



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

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
GADI Chourouk Echems

Le : [Click here to enter a date.](#)

Étude de la ventilation naturelle à l'aide d'une cheminée solaire

Jury :

Pr.	MOUMMI Nouredine	Grade	Université de Biskra	Président
Dr.	BOULTIF Nora	MCB	Université d'appartenance	Rapporteur
Dr.	MAHBOUB Chawki	MCB	Université d'appartenance	Examineur

Année universitaire : 2023 - 2024

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à

À mon cher père : Mohammed Ridha

Vous êtes mon modèle, mon inspiration, ma source de motivation.

Votre courage, votre détermination et votre persévérance m'ont appris à ne jamais renoncer à mes rêves, même face aux obstacles. Merci d'avoir toujours été là pour moi, de m'avoir encouragé et de m'avoir montré le chemin à suivre. Qu'ALLAH le tout puissant vous protège de tout mal et vous comble de santé et de bonheur.

À ma chère maman : Amal Barkat

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. Vous m'avez comblé avec votre tendresse et affection tout au long de mon parcours. Vous n'avez pas cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études.

Qu'ALLAH vous protège et vous donne la santé, le bonheur et longue vie.

À ma sœur que j'aime beaucoup : Mima

À mes chers frères : Badreddine et abdehafidh

Aux oiseaux de mon cœur les enfants de ma sœur : Raouad et djaouad

Je n'oublierai pas de citer mes collègues et amis avec qui j'ai toujours vécu les plus beaux moments.

A tous ceux qui ont cru en moi et m'ont fait confiance, merci.

REMERCIEMENT

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à :
Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la force, le courage et la patience pour
faire ce travail, ainsi que l'audace de surmonter toutes les difficultés.

Ma gratitude va particulièrement à :

Dr. Nora Boultif, maître de conférences à l'université de Mohamed Khider Biskra
mon encadreur pour son suivi, sa patience, sa disponibilité, ses nombreux conseils et ses
critiques constructives pour l'élaboration de ce travail.

À Melle **Yousra Bouter**, doctorante à l'université de Mohamed Khider Biskra pour
ses encouragements, ses conseils et son aide surtout dans la partie de la simulation.

Que Dieu éclaire son chemin et que Dieu lui accorde le succès.

Aux membres du jury **Pr MOUMMI Noureddine** .Professeur à l'université de
Mohamed Khider Biskra et **Dr MAHBOUB Chawki** maître de conférences à l'université
de Mohamed Khider Biskra pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant
d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Tous mes professeurs et membres du personnel du département de génie mécanique
qui ont contribué directement ou indirectement à ma formation.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui, par un geste, moral ou physique, ont
participé à la réalisation de ce mémoire.

-Merci -

SOMMAIRE

Dédicace	I
Remerciement.....	II
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	VII
Nomenclature	X
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Généralités sur la ventilation

I.1 Introduction.....	4
I.2 Ventilation dans les bâtiments	4
I.2.1 L'objectif de ventilation	4
I.2.2 Les types de ventilation.....	5
I.3 Les caractéristiques de E ventilation naturelle.....	7
I.4 Les différentes cavités utilisées en ventilation naturelle.....	8
I.4.1 Les tours à vent	8
I.4.2 Les tours à vent avec humidificateur.....	8
I.4.3 Les écopés	9
I.4.4 Les dômes.....	10
I.4.5 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire.....	11
I.5 Les cheminés solaire	11
I.5.1 Principe de fonctionnement.....	12
I.5.2 Les modes de transfert de chaleur dans une cheminée solaire	13
I.5.3 Type de la cheminée dans les habitats	14
I.5.4 Les modes d'opérations	16
I.5.5 Avantages et inconvénients de la cheminée solaire	17
I.5.5.1 Avantages de la cheminée solaire	17
I.5.5.2 Inconvénients de la cheminée solaire.....	17
I.6 Conclusion	17

Chapitre II : Recherche bibliographique

II.1. Introduction	19
II.2 Travaux basés sur des études expérimentales.....	19
II.3. Travaux basés sur des études numériques	22
II.4.Travaux basés sur des études numériques-expérimentales.....	26
II.5. Conclusion.....	28

Chapitre III : Étude numérique

III.1 Introduction	30
III.2 Généralités sur les codes CFD	30
III.3 Description du Module.....	31
III.3.1 Les modules physiques.....	31
III.4 Les hypothèses	32
III.4.1 Les expressions des paramètres physiques de l'air	33
III.5 Les équations mathématiques décrivant le problème	33
III.5.1 Les modèles de turbulence	34
III.5.1.1 Modèle k- ω	34
III.5.1.2Modélisation de la viscosité turbulente	35
III.6 Maillage.....	35
III.7 Les conditions aux limites.....	36
III.8 Taux de renouvellement d'air (ACH)	38
III.9 L'efficacité de la cheminée solaire	38
III.10 La converge	38
III.11. Conclusion.....	39

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1 Introduction.....	41
IV.2 Validation	41
IV.3 Cheminée sans ailettes	42
IV.3.1. Analyse de l'effet de la variation de la largeur de la cheminée (d).....	45

IV.3.1.1. La vitesse de sortie et l'ACH pour différentes intensités solaires à une taille d'admission fixée	45
IV.3.1.2. Contours des vitesses et lignes de courant pour $I= 600 \text{ W/m}^2$	46
IV.3.2. Analyse de l'effet de la taille d'entrée de la cheminée (b)	47
IV.3.2.1. La vitesse et le taux de renouvellement d'air (ACH).....	47
IV.3.2.2. Contours des vitesses et lignes de courant pour $I= 600 \text{ W/m}^2$	48
IV.3.3. L'effet de l'intensité du rayonnement solaire sur les champs thermique et dynamique.....	50
IV.3.3.1. Champ thermique (températures)	52
IV.3.3.2. Champ dynamique (vitesse)	52
IV.4 Cheminée avec ailettes	53
IV.5. L'efficacité des deux cheminées avec ailettes et sans ailettes.....	59
Conclusion générale	60
Références bibliographiques	62

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Les propriétés physiques de l'air..... 33

Tableau III.2 : Les résidus pour les différentes équations..... 39

LISTE DES FIGURES

Chapitre I: Généralités sur la ventilation

Figure I.1 : Représentation de la VMC simple flux par extraction (a) Et VMC double flux (b).....	5
Figure 1.2 : Effets combinés du vent et du tirage thermique	7
Figure I.3 : Ventilation par « Wind Catchers » à l’université de Qatar	8
Figure I.4 : Utilisation de l’humidification dans le tour à vent.....	9
Figure I.5 : Influence de l’implantation de l’écope en toiture	10
Figure I.6 : Différents cas de fonctionnement des Dômes.....	10
Figure I.7 : Représentation schématique de trois types de cavités pour le chauffage passif et la ventilation naturelle	11
Figure I.8 : Exemple de cheminée solaire intégrée sur le bâtiment	12
Figure I.9 : Schéma de fonctionnement de cheminé solaire dans les classes	13
Figure I.10 : Les modes de transfert de chaleur dans une cheminée solaire.....	14
Figure I.11 : Schéma d’une cheminée solaire verticale	15
Figure I.12 : Schéma d'une cheminée solaire à toit incliné.....	15
Figure I.13 : Les trois modes de fonctionnement d’une cheminée solaire	16

Chapitre II : Recherche bibliographique

Figure II.1 : Montage expérimental pour étudier les performances d'une cheminée solaire inclinée	20
Figure II.2 : La cheminée solaire expérimentale de type murale.....	21
Figure II.3 : Schéma de principe du banc d'essai.....	22
Figure II.4 : Schéma général du domaine physique.....	24
Figure II.5 : Schéma en coupe du montage expérimental.....	27

Chapitre III : Étude numérique

Figure III.1 : Fenêtre lancement du logiciel	30
---	----

Figure III.2 : Représentation schématique de la structure pour cheminée solaire sans ailettes..... 31

Figure III.3 : Représentation schématique de la structure pour cas cheminée solaire avec ailettes..... 32

Figure III.4 : Présentation du maillage pour une cheminée solaire sans ailettes..... 36

Figure III.5 : Configuration géométrique avec conditions aux limites 37

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV.1 : Comparaison entre les résultats de simulation et les valeurs expérimentales et numériques de Mathur et al. [18] et Bassiouny et Koura [24] ($I=300 \text{ W/m}^2$ et $d=0,1 \text{ m}$, $b =0.1\text{m}$, 0.2m et 0.3m) 41

Figure IV.2 : Comparaison entre les résultats de simulation et les valeurs expérimentales et numériques de Mathur et al. [18] et Bassiouny et Koura [24] ($I=300 \text{ W/m}^2$ et $b=0,1 \text{ m}$) 42

Figure IV.3 : Les trois configurations de la cheminée **a.** ($b=0.1\text{m}$, $d=0.1\text{m}$), **b.** ($b=0.1\text{m}$, $d=0.2\text{m}$) **c.** ($b=0.1\text{m}$, $d=0.3\text{m}$) 43

Figure IV.4 : Les trois configurations de la cheminée **a.** ($d=0.1\text{m}$, $b=0.1\text{m}$), **b.** ($d=0.1\text{m}$, $b=0.2\text{m}$) **c.** ($d=0.1\text{m}$, $b=0.3\text{m}$) 44

Figure IV.5 : a. Variation de la vitesse à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et La largeur d Pour ($b =0.1\text{m}$). b. Variation de l'ACH à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et la largeur d Pour ($b =0.1\text{m}$)..... 45

Figure IV.6 : Contours des vitesses et des lignes de courant pour $b=0.1\text{m}$ $d=0.1\text{m}$, 0.2m et 0.3m 46

Figure IV.7 : **a.** Variation de la vitesse à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et l'entrée **b** Pour ($d =0.1\text{m}$). **b.** Variation de l'ACH à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et la largeur d Pour ($d =0.1\text{m}$) 47

Figure IV .8 : Contours des vitesses et des lignes de courant pour $d=0.1\text{m}$ $b=0.1\text{m}$, 0.2m et 0.3m 47

Figure IV.9 : Contours des températures pour différentes intensités a. $I=400\text{W/m}^2$ b. $I=600\text{W/m}^2$ c. $I=800\text{W/m}^2$	50
Figure IV.10 : Contours des vitesses pour différentes intensités a. $I=400\text{W/m}^2$ b. $I=600\text{W/m}^2$ c. $I=800\text{W/m}^2$	51
Figure IV.11 : Cheminée solaire avec ailette.....	53
Figure IV.12 : a. Variation de la vitesse à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité .pour les deux géométries sans ailettes et avec ailettes b. Variation de l'ACH à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité pour les deux géométries sans ailettes et avec ailettes.....	54
Figure IV.13 : Contours des vitesses et des températures pour les deux géométries (A) sans ailettes et (B) avec ailettes $I=400\text{W/m}^2$	55
Figure IV.14 : Contours des vitesses et des températures pour les deux géométries (C) sans ailettes et (D) avec ailettes $I=600\text{W/m}^2$	56
Figure IV.15 : Contours des vitesses et des températures pour les deux géométries (E) sans ailettes et (F) avec ailettes $I=800\text{W/m}^2$	57
Figure IV.16 : L'efficacité de la cheminée solaire sans et avec ailettes pour différentes valeurs d'intensités	59

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
H	Hauteur de la pièce	[m]
H _f	Hauteur de fenêtre	[m]
b	La taille d'ouverture d'admission	[m]
d	Largeurs de la cheminée	[m]
W	Largeurs de la pièce	[m]
L _c	Longueur de la cheminée	[m]
T	Température	[K]
T _o	Température de référence	[K]
T _m	Température moyenne	[K]
T vitre	Température moyenne de vitre	[K]
T abs	Température moyenne d'absorbeur	[K]
C _p	Chaleur spécifique à pression constante	[J .kg ⁻¹ .k ⁻¹]
k	Énergie cinétique turbulente	[m ² .s ⁻²]
I	Intensité de rayonnement solaire	[W.m ⁻²]
V	Volume de la chambre	[m ³]
g	Gravité	[m.s ⁻²]
u, v	Composants de la vitesse d'air	[m .s ⁻¹]
u _j	Composant vitesse dans la direction j	[m .s ⁻¹]
x, y	Système de coordonnées	[/]
ACH	Renouvellement d'air	[h ⁻¹]
Q _v	Débit volumique	[m ³ .s ⁻¹]
\dot{m}	Débit massique	[Kg.s ⁻¹]
T _{sortie}	Température moyenne de la sortie de cheminée	[K]
T _{entrée}	Température moyenne de l'entrée de cheminée	[K]
P _k	Production de l'énergie cinétique turbulente	[kg.m ² .s ⁻²]
S	Surface d'échange	[m ²]

Lettres Grecques

Symbole	Désignation	Unité
B	Coefficient d'expansion thermique à pression constante	[K ⁻¹]
ρ	Masse volumique	[Kg.m ⁻³]
ρ _o	Masse volumique du fluide à T _o	[Kg.m ⁻³]
λ	Conductivité thermique	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
μ	Viscosité dynamique	[kg.s ⁻¹ .m ⁻¹]
μ _t	Viscosité turbulente	[kg.s ⁻¹ .m ⁻¹]
σ*, σ et ω	Coefficients de Prandtl turbulent	
ω	Dissipation spécifique d'énergie turbulente	[s ⁻¹]
α _{inf} , β _i , β* _{inf}	Constants du modèle	
τ _{ij}	Tenseur des contraintes de Reynolds	
ε	Efficacité thermique	[%]

Introduction générale

Face aux défis environnementaux croissants et à l'épuisement des ressources fossiles, la recherche de solutions durables dans le domaine de bâtiment devient un besoin urgent. Dans ce contexte, les énergies renouvelables et les techniques de construction bioclimatiques s'imposent comme des alternatives prometteuses pour concevoir des bâtiments plus respectueux de l'environnement et plus économes en énergie.

Parmi ces énergies renouvelables, l'énergie solaire se distingue par son abondance, son caractère renouvelable et son faible impact environnemental. Son utilisation dans le domaine du bâtiment offre un large éventail de possibilités, allant de la production d'électricité à la fourniture d'eau chaude sanitaire, en passant par le chauffage et la climatisation des espaces intérieurs.

D'autre part, la ventilation naturelle (Fruit de l'héritage architectural traditionnel) s'impose comme un élément fondateur de l'architecture climatique moderne. Elle joue un rôle essentiel dans le maintien d'un environnement sain en évacuant les odeurs et polluants, en régulant l'humidité et en fournissant l'oxygène nécessaire aux appareils de combustion, contribuant ainsi au bien-être des occupants. Son importance est aujourd'hui réaffirmée, tant dans les habitations individuelles que dans les bâtiments publics. Au-delà du renouvellement de l'air, la ventilation naturelle s'avère particulièrement utile dans les régions arides, permettant de réguler la température intérieure et de créer une atmosphère fraîche et confortable.

Parmi les technologies innovantes l'alliance de l'énergie solaire et de la ventilation naturelle : en exploitant les cheminées solaires.

Les cheminées solaires, également connues sous le nom de cheminées thermiques ou tours solaires, sont essentiellement des structures verticales qui utilisent la puissance du soleil pour induire un mouvement d'air. Composées d'un vitrage transparent, d'une cavité d'air et d'un mur absorbant l'énergie solaire, ces cheminées exploitent les principes du rayonnement solaire et de la flottabilité pour créer un flux d'air naturel.

Ce mémoire s'inscrit dans le domaine de la ventilation naturelle à l'aide d'une cheminée solaire.

L'objectif de ce travail consiste à étudier la ventilation naturelle d'une pièce munie d'une cheminée solaire verticale.

Le travail présenté dans ce document comporte quatre chapitres :

- le premier chapitre est relatif à des généralités sur la ventilation naturelle en soulignant les différentes cavités utilisées en ventilation naturelle, les différents types de cheminées solaires leurs avantages et inconvénients.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude bibliographique des travaux théoriques, numériques et expérimentaux réalisés dans le domaine des cheminées solaires, en examinant diverses configurations et conditions.
- Le troisième chapitre consacré à la simulation numérique par FLUENT.
- Le quatrième chapitre englobe les résultats de la simulation numérique et leurs interprétations.

Enfin, notre étude est clôturée par une conclusion générale.

*Chapitre I : Généralité sur la
ventilation*

I.1 Introduction

La ventilation joue un rôle crucial dans le maintien d'un environnement intérieur sain et confortable. Elle permet d'introduire de l'air frais et d'évacuer l'air vicié, contribuant ainsi à diluer et éliminer divers polluants tels que les odeurs, les fumées, les produits de combustion, les toxines, l'humidité, le gaz carbonique et les poussières.

Cependant, la ventilation ne se limite pas au simple renouvellement de l'air. Elle peut également être utilisée pour réguler la température intérieure, l'augmentant ou la diminuant selon les besoins, ou pour créer une sensation de fraîcheur bienvenue en période de chaleur.

Ce chapitre s'intéresse à la ventilation dans les bâtiments : les différents types de ventilations existants, les caractéristiques et les modes de la ventilation naturelle et finalement la cheminée solaire.

I.2 Ventilation dans les bâtiments

La ventilation est l'introduction délibérée d'air extérieur dans un espace, principalement dans le but de contrôler la qualité de l'air intérieur en diluant et en déplaçant les polluants intérieurs. Elle peut également être utilisée pour le confort thermique ou la déshumidification lorsque l'introduction d'air extérieur contribue à atteindre les conditions intérieures souhaitées en termes de température et d'humidité. Cette introduction d'air extérieur peut être réalisée de manière mécanique, à l'aide de systèmes mécaniques tels que les ventilateurs, ou de manière naturelle, en exploitant les forces naturelles telles que les différences de pression et les courants d'air [1].

I.2.1 L'objectif de ventilation

La ventilation vise la préservation de la santé des occupants et celle de l'intégrité du bâtiment avec des contraintes sur le confort thermique, la durabilité, la sécurité incendie, le bruit et l'utilisation d'énergie. Pour le bâtiment, une ventilation bien conçue limite les risques de condensation, de sécheresse, de moisissure, de champignons, d'acariens et de poussière. Pour la santé de l'occupant, elle limite les concentrations de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone, de germes, de micro-organismes et de composés organiques volatils [2].

Les objectifs de la ventilation sont :

- L'élimination des polluants naturels (issus de l'ameublement, des matériaux de construction, des produits de nettoyage, les odeurs, le CO₂ métabolique et la vapeur d'eau).

- L'élimination des polluants spécifiques émanant de sources locales identifiables telles que les odeurs et la vapeur d'eau provenant de cuisine et de toilettes, fumée de tabac dans l'environnement, produits de combustion provenant d'appareils à combustible.
- L'alimentation en air neuf pour les occupants.
- Le contrôle de l'humidité intérieure pour éviter une atmosphère trop sèche et éviter moisissure ou condensation.
- La fourniture d'air pour les appareils à combustible [2].

I.2.2 Les types de ventilation

- **Ventilation mécanique**

La ventilation mécanique repose sur des équipements motorisés tels que des ventilateurs pour assurer la circulation de l'air à l'intérieur des bâtiments, offrant un contrôle précis et une efficacité constante, avec des options comme La VMC la plus courante, elle assure l'extraction de l'air vicié et l'entrée d'air frais par des entrées passives (aérations). la VMC simple flux par extraction ou la ventilation mécanique double flux centralisée.

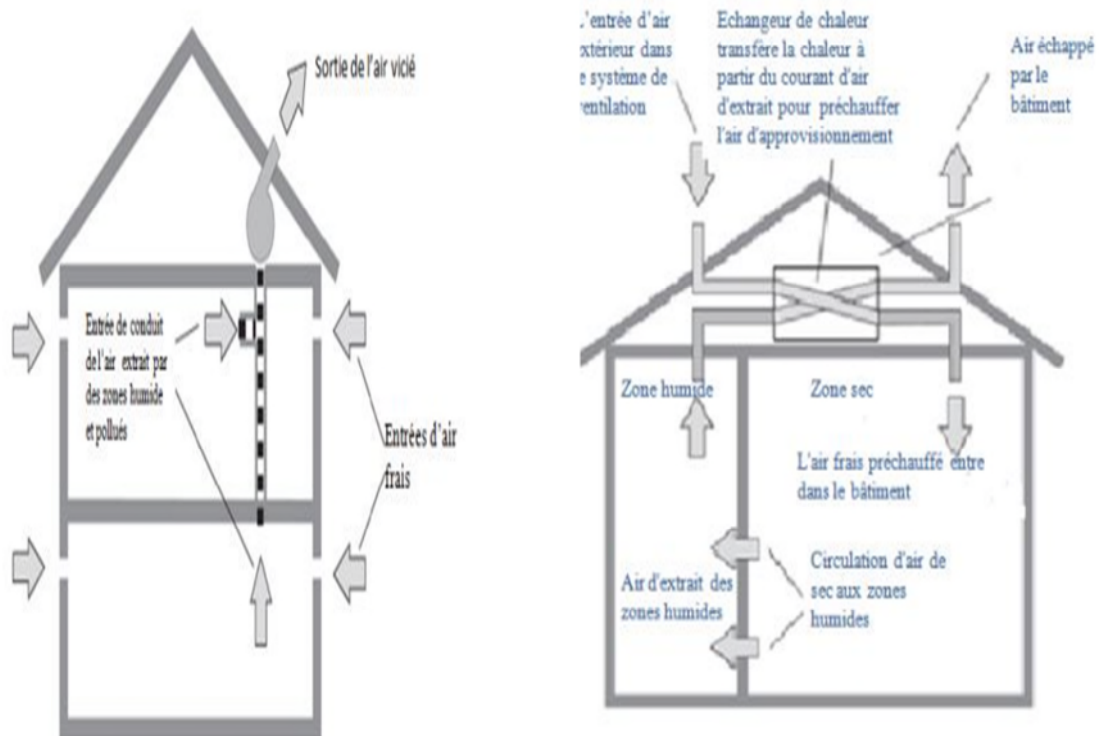


Figure I.1 : Représentation de la VMC simple flux par extraction (a) Et VMC double flux (b)

[3].

- **Ventilation naturelle**

La ventilation naturelle exploite les forces naturelles comme la convection et le vent, en s'appuyant sur les caractéristiques architecturales du bâtiment pour permettre une circulation d'air, offrant une solution plus simple et moins coûteuse mais dépendante des conditions météorologiques et des caractéristiques du bâtiment pour son efficacité, avec des avantages potentiels en termes de réduction de la consommation d'énergie et d'amélioration de la qualité de l'air intérieur.

La ventilation naturelle est utilisée en approche bioclimatique pour fournir l'air frais nécessaire aux occupants pour leur santé, et de contrôler la température pour leur confort. Cette stratégie s'avère efficace à contrôler les surchauffes des bâtiments si ceux-ci sont bien conçus et si les conditions climatiques le permettent : une disposition stratégique des ouvertures et une morphologie architecturale favorable à la circulation transversale et verticale de l'air permettront de générer suffisamment de changements d'air pour évacuer la surchauffe [3].

Il existe deux grands « moteurs » de la ventilation naturelle :

- **Le vent** : Une façade exposée au vent est en surpression. A l'inverse, une dépression est créée sur les façades sous le vent. Si des ouvertures sont créées sur les faces opposées d'un bâtiment, un renouvellement d'air proportionnel au carré de la vitesse du vent se produit.

- **Le tirage thermique** : La différence de densité de l'air chaud par rapport à l'air froid génère des mouvements d'air. L'air chaud a tendance à monter tandis que l'air froid a tendance à descendre. Si nous prévoyons des ouvertures au bas de l'espace à rafraîchir, l'air froid entrera de l'extérieur. Si nous prévoyons des bouches d'aération en haut de l'espace, de l'air chaud sortira. Cet effet est connu sous le nom d'effet cheminé.

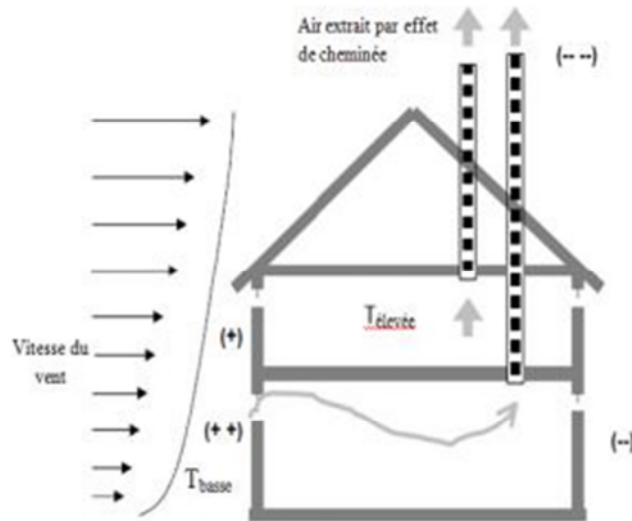


Figure 1.2 : Effets combinés du vent et du tirage thermique [4].

I.3 Les caractéristiques de la ventilation naturelle

La ventilation est essentielle pour le rafraîchissement en évacuant la chaleur du corps humain.

- **Utilisation des forces naturelles** : La ventilation naturelle exploite les forces telles que les vents et les différences de température pour faire circuler l'air à travers les espaces habitables.
- **Mouvements d'air spontanés** : Les mouvements d'air se produisent de manière spontanée, sans recours à des équipements mécaniques tels que des ventilateurs.
- **Évacuation de la chaleur** : La ventilation naturelle permet l'évacuation de la chaleur excessive des bâtiments, contribuant ainsi au confort thermique des occupants.
- **Réduction de l'humidité** : En favorisant le renouvellement de l'air, la ventilation naturelle peut contribuer à réduire l'humidité excessive à l'intérieur des bâtiments, ce qui est essentiel pour éviter les problèmes de moisissures et de condensation.
- **Amélioration de la qualité de l'air intérieur** : En permettant un renouvellement constant de l'air, la ventilation naturelle aide à éliminer les polluants intérieurs et à maintenir une bonne qualité de l'air à l'intérieur des espaces habitables.

1.4 Les différentes cavités utilisées en ventilation naturelle

1.4.1 Les tours à vent

Les tours des vents sont un bel exemple de ventilation naturelle, afin de s'adapter à un climat extrême. Les tours des vents, les « badgir » (mot persan signifiant littéralement attrape-vents) sont un élément traditionnel d'architecture du Moyen Orient utilisées depuis des siècles afin de rafraîchir les habitations sans autre énergie que le vent. Les tours des vents sont de grandes cheminées d'environ 3 mètres par 5 pour une quinzaine de mètres de haut. La partie haute surplombant les toits est constituée d'ouvertures verticales orientées selon la direction des vents dominants. Le nombre d'ouverture varie de une à huit selon les plans des tours. L'intérieur de la tour est recoupé verticalement afin de canaliser le vent, séparant flux ascendants et flux descendants. En partie basse se trouve une ouverture qui s'ouvre dans la pièce à rafraîchir. Le principe des tours est de capter les vents qui circulent au-dessus des toits. L'air chaud circule ainsi dans la tour, descendant et remontant par des canaux verticaux. Cela crée un mouvement d'air qui va aspirer l'air frais des sous-sols afin de rafraîchir la pièce (effet Venturi). [5].

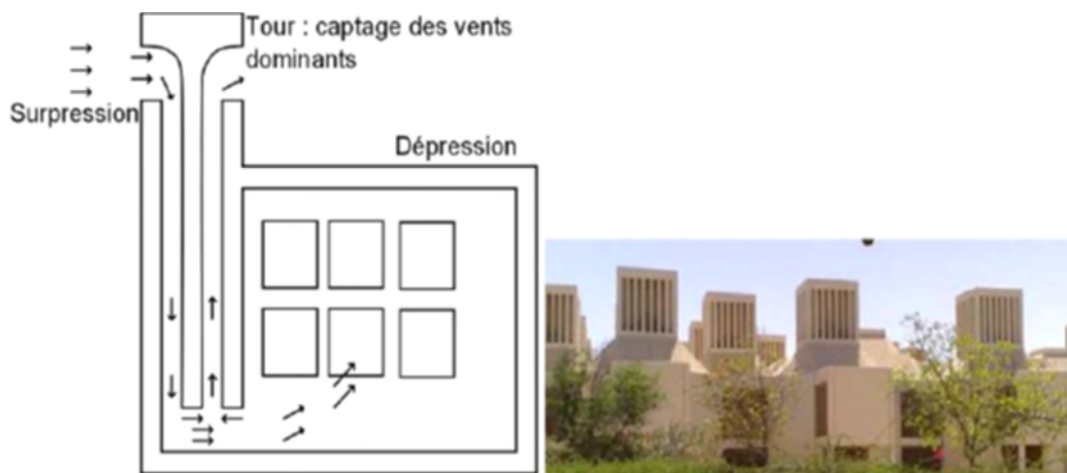


Figure I.3 : Ventilation par « Wind Catchers » à l'université de Qatar [2].

1.4.2 Les tours à vent avec humidificateur

Le système est amélioré par la suspension de vases d'eau en terre non cuite dans la tour. Cela permet d'humidifier le filet d'air sec et d'abaisser ainsi sa température grâce à l'évaporation de l'eau avant la ventilation dans l'habitat. Les changements d'état de l'eau mettent en jeu des quantités d'énergie importantes.

Comme cette énergie est prélevée dans l'air du local, il s'y produit inévitablement une diminution de la température. Cette amélioration ne peut être exploitée en climat humide puisque l'humidité relative est déjà supérieure au niveau de confort. En revanche, en climat sec, elle permet la ventilation des espaces intérieurs : l'air introduit est rafraîchi avant de pénétrer dans l'habitat et les problèmes de poussières liés à la ventilation sont diminués grâce à l'humidité relative de l'air plus élevée [2].

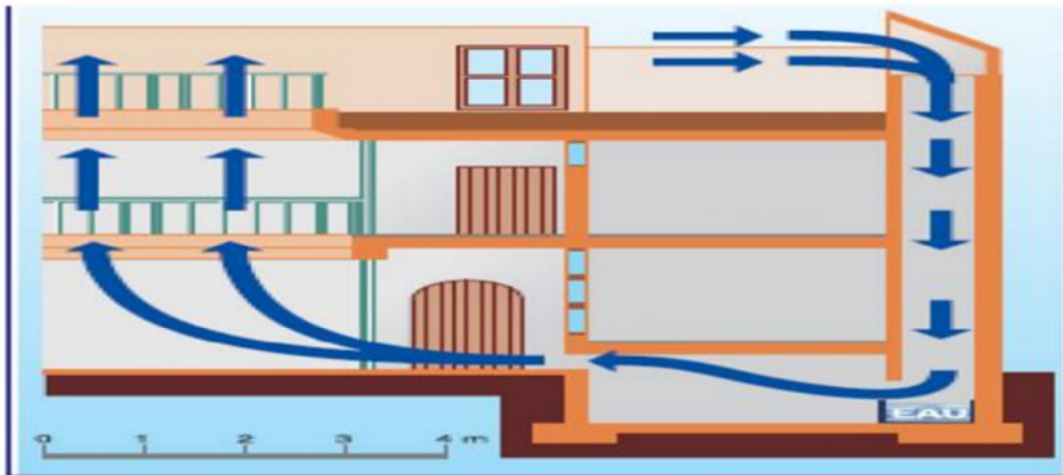


Figure I.4 : Utilisation de l'humidification dans le tour à vent [6].

I.4.3 Les écopés

Il s'agit de dispositifs de collecte d'air de grande taille qui sont intégrés au toit. Elles augmentent la capacité de ventilation naturelle de l'habitat, ce qui est essentiel dans les climats chauds. Les pièces centrales, qui sont essentielles aux volumes intérieurs entièrement traversant, sont parfaitement ventilées, ce qui les rend idéales pour la ventilation des bâtiments peu poreux.

Les écopés sont classés en deux catégories :

- **Écopés d'extraction :** Conçues pour évacuer l'air vicié de l'intérieur du bâtiment, les écopés d'extraction créent une légère dépression qui favorise la circulation de l'air.
- **Écopés d'admission :** Permettent l'entrée d'air frais dans le bâtiment, contribuant ainsi à renouveler l'air intérieur et à améliorer le confort thermique.

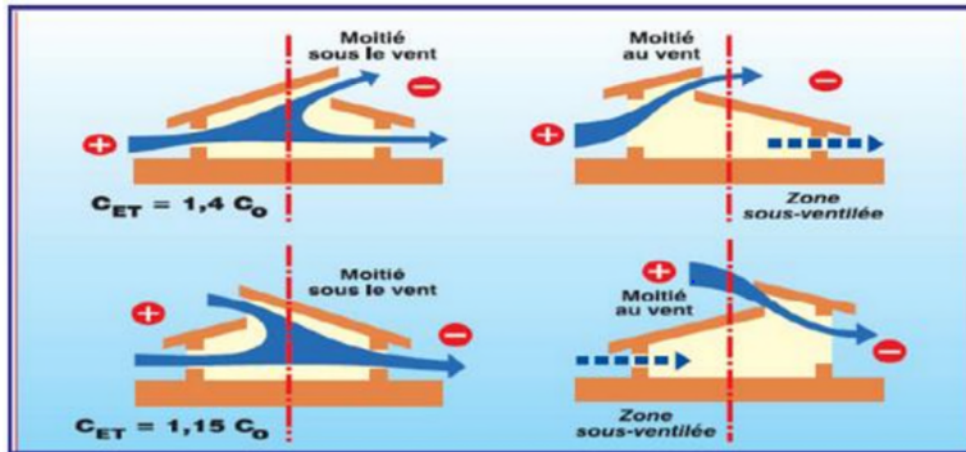


Figure I.5 : Influence de l'implantation de l'écope en toiture [6].

I.4.4 Les dômes

Cette technique de construction est employée depuis l'Antiquité. Elle est largement associée aux pays du Maghreb et du Proche-Orient, et notamment l'Algérie, l'Égypte, la Jordanie, la Palestine et la Tunisie. Son utilisation est généralement courante dans tous types de milieux : urbain, rural, en plaine, en montagne ou en bord de mer. Cette technique constructive est utilisée en rez-de chaussée, en premier ou en dernier étage.

Ce sont des coupoles qui, ayant au sommet une fenêtre, recouvrent soit une partie de la maison soit la pièce principale d'un bâtiment. Le plus souvent, les coupoles sont pleines, réalisées sans ouvertures. Quelquefois, des percements sont réalisés, soit dans les pans de la coupole, soit au sommet de celle-ci. Ces ouvertures servent à assurer la ventilation et l'éclairage de l'espace couvert. Les dômes présentent des surfaces de déperdition thermique très grande [2].

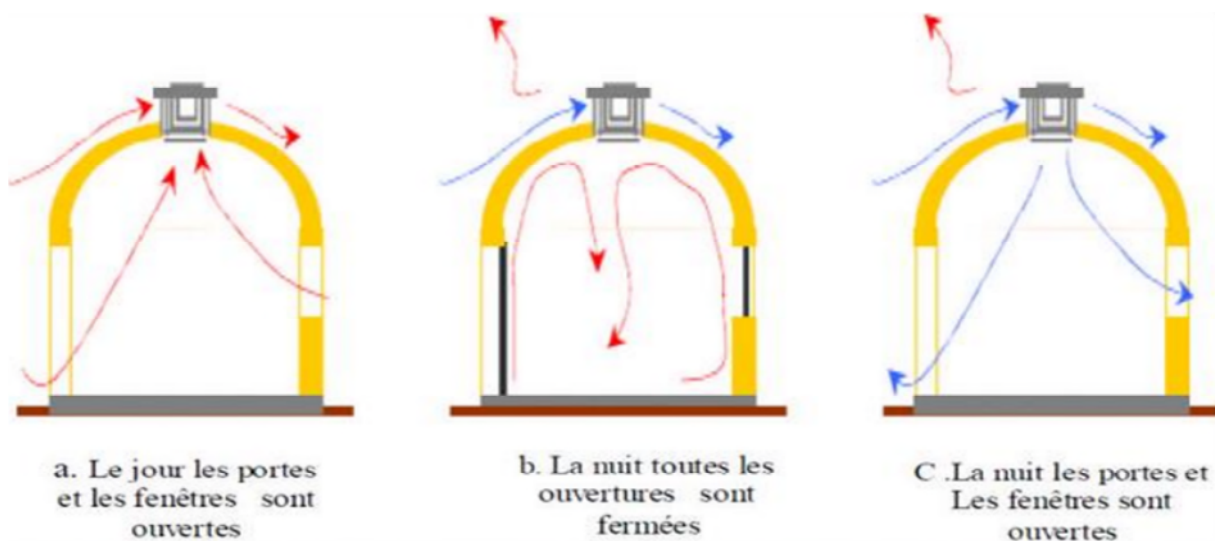


Figure I.6 : Différents cas de fonctionnement des Dômes [2].

I.4.5 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire

Le principe général de cette ventilation naturelle est d'assister le phénomène de tirage thermique en utilisant l'énergie solaire pour augmenter les écarts de températures et donc l'effet de tirage thermique [7].

Les systèmes de ventilation naturelle qui utilisent l'énergie solaire pour le chauffage sont :

- Cheminées solaires.
- Façades à double peau.
- Le mur trombe.

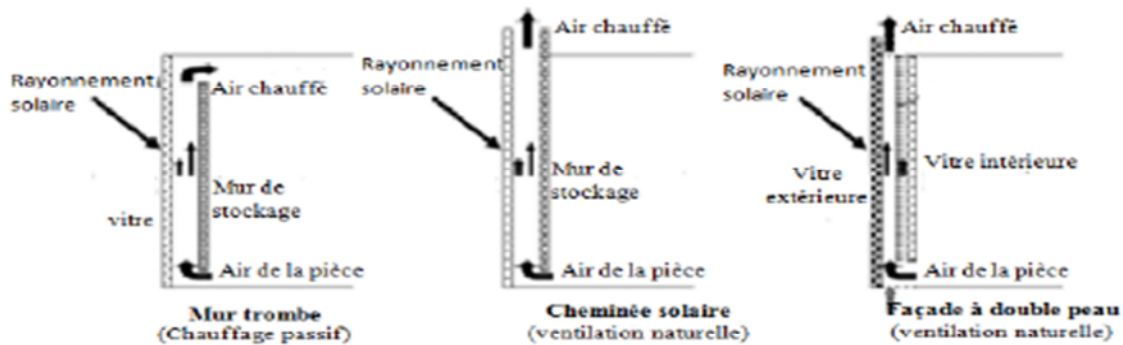


Figure I.7 : Représentation schématique de trois types de cavités pour le chauffage passif et la ventilation naturelle [8]

I.5 Les cheminés solaire

Une cheminée solaire est un dispositif de nature passive qui favorise la circulation de l'air. L'utilisation d'une cheminée solaire permet d'améliorer la ventilation naturelle des bâtiments en utilisant l'énergie solaire passive. Le flux d'air dans la cheminée est principalement entraîné par la poussée thermique, qui résulte de la variation de densité de l'air lors du gradient de température entre la pièce intérieure et la cavité de la cheminée. Cela illustre les cheminées solaires couramment utilisées dans les bâtiments [9].

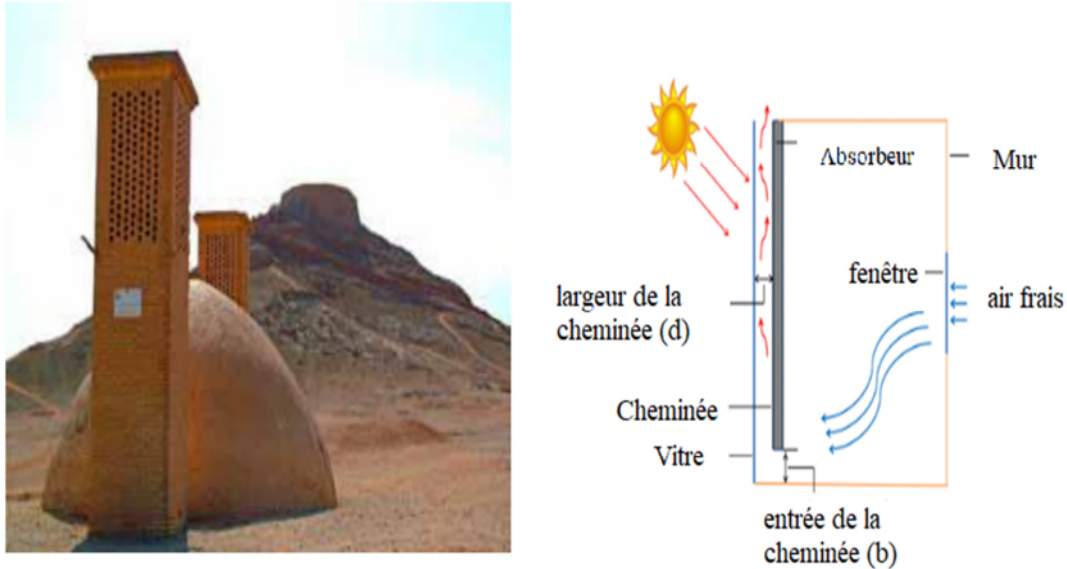


Figure I.8 : Exemple de cheminée solaire intégrée sur le bâtiment [10].

I.5.1 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une cheminée solaire pour ventilation naturelle repose sur l'utilisation de l'énergie solaire pour créer un flux d'air naturel à l'intérieur d'un bâtiment, comme suit :

- **Captation de la chaleur solaire :** La cheminée solaire est généralement construite avec un matériau transparent sur sa partie supérieure, comme du verre ou du plastique transparent. Cela permet au soleil de chauffer l'air à l'intérieur de la cheminée.
- **Création d'un flux d'air :** Lorsque l'air à l'intérieur de la cheminée est chauffé par le soleil, il devient plus léger et commence à monter. Ce mouvement crée un flux d'air ascendant à l'intérieur de la cheminée.
- **Aspiration de l'air frais :** Pour maintenir le flux d'air ascendant, de l'air frais est aspiré à l'intérieur du bâtiment depuis les ouvertures situées au bas de la cheminée ou dans les pièces adjacentes. Cet air frais remplace l'air chaud qui monte dans la cheminée.
- **Ventilation naturelle :** Le mouvement ascendant de l'air chaud à l'intérieur de la cheminée crée une ventilation naturelle à l'intérieur du bâtiment. Cela permet d'évacuer l'air vicié et de réguler la température intérieure, en contribuant au confort des occupants.

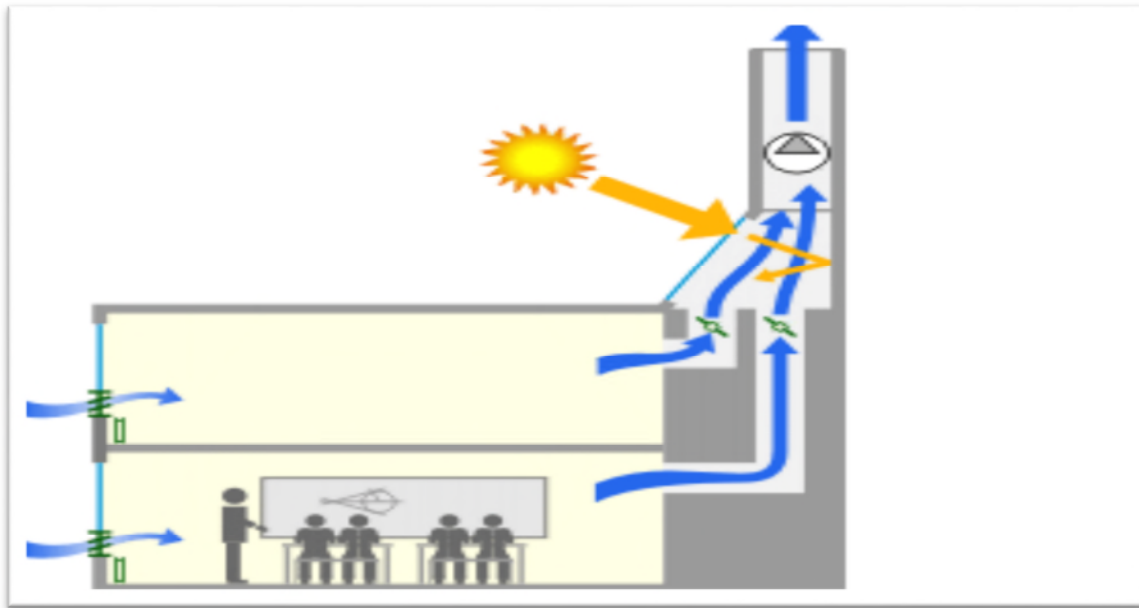


Figure I.9 : Schéma de fonctionnement de cheminé solaire dans les classes [11]

I.5.2 Les modes de transfert de chaleur dans une cheminée solaire

Le transfert de chaleur est le processus physique par lequel l'énergie thermique est échangée entre les particules d'un matériau ou entre différents matériaux. Il se produit toujours du corps chaud vers le corps froid jusqu'à ce qu'un équilibre thermique soit atteint. L'échange de chaleur dans la cheminée solaire s'effectue selon les trois modes : la conduction, la convection et le rayonnement.

- Conduction : la conduction thermique est le mode de propagation de l'énergie thermique à travers les matières. Les éléments qui constituent les matières reçoivent et transmettent l'énergie aux éléments voisins par contact de molécules les plus chaudes avec les molécules les plus froides. La chaleur absorbée par la surface de la cheminée est conduite à travers les matériaux de construction de la cheminée et transférée à l'air à l'intérieur.

- Convection : C'est le mode de transfert de chaleur principal dans une cheminée solaire. L'air chauffé par le soleil à l'intérieur de la cheminée devient moins dense et monte, créant un courant ascendant qui entraîne l'air plus frais à travers le bâtiment.

- Rayonnement : le rayonnement thermique est la transmission d'énergie thermique de surface à surface par onde électromagnétiques. Tout corps d'une température supérieure au zéro absolu émet de tels rayons qui se propagent dans l'espace, y compris dans le vide. L'énergie solaire est absorbée par la surface noire ou d'un matériau absorbant la chaleur dans la cheminée solaire, ce qui chauffe l'air à l'intérieur.

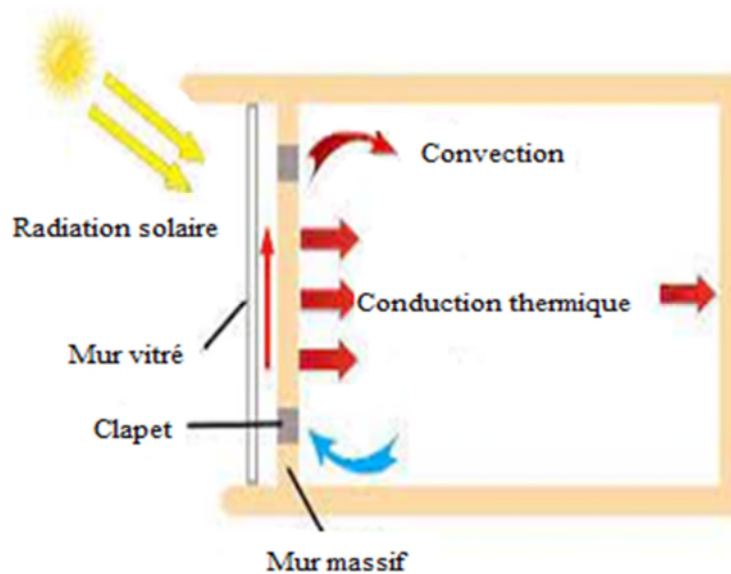


Figure I.10 : Les modes de transfert de chaleur dans une cheminée solaire

I.5.3 Type de la cheminée dans les habitats

On peut distinguer deux types de cheminée :

- **Cheminée solaire verticale**

Ce type de cheminée est le plus rencontré, où l'entrée d'air se fait par l'ouverture au fond et la sortie par l'ouverture au-dessus. On dénote trois types de cheminées selon l'admission d'air (Figure I.11). Le positionnement de l'ouverture d'admission représente trois manières possibles, d'intégrer la cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle [12].

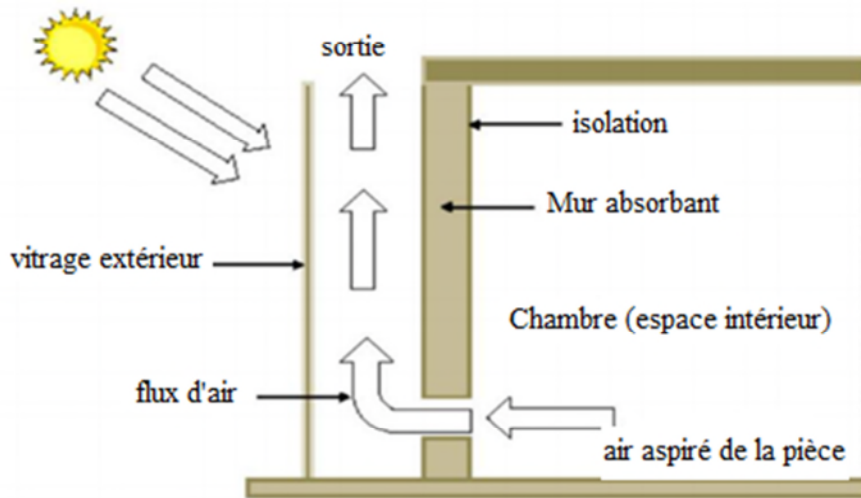


Figure I.11 : Schéma d'une cheminée solaire verticale [13].

○ **Cheminée solaire inclinée**

Les cheminées solaires inclinées sont semblables aux cheminées solaires verticales (Figure I.12). La seule différence est qu'elles sont intégrées d'une façon inclinée à un certain angle approprié, pour capturer le maximum de rayonnement solaire possible [14].

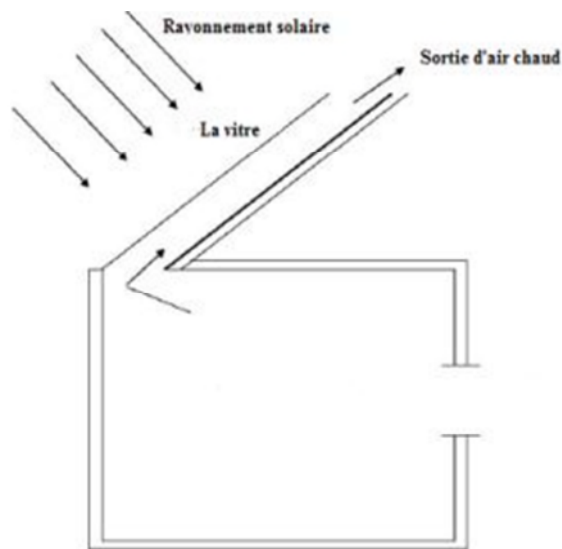


Figure I.12 : Schéma d'une cheminée solaire à toit incliné [13].

I.5.4 Les Modes d'opérations

Trois modes opératoires de la cheminée solaire, qui sont appropriés à chaque saison :

- Cas de chauffage : la cheminée solaire fonctionne en mode de chauffage passif. L'air extérieur entre dans la cheminée, et réchauffé par l'énergie solaire absorbée. L'entrée d'air chaud dans la salle contribue à la réduction de la charge thermique [15].
- Cas de refroidissement avec la température d'extérieure est inférieure à la température d'air dans la pièce : la cheminée solaire peut fonctionner dans le mode de ventilation et le refroidissement passif. La fonction est identique à celle pour le refroidissement dans des régions froides ou de climats modérés, où les conditions extérieures en été ne sont pas dures [15].
- Cas de refroidissement où la température d'extérieure est supérieure à la température d'intérieure : la cheminée solaire n'est pas employée pour augmenter la ventilation parce que l'introduction d'air extérieur pas de pré- réfrigéré résulte une augmentation de la température à l'intérieur. Par conséquent, l'air entre dans la cheminée et s'échappe vers l'extérieur par l'ouverture supérieur. Ce mode d'opération s'appelle l'isolation thermique, qui a un effet sur la diminution du gain de la chaleur dans la salle par la cheminée solaire [15].

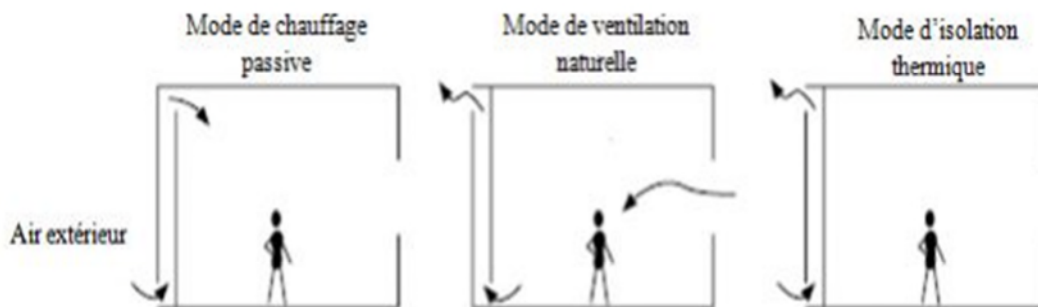


Figure I.13 : Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire [16].

I.5.5 Avantages et inconvénients de la cheminée solaire

I.5.5.1 Avantages de la cheminée solaire

- Économique (Réduction des coûts énergétiques) : La cheminée solaire fonctionne sans électricité ni pièces mobiles, ce qui élimine les frais de fonctionnement et d'entretien.
- Durable (Effets environnementales négligeables) : la cheminée solaire ne produit aucune émission de gaz à effet de serre.
- Fonctionnement silencieux : Ne produit aucun bruit, contrairement aux systèmes de ventilation mécaniques bruyants.
- Fonctionne dans divers climats : Efficace dans une large gamme de climats, y compris les climats chauds et secs.
- Adaptable à différentes configurations : Peut être intégrée à divers types de bâtiments, résidentiels, commerciaux et industriels.
- Faible maintenance : Ne nécessite que peu d'entretien, se limitant au nettoyage occasionnel des surfaces vitrées.

I.5.5.2 Inconvénients de la cheminée solaire

- Dépendance au soleil : Efficacité limitée la nuit et en cas de faible ensoleillement
- Performance variable : La performance peut varier en fonction de la température extérieure, de la vitesse du vent et de l'orientation de la cheminée solaire.

I.6 Conclusion

L'utilisation des cheminées solaires pour la ventilation naturelle renverse la conception des bâtiments. Cette innovation valorise l'architecture et redonne de l'importance aux ingénieurs énergéticiens. Cependant, pour une conception optimale, il est primordial d'intégrer la ventilation dès le début du projet.

*Chapitre II : Recherche
bibliographique sur les cheminées
solaires*

II.1. Introduction

La cheminée solaire est une solution prometteuse pour optimiser la ventilation naturelle. De nombreuses recherches ont été consacrées aux cheminées solaires depuis les dernières années. Ces études, qui ont contribué à une meilleure compréhension des systèmes à cheminée solaire, peuvent être regroupées en trois catégories :

- Travaux basés sur des études expérimentales
- Travaux basés sur des études numériques
- Travaux basés sur des études numériques et expérimentales

II.2 Travaux basés sur des études expérimentales

Des études expérimentales menées par **J. Mathur et al [1]** sur une cheminée solaire de petite taille montrent que le taux de ventilation augmente avec l'augmentation du rapport entre la hauteur de l'absorbeur et l'espace entre le vitrage et l'absorbeur. Ce résultat concorde avec les résultats du modèle mathématique en régime permanent développé pour l'analyse de tels systèmes. Neuf combinaisons différentes de hauteur d'absorbeur et d'espace d'air ont été étudiées sur le dispositif expérimental. Le taux de ventilation le plus élevé induit à l'aide de l'énergie solaire s'est avéré être de 5,6 renouvellements d'air par heure dans une pièce de 27 m³, avec un rayonnement solaire de 700 W/m² sur une surface verticale, un rapport hauteur de cheminée/espace d'air de 2,83 et une cheminée de 1 m de hauteur.

Les mêmes auteurs **J. Mathur et al [2]** ont réalisé une étude sur l'effet de l'inclinaison de l'absorbeur sur le débit d'air dans un système de ventilation solaire utilisant le concept de cheminée solaire de toit. Pendant les mois d'été. Les résultats de la solution développée montrent que l'inclinaison optimale de l'absorbeur varie de 40° à 60° en fonction de la latitude du lieu. À Jaipur (Inde), une inclinaison de 45° s'est avérée optimale pour obtenir un taux de ventilation maximal. Avec cette inclinaison, le taux de ventilation est environ 10 % plus élevé qu'avec des inclinaisons de 60° et 30°. Les études expérimentales montrent un bon accord avec les résultats théoriques. Les cheminées solaires de toit de cette taille peuvent être facilement montées sur des bâtiments résidentiels pour améliorer la ventilation naturelle.

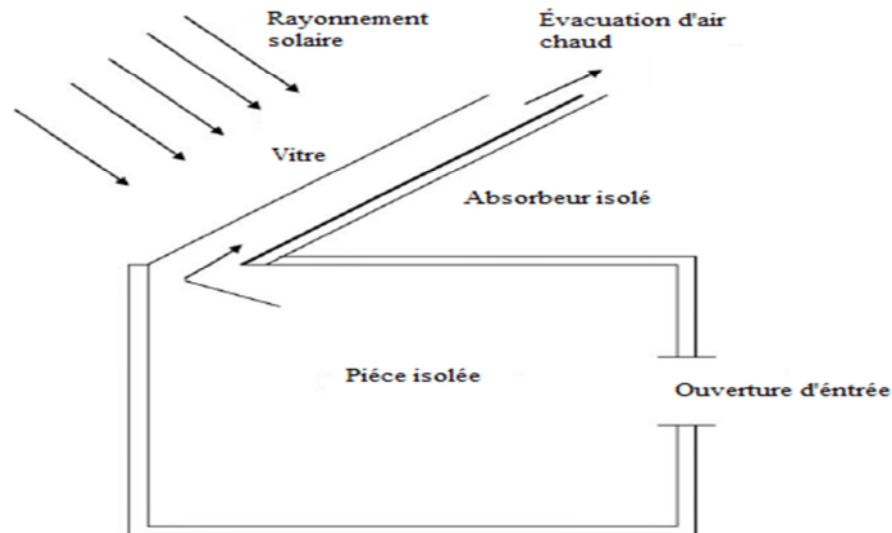


Figure II.1 : Montage expérimental pour étudier les performances d'une cheminée solaire inclinée [2].

K.S. Ong et al [3] présentent un modèle mathématique pour analyser les performances des cheminées solaires à l'aide de divers paramètres thermiques et géométriques. Ils ont étudié les équations de transfert de chaleur en reliant les coefficients de transfert de chaleur, en utilisant des corrélations efficaces. Les valeurs du débit d'air dans les voies d'air dépendent des températures moyennes du flux d'air, et ces équations sont résolues à l'aide de la technique de la matrice inverse. Les performances de la cheminée ont été évaluées en déterminant les températures des parois du verre et de l'absorbeur ainsi que la vitesse de l'air dans la cheminée. L'effet de l'intensité du rayonnement solaire sur les performances de la cheminée a été étudié. Pour valider le modèle théorique, des expériences ont été menées sur un modèle physique de 2 m de long avec des entrées d'air de diamètres 0,1, 0,2 et 0,3 m. L'expérience a été menée sur une surface exposée au rayonnement solaire direct et diffus, et les vitesses de l'air ont été mesurées entre 0,25 m/s et 0,39 m/s pour une intensité de rayonnement allant jusqu'à 650 W/m^2 .

Aucune circulation d'air inversée n'a été observée, même dans la grande zone d'un diamètre de 0,3 m. Ils ont montré un bon accord entre les résultats expérimentaux et le modèle théorique concernant l'augmentation du débit d'air et de la température de l'air.

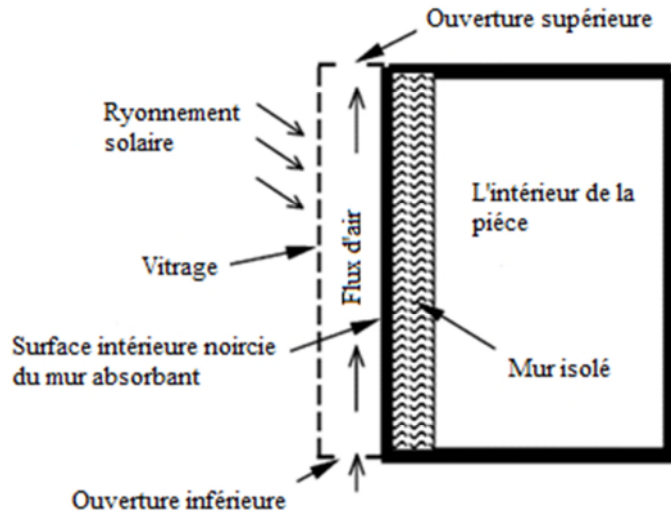


Figure II.2 : La cheminée solaire expérimentale de type murale [3].

S.A.M. BUREK et al [4] proposent de mener une étude pilote pour mieux comprendre le transfert de chaleur et le débit massique dans les aérothermes à thermosiphon, tels que les cheminées solaires et les murs Trombe. La simulation sera réalisée à l'aide d'un banc d'essai constitué d'un canal vertical à extrémités ouvertes et côtés fermés, similaire à la conception d'un capteur solaire ou d'une cheminée solaire, d'une superficie d'environ 1 m^2 . Cette table permettra de réaliser un contrôle précis de l'apport de chaleur à l'aide d'un tapis chauffant électrique. L'apport thermique en régime permanent variera de 200 à 1 000 W et la profondeur du canal dans le banc variera de 20 à 110 mm pour explorer l'effet de ces variables sur les performances de transfert de chaleur et de débit massique. Les températures seront mesurées tout au long du banc d'essai ainsi que la vitesse de l'air en différents points. Ces détails aideront à comprendre la relation entre diverses variables et comment elles affectent les performances des aérothermes à siphon à convection. Cette étude peut contribuer à améliorer notre compréhension de la conception et de l'efficacité de ces technologies et fournir des signaux importants pour le développement de leurs applications pratiques à l'avenir.

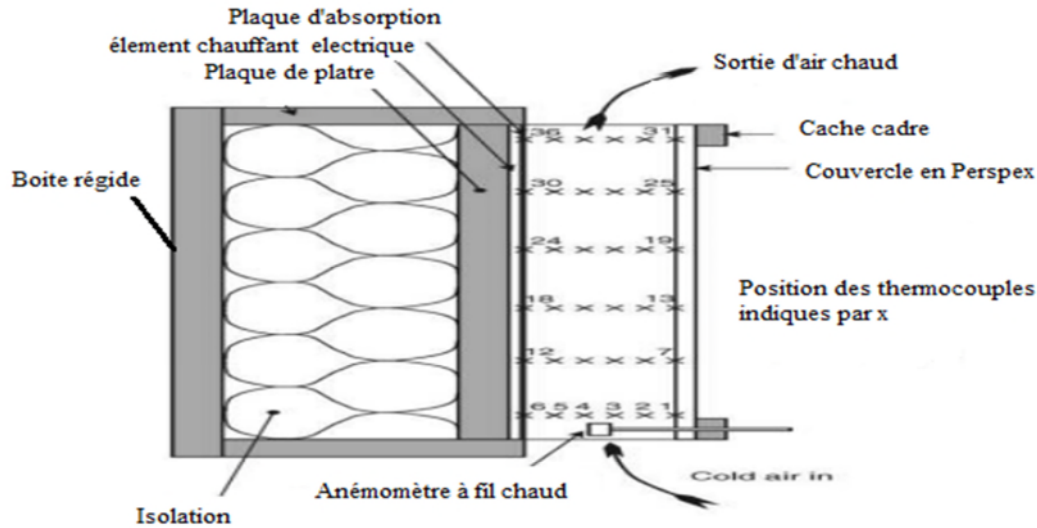


Figure II.3 : Schéma de principe du banc d'essai [4].

Y. Shinada et al [5] ont proposé la combinaison d'une cheminée solaire et un puits souterrain dans un système de ventilation naturelle pour améliorer la qualité de l'air à l'intérieur de l'école de manière efficace et avec une consommation d'énergie minimale. Ce système utilise la température du sol dans la fosse pour ajuster la température de l'air extérieur et améliorer la circulation à l'intérieur du bâtiment. L'air est dirigé vers le bâtiment par un système de conduits, conçu de manière efficace pour le distribuer dans les différentes pièces. Le processus d'évacuation de l'air dépend d'une cheminée solaire installée sur le toit de l'école, avec la possibilité de profiter des vents naturels pour améliorer le processus de ventilation. Le système permet également une surveillance périodique de la qualité de l'air et de l'efficacité pour obtenir un avantage en matière de consommation d'énergie pendant de longues périodes.

II.3. Travaux basés sur des études numériques

L'étude de **D.J. Harris et al [6]** s'intéresse à la conception d'une cheminée solaire pour optimiser la ventilation intérieure des bâtiments. En utilisant des techniques de modélisation CFD, ils évaluent l'impact de l'angle d'inclinaison et du double vitrage sur le taux de ventilation. Leurs résultats révèlent un angle d'inclinaison optimal de 67,5 degrés pour la cheminée installée sur la façade sud, ce qui se traduit par une efficacité 11 % supérieure à celle des cheminées verticales. Cette amélioration de l'efficacité est attribuée à l'utilisation d'une surface murale à faible émissivité. L'étude souligne l'efficacité de cet angle spécifique pour améliorer la ventilation, contribuant ainsi à l'efficacité globale du système. De plus, l'incorporation d'une surface murale à faible émissivité démontre une amélioration

supplémentaire des performances, soulignant l'importance de considérer les matériaux et les conceptions durables dans le développement de telles technologies.

T.Chitsomboon et P.Thongbai [7] Proposent une technique innovante utilisant l'énergie solaire pour la ventilation des bâtiments. Elle repose sur l'utilisation d'un toit transparent et d'une cheminée pour générer un flux d'air important permettant à la fois de ventiler le bâtiment et de rafraîchir ses occupants. La force motrice de ce flux d'air est la flottabilité créée par la présence d'une pièce supérieure située sous le toit transparent. Ce flux est ensuite amplifié par la cheminée installée au sommet du toit. Un programme (CFD) a été utilisé pour simuler le flux d'air en tenant compte de plusieurs paramètres significatifs : l'inclinaison du toit, la hauteur de la cheminée, l'intensité du rayonnement solaire et la forme du toit. Les résultats obtenus montrent que des débits d'air raisonnables ont pu être atteints, pouvant ainsi garantir des conditions de vie confortables dans les zones rurales tropicales.

R.Bassiouny et al [8] Ont mené une étude analytique et numérique sur l'utilisation de la cheminée solaire pour améliorer la ventilation naturelle des pièces. L'étude s'est concentrée sur certains paramètres géométriques, tels que la taille et la largeur de l'entrée de la cheminée, considérés comme ayant un impact important sur la ventilation de l'espace.

L'analyse numérique visait à prédire le modèle d'écoulement de l'air à la fois dans la pièce et dans la cheminée. Ces informations permettraient d'optimiser les paramètres de conception de la cheminée solaire.

Les résultats ont été comparés aux données expérimentales et théoriques publiées. On observe une concordance acceptable entre les résultats analytiques obtenus et les données publiées concernant le taux de renouvellement d'air (ACH) dans la pièce. De plus, l'étude a révélé que la largeur de la cheminée a un effet plus important sur l'ACH que la taille de l'entrée.

Les résultats montrent également que la température moyenne de l'absorbeur peut être corrélée à l'intensité du rayonnement solaire par la relation : $(T_w = 3,51I^{0,461})$ avec une marge d'erreur acceptable. En outre, la vitesse moyenne de sortie de l'air varie en fonction de l'intensité selon la relation : $(v_{ex} = 0,013 I^{0,4})$.

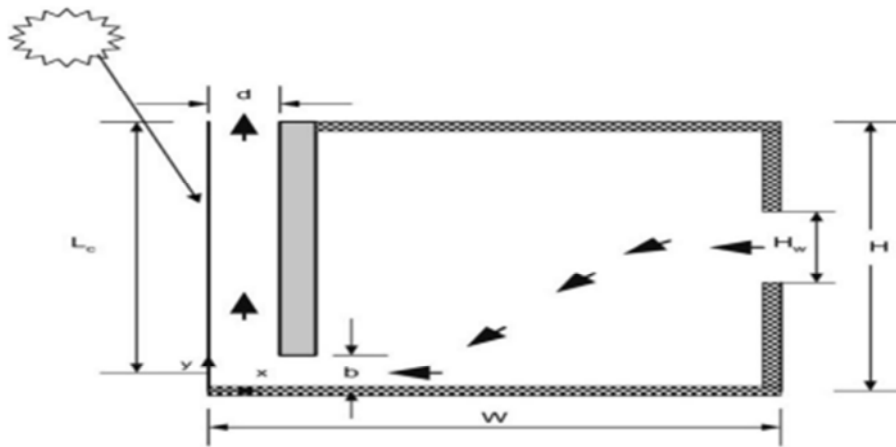


Figure II.4 : Schéma général du domaine physique [8].

T. Miyazaki et al [9] ont étudié les performances de la cheminée solaire intégrée à la façade sud du bâtiment et son impact sur les charges de chauffage et de refroidissement en utilisant une simulation numérique par CFD pour le cas d'une température de mur uniforme pour différentes largeurs d'espace d'air (0.2, 0.3 et 0.5 m). Les résultats obtenus pour la largeur d'espace d'air de (0.3 m) ont montré un bon accord avec les données expérimentales. Les résultats ont montré que l'énergie consommée par le ventilateur a diminué d'environ 50 % par rapport au total annuel grâce à la ventilation naturelle. Il a été constaté que la cheminée solaire était efficace pour réduire la charge thermique d'environ 20 % pendant les saisons chaudes. La réduction annuelle de la charge thermique a été estimée à 12 %, tout en prenant en compte une augmentation de la charge de refroidissement. Cette recherche démontre la capacité de la cheminée solaire à réduire la charge de chauffage en tant que dispositif de chauffage passif. Cependant, cette découverte remet en question la compréhension générale de la cheminée solaire en tant que dispositif de refroidissement passif.

L'idée de la ventilation des tours éoliennes solaires a été étudiée numériquement par **Nouanégué et al. [10]** qui ont étudié un cas de ventilation mixte : convection forcée dans le système de tour causée par la pression négative générée à la sortie de la tour par l'effet Venturi, et convection libre due à l'effet de flottabilité. Le nombre de Nusselt et le débit volumétrique adimensionnel ont été calculés sur la base de la conductivité adimensionnelle du milieu solide, du nombre de Rayleigh, du nombre de Reynolds (ou nombre de Richardson) et de paramètres géométriques, la taille de l'ouverture de sortie et l'épaisseur de la paroi. Les résultats ont montré que l'épaisseur des parois a moins d'influence sur les performances de ventilation que d'autres facteurs.

Xamán et al. [11] Cette étude explore l'évaluation des performances thermiques d'une pièce ventilée avec et sans intégration d'une cheminée solaire sur le toit d'une maison pour les conditions climatiques estivales et hivernales de Mérida (Mexique).

Un code numérique basé sur une nouvelle intégration de la dynamique des fluides et des bilans énergétiques globaux a été développé pour résoudre le problème de transfert de chaleur dans une pièce ventilée avec le système de cheminée solaire intégré. Les résultats numériques révèlent une amélioration significative des taux de ventilation dans la pièce dotée d'une cheminée solaire de toit. Comparée à la configuration sans cheminée, une augmentation de 8 à 45 % des taux de ventilation est observée en été, tandis qu'en hiver, l'amélioration se situe entre 1,16 et 24,89 %.

Les auteurs ont conclu que l'intégration du système de cheminée solaire a montré des taux de ventilation plus élevés, démontrant ainsi son potentiel plus élevé en tant que système de ventilation passive dans les climats chauds.

J.Kong et J.N.C.Lei [12] ont décrit une procédure basée sur la CFD (Dynamique des Fluides Computationnelle) pour identifier l'angle d'inclinaison optimal d'une cheminée solaire de toit à petite échelle. La cheminée solaire étudiée possède une paroi absorbante de 500 mm de longueur et un espace d'air de 40 mm de largeur. Des simulations sont réalisées sur un modèle bidimensionnel de la cheminée solaire, en faisant varier l'angle d'inclinaison de 30 à 90 degrés par rapport à l'horizontale sous différentes conditions de flux thermique pour estimer la performance de ventilation de la cheminée solaire à différents angles d'inclinaison dans des conditions climatiques réelles. La procédure d'optimisation est appliquée à trois villes australiennes situées à des latitudes distinctes, représentatives de différents climats. Les résultats démontrent que l'angle d'inclinaison optimal pour une ventilation maximale varie entre 45 et 60 degrés, en fonction de la latitude et de la saison de fonctionnement.

S.Alimi et al [13] Cette étude présente un système hybride solaire qui combine la ventilation et la désalinisation par (Humidification-Déshumidification).

Un modèle mathématique basé sur le transfert de chaleur et de masse a été élaboré. La ventilation et les performances hygrométriques du système proposé ont été étudiées au sein de la façade solaire (cheminée solaire murale) et de la salle ventilée. Les effets des principales conditions de fonctionnement (irradiation solaire, température ambiante, dimension de la cheminée, dimension du raccord pièce-cheminée et humidité relative de l'air) sur l'évolution de la température de l'air, de la vitesse de l'air et de l'humidité relative de l'air

à l'intérieur de la cheminée sont étudiés. Le débit d'air et la répartition de la température de l'air dans la pièce ventilée sont également simulés pour les conditions de fonctionnement habituelles.

La production horaire d'eau en surface est estimée pour des conditions météorologiques modérées, en se basant sur la différence de flux massique de vapeur d'eau entre l'entrée et la sortie du système de façade solaire.

H.H. Al-Kayiem et al [14] ont présenté un modèle mathématique et une analyse d'une cheminée solaire inclinée au-dessus d'un toit. Les processus énergétiques simulés mathématiquement sont basés sur les bilans énergétiques et massiques. Le modèle mathématique était résolu numériquement par une méthode itérative sous MATLAB.

L'analyse a été réalisée pour différentes surfaces de capteurs (15, 150 et 600 m²) et différentes hauteurs de cheminées (5, 10 et 15 m).

Les résultats ont démontré que les performances du système sont fortement influencées par l'intensité du rayonnement solaire. Sous des conditions météorologiques similaires à celles de la Malaisie, le système devient fonctionnel pour la ventilation des espaces lorsque l'intensité solaire est supérieure à 400 W/m² pour une surface de capteur de 15 m² et une hauteur de cheminée de 5 m. Lorsque la vitesse du vent passe de 1,5 à 6 m/s, elle contribue à réduire les performances du système de 25 % pour une intensité solaire de 900 W/m².

II.4. Travaux basés sur des études numériques-expérimentales

L. Moosavi et al [15] ont étudié les performances thermiques et de ventilation d'une cheminée solaire nouvellement conçue en conjonction avec un capteur de vent et un système de pulvérisation d'eau pour un immeuble de bureaux de deux étages dans un climat chaud et aride. La façade nord du bâtiment est un capteur de vent couplé à une cheminée solaire sur le toit, assure la ventilation des deux étages via un vide au sol avec la plus petite empreinte au sol.

Une étude expérimentale comprenant un modèle à échelle réduite et une analyse (CFD) a été réalisée pour évaluer le potentiel de refroidissement et de ventilation d'une cheminée solaire avec et sans le fonctionnement du capteur de vent. Les résultats ont montré que, même par temps chaud et ensoleillé, la cheminée solaire couplée à un capteur de vent et un système de pulvérisation d'eau peut fournir des conditions thermiques et de circulation d'air raisonnables pour les deux étages sans avoir besoin

de la force du vent. L'agencement est capable de réduire une température moyenne de 5,2 °C et de générer un taux de renouvellement d'air d'environ 9(ACH) pendant les heures de pointe de la journée pour l'espace occupé, ainsi que d'économiser 75% du refroidissement total et 90% de l'énergie requise pour la ventilation pendant le temps de travail en été.

Dans le cadre de leurs travaux **N.K.Bansal et al [16]** Ont mené une expérience visant à explorer le potentiel d'une fenêtre de cheminée solaire dans des conditions climatiques chaudes et sèches. Ils ont testé trois configurations distinctes, combinant différentes tailles de lame d'air et d'ouverture d'entrée. L'expérience a été réalisée en utilisant un modèle composé d'une feuille d'aluminium de 1 mm d'épaisseur anodisée en noir sur sa face exposée au soleil. Ce modèle a été intégré dans une boîte en bois de dimensions 1m x 1m x 1m et installé sur le toit d'un bâtiment, orienté vers le sud.

Les résultats ont démontré qu'une combinaison optimale de lame d'air de 0,13 m et d'ouverture d'entrée de 0,13 m de hauteur permet d'atteindre une vitesse d'écoulement maximale de 0,24 m/s. La validation expérimentale a été réalisée en comparant les résultats obtenus à un modèle mathématique simplifié. Une concordance remarquable a été observée, avec des écarts de 2% et 4% pour la température du verre et de l'air dans la cheminée (canal) respectivement, par rapport aux valeurs expérimentales. En revanche, le modèle a prédit une température de l'absorbeur légèrement supérieure (environ 6%) aux mesures expérimentales.

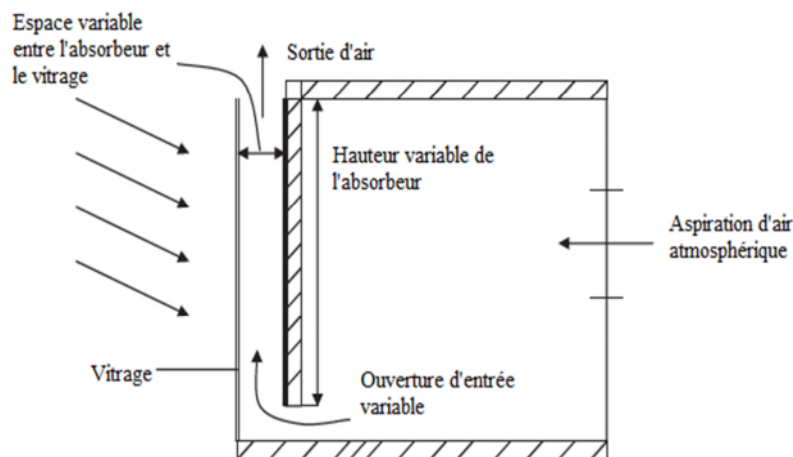


Figure II.5 : Schéma en coupe du montage expérimental [16].

II.5. Conclusion

Ce chapitre met en lumière le caractère indispensable de la ventilation dans les locaux. Deux mécanismes principaux de ventilation naturelle permettent de créer un mouvement d'air et d'assurer le renouvellement de l'air intérieur : la ventilation par commande d'ouvertures (portes, fenêtres) et la ventilation passive solaire, telle que la cheminée solaire.

Au vue des travaux publiés, on note que la cheminée solaire est une excellente stratégie de ventilation passive employée pour augmenter la ventilation et pour fournir le confort thermique des occupants.

Le travail présenté dans ce mémoire s'engage à étudier les performances énergétiques des systèmes de ventilation passive à base de cheminée solaire.

Chapitre III : Eude numérique

III.1 Introduction

On s'intéresse dans ce chapitre à la modélisation de l'écoulement dans une chambre utilise le système de la cheminée solaire pour générer la ventilation naturelle à l'aide d'un logiciel de mécanique de fluide industrielle FLUENT.

III.2 Généralités sur les codes CFD

L'acronyme CFD signifie "Computational Fluid Dynamics" en anglais. Cette discipline utilise des techniques mathématiques et informatiques pour modéliser et analyser les écoulements de fluides. Les logiciels CFD permettent de créer des modèles numériques précis du système étudié, en tenant compte des conditions limites et des propriétés du fluide. En exécutant ces modèles, on obtient des prédictions détaillées sur la dynamique du fluide et les phénomènes physiques qui en découlent, tels que la distribution de vitesse, de pression, de température et de concentration.

La simulation numérique par CFD offre une approche robuste pour étudier les comportements des fluides, incluant l'écoulement dans les tuyaux, le transfert de chaleur, le transfert de masse, les réactions chimiques et les simulations de combustion, dans une large palette de domaines d'ingénierie, tels que la chimie, la mécanique et l'aérospatiale.

Les simulations CFD offrent des avantages considérables en permettant une compréhension approfondie et quantifiable de l'écoulement des fluides et du transfert thermique, ce qui se traduit par une optimisation de la conception, une résolution efficace des problèmes et une avancée technologique. Dans le cadre de cette étude, la version 17.1 s'est imposée comme le choix privilégié.

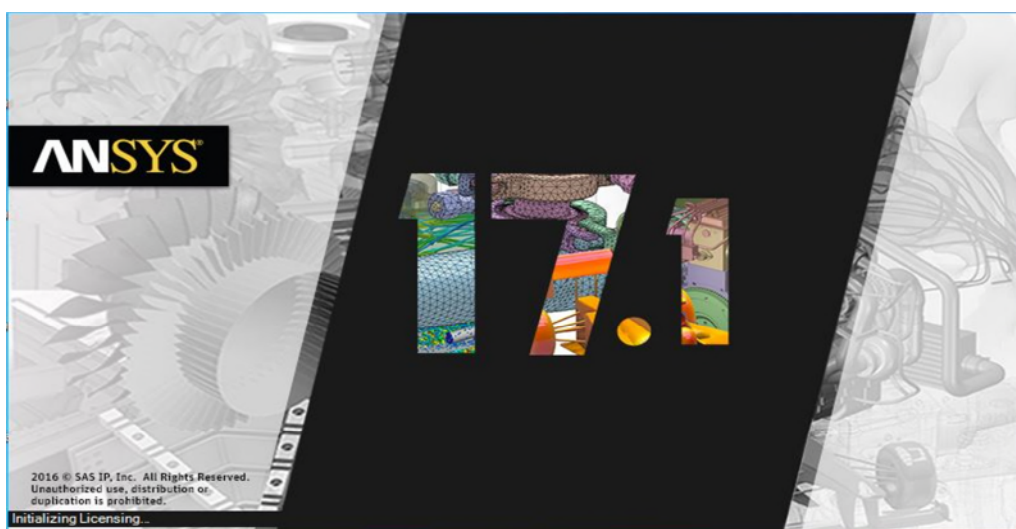


Figure III.1 : Fenêtre lancement du logiciel.

III.3 Description du Modèle

III.3.1 Les modèles physiques

○ Cheminée solaire sans ailettes

Le premier modèle physique considéré est schématisé sur la figure (III.2) Ce modèle est considéré comme une chambre de forme cubique de dimension (1m x 1m x 1m), équipée d'une cheminée verticale sans ailette de largeur d et avec une entrée de dimension b et une fenêtre d'ouverture H_F .

○ Cas cheminée solaire avec ailettes

Le deuxième cas présente une cheminée munie d'ailettes (des structures géométriques disposées le long de la paroi de la cheminée) comme le montre la figure (III.3)

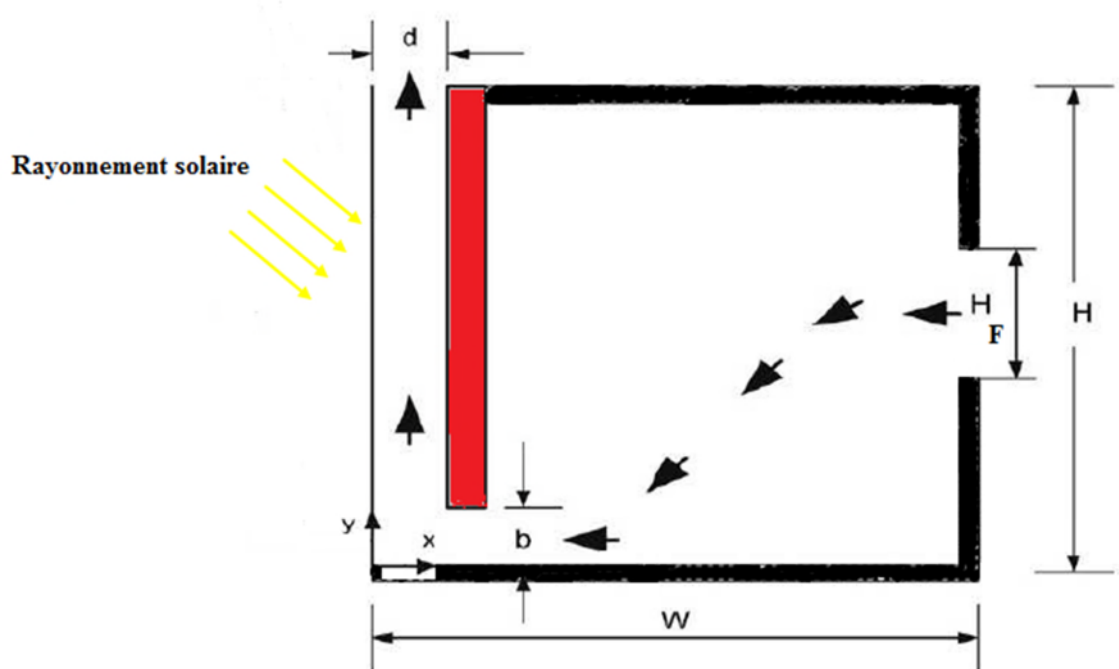


Figure III.2 : Représentation schématique de la structure pour cheminée solaire sans ailettes.

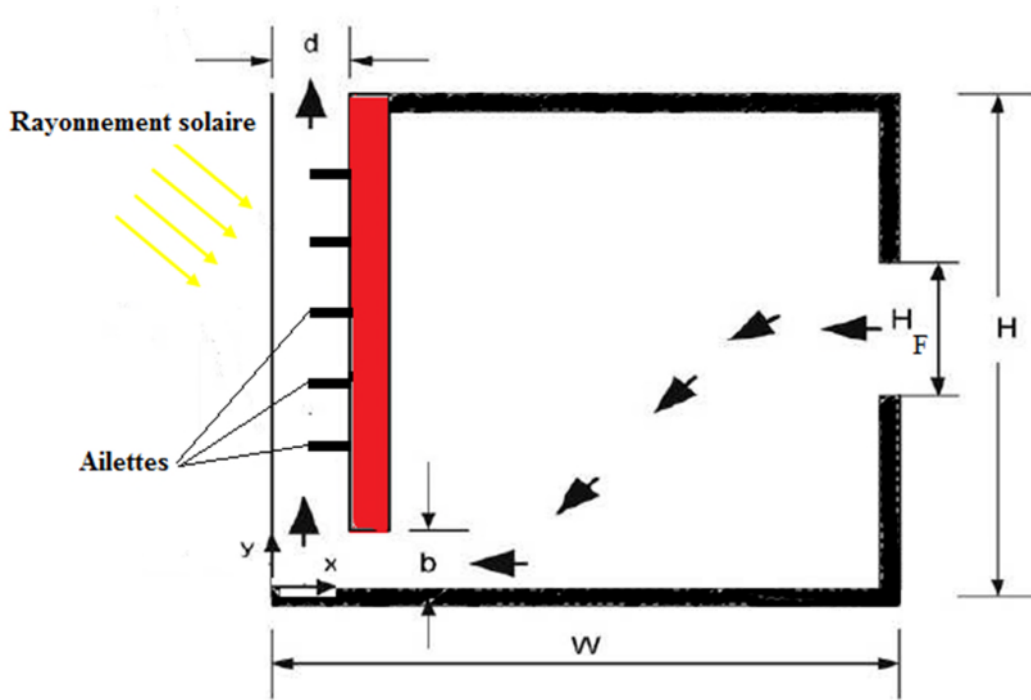


Figure III.3 : Représentation schématique de la structure pour cas cheminée solaire avec ailettes.

III.4 Les hypothèses

La description physique devient rapidement très compliquée. Il convient donc de faire un certain nombre d'hypothèses, permettant d'arriver à un temps de calcul correct. Le choix est porté sur un domaine bidimensionnel, et les hypothèses utilisées dans ce travail sont :

- L'écoulement est bidimensionnel.
- L'écoulement permanent.
- Le fluide est incompressible.
- Le régime d'écoulement est turbulent
- Les propriétés des milieux fluide et solide sont invariables ; par contre, la densité, dans le domaine fluide et dans les termes de forces volumique, varie linéairement avec la température, qui est régie par l'approximation de Boussinesq. Cette variation est donnée par l'expression suivante [2] :

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta (T - T_0)] \quad (\text{III.1})$$

ρ_0 : Masse volumique du fluide à T_0 .

β : Coefficient d'expansion thermique à pression constante

T_o : Température de référence

III.4.1 Les expressions des paramètres physiques de l'air

Pour trouver les propriétés physiques de l'air, on calcule la température moyenne de l'absorbeur et la température moyenne comme suit [24] :

$$T_{abs} = (3,51.I^{0,416}) \quad (III.2)$$

$$T_{vitre} = (9,15.I^{0,199}) \quad (III.3)$$

Tableau III.1 : Les propriétés physiques de l'air.

Désignation	Expression
Température moyen entre l'absorbeur et le vitrage	$T_m = (T_{abs} + T_{vitre}) / 2$
Coefficient de dilatation thermique volumétrique de l'air	$\beta = 1/T_m$
Densité (la masse volumique)	$\rho = [1.1614 - 0.00353 (T_m - 300)]$
Viscosité dynamique	$\mu = [1.846 + 0.00472 (T_m - 300)] \times 10^{-5}$
Conductivité thermique de l'air	$\lambda = [0.0263 + 0.000074(T_m - 300)]$
Chaleur spécifique du fluide.	$C_p = [1.007 + 0.00004(T_m - 300)] \times 10^3$

III.5. Les équations mathématiques décrivant le problème

Après introduction des hypothèses données ci-dessus, on peut établir les différentes équations nécessaires à la résolution du problème considéré dans cette étude comme suit [33] :

➤ Équation de continuité

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (III.4)$$

➤ Les équations de Navier-Stokes

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho F_x \quad (\text{III.5})$$

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

(III.6)

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

U et v : Représentent les projections de la vectrice vitesse suivant les axes x et y

➤ L'équation de l'énergie

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{III.7})$$

III.5.1 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 : on cite ainsi le modèle de turbulence à zéro, une ou deux équations. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à deux équations qui est le plus répandu. Trois modèles de turbulence sont disponibles dans Fluent :

- Le modèle $k-\varepsilon$: (Standard, RNG)
- Le modèle $k-\omega$,
- Le modèle SST

Dans cette étude on a utilisé le modèle $k-\omega$ standard

III.5.1.1. Modèle $k-\omega$

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. Dans la dynamique des fluides numériques, le modèle de turbulence $k-\omega$ ($k-\omega$) est un modèle de turbulence à deux équations, qui est utilisée en complément des équations RANS, est qui sert à la modélisation près du mur. Le modèle tente de prédire la

turbulence par deux équations différentielles partielles pour deux variables, k et ω , la première variable étant l'énergie cinétique de turbulence (k) tandis que la seconde (ω) est le taux de dissipation spécifique (de l'énergie cinétique de turbulence k en énergie thermique interne).

III.5.1.2. Modélisation de la viscosité turbulente

La viscosité turbulente μ_t est obtenue en combinant k et ω comme suit [34] :

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \quad (\text{III.8})$$

Où k est l'énergie cinétique turbulente et ω est la dissipation spécifique de l'énergie cinétique turbulente (fréquence de dissipation).

Pour calculer la viscosité turbulente, il faut connaître k et ω , qui sont obtenues à partir de la résolution de deux équations de transport [34] :

$$\bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + p_k - \beta^* \rho k \omega \quad (\text{III.9})$$

$$\bar{u}_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + \alpha_{inf} \frac{\omega}{k} p_k - \rho \omega^2 \quad (\text{III.10})$$

Avec :

- $p_k = \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}$: Terme de production d'énergie cinétique turbulente.
- $\tau_{ij} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$: Tenseur des contraintes de Reynolds.
- Les constantes usuelles du modèle de turbulence k - ω sont données à partir de l'expérience ou de la théorie par les valeurs suivantes : $\alpha_{inf} = 0.52$, $\beta_{inf}^* = 0.09$,
 $\beta_i = 0.072$
- Les coefficients de diffusion turbulente pour K - ω sont : $\sigma_k = 2.0$ et $\sigma_\omega = 2.0$.

III.6 Maillage

Afin d'améliorer la précision et la stabilité, nous avons opté pour un maillage quadrilatéral structuré à plusieurs blocs, caractérisé par des lignes continues alignées avec précision le long des contours des surfaces définissant la géométrie. Nous avons choisi un maillage comprenant 240201 nœuds.

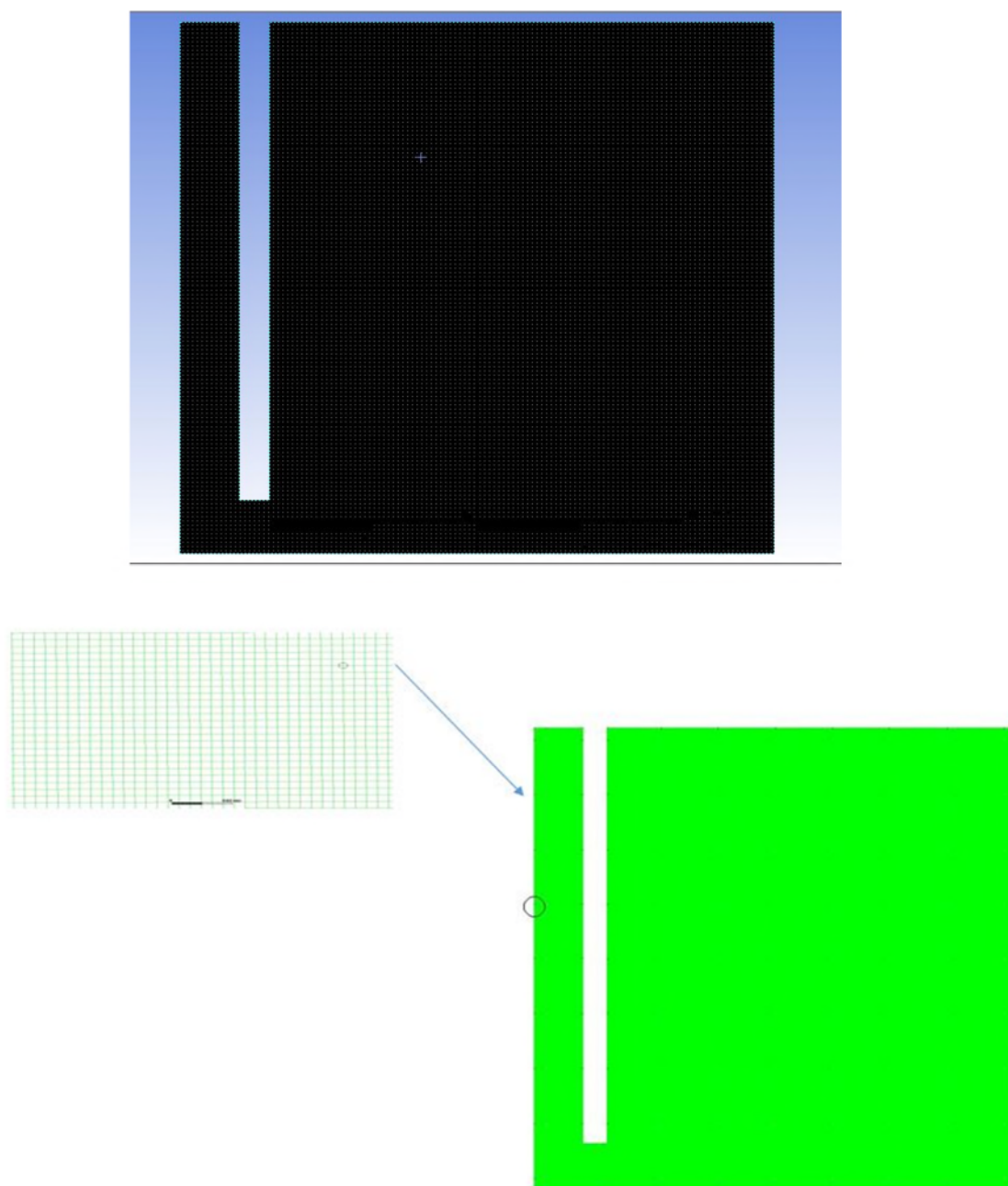


Figure III.4 : Présentation du maillage pour une cheminée solaire sans ailettes.

III.7. Conditions aux limites

Les conditions aux limites constituent des contraintes imposées aux frontières du domaine étudié dans le cadre d'une simulation numérique. Elles sont essentielles pour garantir la résolution correcte du problème mathématique posé.

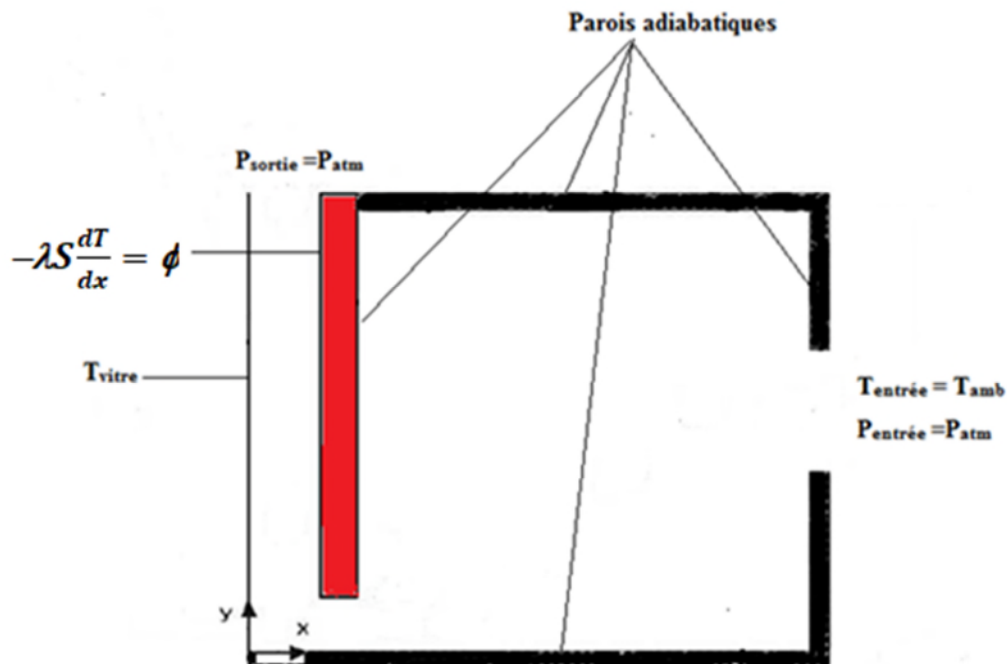


Figure III.5 : Configuration géométrique avec conditions aux limites.

- Types de conditions aux limites :

Dans cette étude, différents types de conditions aux limites sont appliqués en fonction de la nature des frontières comme le montre la figure (III.5) :

- Entrée et sortie du système
 - Condition de type Dirichlet

La pression est fixée à une valeur constante correspondant à la pression atmosphérique à l'entrée et à la sortie du système.

La température est fixée à une valeur constante correspondant à la température ambiante à l'entrée du système.

- Parois solides (Absorbeur et Vitre)

- Condition de type Dirichlet pour le champ dynamique :

La vitesse est nulle sur les parois solides, traduisant la condition d'adhérence.

- Condition de type Dirichlet et Neumann pour le champ thermique : une température constante est imposée sur la vitre et flux de chaleur sur l'absorbeur (T_{vitre} , ϕ respectivement).

- Les autres parois de la pièce :

- Condition adiabatique : Les autres parois de la pièce sont considérées comme adiabatiques, c'est-à-dire qu'aucun échange thermique n'a lieu avec elles.

III.8. Taux de renouvellement d'air (ACH)

Il est défini comme étant le rapport du débit volumique de l'air au volume de la chambre. Cette expression est connue sous l'appellation, ACH (air change par heure). Ce paramètre est défini par, ASHRAE, par l'expression [24] :

$$ACH = \frac{Q_v \times 3600}{\text{Volume Total de chambre}} \quad (\text{III.11})$$

Q_v : Débit volumique [m^3/s]

III.9 l'efficacité de la cheminée solaire

L'efficacité thermique de la cheminée solaire était calculée par [35] :

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}C_p (T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}})}{I \times S} \quad (\text{III.12})$$

I : intensité du rayonnement solaire [W/m^2]

S : Surface d'échange thermique [m^2]

III.10. La converge

Pour garantir la convergence des solutions, Le logiciel déclare la convergence lorsque les itérations de tous les résidus calculés atteignent les critères de convergence définis pour chaque paramètre. Le tableau suivant montre les résidus enregistrés pour chaque équation.

Tableau III.2 : Les résidus pour les différentes équations

Equation	Equation de Continuité	Quantité du mouvement selon x	Quantité du mouvement selon y	Equation de L'énergie	k	Omega
Résidus	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-3}

III.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé la modélisation de l'écoulement d'air dans une pièce équipée d'une cheminée solaire en utilisant le logiciel de calcul FLUENT. Nous avons sélectionné certaines conditions aux limites spécifiques pour ce modèle, en supposant que les propriétés thermo physiques de l'air restent constantes. Ces propriétés sont principalement fonction de la température moyenne de l'air.

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, les résultats obtenus à l'aide de simulations numériques de la ventilation naturelle par cheminée solaire sont présentés. Deux géométries de cheminées solaires sont étudiées cheminée sans ailettes et cheminée avec ailettes.

Après une validation du modèle numérique, une série de résultats est présentée, en commençant par la première géométrie. Les effets des dimensions de la cheminée, à savoir sa largeur et la taille de l'admission, ainsi que l'influence de l'intensité du rayonnement solaire sont étudiés en détail.

Dans un second temps, une comparaison approfondie est établie entre les performances d'une cheminée solaire munie d'ailettes et celles d'une cheminée sans ailettes.

IV.2. Validation

La première étape consiste à valider notre modèle de simulation numérique en comparant les résultats de la présente étude avec ceux publiés par Mathur et al. (numérique et expérimentale) [18] et Bassiouny et Koura (numérique)[24] pour une chambre de 27m^3 de volume et pour une intensité de rayonnement solaire de $300\text{W}/\text{m}^2$.

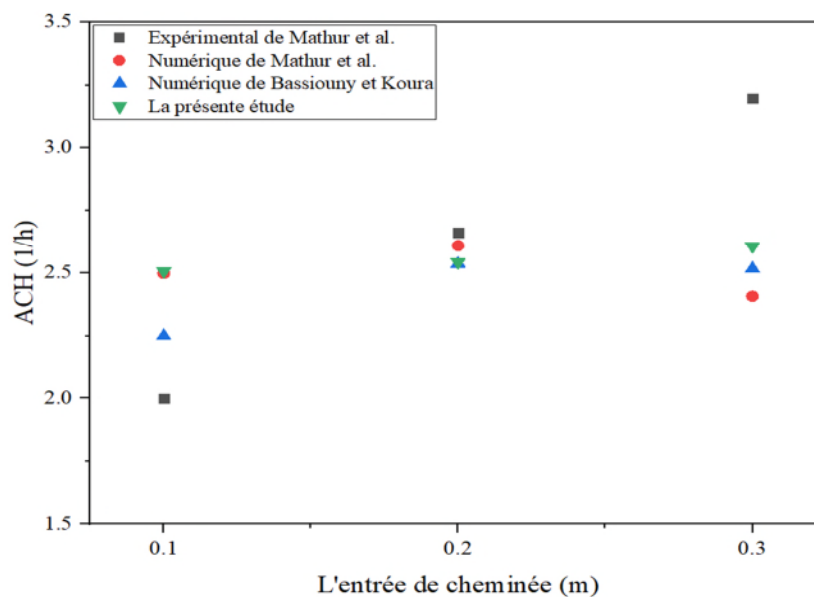


Figure IV.1 : Comparaison entre les résultats de simulation et les valeurs expérimentales et numériques de Mathur et al. [18] et Bassiouny et Koura [24] ($I=300\text{ W}/\text{m}^2$ et $d=0,1\text{ m}$, $b =0.1\text{m}$, 0.2m et 0.3m).

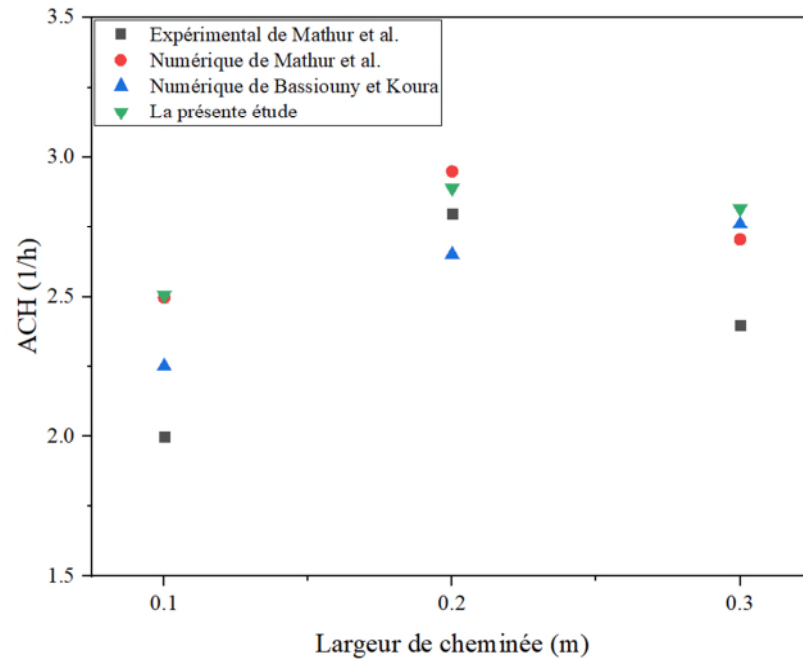


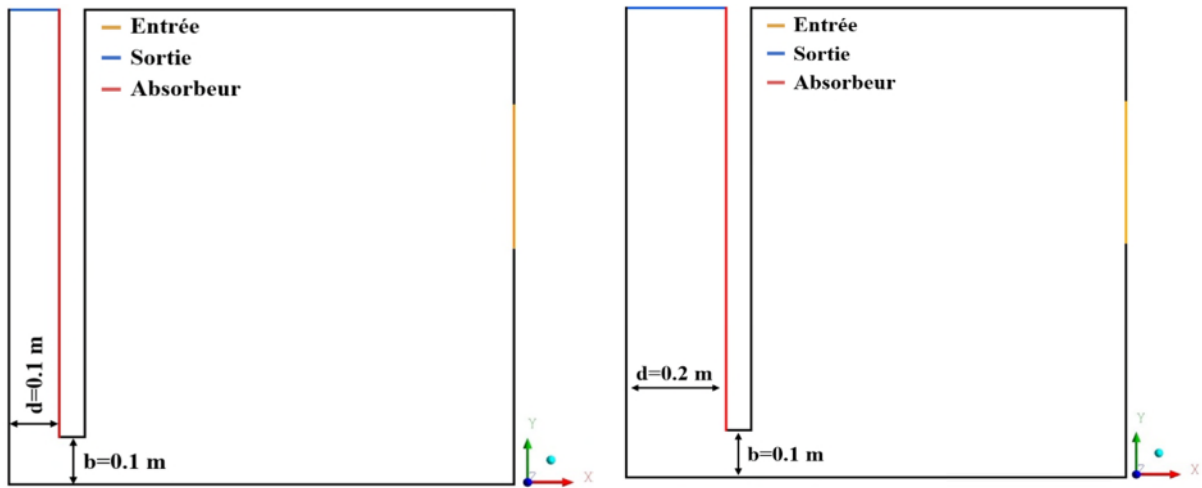
Figure IV.2 : Comparaison entre les résultats de simulation et les valeurs expérimentales et numériques de Mathur et al. [18] et Bassiouny et Koura [24] ($I=300 \text{ W/m}^2$ et $b=0,1 \text{ m}$).

Les figures IV.1 et IV.2 illustrent la comparaison des résultats de la présente étude avec ceux de la littérature. Ces figures présentent l'impact de la largeur de la cheminée et de la taille de l'entrée de la cheminée sur le taux de renouvellement d'air ACH. Il est à noter que la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la littérature démontre une concordance remarquable.

IV.3. Cheminée sans ailettes

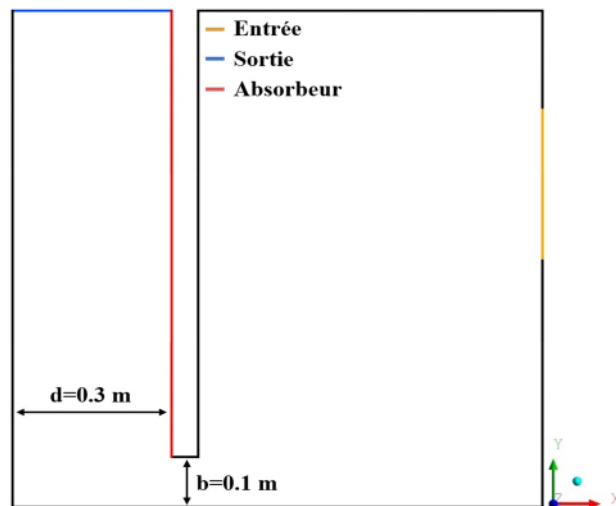
Dans cette partie trois dimensions de l'admission (entrée de la cheminée b) et de la largeur de la cheminée solaire (d) ont été simulées.

- Premier cas : On fixe l'entrée de la cheminée à $b=0.1\text{m}$ et on fait varier la largeur de la cheminée ($d=0.1\text{m}$, 0.2m et 0.3m) figure (IV.3).
- Deuxième cas la largeur de la cheminée est fixée à $d=0.1\text{m}$ et l'entrée de la cheminée prend les valeurs suivantes ($b=0.1\text{m}$, 0.2m et 0.3m) (figure IV.4)
- Les résultats décrits dans ce document s'appliquent à trois intensités solaires spécifiques $I= 400 \text{ W/m}^2$, 600 W/m^2 et 800 W/m^2 .



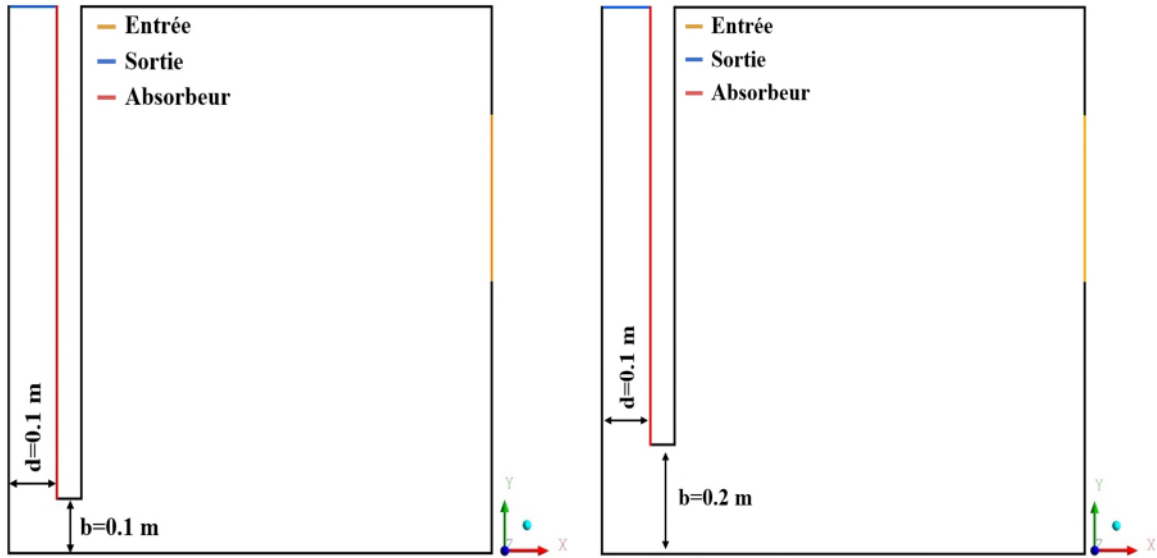
a. ($b=0.1\text{ m}$, $d=0.1\text{ m}$)

b. ($b=0.1\text{ m}$, $d=0.2\text{ m}$)



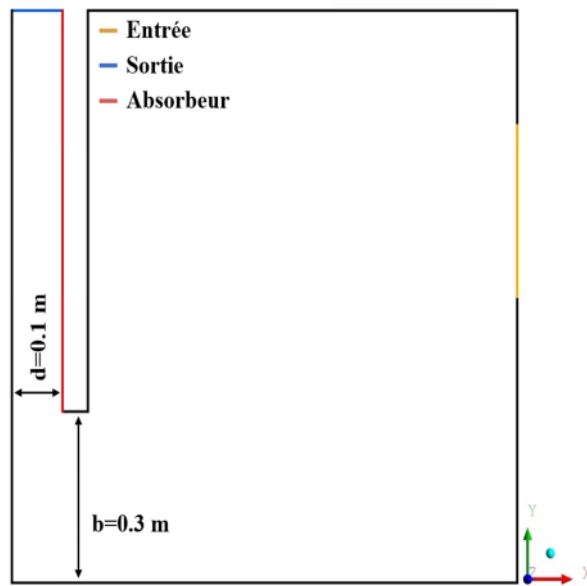
c. ($b=0.1\text{ m}$, $d=0.3\text{ m}$)

Figure IV.3 : Les trois configurations de la cheminée a. ($b=0.1\text{ m}$, $d=0.1\text{ m}$), b. ($b=0.1\text{ m}$, $d=0.2\text{ m}$) c. ($b=0.1\text{ m}$, $d=0.3\text{ m}$).



a. ($d=0.1\text{m}$, $b=0.1\text{m}$)

b. ($d=0.1\text{m}$, $b=0.2\text{m}$)



c. ($d=0.1\text{m}$, $b=0.3\text{m}$)

Figure IV.4 : Les trois configurations de la cheminée a. ($d=0.1\text{m}$, $b=0.1\text{m}$), b. ($d=0.1\text{m}$, $b=0.2\text{m}$) c. ($d=0.1\text{m}$, $b=0.3\text{m}$)

IV.3.1. Analyse de l'effet de la variation de la largeur de la cheminée (d)

IV.3.1.1. La vitesse de sortie et l'ACH pour différentes intensités solaires à une taille d'admission fixée

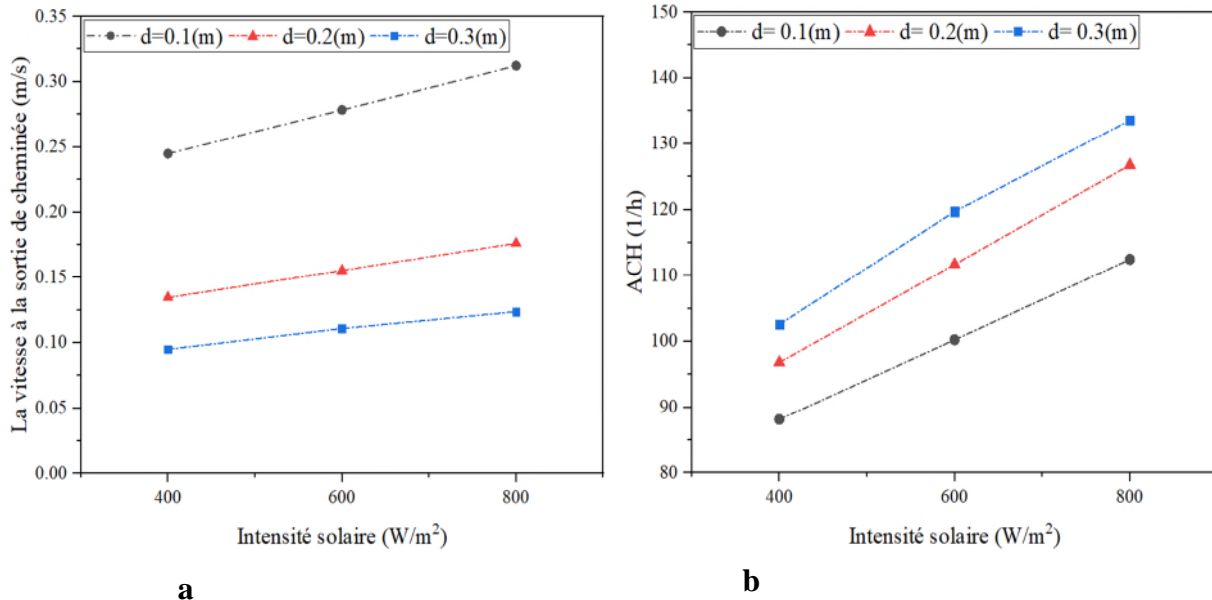


Figure IV.5 : a. Variation de la vitesse à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et de la largeur d Pour (b = 0.1m). b. Variation de l'ACH à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et de la largeur d Pour (b = 0.1m).

La figure IV.5.a : présente l'effet de la variation de la largeur de la cheminée sur la vitesse moyenne de sortie d'air. Cette analyse est réalisée pour une taille d'admission d'air fixée à 0,1 (b = 0,1m) et pour trois intensités solaires distinctes : 400, 600 et 800 W/m².

On note que la vitesse augmente avec l'accroissement de l'intensité solaire. Par contre la vitesse de sortie d'air décroît lorsque la largeur de la cheminée s'accroît. Ce phénomène s'explique par une détente du flux d'énergie cinétique produite par l'élargissement de la section de la cheminée.

La figure IV.5.b : montre l'effet de la variation de la largeur de la cheminée sur l'ACH pour une taille d'entrée d'air b=0.1m et à différentes intensités solaires. La figure illustre une nette amélioration de l'ACH à mesure que la largeur de la cheminée augmente.

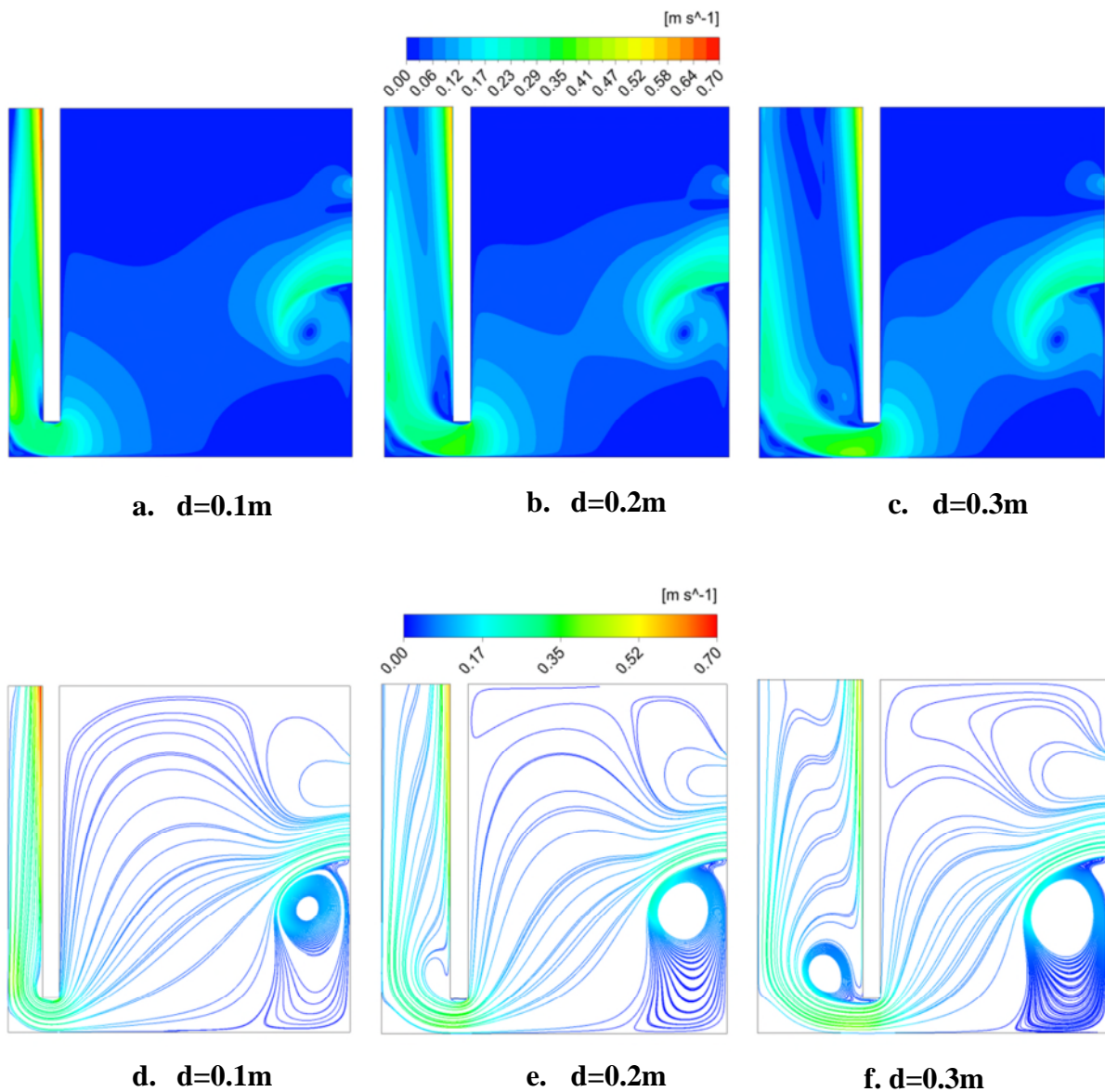
IV.3.1.2. Contours des vitesses et lignes de courant pour $I = 600 \text{ W/m}^2$ 

Figure IV.6 : Contours des vitesses et des lignes de courant pour $b=0.1\text{m}$
 $d=0.1\text{m}$, 0.2m et 0.3m .

La figure IV.6 illustre l'impact de la largeur de la cheminée solaire (d) sur les champs de vitesse et les lignes de courant d'air, pour une intensité de rayonnement solaire constante ($I = 600 \text{ W/m}^2$) et une entrée de cheminée fixe ($b = 0,1 \text{ m}$). On observe que l'augmentation de la largeur de la cheminée ($d = 0,1 \text{ m}$, $0,2 \text{ m}$ et $0,3 \text{ m}$) entraîne des modifications notables du flux d'air:

Dans la pièce :

- **Apparition de vortex:** Deux tourbillons se forment, un grand vortex dominant situé en bas de la chambre et un plus petit vortex en haut. Ces vortex influencent la circulation de l'air dans la pièce.

Dans la cheminée:

- **Recirculation:** L'élargissement de la cheminée favorise l'apparition d'un phénomène de recirculation, visible à l'entrée de la cheminée (près de l'absorbeur). Ce phénomène peut entraîner un décollement de l'écoulement et un retournement d'air, réduisant potentiellement la vitesse de l'air ventilé.

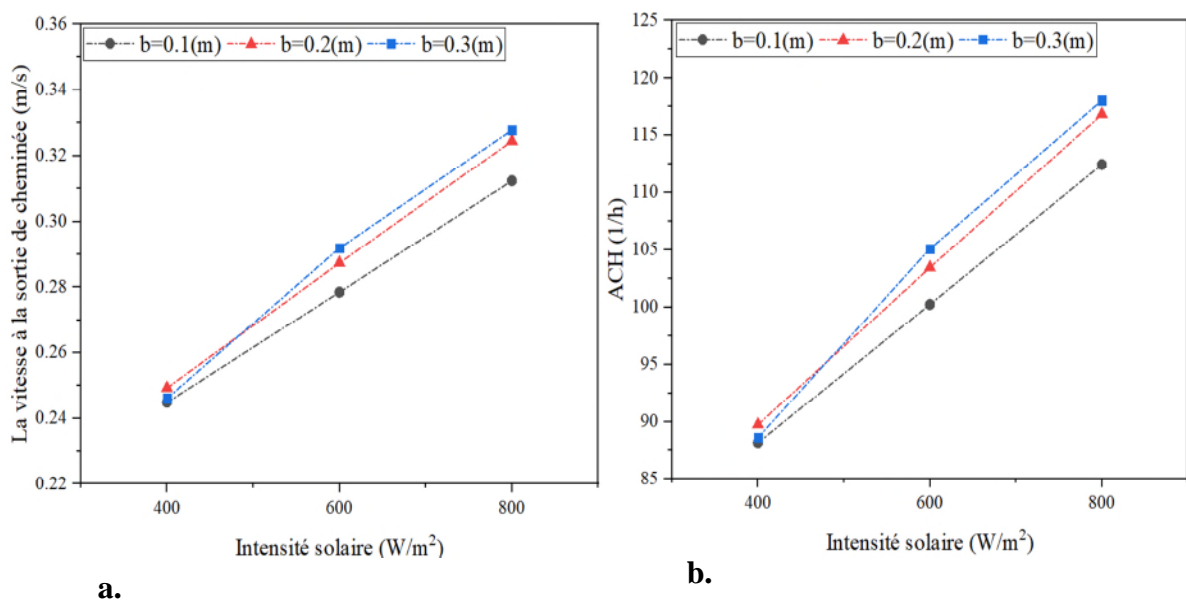
IV.3.2. Analyse de l'effet de la taille d'entrée de la cheminée (b)**IV.3.2.1. La vitesse et le taux de renouvellement d'air (ACH)**

Figure IV.7 : **a.** Variation de la vitesse à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et de l'entrée b Pour ($d = 0.1\text{m}$). **b.** Variation de l'ACH à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité et de la largeur d Pour ($d = 0.1\text{m}$).

La figure IV.7.a : Montre l'influence de la taille d'entrée sur la vitesse moyenne de sortie d'air de la cheminée. Cela pourrait être utile pour optimiser cette taille afin de réduire les pertes en entrée et améliorer le taux de renouvellement d'air (ACH).

Pour toutes les intensités solaires, on observe une légère amélioration de la vitesse de sortie lorsque la taille d'entrée de la cheminée augmente.

La figure IV.7.b : illustre l'impact de la variation de la taille d'entrée de la cheminée sur le taux de renouvellement d'air (ACH) à différentes intensités solaire (400, 600 et 800W/m²), pour une largeur de cheminée donnée $b=0.1$ m. On observe que l'augmentation de l'ACH s'intensifie avec l'intensité du rayonnement solaire incident, La figure montre aussi qu'il existe une augmentation significative de l'ACH aux fortes intensités solaires lorsque la taille d'admission de cheminée augmente jusqu'à près de 0,2 m.

On remarque aussi que l'augmentation de la taille d'admission ($d=0.2$ à 0.3m) n'a pas d'effet significatif sur l'amélioration d'ACH.

IV.3.2.2. Contours des vitesses et lignes de courant pour $I= 600 \text{ W/m}^2$

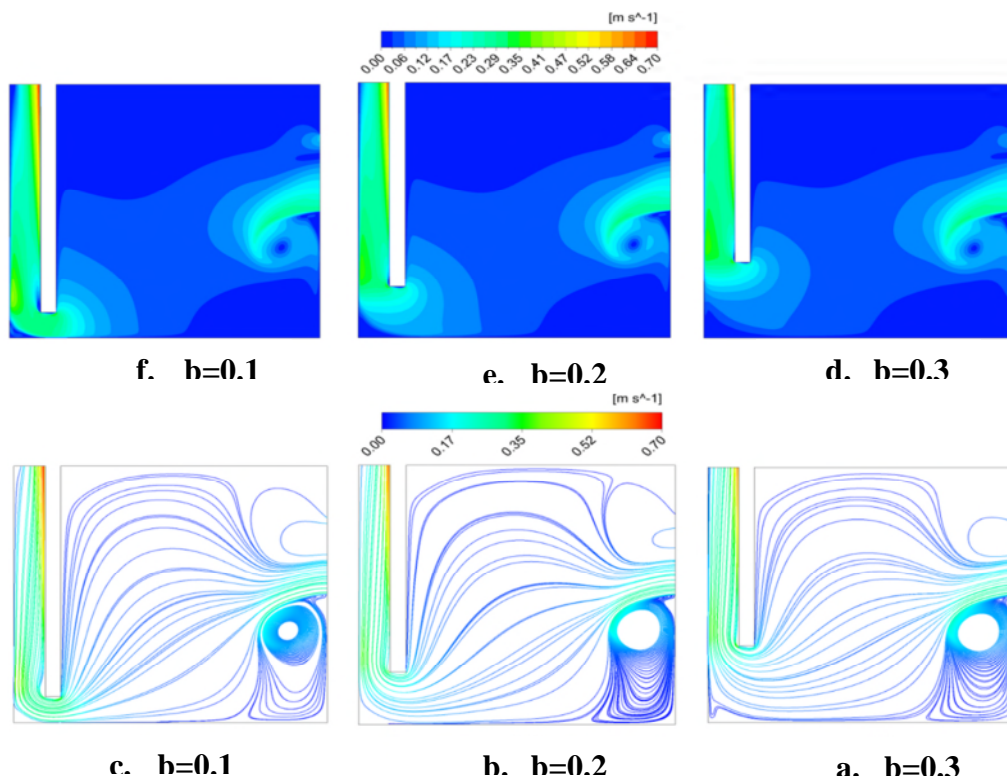


Figure IV.8 : Contours des vitesses et des lignes de courant pour $d=0.1$ m $b=0.1$ m, 0.2m et 0.3m.

Les figures (IV.8) (a, b et c) présentent l'influence de la taille d'admission de la cheminée, représentée par la variable "b", sur les champs de vitesse et les lignes de courant d'air. Cette analyse est réalisée pour les conditions suivantes : Intensité de rayonnement solaire $I = 600 \text{ W/m}^2$, largeur de la cheminée ($d = 0,1 \text{ m}$) et les valeurs de la taille d'admission de la cheminée ($b = 0,1 \text{ m}, 0,2 \text{ m}$ et $0,3 \text{ m}$). Les remarques suivantes sont tirées :

- Pour les contours de vitesse on remarque que l'accroissement de la taille d'admission de la cheminée favorise une meilleure circulation de l'air, limitant ainsi la formation de tourbillons et les zones mortes qui entravent le flux d'air comme le montre les contours de vitesse.

- Malgré l'augmentation du flux d'air (débit) avec l'accroissement de l'entrée de la cheminée on remarque que la vitesse dans la cheminée est légèrement influencée cela peut s'expliquer par la réduction de la longueur de la cheminée.

- Une analyse des lignes de courant présentées dans les figures (IV.8) (d, e et f) révèle les observations suivantes :

Dans la chambre : la présence de deux tourbillons, ou vortex, de part et d'autre de la fenêtre de la pièce, quelle que soit la taille de l'entrée de la cheminée. Ces vortex, en rotation, influencent la circulation de l'air dans la pièce. Il est intéressant de noter que le comportement du vortex supérieur semble sensible à la taille de l'entrée de la cheminée. À mesure que la taille de l'admission augmente, ce vortex tend à s'affaiblir voire à disparaître complètement.

Dans la cheminée : Les courants d'air chaud, moins denses, s'élèvent naturellement selon des trajectoires verticales.

IV.3.3. L'effet de l'intensité du rayonnement solaire sur les champs thermique et dynamique

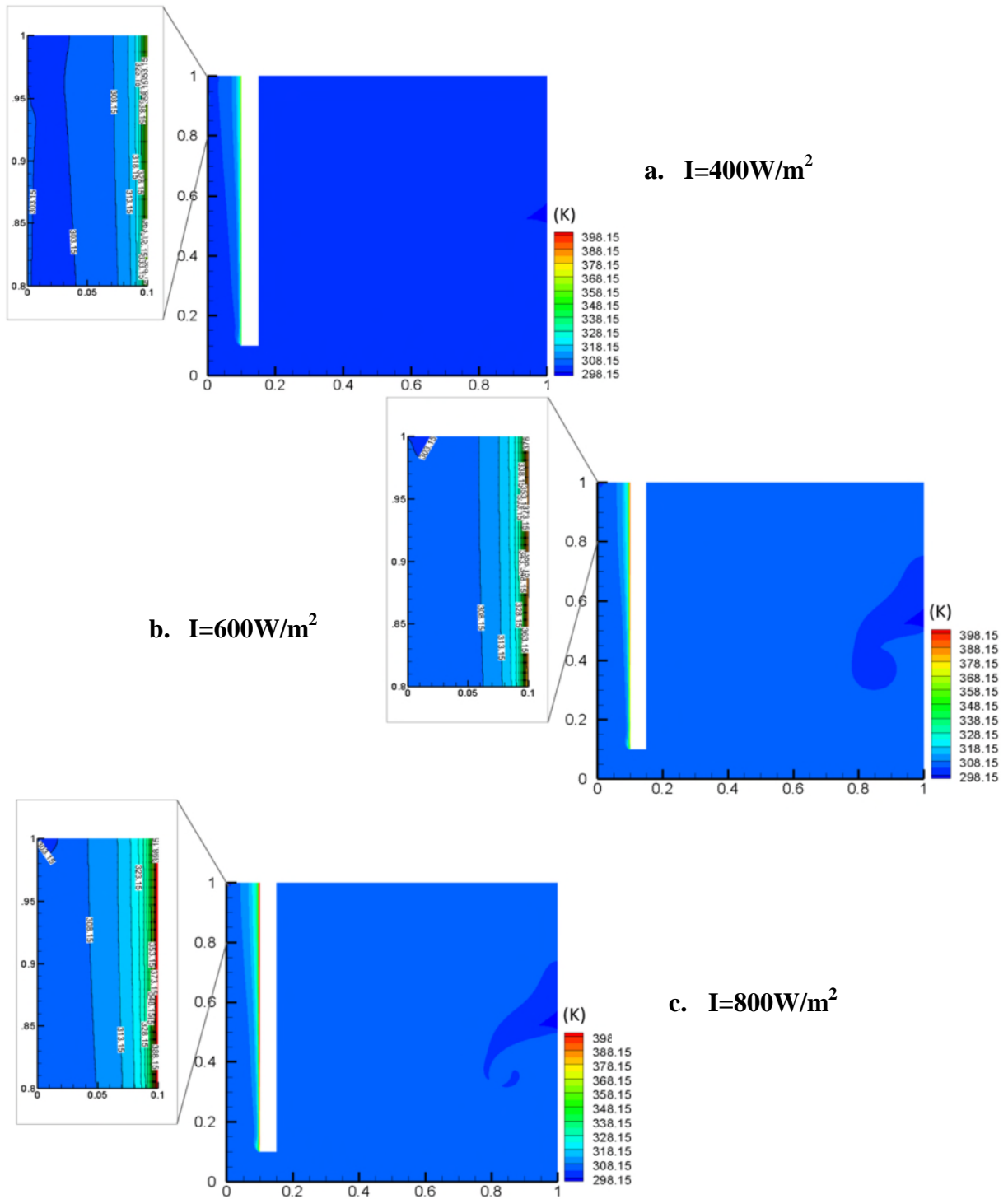


Figure IV.9 : Contours des températures pour différentes intensités ;
 a. $I=400\text{W/m}^2$ b. $I=600\text{W/m}^2$ c. $I=800\text{W/m}^2$

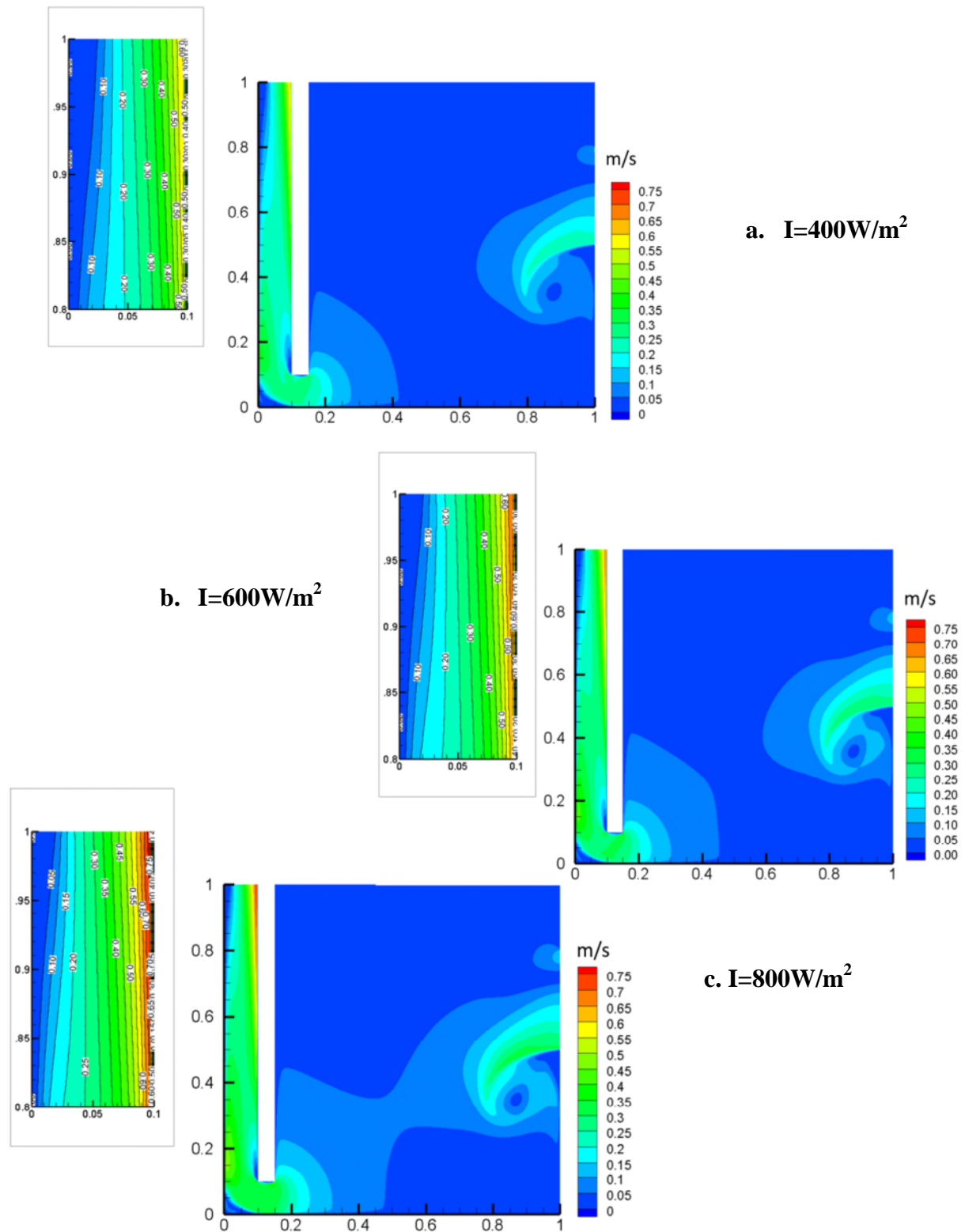


Figure IV.10. : Contours des vitesses pour différentes intensités
 a. $I=400\text{W/m}^2$ b. $I=600\text{W/m}^2$ c. $I=800\text{W/m}^2$.

Les figures IV.9 et IV.10 représentent les contours des vitesses et des températures pour une cheminée solaire de largeur $d=0.1\text{m}$ et de taille d'admission $b=0.1\text{m}$ pour trois intensités de rayonnement $I= 400\text{W/m}^2$, 600W/m^2 et 800W/m^2 . L'analyse approfondie de ces contours révèle des observations remarquables de la distribution de la vitesse de l'air et de température au sein de la cheminée solaire.

IV.3.3.1. Champ thermique (températures)

On remarque un gradient de température important dans la zone adjacente à la paroi chaude qui correspond à l'épaisseur de la couche limite thermique figure (IV.9). Ce gradient se caractérise par une différence de température notable entre la paroi chaude (absorbeur) et l'air environnant. La valeur de ce gradient diminue progressivement à mesure que l'on s'éloigne de la paroi, en raison de la diffusion de la chaleur.

Le gradient de température est directement lié à l'intensité du rayonnement solaire incident sur la paroi chaude, plus l'intensité du rayonnement est élevé, plus la quantité de chaleur transférée à la paroi est plus importante. Ce qui se traduit par un gradient de température plus important.

IV.3.3.2. Champ dynamique (vitesse)

On observe une concentration notable de la vitesse de l'air le long de la paroi chaude (absorbeur) figure (IV.10). Cette concentration s'explique par le transfert thermique intense qui se produit entre la paroi chaude et l'air adjacent. En effet, la paroi chaude, chauffée par le rayonnement solaire, cède sa chaleur à l'air environnant, provoquant une augmentation de sa température et une diminution de sa densité. Cette différence de densité entraîne une convection naturelle, générant une poussée verticale ascendante, connue sous le nom de poussée d'Archimède. Cette poussée d'air ascendante est plus rapide et plus concentré à proximité de la paroi chaude, où le gradient de température est le plus important.

À mesure que l'on s'éloigne de la paroi chaude, la vitesse de l'air diminue progressivement. Ce phénomène s'explique par la diffusion de la chaleur depuis la paroi vers l'intérieur de la cheminée. En effet, la chaleur transférée à l'air adjacent à la paroi se diffuse progressivement vers les zones plus éloignées, réduisant le gradient de température et l'intensité du flux d'air ascendant.

La vitesse de l'air dans la cheminée solaire présente une augmentation progressive en fonction de l'intensité du rayonnement solaire.

IV.4 Cheminée avec ailettes

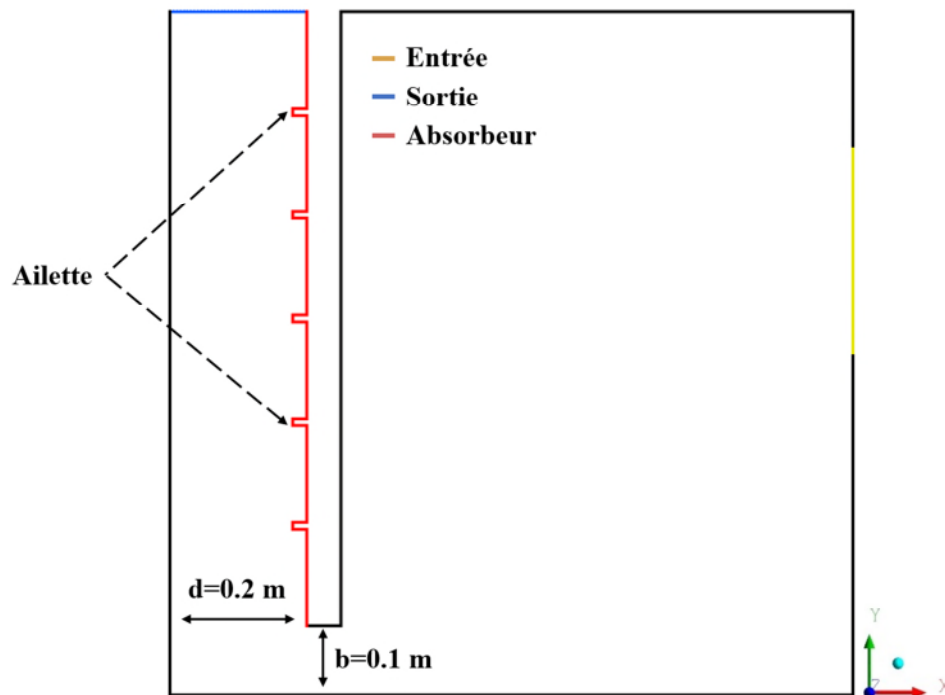


Figure IV.11 : Cheminée solaire avec ailette

La figure IV.11 présente le schéma détaillé de la cheminée solaire munie d'ailettes. La cheminée possède une largeur (d) de 0,2 mètre et une ouverture d'admission (b) de 0,1 mètre (le choix de ces dimensions s'appuie sur l'analyse déjà faite sur l'effet de la largeur et la taille d'entrée de la cheminée). Cinq ailettes, chacune de dimensions 0,01 m par 0,02 m, sont disposées sur l'absorbeur solaire. L'espacement entre les ailettes est de $14,17 \times 10^{-2}$ m.

Dans cette section, nous allons comparer les vitesses et les taux de renouvellement d'air (ACH) ainsi que les efficacités dans les deux configurations étudiées (avec et sans ailettes). De plus, nous analyserons les contours des vitesses et des températures pour les deux cas, en considérant différentes intensités de rayonnement solaire ($I = 400 \text{ W/m}^2$, 600 W/m^2 et 800 W/m^2).

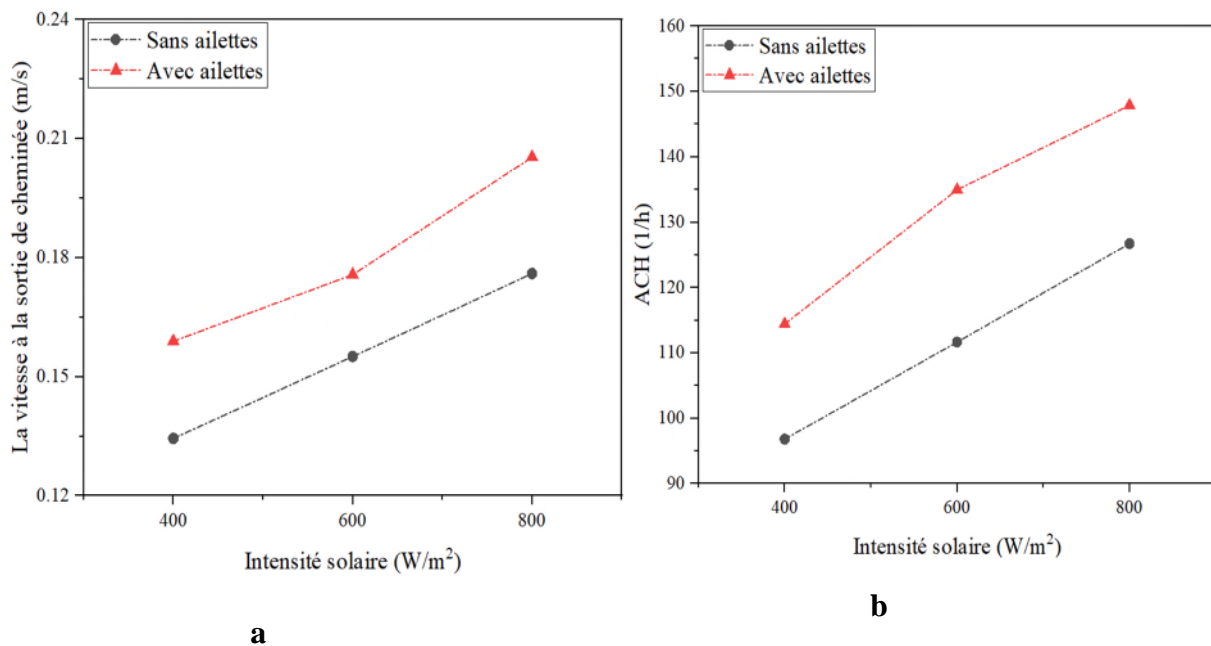
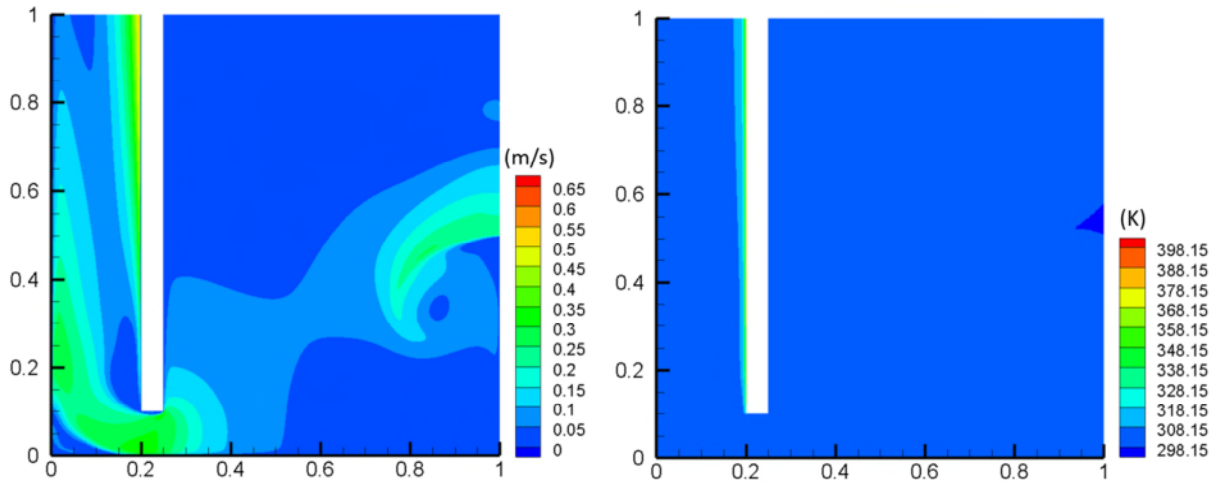


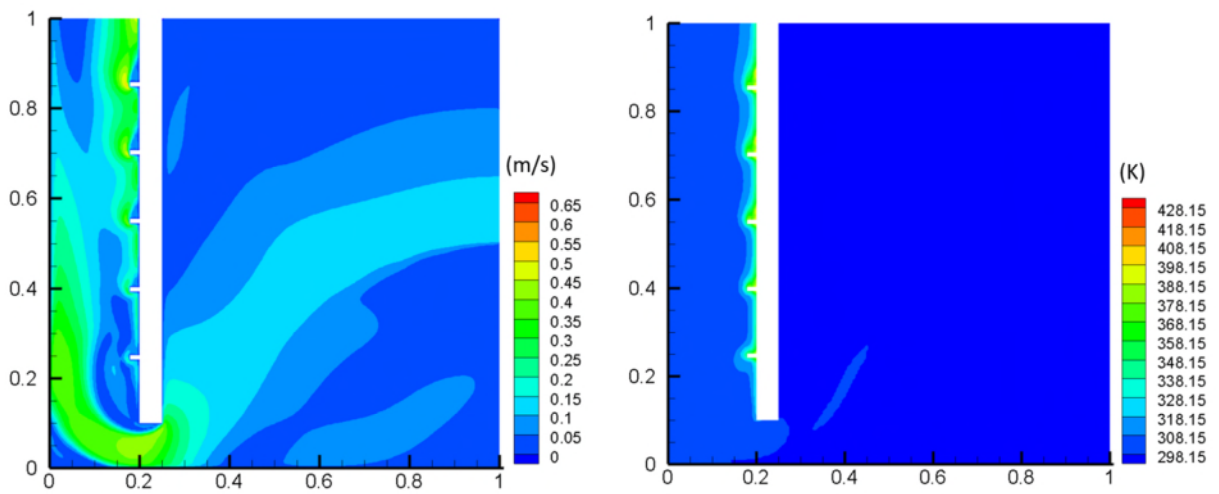
Figure IV.12 : a. Variation de la vitesse à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité. Pour les deux géométries sans ailettes et avec ailettes. **b.** Variation de l'ACH à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité pour les deux géométries sans ailettes et avec ailettes.

La figure IV.12 représente **a.** la variation de vitesse et **b.** variation de ACH à la sortie de la cheminée solaire pour les deux configurations sans ailettes et avec ailettes on fonction de l'intensité du rayonnement solaire. On observe une augmentation progressive de la vitesse et de l'ACH à mesure que l'intensité du rayonnement solaire augmente. Cela s'explique par l'effet de tirage thermique, qui crée un courant d'air ascendant dans la cheminée sous l'action du rayonnement solaire. Plus l'intensité du rayonnement est élevée, plus le tirage thermique est important, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse et de l'ACH.

La présence d'ailettes sur la cheminée amplifie cet effet. Les ailettes augmente la surface d'échange thermique entre le fluide et la paroi de la cheminée et créent une turbulence dans le flux d'air, cela favorise l'absorption de la chaleur solaire et renforce le tirage thermique, ce qui conduit à une augmentation encore plus importante de la vitesse et de l'ACH par rapport à la cheminée sans ailettes.

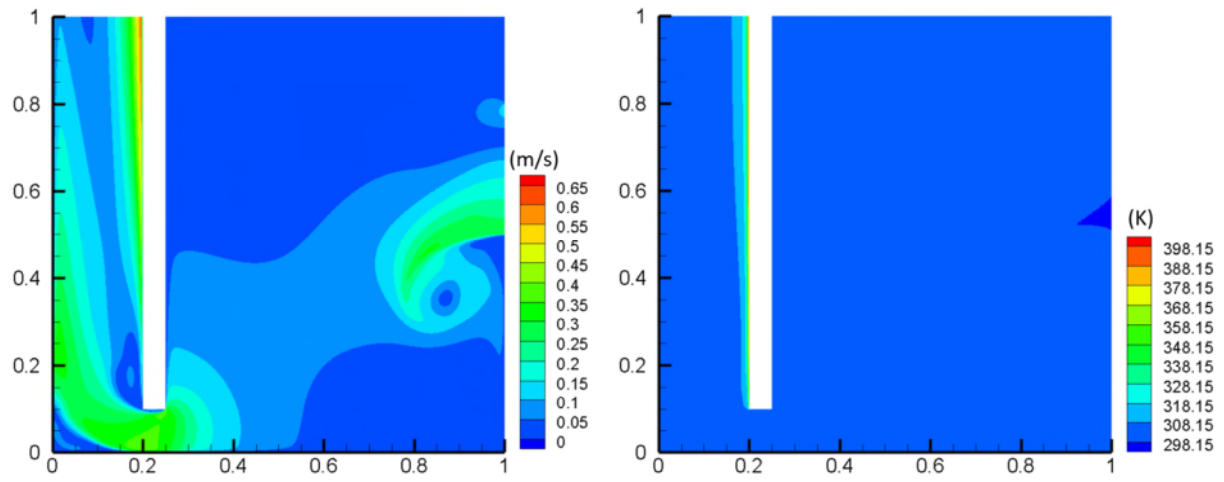


(A) sans ailettes

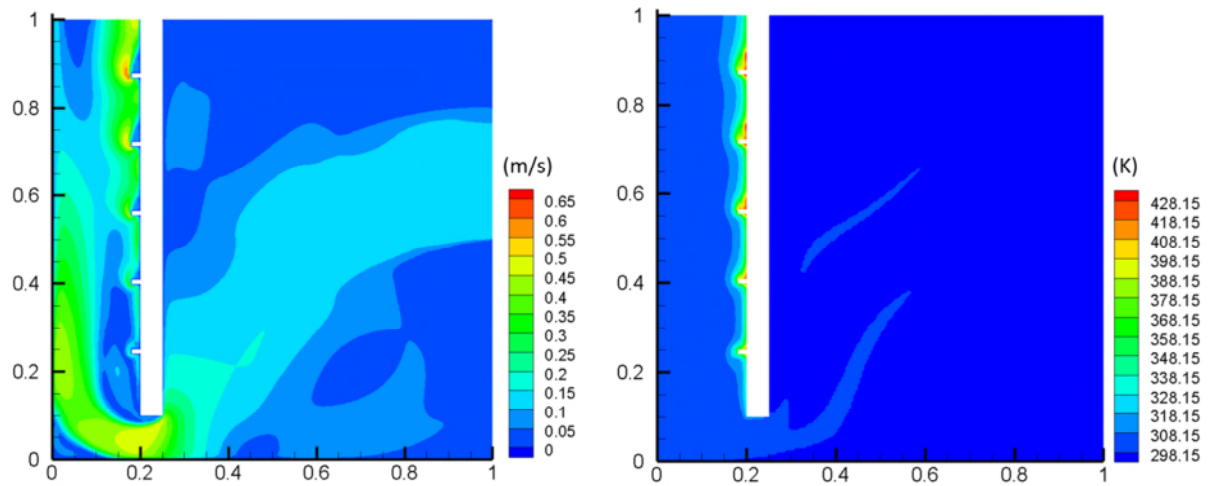


(B) avec ailettes

Figure IV13 : Contours des vitesses et des températures pour les deux géométries (A) sans ailettes et (B) avec ailettes $I=400W/m^2$.

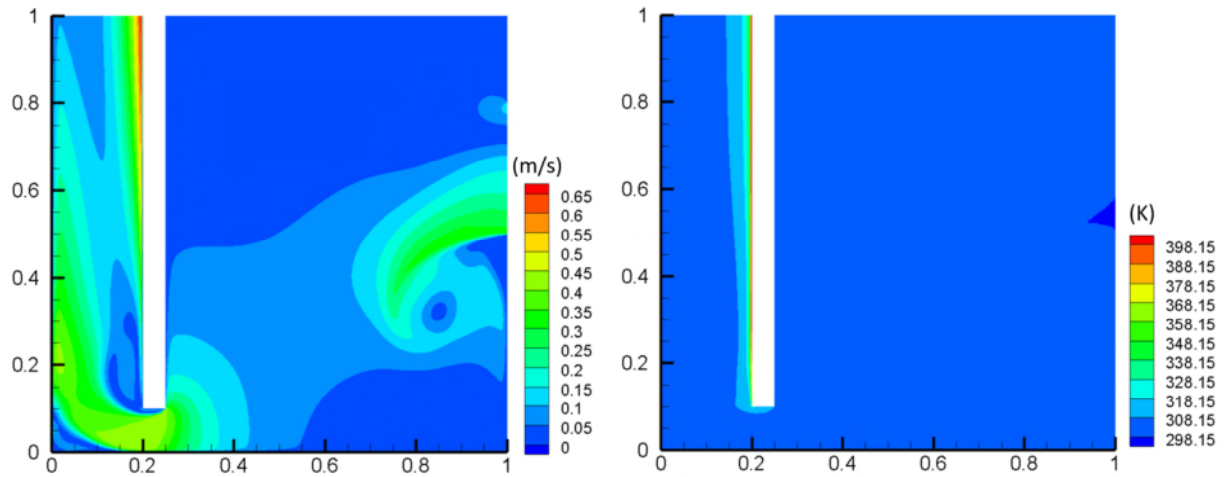


(C) sans ailettes

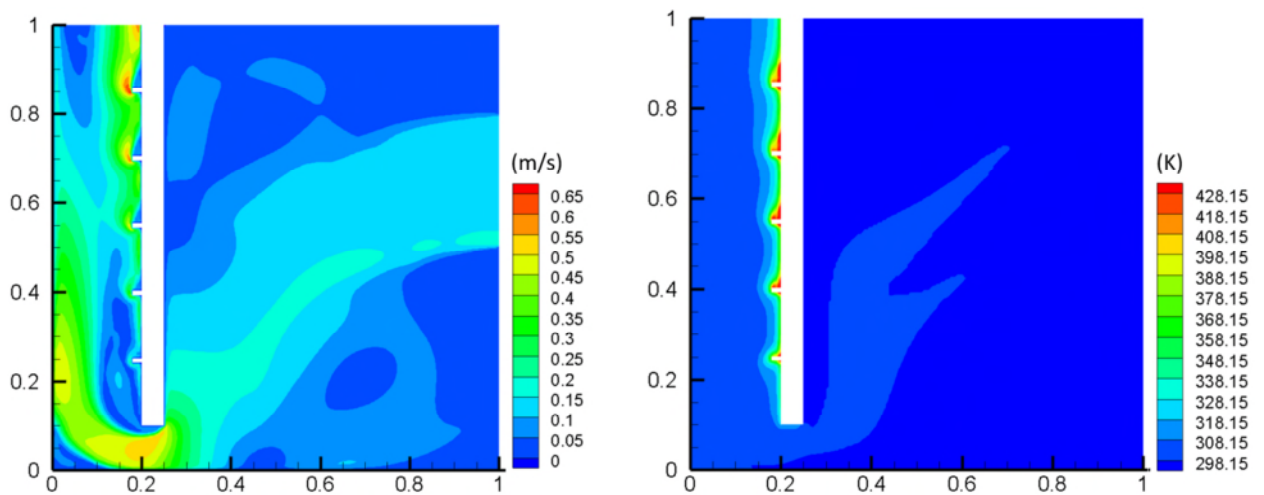


(D) avec ailettes

Figure IV.14 : Contours des vitesses et des températures pour les deux géométries (C) sans ailettes et (D) avec ailettes $I=600\text{W/m}^2$.



(E) sans ailettes



(F) avec ailettes

Figure IV.15 : Contours des vitesses et des températures pour les deux géométries (E) sans ailettes et (F) avec ailettes $I=800\text{W/m}^2$.

Les figures IV.14, IV.15 et IV.16 illustrent les contours des vitesses et des températures pour les deux géométries de cheminée solaire (sans et avec ailettes), simulées sous différentes intensités de rayonnement solaire.

L'analyse des champs de vitesse et de température met en évidence l'impact non négligeable des ailettes sur la répartition de la température et de la vitesse dans la cheminée solaire.

On remarque pour toutes les intensités:

- **Amélioration du tirage naturel** : En augmentant le transfert de chaleur, les ailettes peuvent contribuer à créer un tirage naturel plus important.
- **Diminution de température** : L'accroissement de tirage dans la cheminée avec ailette favorise la circulation ascendante de l'air dans la cheminée. Cette circulation d'air amplifiée permet d'évacuer plus efficacement la chaleur du fluide, entraînant une diminution de sa température.

A titre d'exemple pour une intensité de 600W/m^2 les températures d'entrée et sortie pour les deux configurations :

La cheminée sans ailettes $T_e=304.13\text{ K}$, $T_s=308.07\text{ K}$.

La cheminée avec ailettes $T_e=300.12\text{ K}$, $T_s=307.14\text{ K}$.

IV.5.L'efficacité des deux cheminées avec ailettes et sans ailettes

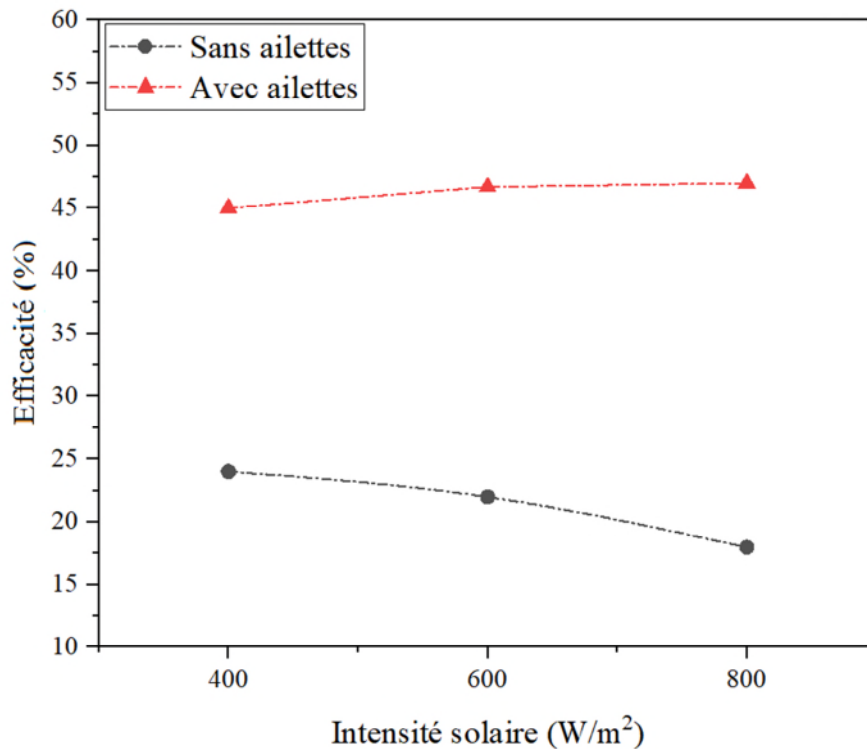


Figure IV.16 : L'efficacité de la cheminée solaire sans et avec ailettes pour différentes valeurs d'intensités.

Figure IV.16 illustre l'impact des ailettes sur l'efficacité de la cheminée solaire, analysé pour trois niveaux d'intensité de rayonnement solaire. On observe une baisse d'efficacité pour la cheminée sans ailettes à mesure que l'intensité du rayonnement augmente. Ce phénomène s'explique par le fait que si l'augmentation d'intensité favorise le renouvellement d'air, elle peut également entraîner un réchauffement de la pièce.

En revanche, l'ajout d'ailettes montre un effet positif sur l'efficacité du système.

Pour $I=600\text{W/m}^2$ $\varepsilon_{\text{sans ailettes}}=21.1\%$, $\varepsilon_{\text{avec ailettes}}=47.5\%$.

Conclusion générale

Cette étude est focalisée sur la ventilation naturelle par cheminée solaire, suite à des simulations numériques par ANSYS 17.1 menées sur deux configurations de cheminée solaire distinctes : cheminée sans ailettes et cheminée munie d'ailettes, une analyse approfondie des facteurs influençant la performance de la cheminée solaire nous a permis de tirer de multiples conclusions :

- **Impact de l'intensité du rayonnement solaire sur la vitesse de l'air.**

Une augmentation de l'intensité du rayonnement solaire se traduit par une hausse proportionnelle de la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée solaire. Ce phénomène s'explique par l'effet de convection naturelle induit par l'échauffement de l'absorbeur par les rayons solaires. Plus la chaleur produite est importante, plus l'air s'élève rapidement, créant un courant ascendant qui augmente la vitesse de l'air dans la cheminée.

- **L'effet de l'intensité du rayonnement solaire sur l'ACH.**

L'accroissement de l'intensité du rayonnement solaire Augmente le flux d'air et par conséquent le taux de renouvellement d'air (ACH).

- **L'effet de la largeur de la largeur de la cheminée sur la ventilation.**

L'augmentation de la largeur de la cheminée solaire joue un rôle déterminant dans l'amélioration de la ventilation. En effet, une largeur plus importante permet d'évacuer un plus grand volume d'air chaud, ce qui se traduit par une augmentation significative de la vitesse de sortie de la cheminée et du taux de renouvellement d'air (ACH).

- **L'effet de la taille d'admission de l'air de la cheminée sur la ventilation.**

L'accroissement de la taille de l'entrée d'air dans la cheminée solaire a un effet moins important sur la vitesse de l'air et le taux de renouvellement d'air (ACH) par rapport à la largeur de la cheminée.

- **Impact significatif des ailettes sur l'efficacité de la ventilation.**

L'ajout d'ailettes à la cheminée solaire a un effet considérable sur son efficacité. Ces ailettes augmentent considérablement la surface d'échange thermique entre l'absorbeur et l'air, favorisant ainsi un échauffement plus important de l'air et une convection plus intense. Ce

phénomène se traduit par une augmentation significative de la vitesse de l'air et du taux de renouvellement d'air (ACH) dans la cheminée à ailettes.

Les résultats numériques ont révélé que l'efficacité de la cheminée à ailettes est plus de deux fois supérieure à celle de la cheminée simple.

Références bibliographiques

- [1] Akchiche Zineb, étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique, Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011.
- [2] Belfegas Billal, Étude numérique et expérimentale d'un système à base de cheminée solaire pour le rafraîchissement des locaux d'habitation, Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, 2022.
- [3] Hugues Boivin, la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale, maître ès sciences (M.Sc.), université Laval Québec, (2007).
- [4] J. Koffi, Analyse Multicritère Des Stratégies De Ventilation En Maisons Individuelles, Thèse De Doctorat, Université de la rochelle, France, (2009).
- [5] Deherde André, Liébard Alain. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: concevoir édifier et aménager avec le développement durable, Paris, France: Éditions Le Moniteur, 2005.
- [6] Bolay, Jean-Claude, Habitat urbain et partenariat social: Vers une redéfinition des rôles et des pratiques dans les pays du Sud. In International workshop: Concepts and paradigms of urban management in the context of developing countries, Lausanne, Switzerland, 1999.
- [7] BERKANE, Ayoub. L'effet de l'orientation d'un bâtiment sur le potentiel de ventilation naturelle dans les régions a climat chaud et sec (bechar, adrar, tamanrasset). 2019. phd thesis. université Mohamed Khider-Biskra.
- [8] KHEDARI, Joseph, et al. Field measurements of performance of roof solar collector. Energy and Buildings, 2000, 31.3: 171-178.
- [9] GAN, Guohui. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. Energy and buildings, 2006, 38.5: 410-420.
- [10] SHI, Long, et al. Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 88: 223-238.
- [11] ALTAS, Ismail H., et al. Solar energy and PV systems. International Journal of Photoenergy, 2014, 2014.
- [12] <https://energieplus-lesite.be/etudes-de-cas/ventilation3/ecole-tanga/> (consulté le 27 avril 2024).

- [13] KHANAL, Rakesh; LEI, Chengwang. Solar chimney—A passive strategy for natural ventilation. *Energy and Buildings*, 2011, 43.8: 1811-1819.
- [14] MATHUR, J., et al. Experimental investigation on four different types of solar chimneys. *Advances in Energy Research*, 2006, 12.6: 151-156.
- [15] MAEREFAT, M.; HAGHIGHI, A. P. Natural cooling of stand-alone houses using solar chimney and evaporative cooling cavity. *Renewable energy*, 2010, 35.9: 2040-2052.
- [16] MIYAZAKI, Takahiko; AKISAWA, A.; KASHIWAGI, T. J. R. E. The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate. *Renewable Energy*, 2006, 31.7: 987-1010.
- [17] MATHUR, Jyotirmay, et al. Experimental investigations on solar chimney for room ventilation. *Solar energy*, 2006, 80.8: 927-935.
- [18] MATHUR, Jyotirmay, et al. Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation. *Energy and Buildings*, 2006, 38.10: 1156-1163.
- [19] ONG, K. S.; CHOW, C. C. Performance of a solar chimney. *Solar energy*, 2003, 74.1: 1-17.
- [20] BUREK, S. A. M.; HABEB, A. Air flow and thermal efficiency characteristics in solar chimneys and Trombe Walls. *Energy and buildings*, 2007, 39.2: 128-135.
- [21] SHINADA, Yoshiteru, et al. Natural ventilation system for a school building combined with solar chimney and underground pit. In: *Proceedings of Clima*. 2007. p. 539-546.
- [22] HARRIS, D. J.; HELWIG, N. Solar chimney and building ventilation. *Applied Energy*, 2007, 84.2: 135-146.
- [23] CHITSOMBOON, Tawit. Natural ventilation in building using attic and solar chimney. 2001.
- [24] BASSIOUNY, Ramadan; KOURA, Nader SA. An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation. *Energy and buildings*, 2008, 40.5: 865-873.
- [25] MIYAZAKI, Takahiko; AKISAWA, A.; KASHIWAGI, T. J. R. E. The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate. *Renewable Energy*, 2006, 31.7: 987-1010.

- [26] NOUIBAT, B.; TACHERIFT, A. L'OCCUPATION OPTIMALE DU SOL URBAIN A L'HABITATION INDIVIDUELLE DANS LES REGIONS ARIDES" VILLES MAGHREBINES ET ORIENTALES, CAS D'ETUDE: BOU-SAADA". *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 2007, 50-64.
- [27] JIMÉNEZ-XAMÁN, C., et al. Assessing the thermal performance of a rooftop solar chimney attached to a single room. *Journal of Building Engineering*, 2020, 31: 101380.
- [28] KONG, Jing; NIU, Jianlei; LEI, Chengwang. A CFD based approach for determining the optimum inclination angle of a roof-top solar chimney for building ventilation. *Solar Energy*, 2020, 198: 555-569.
- [29] ALIMI, Sonia, et al. Performance investigation of an original hybrid solar façade system used for HDH desalination and building natural ventilation. *Journal of Building Engineering*, 2021, 42: 102515.
- [30] AL-KAYIEM, Hussain H.; SREEJAYA, K. V.; GILANI, Syed Ihtsham Ul-Haq. Mathematical analysis of the influence of the chimney height and collector area on the performance of a roof top solar chimney. *Energy and Buildings*, 2014, 68: 305-311.
- [31] MOOSAVI, Leila, et al. New design for solar chimney with integrated windcatcher for space cooling and ventilation. *Building and Environment*, 2020, 181: 106785.
- [32] BANSAL, N. K., et al. Modeling of window-sized solar chimneys for ventilation. *Building and Environment*, 2005, 40.10: 1302-1308.
- [33] HOLMAN, Heat Transfer, McGraw-Hill Co., 1981
- [34] WILCOX, David C., et al. *Turbulence modeling for CFD*. La Canada, CA : DCW industries, 1998.
- [35] PANGAVHANE, Dilip R., SAWHNEY, R. L., et SARSAVADIA, P. N. Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 2002, vol. 27, no 6, p. 579-590.

Résumé

Dans le contexte de la lutte contre le changement climatique et de la recherche de solutions énergétiques durables et écologiques, l'exploitation de l'énergie solaire s'impose comme une alternative prometteuse. Parmi les technologies basées sur l'énergie solaire figure la cheminée solaire. Ce dispositif permet de capter l'énergie solaire et de l'utiliser pour chauffer une colonne d'air adjacente, induisant ainsi son ascension et son évacuation vers l'extérieur. Ce processus naturel génère un effet de rafraîchissement dans l'espace intérieur. Dans la présente étude nous avons réalisé une simulation numérique en utilisant le logiciel de calcul ANSYS Fluent afin de prédire le comportement de l'écoulement d'air et d'évaluer l'influence de certains paramètres clés sur son efficacité, nous avons réalisé une simulation numérique en utilisant le logiciel de calcul ANSYS Fluent pour deux cheminées cheminée solaire simple et cheminée solaire avec ailettes. Les résultats les plus pertinentes : le taux de renouvellement d'air ACH accroit avec l'augmentation de l'intensité de rayonnement solaire. La largeur de la cheminée solaire a un effet plus important sur l'ACH que la taille de l'ouverture d'admission de la cheminée. L'introduction des ailettes sur l'absorbeur de la cheminée fait doubler l'efficacité de la cheminée solaire. L'étude présentée démontre le potentiel de la cheminée solaire comme solution de ventilation naturelle efficace et durable. Les résultats obtenus apportent des informations précieuses pour l'optimisation de la conception des cheminées solaires et leur intégration dans des bâtiments.

Mots clés : ventilation, cheminée solaire, ailettes, ANSYS Fluent, ACH, efficacité.

Abstract

In the context of combating climate change and seeking sustainable and eco-friendly energy solutions, harnessing solar energy stands out as a promising alternative. Among the technologies based on solar energy is the solar chimney. This device captures solar energy and uses it to heat an adjacent column of air, causing it to rise and be expelled outside. This natural process generates a cooling effect within the interior space. In the present study, we conducted a numerical simulation using the ANSYS Fluent computational software to predict the behavior of airflow and assess the influence of certain key parameters on its efficiency. We performed a numerical simulation using the ANSYS Fluent software for two types of solar chimneys: a simple solar chimney and a solar chimney with fins. The most relevant results indicate that the air change rate ACH increases with the intensity of solar radiation. The width of the solar chimney has a more significant effect on the ACH than the size of the chimney's inlet opening. The introduction of fins on the chimney's absorber doubles the efficiency of the solar chimney. The study demonstrates the potential of the solar chimney as an effective and sustainable natural ventilation solution. The obtained results provide valuable information for optimizing the design of solar chimneys and their integration into buildings.

Key words: ventilation, solar chimney, fins, ANSYS Fluent, ACH, efficiency

ملخص

في سياق مكافحة تغير المناخ والبحث عن حلول طاقة مستدامة وصديقة للبيئة، يبرز استغلال الطاقة الشمسية كبديل واعد. من بين التقنيات القائمة على الطاقة الشمسية تأتي المدخنة الشمسية. هذا الجهاز يلتقط الطاقة الشمسية ويستخدمها لتسخين عمود هواء مجاور، مما يتسبب في ارتفاعه وطرده إلى الخارج. هذه العملية الطبيعية تولد تأثير تبريد داخل المساحة الداخلية. في الدراسة الحالية، قمنا بإجراء محاكاة رقمية باستخدام برنامج الحساب (ANSYS (Fluent للتنبؤ بسلوك تدفق الهواء وتقييم تأثير بعض المعلمات الرئيسية على كفاءته. أجرينا محاكاة رقمية باستخدام (ANSYS (Fluent لنوعين من المداخل الشمسية: مدخنة شمسية بسيطة ومدخنة شمسية مزودة بزعانف. تشير النتائج الأكثر أهمية الى ان معدل تجديد الهواء ACH يزداد مع زيادة شدة الاشعاع الشمسي. عرض المدخنة الشمسية له تأثير أكبر على ACH مقارنة بجم فتحة المدخنة. كما ان ادخال الزعانف على ممتص المدخنة يضاعف من كفاءة المدخنة الشمسية. توضح الدراسة الإمكانيات الكبيرة للمدخنة الشمسية كحل فعال ومستدام للتهوية الطبيعية. تقدم النتائج التي تم الحصول عليها معلومات قيمة لتحسين تصميم المداخل الشمسية ودمجها في المباني.

الكلمات المفتاحية: تهوية، مدخنة شمسية، زعانف، ANSYS Fluent، معدل تجديد الهواءACH، كفاءة.