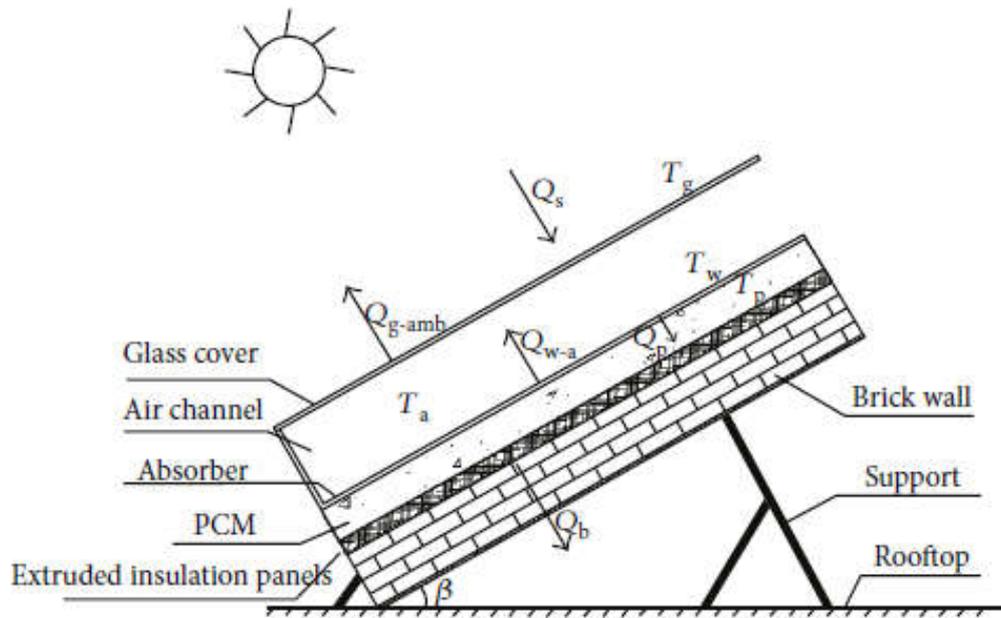


Figure II.12 : Schéma de la cheminée solaire à base de PCM pendant la journée étudiée par Lu et al.[25]

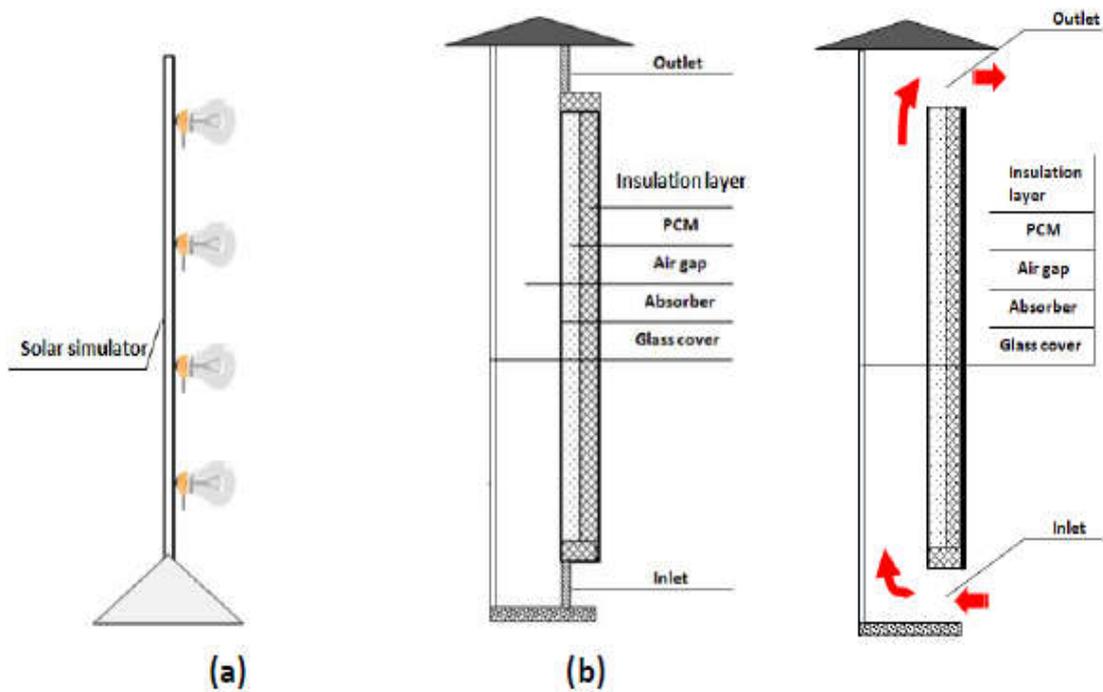


Figure II.13 : Schéma de la cheminée solaire associée au PCM: (a) mode fermé,(b) mode ouvert étudié par Liu et Li.[24]

L'utilisation de la cheminée solaire pour induire une ventilation naturelle a été étudié expérimentalement et numériquement par Karima et Saif [27]. Les conclusions suivantes ont été extraite :

- 1) La position de l'ouverture d'entrée affecte la performance de la cheminée. La cheminée solaire munie d'une entrée latérale présente une meilleure performance thermique.
- 2) La performance thermique de la cheminée solaire diminue lorsque les deux portes d'entrée d'air sont ouvertes. La température maximale atteinte à la sortie de la cheminée une valeur de 61°C dans le cas de l'entrée du fond est ouverte alors qu'il faisait 52 ° C quand les portes du bas et du côté sont ouvertes.
- 3) La performance de la cheminée inclinée présente des meilleures performances que celle de la cheminée verticale car le rayonnement solaire incident sur l'incliné est plus que celui de la verticale. En outre, le rayonnement solaire mesuré pour la cheminée solaire inclinée était de 760 W / m² à midi le 25-9-2010 contre 650 W/m² pour la cheminée solaire vertical à midi le 22-9-2010.
- 4) Le Matériau à changement de phase (PCM) modifie les performances thermiques de la cheminée et prolonge les heures de ventilation après l'absence de l'énergie solaire ou pendant la nuit (en déchargeant l'énergie de stockage). Quantitativement l'énergie stockée était (5016 W) de 8h00 à 13h00PM (charge d'énergie prolongée pendant 5 h) et énergie déchargée était (4954,4 W) de 13h00 à 22h00 (le long de 9 h).
- 5) La contribution du PCM pour stocker et décharger l'énergie dans la cheminée solaire intégrée au PCM est de 100%.

II.13 Performance de la cheminée solaire :

La performance thermique d'une cheminée solaire à pleine échelle a été étudiée par J. Arce et al.[28]. Il a été observé que le débit d'air à travers la cheminée solaire a été influencée par une différence de pression entre l'entrée et la sortie ce qui est causé par les gradients thermiques et par la vitesse du vent, principalement. Une augmentation maximale de la température de l'air de 7,0°C était obtenu par le système pour un éclaircissement énergétique maximal de 604 W/m² se produisant vers 13:00 h.

Des valeurs de 50 à 374 m³/h ont été obtenues pour une journée typique du 15 septembre 2007. Un débit d'air moyen de 177 m³/h a été obtenu de 0h00 à 24h00.

II.14 Comparaison du taux de ventilation de sept modèles de cheminée solaire :

Une recherche a été effectuée par Somaye Asadi et al.[29] sur sept modèles différents de la cheminée solaire. Comme le bâtiment est utilisé pour des travaux officiels, il est approprié pour comparer le taux de ventilation quotidien en heures de travail dans différents modèles.

La comparaison du taux de ventilation horaire entre les trois premiers modèles montre que le débit volumique du troisième modèle est plus grand dans la matinée et dans l'après-midi Les performances du deuxième modèle étaient meilleures. Le premier modèle a un statut modéré par rapport au second et troisième modèle.

L'analyse du comportement des quatre modèles suivants montre que les modèles 4 et 5 agissent de manière similaire durant chaque heure de la journée car ils reçoivent un faible rayonnement. Le septième modèle a de meilleures performances que le sixième à l'exception des heures comprises entre 11h et 17h. Par conséquent, les performances de la cheminée solaire dans ces sept modèles peuvent être résumées comme suit :

1. Modèle 3 : cheminée solaire connectée au sud-est du bâtiment, Dans ce modèle, la réaction a été reçue dans les parties sud et est.
2. Modèle 1 : cheminée solaire au sud du bâtiment avec rayonnement de trois côtés, trois côtés étaient en verre et un côté était un mur absorbant.
3. Modèle 2 : cheminée solaire connectée au sud-ouest du bâtiment, les côtés sud et ouest étaient en verre et les murs nord et est de la cheminée solaire ont agi comme un mur absorbant et ont reçu le rayonnement solaire du sud et de l'ouest.
4. Modèle 7 : cheminée solaire raccordée au sud du bâtiment avec rayonnement d'un seul côté, ce modèle est similaire au sixième à l'exception du mur absorbant qui est situé sur le toit.
5. Modèle 6 : cheminée solaire connecté au sud du bâtiment, le côté sud était en verre et trois autres côtés étaient des murs absorbants.
6. Modèle 5 : ce modèle était la construction avec le vide créé sur le centre du plan (à tous les étages) et la cheminée solaire a été faite en haut de ce vide (avec 1 mètre de hauteur et la surface autant que le vide). Ce modèle agit comme l'atrium.
7. Modèle 4 : cheminée solaire au centre du plan, ce modèle était comme un canal vertical continuant à un mètre plus haut que le dernier étage et les murs de la cheminée agissaient comme la surface absorbante.

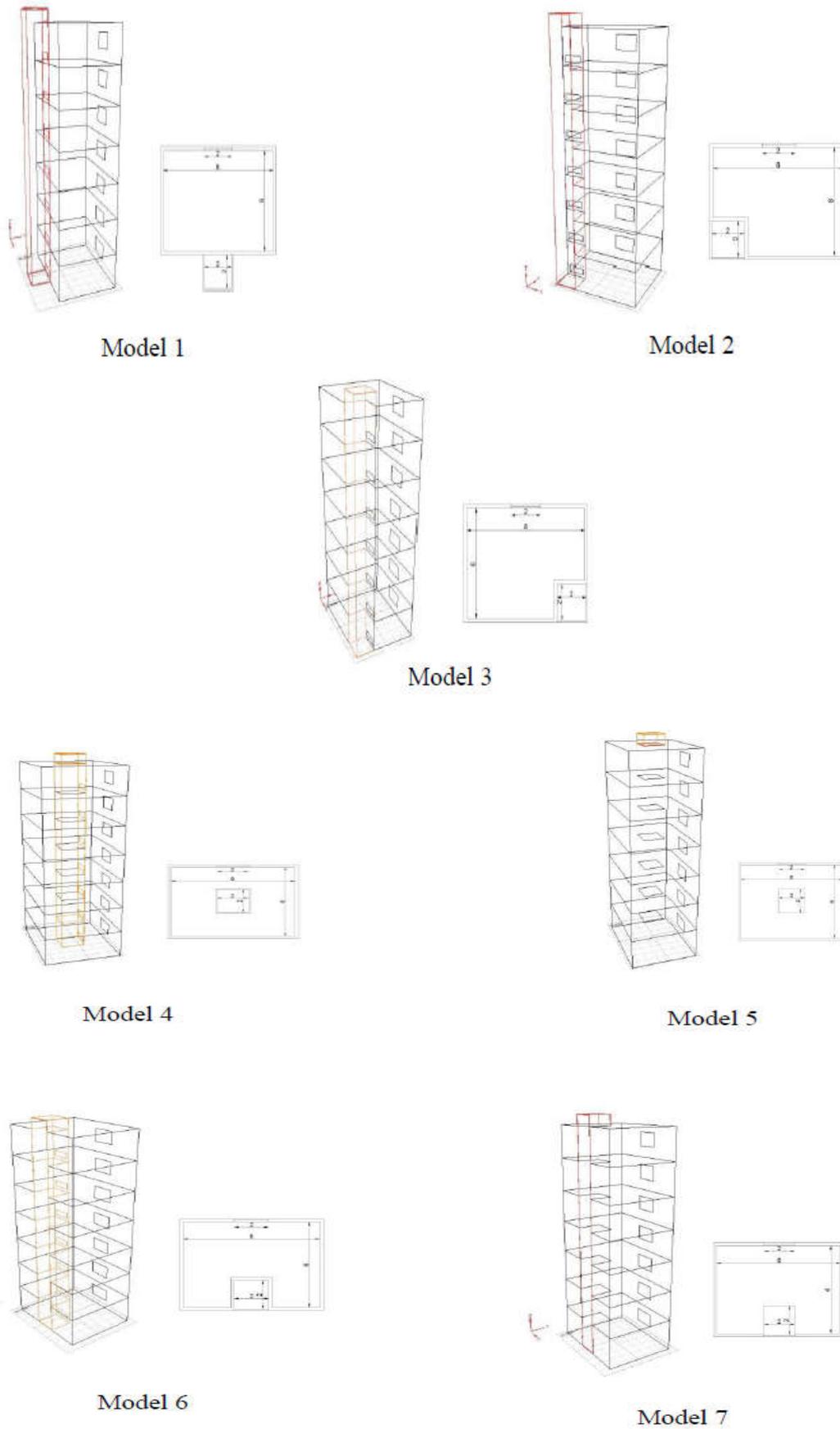


Figure II.14 : Les sept Modèles de cheminée solaire étudiés par Somaye Asadi et al.[29]

II.15 Facteurs influençant la performance de la cheminée solaire :

La performance de la cheminée solaire est influencée par quatre types de facteurs, y compris la configuration, conditions d'installation, utilisations des matériaux et l'environnement.

Nombreuses conclusions peuvent être tirées :

1-L'analyse statistique d'études expérimentales antérieures a montré que la gamme globale de paramètres de test est encore limitée, ce qui nécessite plus de futures expériences, notamment sur les usages des matériaux, les facteurs environnementaux, la hauteur de la cheminée et le rapport entrée / sortie.

2-Le débit d'air expérimental de divers bancs d'essai a montré une bonne relation exponentielle avec la hauteur de la cavité.

Un angle d'inclinaison optimal pour la cheminée solaire sur un toit dans une plage de 45° à 60° (la plupart d'entre elles ont atteint 45°), qui a montré une dépendance à la latitude, la cavité d'air et la hauteur de la cheminée.

Il a constaté que l'ouverture optimale augmente quand la cavité et la hauteur de la cheminée sont plus grande, mais ça ne favorise pas toujours la performance d'une cheminée solaire.

3-Bien que la cheminée solaire soit souvent mise en cause par des insuffisances des radiations solaires, certaines études ont confirmé son applicabilité dans ce domaine avec une surface absorbante accrue. On savait que l'augmentation volumétrique du débit de manière exponentielle avec le rayonnement solaire avec un exposant d'environ 0,5. Bien que le vent extérieur montre des influences sur la performance de la cheminée solaire, sa conception peut être entreprise sans tenir compte des effets du vent extérieur, ce qui pourrait sous-estimer la performance associée.

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre on présente les équations qui régissent l'écoulement d'air à l'intérieur d'une salle rectangulaire munie d'une cheminée solaire, il s'agit des équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement (équations de Navier-Stokes), la conservation de son enthalpie (équation d'énergie), ainsi que les équations du modèle de turbulence. En raison de développement des outils informatique et des méthodes numériques disponibles, CFD (computationnel fluide dynamiques) devient un outil indispensable dans l'étude des systèmes industriels dans lesquels les écoulements sont très complexes. Fluent est considéré l'un des logiciels les plus performants utilisés par les chercheurs ou les ingénieurs, non seulement pour calculer et analyser le comportement d'écoulement du fluide mais également pour estimer les processus du transfert de chaleur et de masse. Une présentation de ce code de calcul et les paramètres qui vont avec sont également présentés dans ce chapitre.

III.2 Modèle physique :

La figure (III.1) présente la configuration géométrique du domaine étudiée. Il s'agit d'une salle rectangulaire de 3m de longueur et de 1m de largeur, avec une hauteur de 2m, la section de passage à l'entrée assure une hauteur de 0.25 m.

Durant cette étude, l'impact de la variation de la longueur et la largeur de la cheminée a été bien pris en considération, pour cela neuf modèles en total ont été analysés et comparés, à savoir :

- Modèle 1 : 1 m x 0.1 m
- Modèle 2 : 2 m x 0.1 m
- Modèle 3 : 3 m x 0.1 m
- Modèle 4 : 1 m x 0.2 m
- Modèle 5 : 2 m x 0.2 m
- Modèle 6 : 3 m x 0.2 m
- Modèle 7 : 1 m x 0.3 m
- Modèle 8 : 2 m x 0.3 m
- Modèle 9 : 3 m x 0.3 m

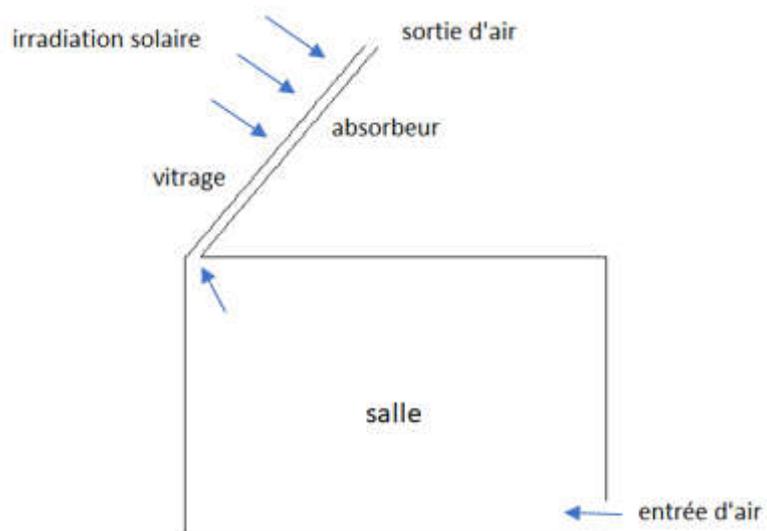


Figure III.1 : Schéma générale du domaine physique.

III.3 Les hypothèses simplificatrices :

Dans cette étude numérique, les hypothèses simplificatrices suivantes sont adoptées :

- L'écoulement est bidimensionnel.
- L'écoulement de fluide est supposé permanent.
- Le fluide est newtonien et incompressible.
- Les propriétés physiques du fluide (C_p, μ, ρ, λ) et du solide (λ_s) sont constantes.
- Les profils de vitesse et de température sont uniformes à l'entrée du canal.

III.4 Les équations régissantes :

Les équations suivantes décrivent le phénomène d'écoulement et le transfert de chaleur à l'intérieur de la salle.

III.4.1 La conservation de la masse :

L'équation de la conservation de la masse est la suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{d(\rho u)}{dx} + \frac{d(\rho v)}{dy} + \frac{d(\rho w)}{dz} = 0 \quad \text{III.1}$$

$$\frac{d(\rho u)}{dx} + \frac{d(\rho v)}{dy} = 0 \quad \text{III.2}$$

III.4.2 La conservation de la quantité de mouvement :

L'équation de la conservation du mouvement à travers le volume de contrôle est montrée comme Suivant :

* Suivant la direction (x) :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad \text{III.3}$$

* Suivant la direction (y) :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\rho'}{\rho} g \quad \text{III.4}$$

III.4.3 La conservation de l'énergie :

L'équation de conservation de l'énergie à travers le volume de contrôle est donnée par :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\lambda}{\rho c p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad \text{III.5}$$

III.5 Les modèles de turbulence :

Il existe différents niveaux de modèles, se distinguant par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à deux équations et plus particulièrement le modèle de turbulence k-ε standard qui est le plus répandu.

III.5.1 Modèle k-ε :

Il existe des modèles de turbulence à haut nombre de Reynolds, qui prennent en compte le transport des quantités turbulentes, en leur associant des équations de transport différentielles. Le modèle k-ε fait partie de cette catégorie de modèles. Ce modèle propose deux équations pour déterminer la viscosité turbulente, et fait donc partie des modèles à deux équations. Ce modèle est le plus connu et le plus utilisé dans l'industrie jusqu'à présent.

Le modèle k-ε standard est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation ε.

$$\frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left| \frac{v t}{\sigma k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right| + P + G + \varepsilon \quad \text{III.6}$$

$$\frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left| \frac{v t}{\sigma k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right| + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P + C_{\varepsilon 3} G + C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \quad \text{III.7}$$

III.6 La mécanique des fluides numérique CFD :

La Mécanique des Fluides Numériques, plus souvent désignée par le terme anglais Computational Fluid Dynamics (CFD), consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide. Cela consiste à résoudre dans une géométrie donnée les équations fondamentales de la mécanique des fluides, que l'on peut éventuellement coupler aux équations de transfert thermique ou de réaction chimique.

La résolution du système formé par les équations qui régissent l'écoulement du fluide et souvent compliquée donc, on est obligé de se tourner vers un code de calcul CFD.

Il existe un grand nombre de codes CFD. Dans notre étude le calcul numérique est mené à l'aide du code de calcul Fluent version 6.3.

Pour construire les modèles CFD, il y a plusieurs étapes :

- La construction de la géométrie.
- La génération du maillage.
- L'introduction des conditions aux limites.
- La sélection de méthodes numériques pour obtenir une solution approchée.
- Le traitement des résultats.

III.7 La Méthode des volumes finis :

La méthode des volumes finis consiste à subdiviser le domaine d'étude en volumes élémentaires de telle manière que chaque volume entoure un nœud principal P. Chaque volume est délimité par : deux interfaces dans le cas monodimensionnel noté (e,w), quatre interfaces dans le cas bidimensionnel (e,w,s,n) et six interfaces dans le cas tridimensionnel (e,w,s,n,t,b). Chaque nœud principal P est limité par des nœuds voisins (E,W) dans le cas monodimensionnel, (E,W,S,N) dans le cas bidimensionnel, et (E,W,S,N,T,B) dans le cas tridimensionnel.

L'équation différentielle est intégrée dans chaque volume élémentaire finis. Pour calculer l'intégrale dans ce volume élémentaire l'inconnue est représentée à l'aide d'une fonction d'approximation (linéaire, parabolique, exponentielle, de puissance etc.) entre deux nœuds consécutifs. Ensuite, la forme intégrale est discrétisée dans le domaine d'étude. Le résultat de discrétisation donne une équation algébrique qui est constituée par les valeurs nodales.

Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont :

- Approche très « physique » : bilan des flux.
- S'adapte à une géométrie quelconque.
- Plusieurs schémas pour la résolution des termes non-linéaires hyperbolique.
- Conservative (par sa formulation).
- La base de tous les codes généralistes en MDF : ANSYS (Fluent et CFX), CD-Adapco (StarCCM+ et ProStar), AVL (Fire)...

III.8 Génération du maillage :

Toute simulation CFD commence par la réalisation de la géométrie en 2D ou 3D, soit avec un logiciel intégré au code de calcul CFD soit à l'aide d'un logiciel de CAO.

La génération du maillage (2D ou 3D) est une phase très importante dans une analyse CFD, vu son influence sur la solution calculée.

Un maillage de très bonne qualité est essentiel pour l'obtention d'un résultat de calcul précis, robuste et signifiant. La qualité du maillage a un sérieux impact sur la convergence, la précision de la solution et sur tout sur le temps de calcul.

Une bonne qualité de maillage repose sur la minimisation des éléments présentant des « distorsions », et sur une bonne « résolution » dans les régions présentant un fort gradient (couches limites, ondes de choc,..). Un bon maillage doit également être suffisamment « Lisse ».

III.8.1 Maillage structuré :

Un maillage structuré est un maillage qui peut être généré en reproduisant plusieurs fois une maille élémentaire. Dans ce type de maillage, tout nœud peut être repéré par un doublet ou un triplet (i,j,k). En 2D, les éléments sont des quadrilatères, en 3D ce sont des hexaèdres.

Ses avantages :

- Economique en nombre d'éléments, présente un nombre inférieur de mailles par rapport à un maillage non structuré équivalent.
- Lorsque l'écoulement moyen est aligné avec le maillage, un maillage structuré réduit les risques d'erreurs numériques.

Ses inconvénients :

- Difficile à générer dans le cas d'une géométrie complexe.
- Difficile d'obtenir une bonne qualité de maillage pour certaines géométries complexes.

III.8.2 Maillage non structuré :

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune contrainte quant à leur disposition.

Ses avantages :

- Peut-être généré sur une géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments.
- Les algorithmes de génération de ce type de maillage (tri/tétra) sont très automatisés.

Ses inconvénients :

- Très gourmand en nombre de mailles comparativement au maillage structuré.
- Impose une structure de données gourmande en capacités de stockage.
- Engendre des erreurs numériques (fausse diffusion) qui peuvent être plus importantes si on le compare avec le maillage structuré.

Il existe un autre type de maillage hybride qui est généré par un mélange d'éléments de différents types, triangulaires ou quadrilatéraux en 2D, tétraédriques, prismatiques, ou pyramidaux en 3D. Il combine les avantages des maillages structurés et non structurés.

En pratique, il n'existe pas de règle précise pour la création d'un maillage valable, cependant il existe différentes approches qui permettent d'obtenir une grille acceptable. Nous pouvons résumer ces règles ainsi :

- Maintenir une bonne Qualité des éléments,
- Assurer une bonne Résolution dans les régions à fort gradient,
- Assurer un bon Lissage dans les zones de transition entre les parties maillage à fin et les parties à maillage grossier,
- Minimiser le nombre Total des éléments (temps de calcul raisonnable).

Dans notre étude, nous avons adopté un maillage quadrilatéral structuré à multi bloc formé de lignes continues à travers le domaine, qui suivent au mieux le contour des surfaces définissant la géométrie.

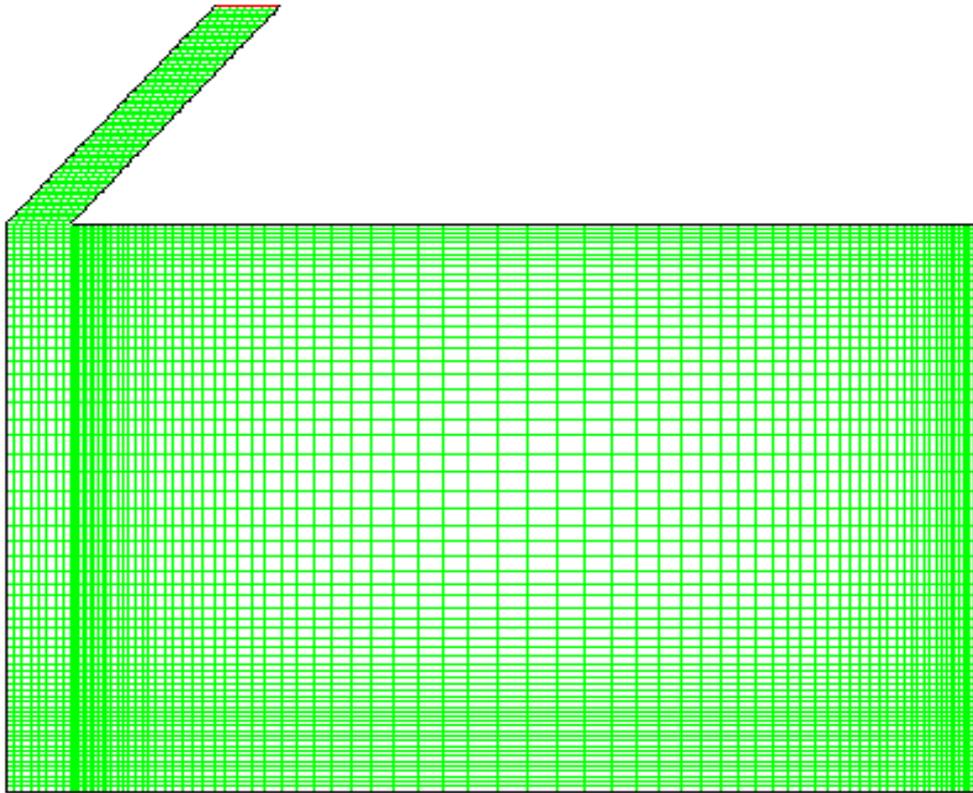


Figure III.2 : Génération de maillage pour un cas étudié.

III.9 Schémas de discrétisation :

Les schémas de discrétisation établis dans notre travail, dans le cas du choix du modèle k- ϵ sont résumés dans le tableau suivant :

Pression	Standard
Quantité de mouvement	First Order Upwind
Couplage vitesse-pression	Simple
Energie cinétique turbulente	First Order Upwind
Energie	First Order Upwind

Tableau III.1 : Schémas de discrétisation par fluent.

III.10 La convergence :

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

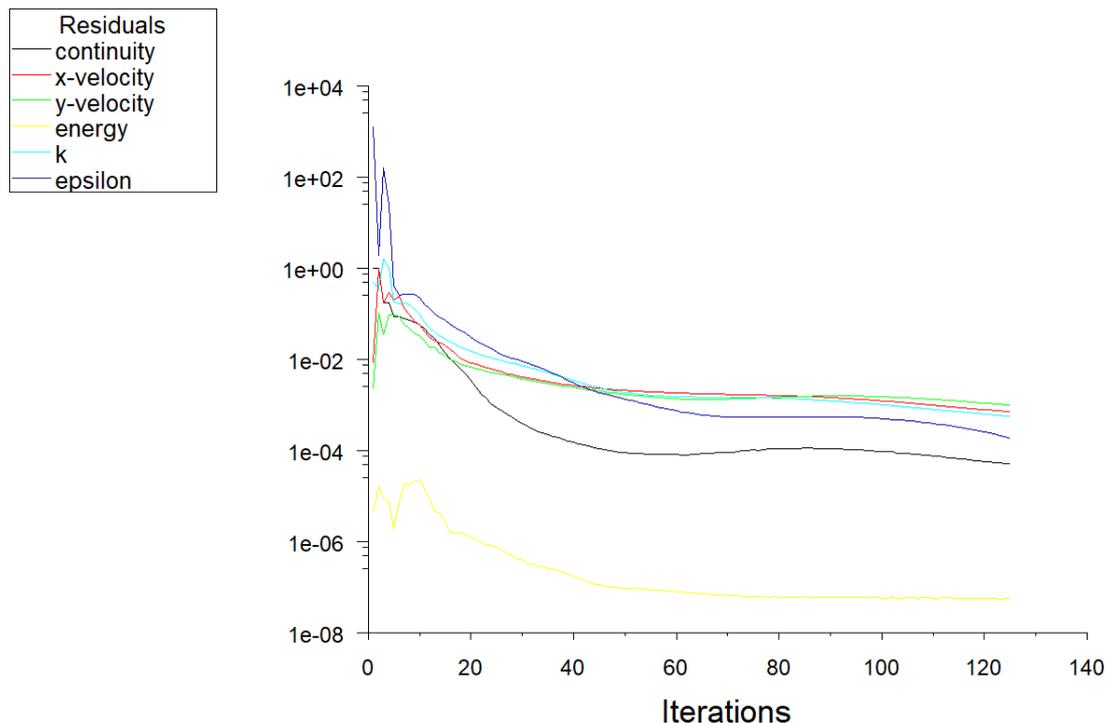


Figure III.3 : La convergence des résidus.

III.11 Le processeur GAMBIT :

C'est un logiciel conçu pour aider les analystes et les concepteurs à construire et à mailler des modèles pour les problèmes d'écoulement des fluides et d'autres applications scientifiques.

GAMBIT reçoit les données de l'utilisateur au moyen de l'interface graphique (GUI). Cette dernière réalise les étapes de base de construction et du maillage. De plus, il est assez souple pour adapter plusieurs applications de modelage.

GAMBIT, le générateur de maillage convivial et ergonomique comprend un ensemble très complet d'outils de génération de maillages surfaciques et volumiques qui permettent de réaliser rapidement des maillages de qualité et garantissent une précision des résultats optimale, notamment, la génération automatique du maillage volumique en tétraédre. Il a aussi, l'avantage d'importer des fichiers CAO grâce à l'interface (au format CAD,..) Qui transforme la géométrie directement en une série de maillages surfaciques ou volumiques.

GAMBIT possède une interface facile à manipuler et qui est constituée de plusieurs fenêtres d'outils d'opération destinées à construire le modèle, générer le maillage et incorporer les conditions aux limites.

III.11.1 Etapes générales du travail sur gambit :

1. Création de la géométrie.
2. Création des frontières du maillage.
3. Génération du maillage de la structure.
4. Définition des conditions aux limites.
5. Exportation du maillage.

III.11.2 Les conditions aux limites dans gambit :

La spécification des conditions aux limites est effectuée selon le problème traité. A noter que l'espace maillé est pris par défaut comme fluide.

Région	Chambre munie d'une cheminée solaire
Entrée	Velocity inlet
Sortie	Outflow
Vitre	Wall
Absorbeur	Wall
Parois	Wall

Tableau III.1: Les conditions aux limites dans Gambit.

III.12 Le code Fluent :

FLUENT est un logiciel de simulation de tous les écoulements de fluides, compressibles ou incompressibles, impliquant des phénomènes physiques complexes tels que la turbulence, le transfert thermique, les réactions chimiques, les écoulements multiphasiques, la cavitation, les écoulements dans les moteurs thermiques et les machines tournantes, et ce, pour des géométries industrielles complexes. Ce produit dispose d'un outil de graphisme pour l'affichage des résultats et leur exploitation.

III.12.1 Etapes générales du travail sur FLUENT :

1. Importation et dimensionnement du maillage.
2. Sélection du modèle physique.
3. Définition des propriétés des matériaux.
4. Définition des conditions de calcul.
5. Définition des conditions aux limites.

6. Fourniture d'une solution initiale.
7. Réglage des paramètres du solveur.
8. Réglage du moniteur de convergence.
9. Lancement du calcul et surveillance de la solution.

III.12.2 Les conditions aux limites dans fluent :

Pour résoudre le système d'équation obtenu, il est nécessaire d'introduire les conditions aux limites suivantes :

- Entrée : toutes les propriétés du fluide sont connues.
- Sortie : le régime est établi donc on n'a pas une évolution par rapport à x .
- Paroi : pour la paroi le champ de vitesse est nul.

III.12.3 Procédure de résolution numérique :

La procédure de calcul est résumée selon l'organigramme suivant :

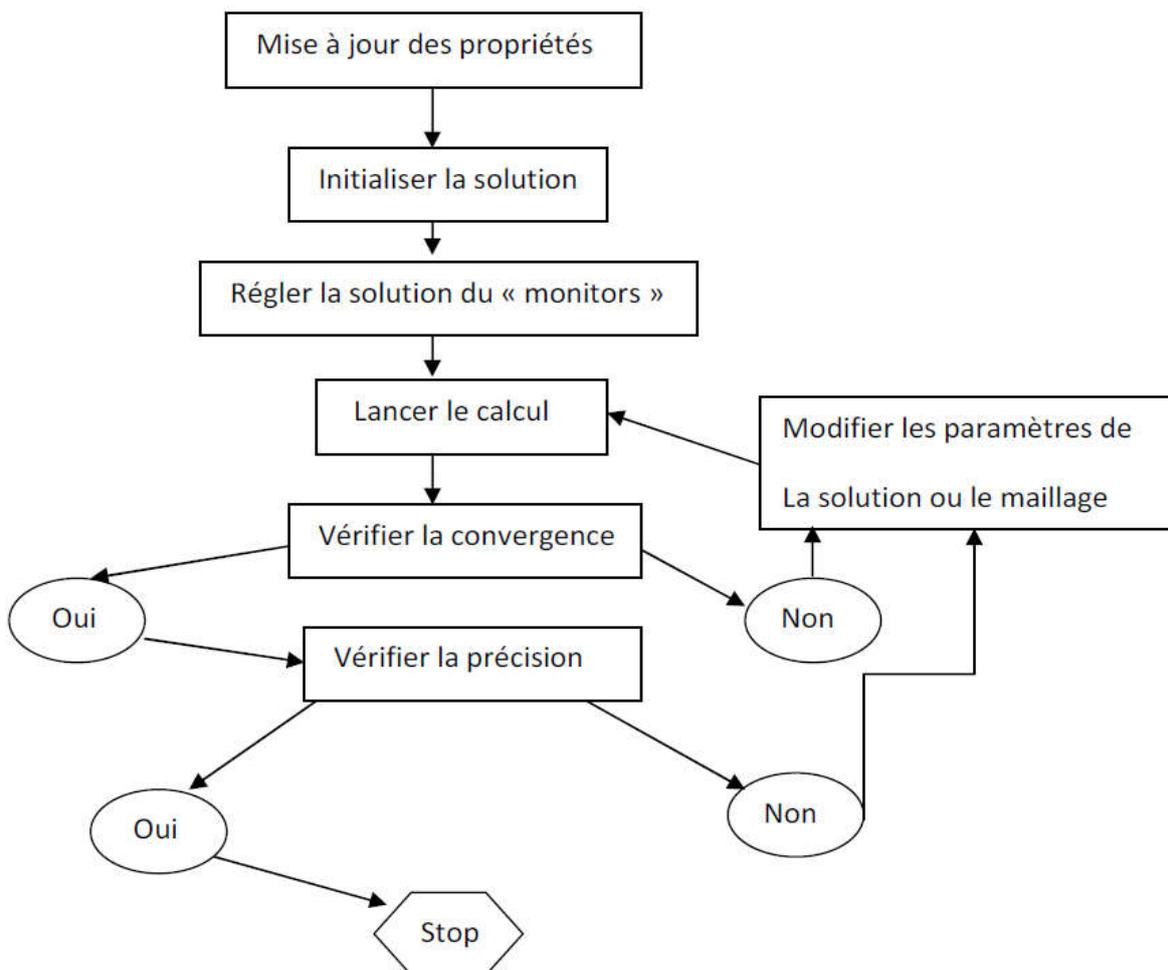


Figure III.4 : La Procédure de résolution numérique.

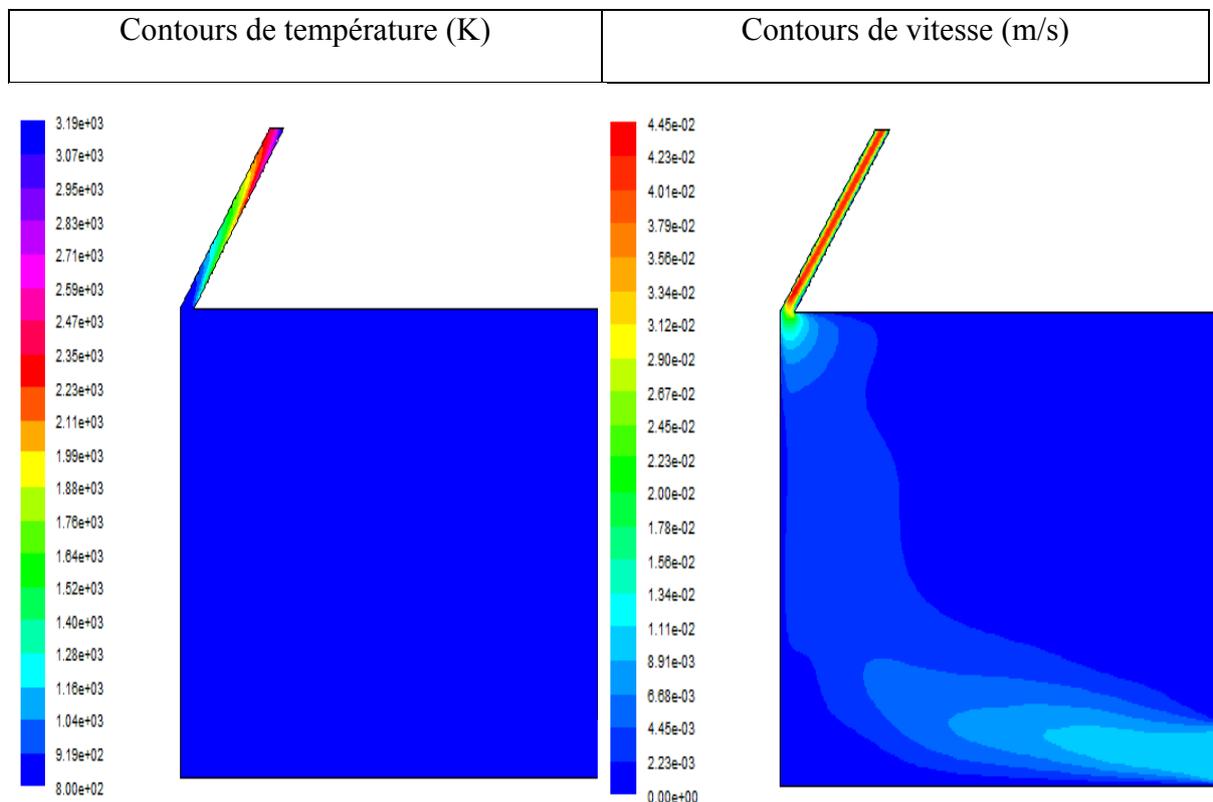
IV.1 Introduction :

La ventilation naturelle en présence d'une cheminée solaire intervient dans la thermique du bâtiment et consiste à étudier le comportement d'un écoulement d'air et le transfert de chaleur par convection dans une cavité confinée ou ouverte. Le système d'équation obtenu traduit la conservation de la masse et de la quantité de mouvement (équations de Navier-Stokes), ainsi que la conservation de son énergie est souvent trop compliquée à résoudre, et donc la nécessité d'une résolution à l'aide d'un code de calcul CFD (Computational Fluid Dynamics) devient obligatoire.

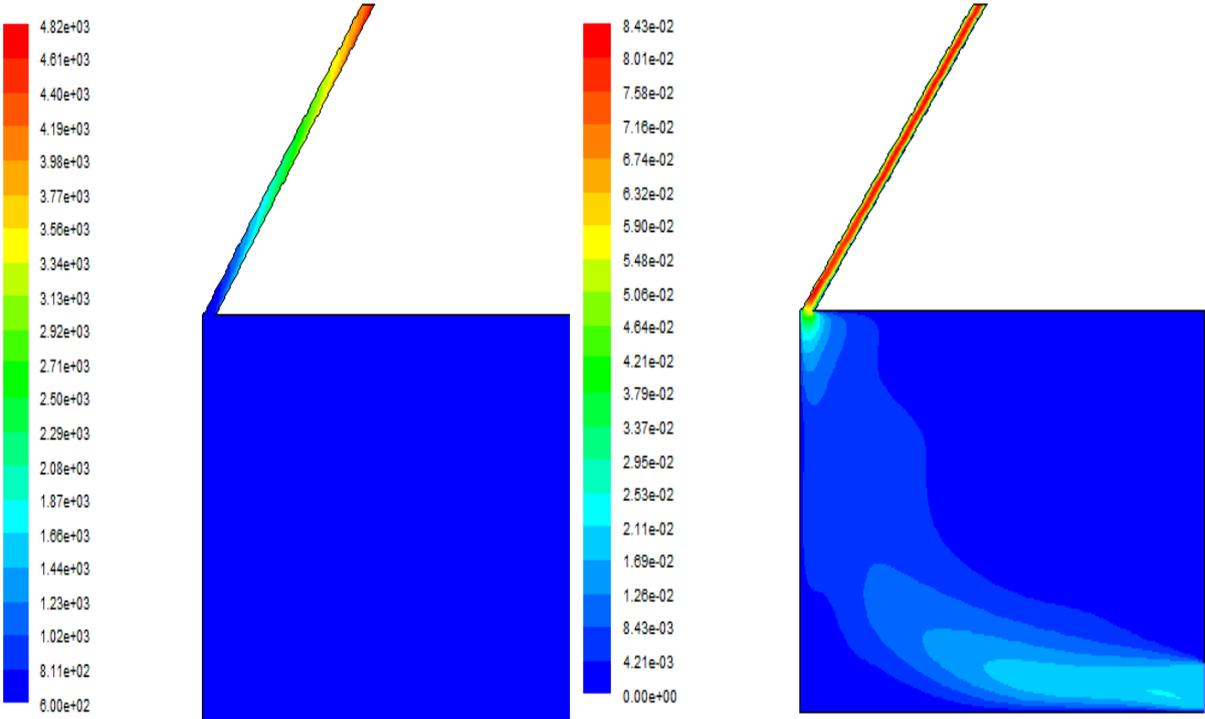
Dans ce chapitre, nous allons étudier la structure dynamique et thermique d'un écoulement d'air en présence d'une cheminée de longueur et de largeurs différentes (soit neuf modèles en total),

IV.2 Contours de vitesse et de température :

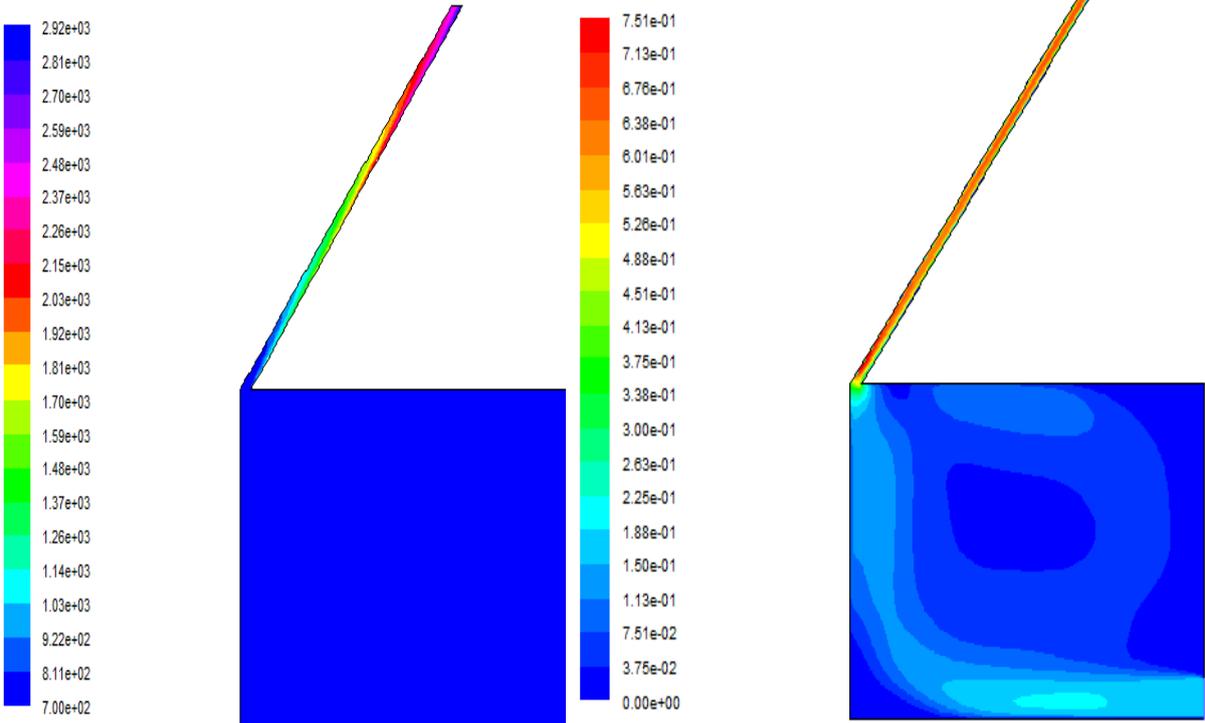
Les contours de vitesse et de température dans une pièce qui fait 3 m de longueur et 2 m de largeur munie d'une cheminée solaire de largeur différentes (0.1 m, 0.2 m et 0.3 m) et de longueurs différentes (1m, 2m et 3m), pour un flux radiatif égal à 600 w/m^2 sont présentés sur les figures ci-dessous :



(a)

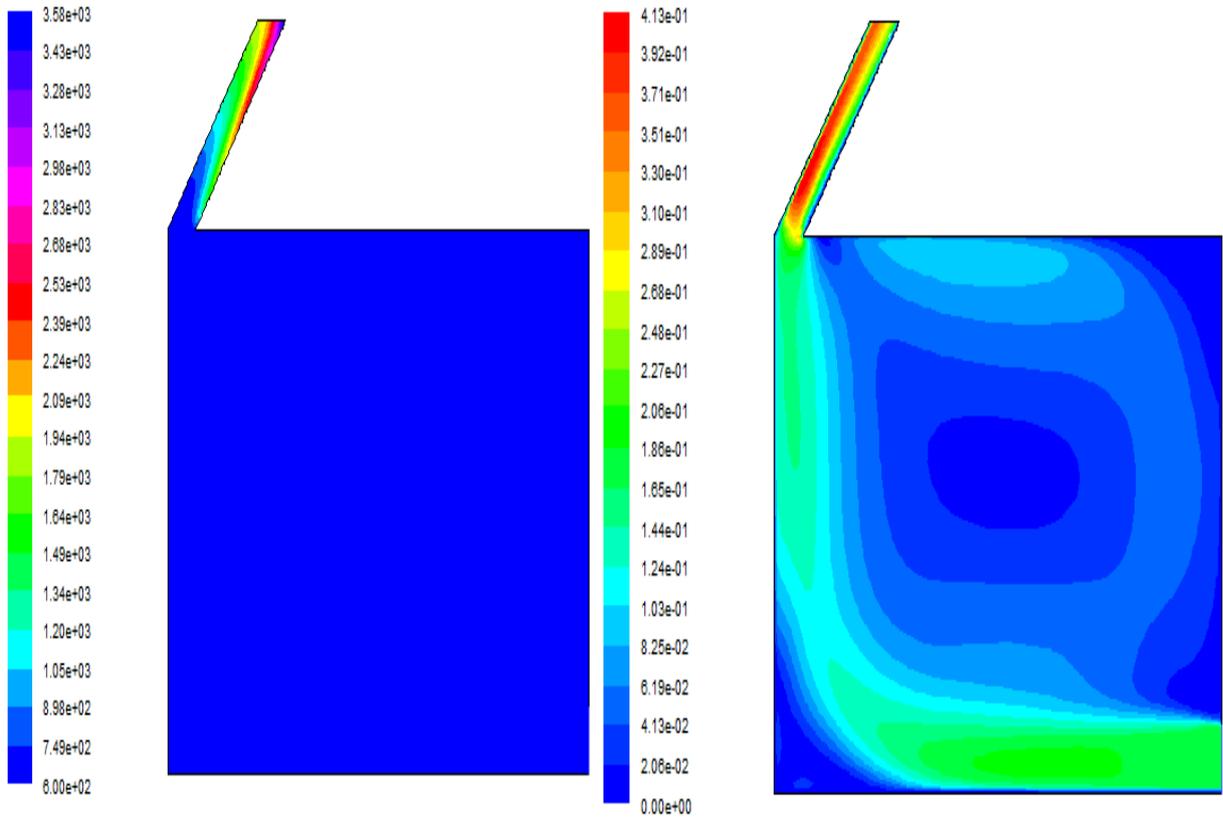


(b)

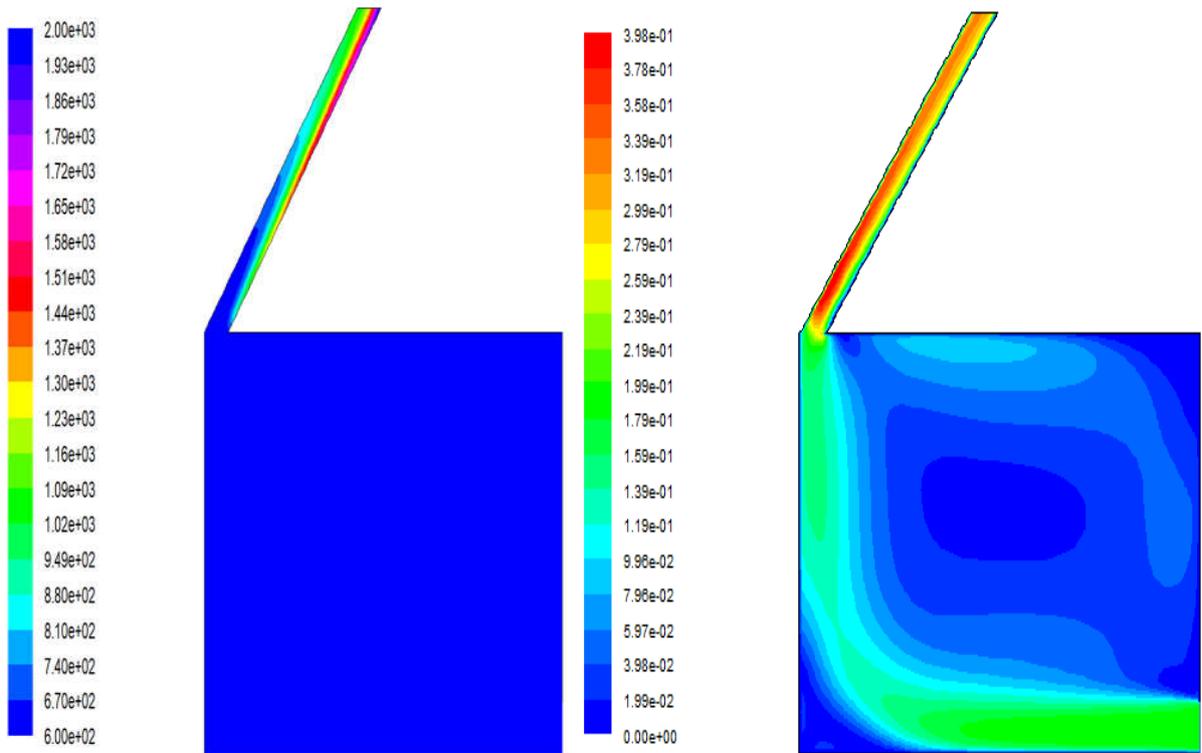


(c)

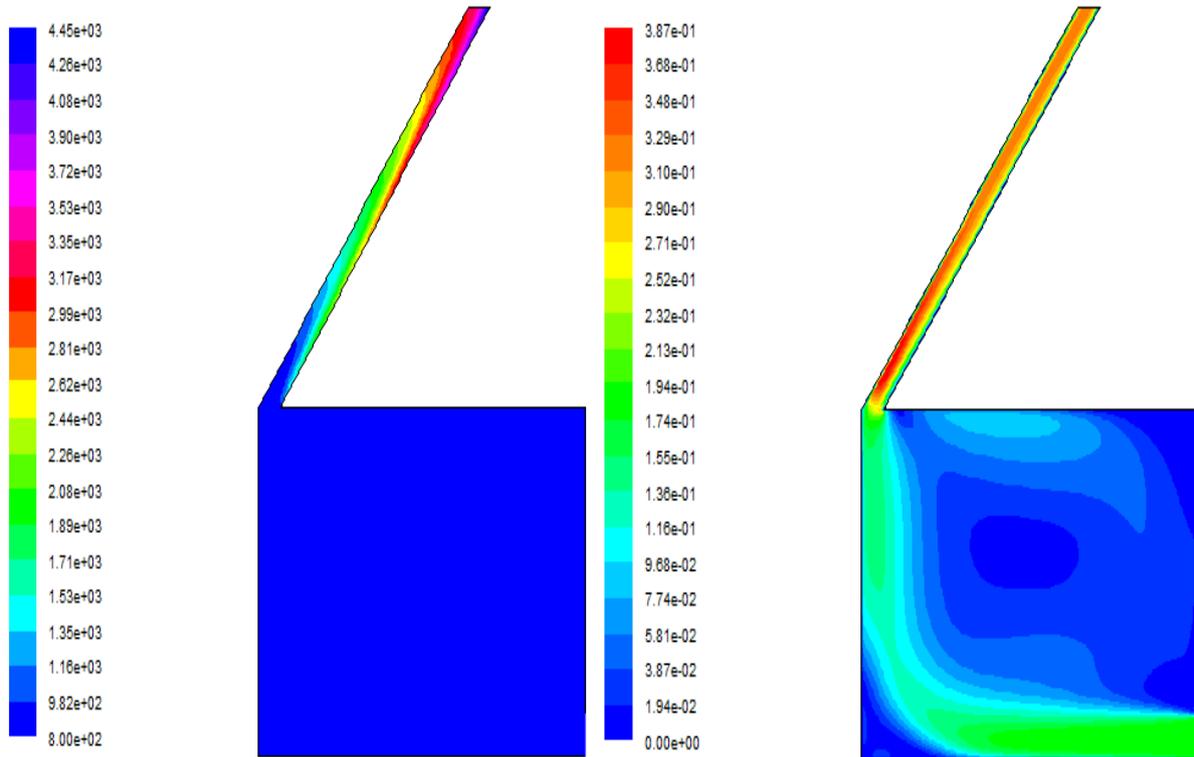
Figure IV.1: Contours de vitesse et de température pour une cheminée de largeur de 0.1 m, pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2 .



(a)

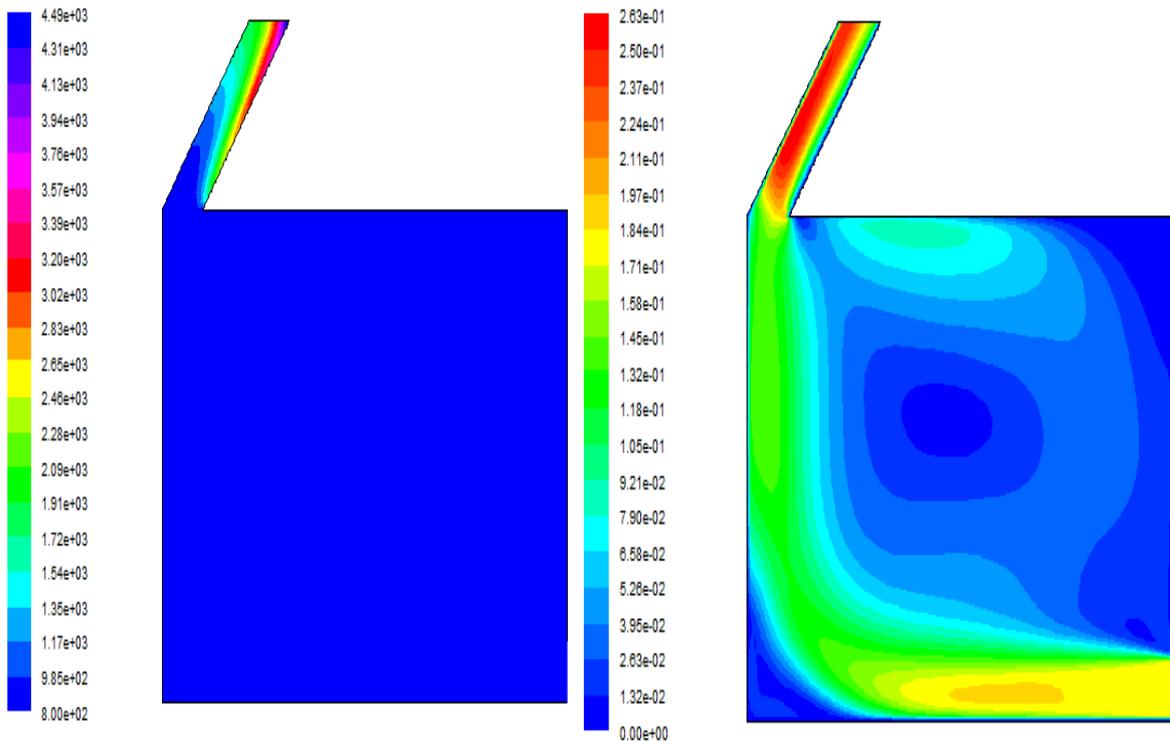


(b)

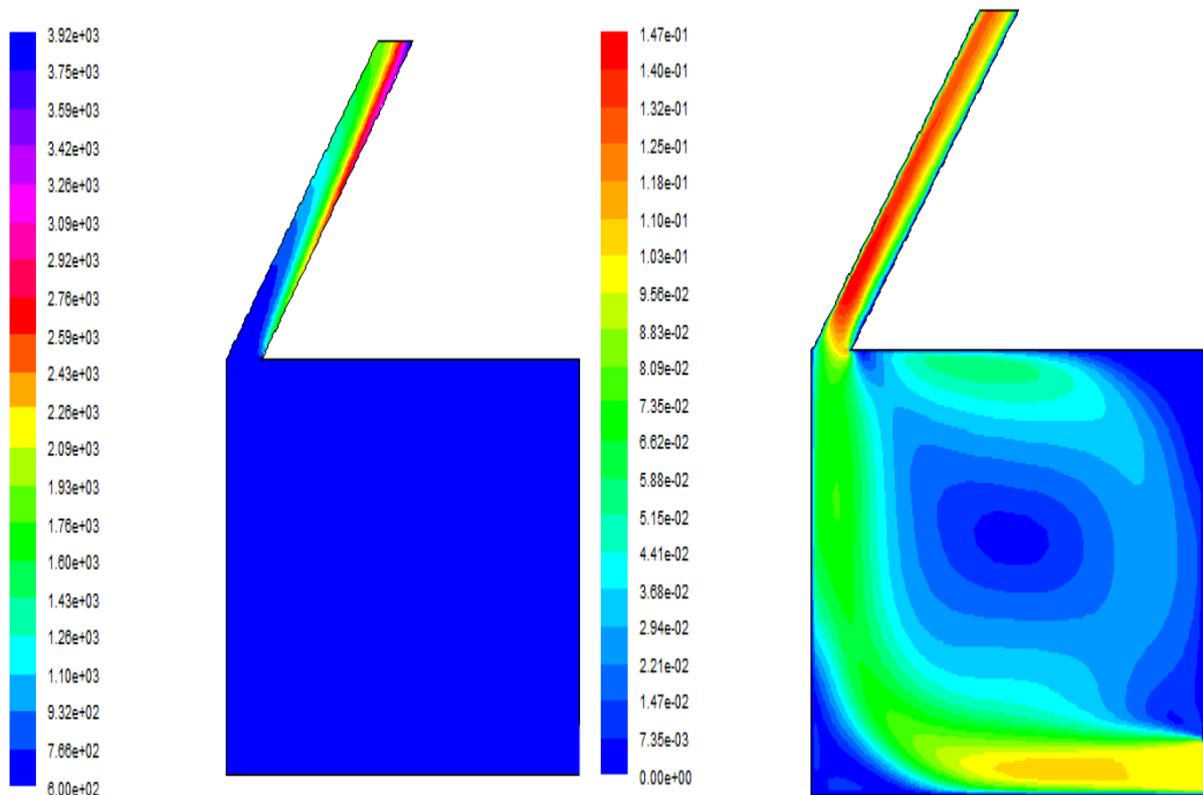


(c)

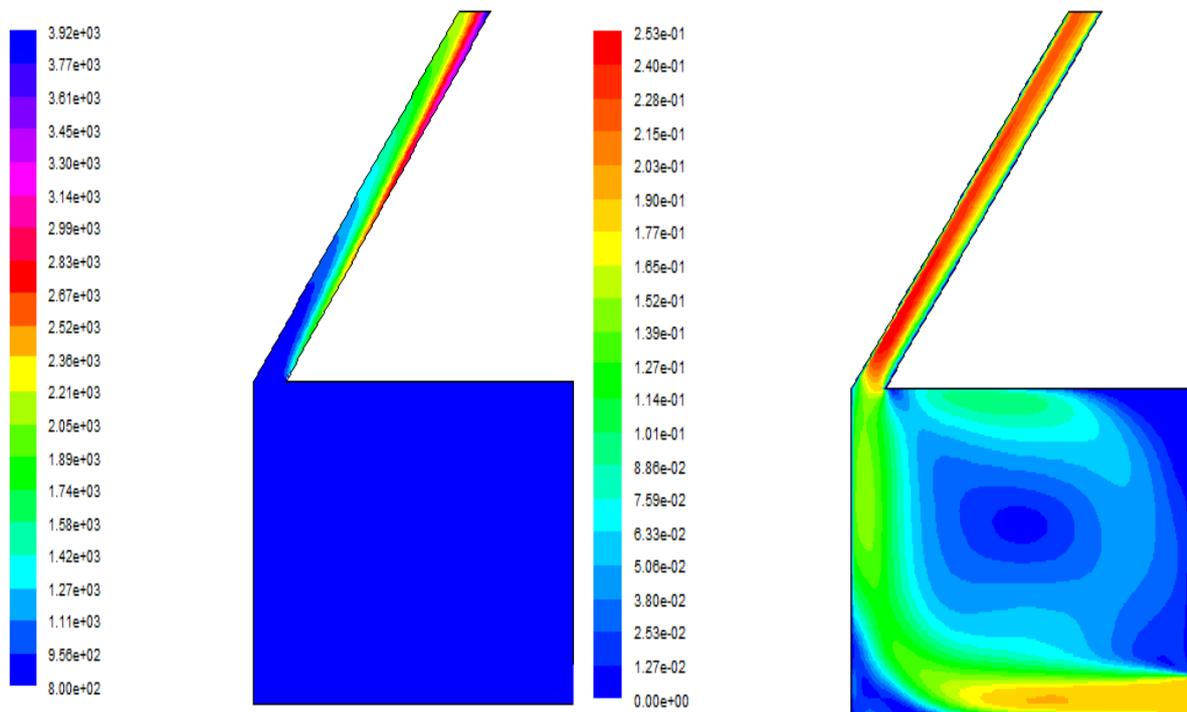
Figure IV.2: Contours de vitesse et de température pour une cheminée de largeur de 0.2 m, pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m².



(a)



(b)



(c)

Figure IV.3: Contours de vitesse et de température pour une cheminée de largeur de 0.3 m, pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2 .

Les figures présentées montrent les champs dynamiques et les champs thermiques pour une cheminée solaire inclinée d'un angle de 40° et à une intensité solaire de 600 w/m^2 pour les 9 modèles étudiés.

On remarque que les températures élevées sont toujours localisées dans des espaces étroits au voisinage de l'absorbeur. Loin de l'absorbeur, les gradients de température sont plus faibles.

La chaleur produite par le rayonnement solaire dans la cheminée est transportée par convection vers le haut, c'est ce qui explique les températures relativement élevées dans la partie la plus proche de l'absorbeur.

L'augmentation de la largeur de la cheminée a fait apparaître un phénomène de recirculation qui peut prendre de l'ampleur avec l'accroissement de la largeur.

IV.3 Champs de vitesse :

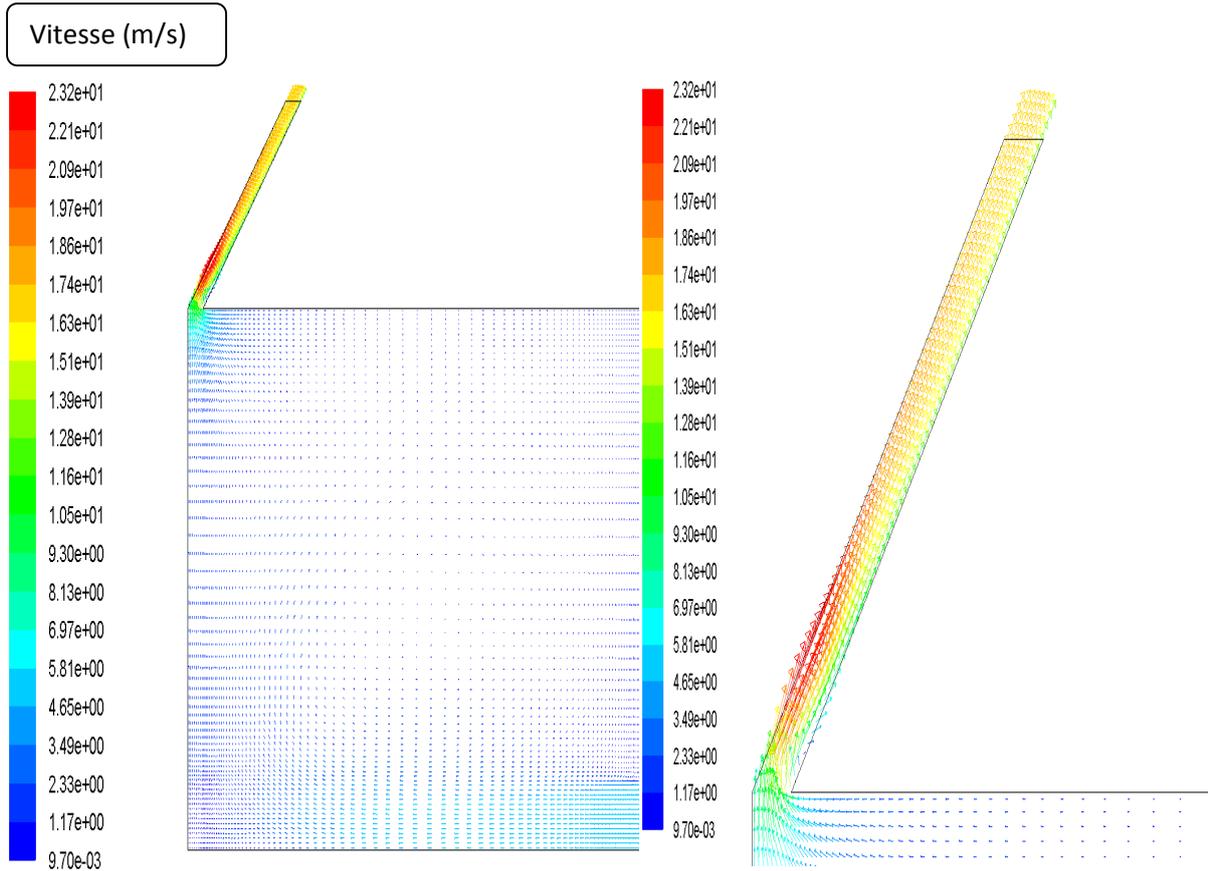
Les figures suivantes présentent la variation du champ de vitesse en fonction de la largeur et la longueur de la cheminée solaire.

On remarque que la vitesse est plus élevée à l'entrée de la cheminée à cause du rétrécissement brusque de la section de passage de l'air.

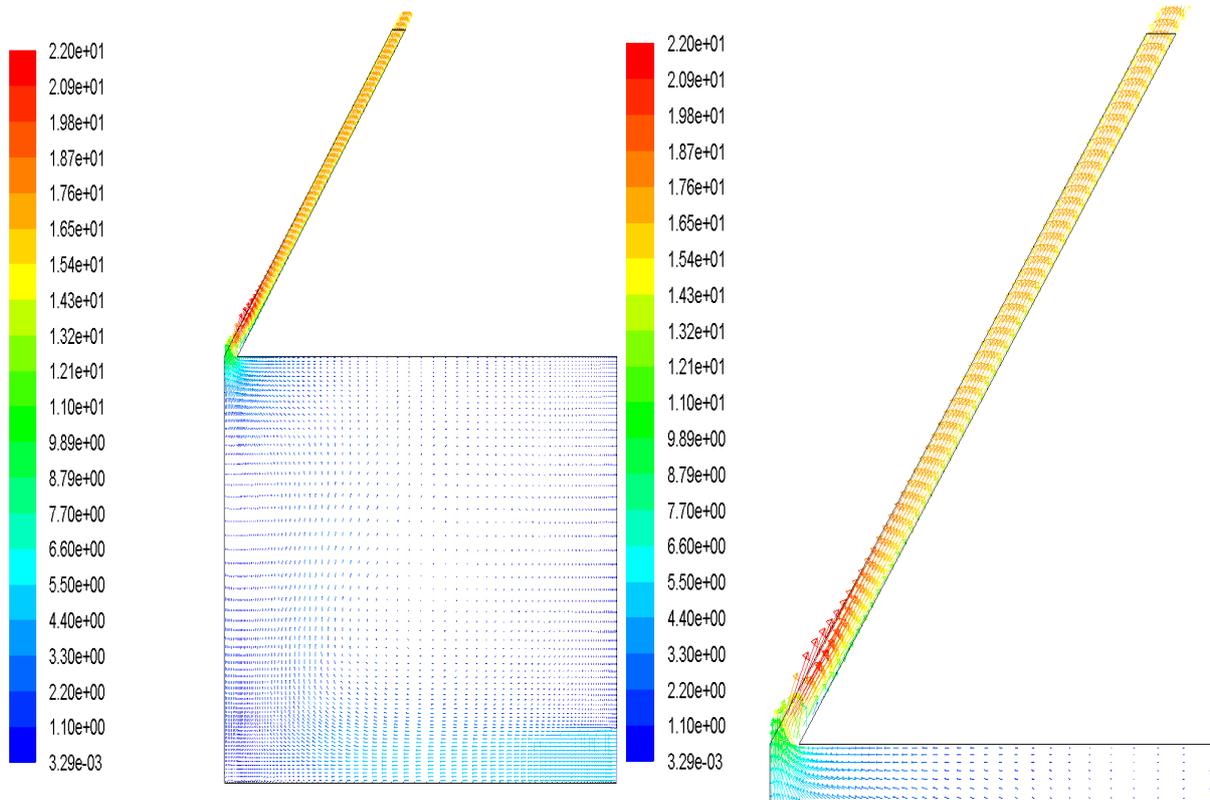
On observe un phénomène d'écrasement des particules d'air dans la paroi du vitrage dans cette zone pour ensuite être réorientée vers la sortie de la cheminée.

Les chances de rencontrer ce phénomène diminuent avec l'augmentation de la largeur de la cheminée.

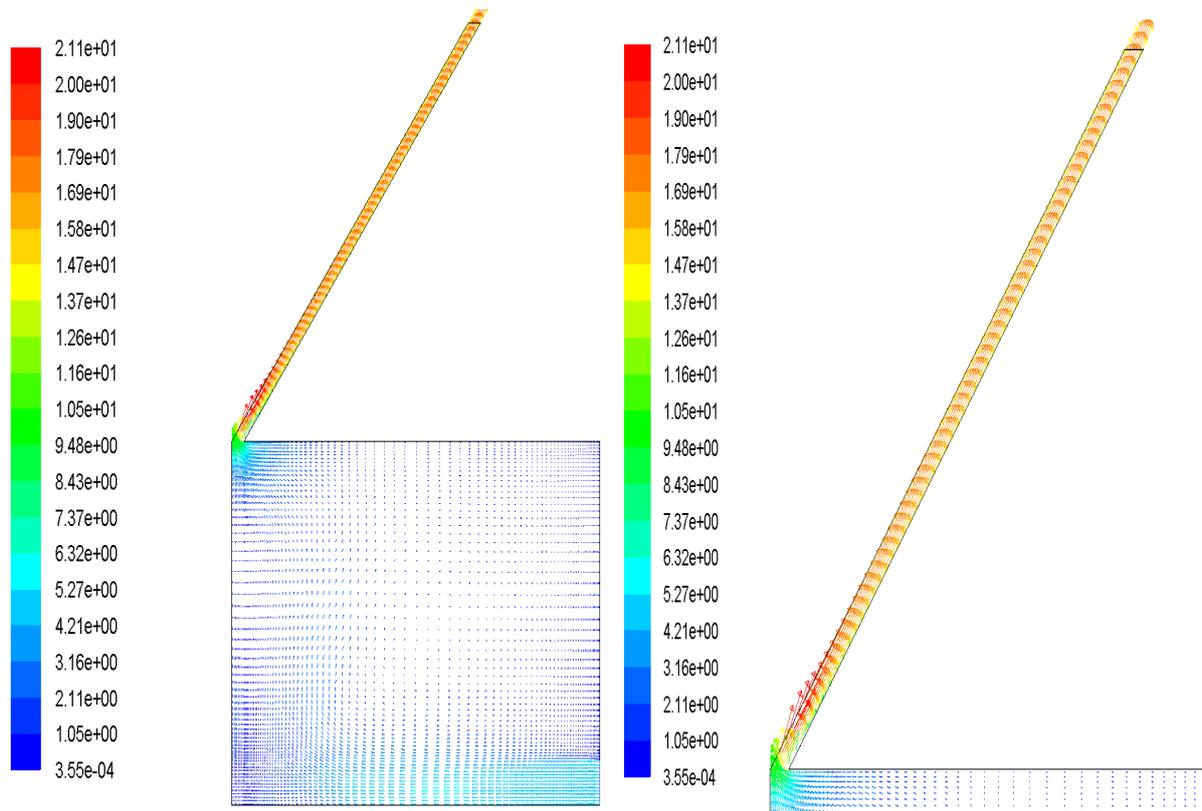
Le profil parabolique de vitesse est influencé par la longueur et la largeur de la cheminée, cela veut dire que plus la largeur de la cheminée est grande plus le profil nécessite une longueur plus grande pour s'établir.



(a)

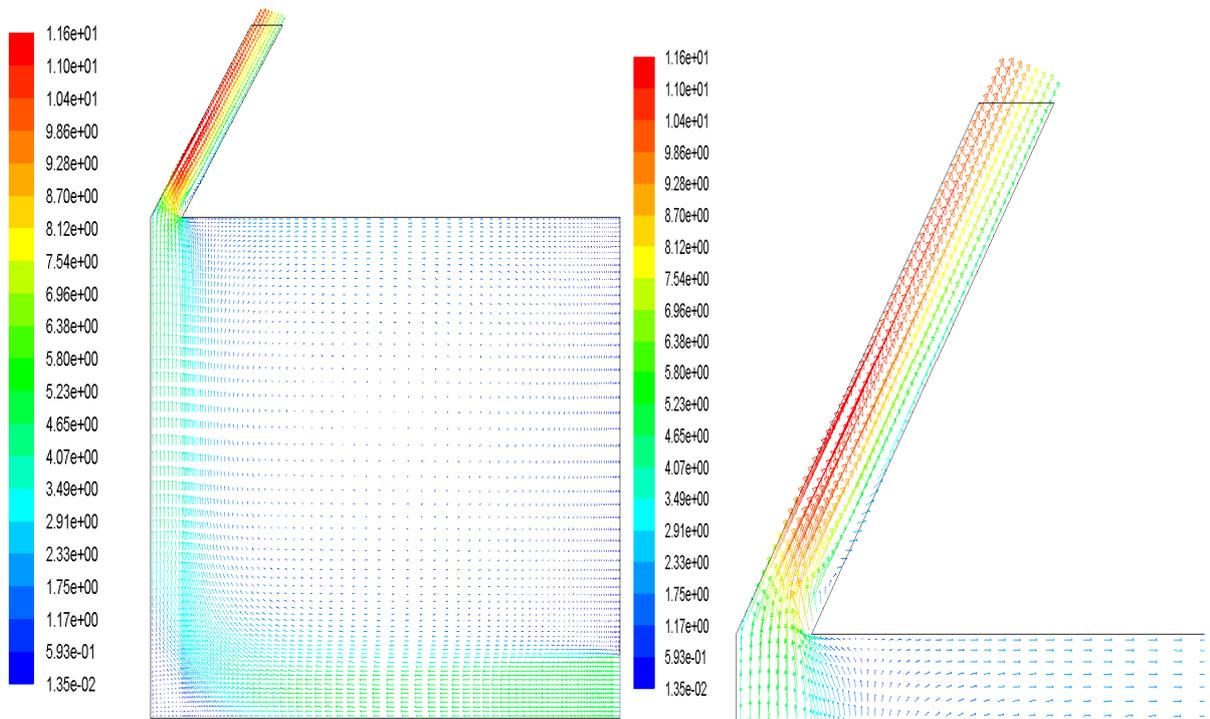


(b)

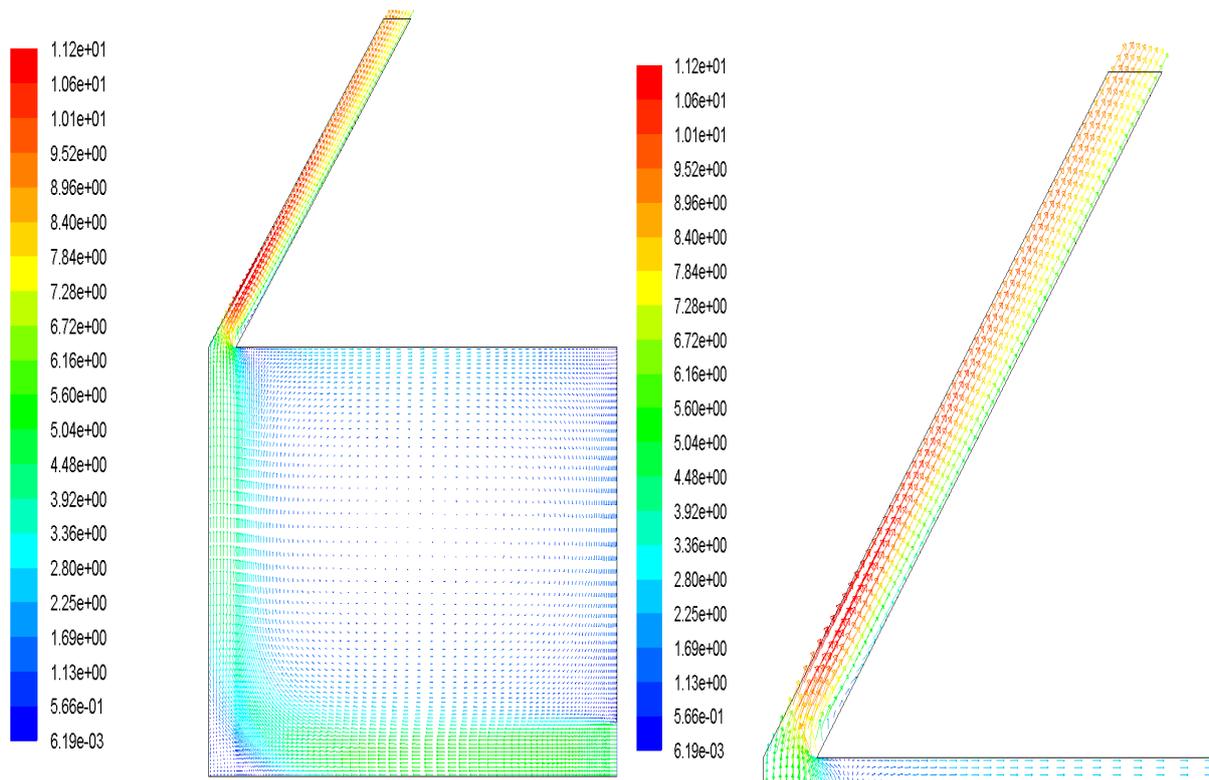


(c)

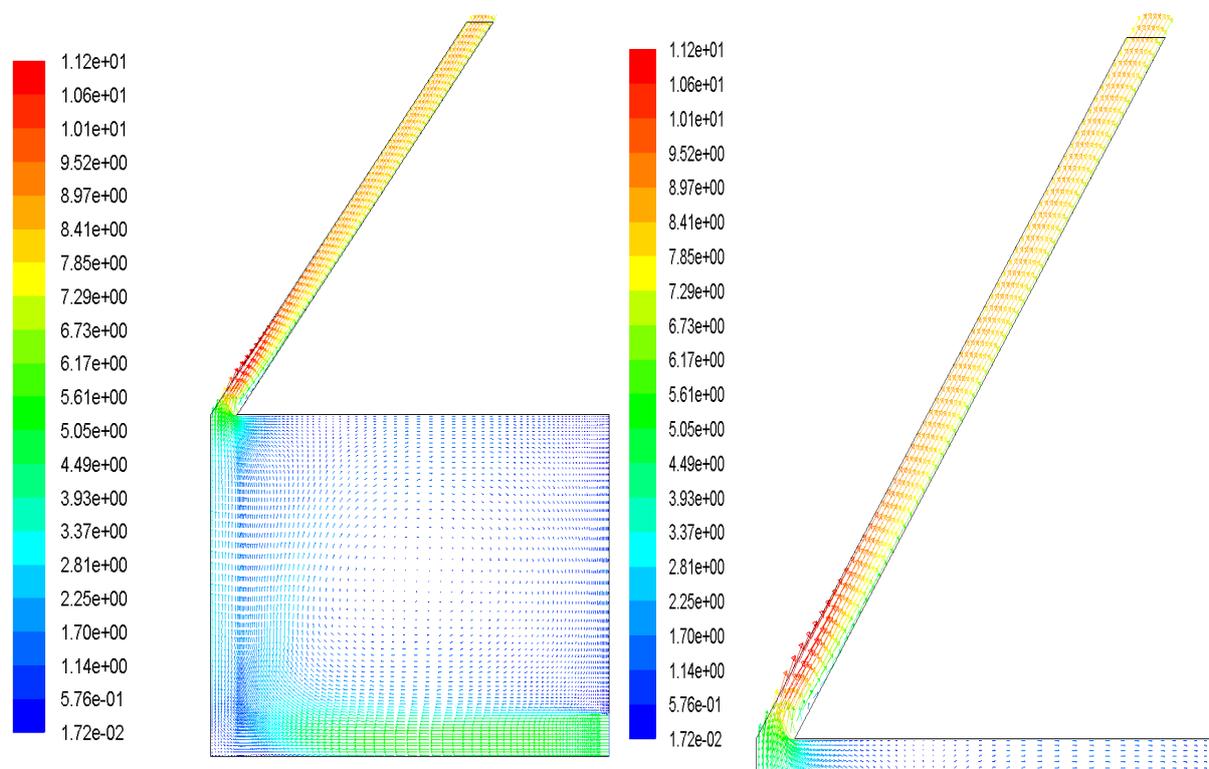
Figure IV.4 : Champ de vitesse de l'air pour une cheminée de largeur de 0.1 m, pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m².



(a)

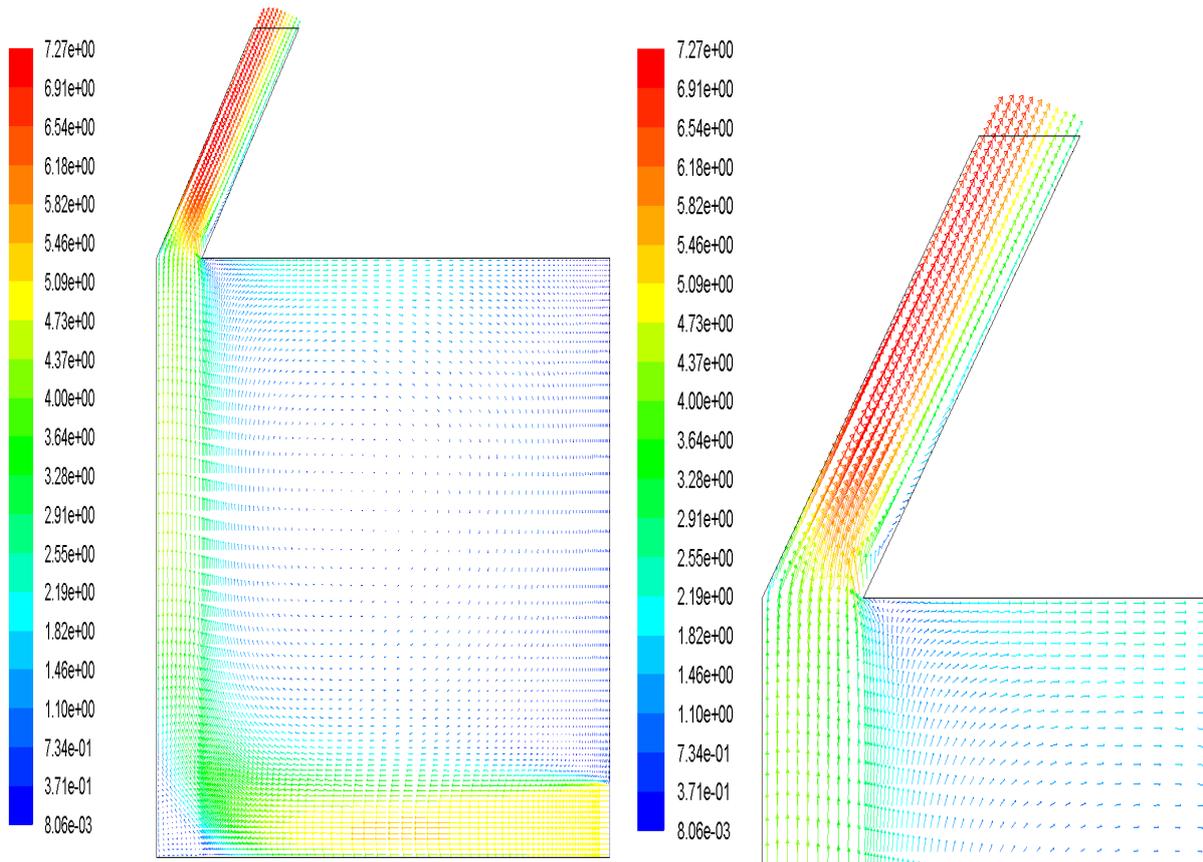


(b)

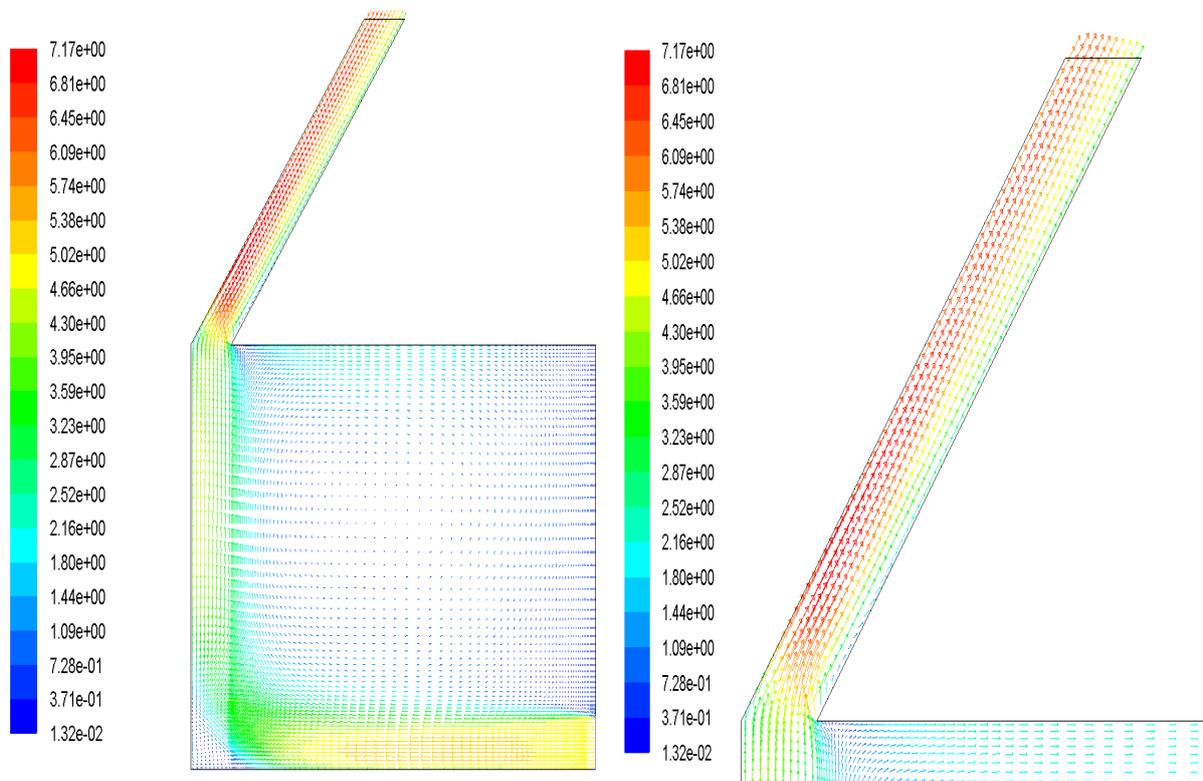


(c)

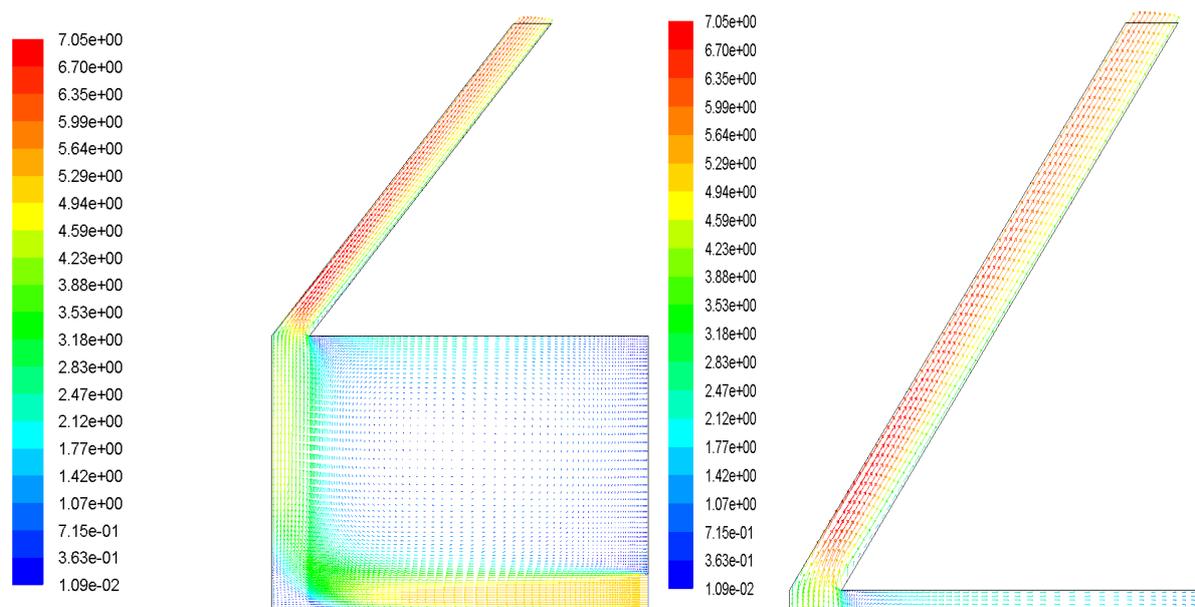
Figure IV.5 : Champ de vitesse de l'air pour une cheminée de largeur de 0.2 m, pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2 .



(a)



(b)



(c)

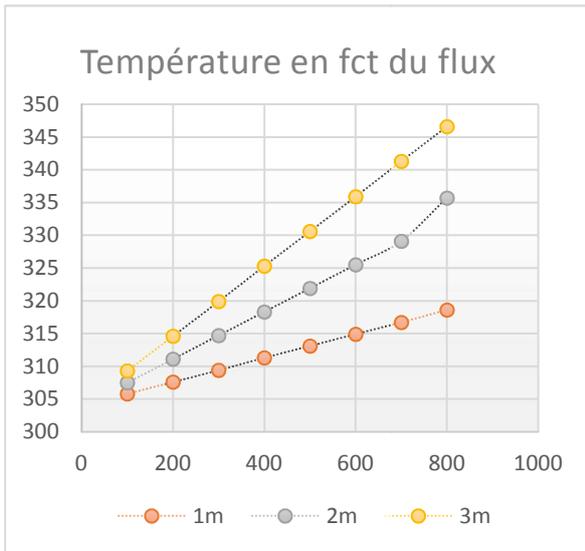
Figure IV.6 : Champ de vitesse de l'air pour une cheminée de largeur de 0.3 m, pour différentes longueurs : (a) 1m, (b) 2m, (c) 3m et pour un flux de 600 w/m^2 .

IV.4 L'évolution de la température moyenne à la sortie en fonction de l'intensité solaire :

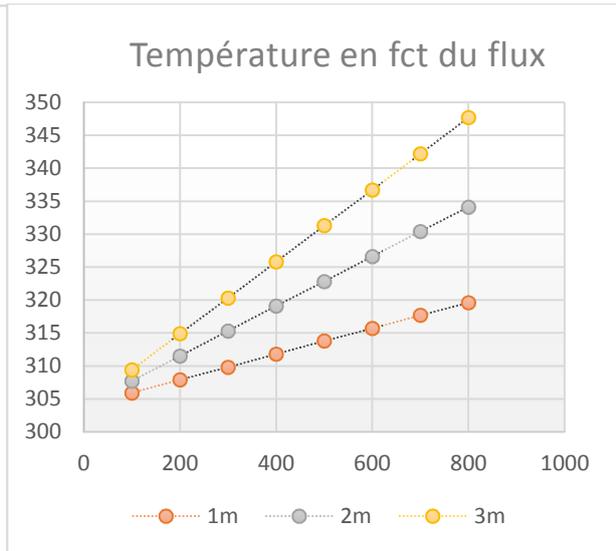
Les résultats ont été pris pour les paramètres d'entrée suivants : une vitesse de 0.18 m/s et une température de 304 K pour chaque modèle.

	Intensité solaire(W/m^2)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
Modèles								
0.1m-1m	305,8	307,6	309,4	311,3	313,1	314,9	316,7	318,6
0.1m-2m	307,5	311,1	314,7	318,3	321,9	325,5	329,1	335,7
0.1m-3m	309,3	314,6	319,9	325,3	330,6	335,9	341,3	346,6
0.2m-1m	305,9	307,9	309,8	311,8	313,8	315,7	317,7	319,6
0.2m-2m	307,7	311,5	315,3	319,09	322,8	326,6	330,4	334,1
0.2m-3m	309,4	314,9	320,3	325,8	331,3	336,7	342,2	347,7
0.3m-1m	306,5	309,1	311,7	314,2	316,8	319,4	321,9	324,5
0.3m-2m	308,1	312,2	316,3	320,4	324,5	328,6	332,7	336,8
0.3m-3m	309,7	315,5	321,3	327	332,8	338,6	344,3	350,1

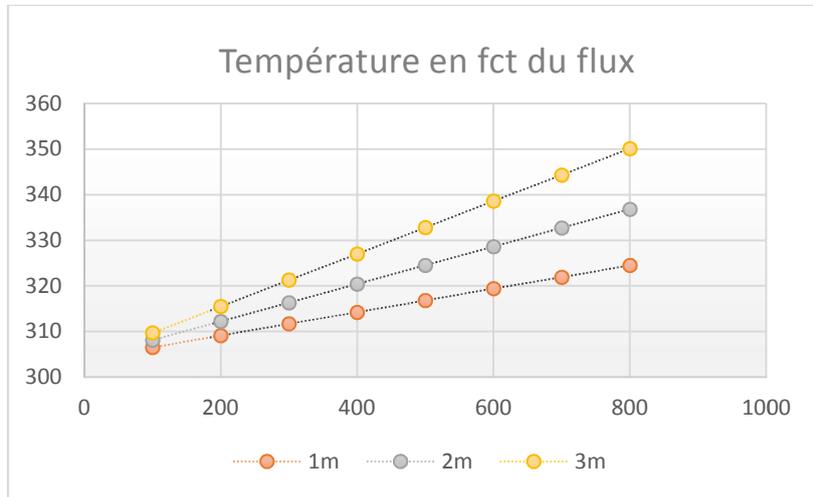
Tableau IV.1 : Evolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité solaire.



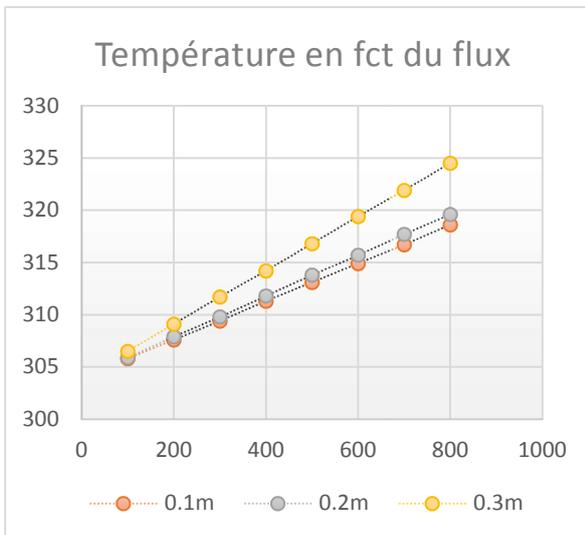
(a)



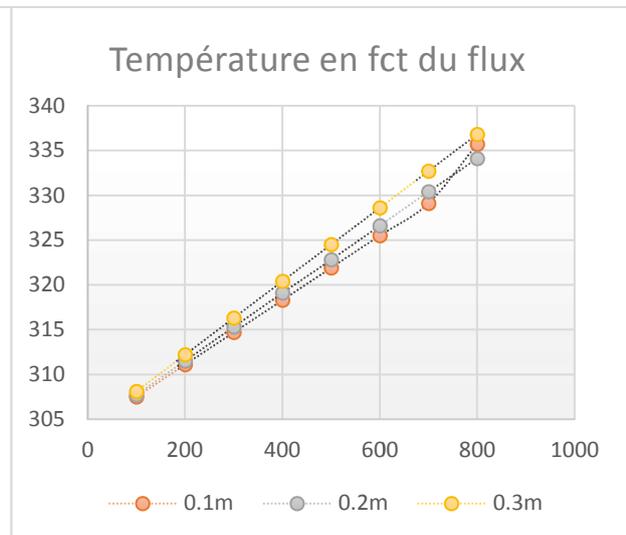
(b)



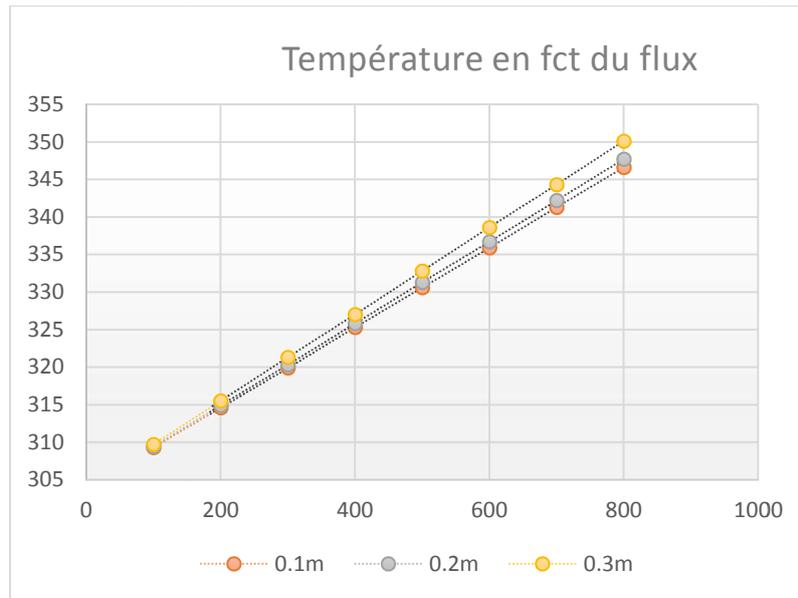
(c)



(a')



(b')



(c')

Figure IV.7 : Evolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité solaire pour différentes largeurs de cheminée (a)1m b)2m c)3m) et pour différentes longueurs (a')1m b')2m c')3m).

L'intensité du rayonnement solaire contribue à créer un gradient de température entre la vitre et l'absorbeur. Cette différence est la force motrice du système de la cheminée solaire.

Les figures présentées indiquent la variation de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité du rayonnement solaire. On enregistre une augmentation linéaire de l'ensemble des températures.

Il est à noter aussi que les valeurs de la température sont presque identiques (faible différence) pour les faibles flux de chaleur, et que plus l'intensité augmente plus la différence devient très lisible.

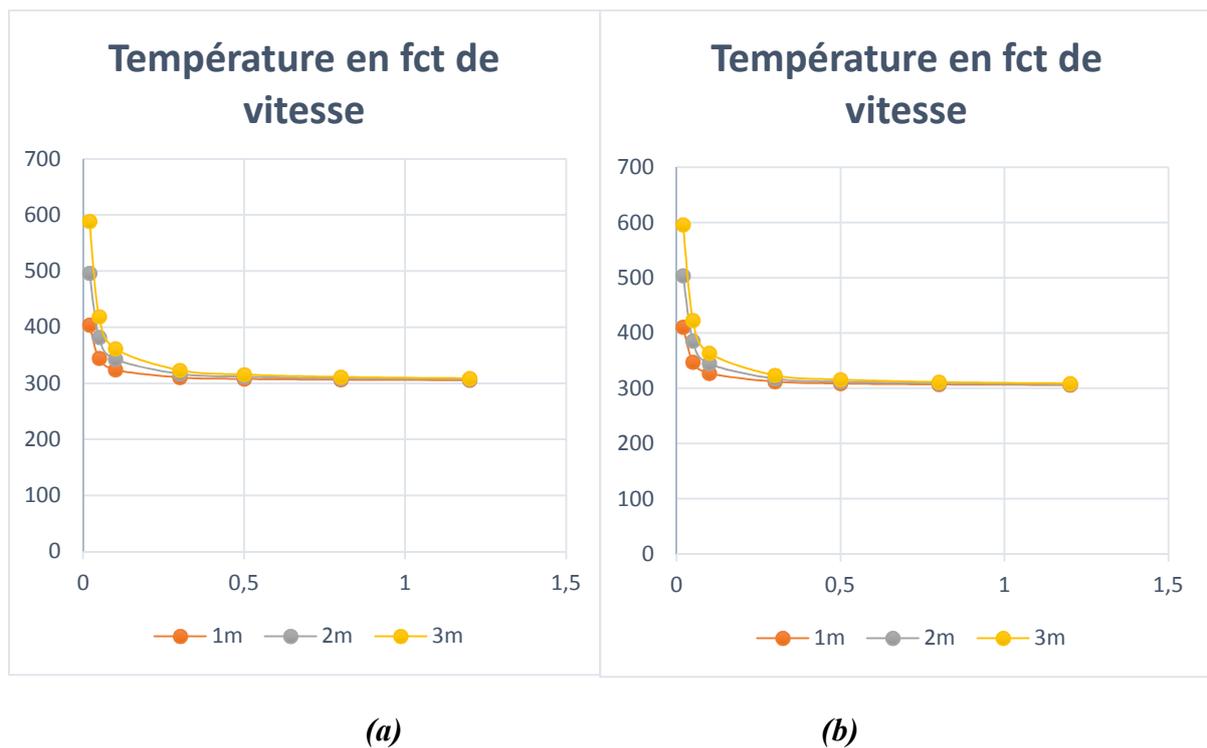
Le tableau et les figures ci-contre confirment la proportionnalité entre la température à la sortie de la cheminée et sa largeur et sa longueur.

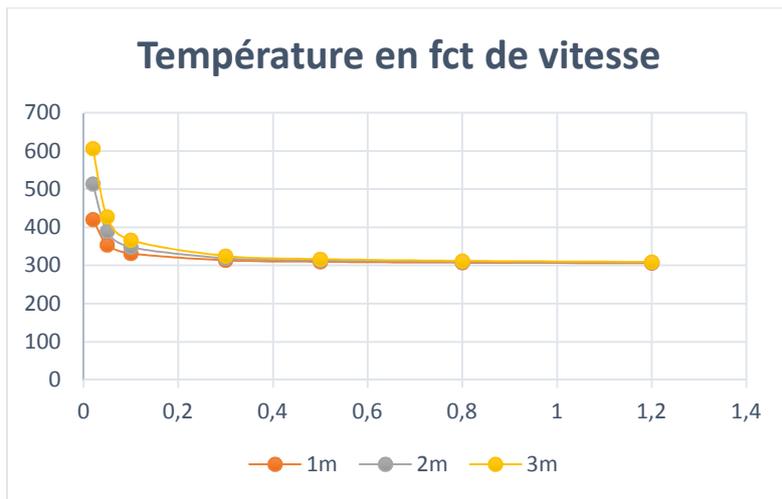
IV.5 L'évolution de la température moyenne à la sortie en fonction de la vitesse d'entrée:

Le tableau IV.2 et les figures IV.8 montrent l'évolution de la température moyenne à la sortie pour différentes vitesses à l'entrée, pour se faire, on a gardé une température constante à l'entrée (304K) et une intensité solaire de 600 W/m².

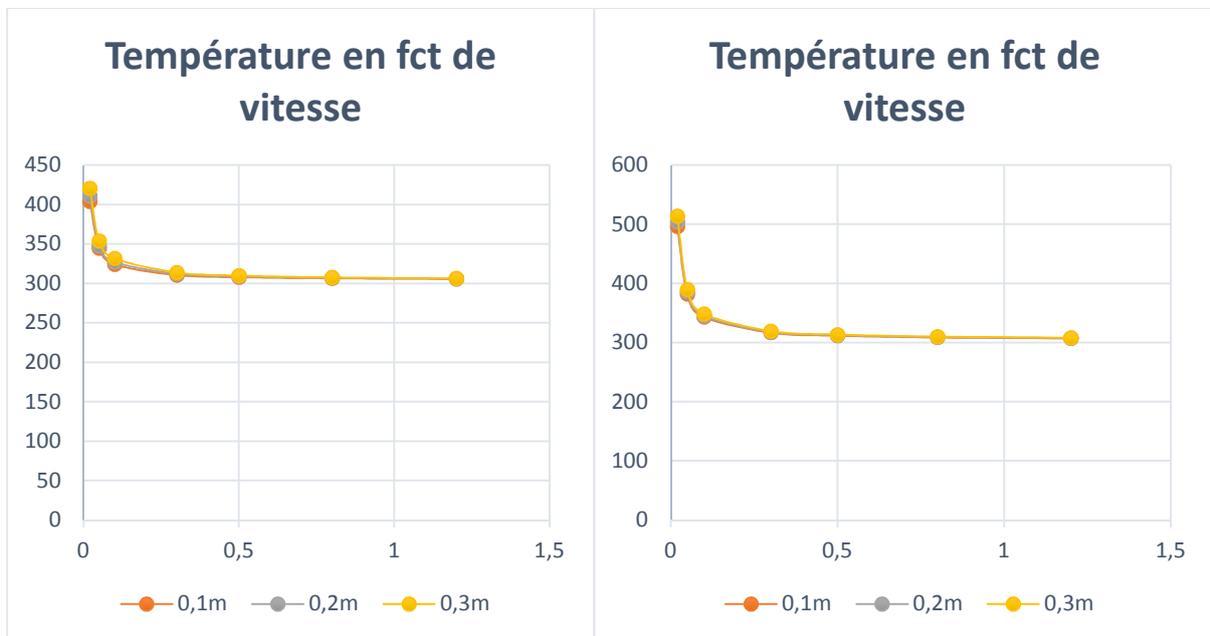
Vitesse(m/s)	0,05	0,1	0,3	0,5	0,8	1,2
Modèles						
0.1m-1m	344,6	324,12	310,5	307,9	306,5	305,6
0.1m-2m	381,9	343,2	316,9	311,7	308,8	307,2
0.1m-3m	418,8	361,7	323,2	315,5	311,2	308,8
0.2m-1m	347,5	327,2	312,2	308,9	307,1	306,1
0.2m-2m	385,7	345,1	317,6	312,2	309,1	307,4
0.2m-3m	422,9	363,8	323,7	315,8	311,4	308,9
0.3m-1m	353,8	331,7	313,8	309,9	307,6	306,4
0.3m-2m	389,6	348,3	319,2	313,2	309,8	307,9
0.3m-3m	427,6	366,5	324,9	316,6	311,9	309,3

Tableau IV.2 : Evolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de la vitesse d'entrée.



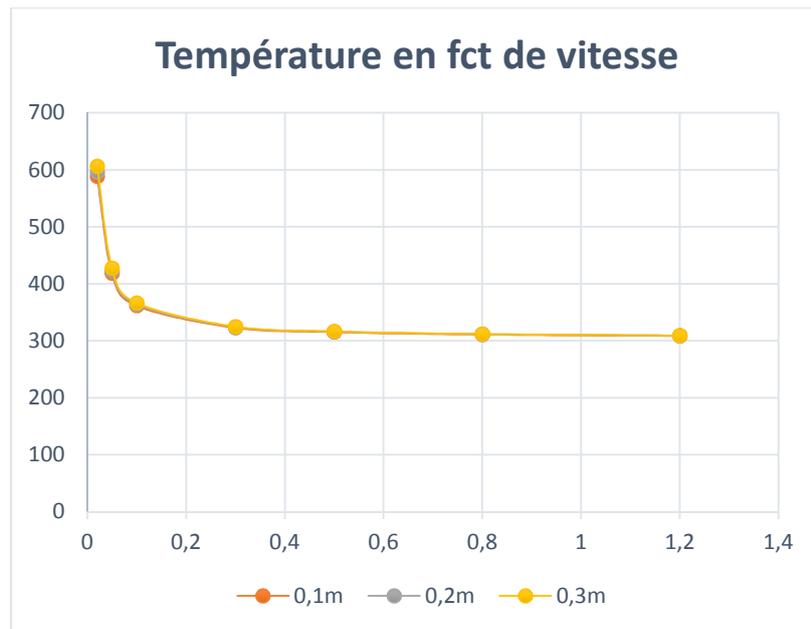


(c)



(a')

(b')



(c')

Figure IV.8 : Evolution de la température moyenne à la sortie de la cheminée en fonction de la vitesse d'entrée pour différentes largeurs de cheminée (a)0.1m b)0.2m c)0.3m) et pour différentes longueurs (a')1m b')2m c')3m).

Pour tous les cas étudiés, on a remarqué que plus la vitesse à l'entrée de la salle augmente, plus la température moyenne à la sortie de la cheminée diminue. Donc une proportionnalité inverse entre ces deux paramètres.

IV.6 Temps de renouvellement d'air de la salle pour les 9 modèles :

Modèles	1	2	3	4	5
Section de passage/Largeur (m ²)	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Vitesse moyenne de sortie (m/s)	0,5227	0,5255	0,5256	0,2607	0,2620
Temps (s)	114,7885	114,1769	114,1552	115,0747	114,5038
Nbre de fois en 1 heure	31,362	31,53	31,536	31,284	31,44

Modèles	6	7	8	9
Section de passage/Largeur (m ²)	0,2	0,3	0,3	0,3
Vitesse moyenne de sortie (m/s)	0,2624	0,1806	0,1802	0,1799
Temps (s)	114,3292	110,7419	110,9877	111,1728
Nbre de fois en 1 heure	31,488	32,508	32,436	32,382

Tableau IV.3 : Temps de renouvellement d'air pour les 9 modèles.

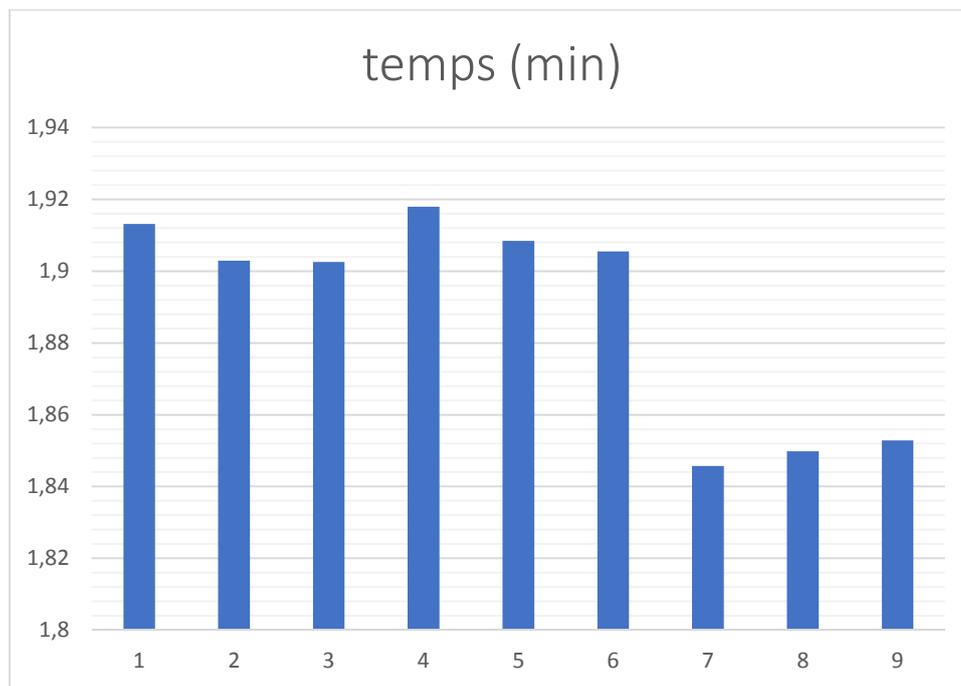


Figure IV.9 : Temps de renouvellement d'air pour les 9 modèles.

Si le but est d'assurer une meilleure ventilation de la chambre sans se soucier du confort thermique alors le modèle 7 est le plus rapide pour évacuer l'air. Par contre ce dernier peut créer des courants d'air qui affecteront ce confort.

Dans ce cas pour choisir le meilleur modèle il faut trouver un certain optimum entre la vitesse d'évacuation d'air et la température ambiante à l'intérieur de la salle.

En outre, l'air chaud à la sortie est un moyen très efficace pour le restituer et l'utiliser de nouveau pour chauffer l'eau sanitaire ou pour chauffer les salles en hiver.

Ce processus garde un certain équilibre thermique et assure le confort à l'intérieur de la salle.

En utilisant cette méthode, les modèles 3,6 et 9 assure un meilleur chauffage en hiver quand la température externe est basse.

Le modèle 9 est le plus performant car son temps de renouvellement d'air est meilleur.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence de l'épanouissement morale et physique de l'individu.

Dans le but de créer une ventilation naturelle, on a proposé un système de ventilation passif utilisant une cheminée solaire, qui a fait l'objet de ce travail.

Une simulation numérique de l'écoulement convectif a été effectuée avec le code de calcul Fluent pour visualiser les différents phénomènes qui gouvernent l'écoulement.

Les calculs numériques sont effectués pour différentes longueurs et largeurs de la cheminée et avec des différentes valeurs du rayonnement solaire.

Une augmentation du flux solaire provoque une augmentation des températures de l'absorbeur et de vitrage et la température moyenne du fluide dans la cheminée, et sa diminution provoque aussi leur diminution.

Ces températures sont aussi affectées par la vitesse d'air à l'entrée, plus cette dernière augmente plus les températures au niveau de la cheminée diminuent.

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.

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

REFERENCES

Références

- [1] https://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_tour_effet_cheminée
- [2] Anthony Caligiuri, Pauline Colombo, Anaïs Deschamps, Quentin Debarbouille, Jean-Baptiste Trebaol. Living wall. Université de Lorraine 2012
- [3] <https://www.ecophon.com/fr/a-propos-decophon/proprietes-fonctionnelles/confort-thermique/>
- [4] <https://conseils-thermiques.org/contenu/confort-thermique.php>.
- [5] <https://vmc.ooreka.fr/astuce/voir/746331/ventilation-naturelle>.
- [6] <https://www.energiepluslesite.be/index.php?id=10853#c6544+c6545+c20973503+c6546>.
- [7] <https://www.ademe.fr/en/expertises/batiment/passer-a-l'action/elements-construction/dossier/ventilation/ventilation-naturelle>.
- [9] <https://vmc.ooreka.fr/astuce/voir/746331/ventilation-naturelle>
- [10] <https://www.energiepluslesite.be/index.php?id=10853#collapse3+c6546+c20973503+c6545+c6544>
- [12] https://fr.wikipedia.org/wiki/Chemin%C3%A9e_solaire.
- [8] Ballah Farid, Tedjini Belal. Modélisation et optimisation de cheminée solaire dans un bâtiment résidentiel. Université kasdi merbah ouargla 2016.
- [11] M. Bouanani Mohammed, M. Djelaili Abdelbaki. Performance en été, de la cheminée solaire sur toit incliné par la ventilation naturelle. Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen 2012
- [13] N.K. Bansal, Rajesh Mathur, M.S. Bhandari. Solar chimney for enhanced stack ventilation. building and environment, pp. 373-377, 1993.

REFERENCES

- [14] G. Gan, S.B. Riffat. A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery. *Applied Thermal Engineering* pp1171-1187, 1998.
- [15] P. Gbaha, H. Yobouet Andoh, J. Kouassi Saraka, B. Kaménan Koua, S.Touré. Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow, pp 1817–1829, 2007.
- [16] Ramadan Bassiouny, Nader S.A. Koura. An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation. *Energy and Buildings*, pp 865–873, 2008.
- [17] Ramadan Bassiouny, Nader S.A. Korah. Effect of solar chimney inclination angle on space flow pattern and ventilation rate. *Energy and Buildings* pp.190–196, 2009.
- [18] J.K.Afriyie, Hobina Rajakaruna, Marouan Abdul-Aziz Nazha, F. K. Forson. Simulation and optimisation of the ventilation in a chimney-dependent solar crop dryer. *Solar Energy* pp 1560–1573, 2011.
- [19] SAIFI Nadia, SETTOU Nouredine, NEGROU Belkhir, AKCHICHE Zineb, DOKAR Boubaker, Etude expérimentale et simulation des phénomènes thermo-aéraulique dans une cheminée solaire, Laboratoire de Valorisation et Promotion des Ressources Sahariennes. Université Kasdi Merbah Ouargla
- [20] Guohui Gan. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. *Energy and Buildings*, pp 410–420 2006.
- [21] S.D.Sharma, H. Kotani, Y. Kaneko, T. Yamanaka, K. Sagara. Design, Development of a Solar Chimney with Built-in Latent Heat Storage Material for Natural Ventilation, *International Journal of Green Energy* 4:3, 313-324 2007.

REFERENCES

- [22] Sharma SD, Kotani H, Kaneko Y, Yamanaka T, Sagara K. Design, development of a solar chimney with built-in latent heat storage material for natural ventilation. *Int J Green Energy* 2007 ; 4 : 313-324.
- [23] Li Yongcai, Liu Shuli. Numerical study on thermal behaviours of a solar chimney incorporated with PCM. *Energy Build* 2014; 80: 406-414.
- [24] Liu Shuli, Li Yongcai. Heating performance of a solar chimney combined PCM: A numerical case study. *Energy Build* 2015; 99: 117-130.
- [25] Lu Jun, Gao Xiaolong, Li Qianru, Li Yongcai. Thermal storage capacity and night ventilation performance of a solar chimney combined with different PCMs. *Int J Photoenergy* 2017; ID 8363190.
- [26] Li Yongcai, Liu Shuli, Lu Jun. Effects of various parameters of a PCM on thermal performance of a solar chimney. *Appl Therm Eng* 2017; 117: 1119–1131.
- [27] Karima E. Amori*, Saif Watheq Mohammed. Experimental and numerical studies of solar chimney for natural ventilation in Iraq. *Energy and Buildings* 47 (2012) 450–457.
- [28] J. Arce , M.J. Jimenez , J.D. Guzman , M.R. Heras , G. Alvarez , J. Xaman. Experimental study for natural ventilation on a solar chimney. *Renewable Energy* 34 (2009) 2928–2934.
- [29] Somaye Asadi, Maryam Fakhari, Akram Mahdavi Parsa. The effect of solar chimney layout on ventilation rate in buildings. *Energy and Buildings* 2016.