

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

**FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**



**DOMAINE : Sciences et Technologies
FILIERE : Génie Mécanique
SPECIALITE: Energétique**

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Présenté par :

Mekhloufi Yacine et Dekkiche Omar

Thème:

**Évaluation des Performances de Ventilation d'un Système
Combinant une Tour à Vent et une Cheminée Solaire avec
Absorbeur Ondulé : Approche Expérimentale et Numérique**

Soutenu publiquement le : 13/06/2024 Devant le jury

composé de :

Ghedamssi Rebha	MCB	Université Kasdi Merbah Ouargla	Président
RAHMOUNI Soumia	MCB	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur
SAIFI Nadia	MCA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Promoteur

Année universitaire : 2023/2024

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre gratitude et remerciement à ALLAH qui nous a donné la force et le pouvoir pour effectuer ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre directrice de mémoire, **SAIFI NADIA**. Nous la remercions pour ses précieux conseils, son aide et ses orientations.

Madame **Rabha GHEDAMSI**, Maître de conférences à l'Université de Kasdi Merbah Ouargla, qui a eu l'honneur de présider notre jury de thèse.

Madame **Soumia RAHMOUNI**, Maître de conférences à l'Université de Kasdi Merbah Ouargla, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous souhaitons remercier sincèrement le doctorant **Abdessamed GUERROUT**, qui a fait de grands efforts pour nous guider et nous conseiller dans la réalisation de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers Monsieur **Mohamed Riad OUARGLI** pour sa collaboration et son aide précieuse, qui ont constitué un soutien très important.

Nous sommes également heureux de remercier chaleureusement tous les membres du Laboratoire VPRS de la Faculté des mathématiques et des sciences des matériaux de l'Université.

Enfin, nous tenons à exprimer notre sincère gratitude envers nos familles pour leur soutien continu et leur confiance en nos capacités.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont les plus chers au monde,
mes parents, à qui je ne parviendrai jamais à exprimer ma gratitude et
ma reconnaissance, pour leur amour et leur soutien tout au long de
mes études.*

*À mes frères et sœurs, mes âmes sœurs. À toute ma famille et à tous
mes amis, pour leur soutien constant.*

Mekhloufi Yacine

Dédicace

Dédié à ma chère mère. Une mère merveilleuse qui a toujours été une source de soutien et d'inspiration pour moi, et je suis ici aujourd'hui grâce à son soutien et à ses sacrifices illimités.

Dekkiche Omar

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Nomenclature	I
Abréviations	III
Liste des Figures	IV
Liste des Tableaux	V
Introduction générale	1
Chapitre I : La Ventilation Naturelle	
1. Introduction	3
2. Ventilation	3
3. Ventilation Naturelle	4
4. Effet du vent	4
4.1. Effet du tirage thermique	4
4.2. Effet combiné du vent et du tirage thermique	5
5. Types de ventilation naturelle	5
5.1. Cheminée solaire	5
5.1.1. Principaux éléments de la cheminée solaire	6
5.1.2. Principe de fonctionnement	7
5.1.3. Types de cheminées dans les habitats	7
5.1.4. Facteurs affectant le comportement d'une cheminée solaire	9
5.1.5. Analyse bibliographique et synthèse des connaissances appropriées	9
5.2. Capture du Vent	11
5.2.1. Création de Différences de Pression	11
5.2.2. Effet Venturi	11
5.2.3. Contrôle de l'Écoulement	12
5.2.4. Interaction avec l'Environnement	13
5.2.5. Types de tours à vent	13
5.2.6. Facteurs influençant les performances des tours à vent	14
6. Conclusion	15
Chapitre II : Étude Numérique et Expérimentale de la Ventilation Naturelle	
1. Introduction	16
2. Procédure expérimentale	16
2.1. Description cellule	16
2.2. Capteur à vent	17
2.3. Cheminée solaire	18
2.4. Système de refroidissement par évaporation	19
2.5. Appareillages de mesures	21
2.5.1. Mesure des températures et Humidité	22
2.5.2. Conception du circuit	23
2.5.3. Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique	24
2.5.4. L'emplacement des capteurs	24
3. Partie numérique	24

3.1. Le modèle physique	24
3.2. Hypothèses de simplification pour une modélisation plus pratique	25
3.3. Les conditions aux limites	26
3.4. Équations gouvernantes	26
3.4.1. Equation de continuité	27
3.4.2. Equation de conservation de quantité de mouvement	27
3.4.3. L'approximation de Boussinesq	27
3.4.4. Modèle de la turbulence	28
3.4.5. Equation de transport des espèces pour la vapeur d'eau	29
3.5. Les expressions des paramètres physiques de l'air	30
4. Conclusion	
Chapitre III : Résultats et Discussions	
1. Introduction	31
2. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux	31
2.1. Évolution de la température à l'intérieur du capteur à vent	31
2.2. Évolution de la température à l'intérieur dans la cheminée	32
2.3. Variation des températures à l'intérieur de la cellule	33
2.4. Variation d'humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire	34
2.5. Variation d'humidité relative à l'intérieur de la cellule	35
2.6. Variation de vitesse à l'entrée à la sortie du capteur	36
2.7. Variation de vitesse dans la partie inférieure du capteur à vent et près de la paroi intérieure, à une distance de 10 cm	37
2.8. Variation de vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée	38
3. Simulation numérique	38
3.1. Contrôle de la solution (convergence)	38
3.2. Validation	39
3.3. Évaluation des résultats dans la cellule	40
3.3.1. Profils de vitesse dans la cellule	40
3.3.2. Champ thermique	41
3.3.3. Champs dynamiques	43
3.3.5. Flux d'écoulement (lignes de courant)	46
4. Conclusion	49
Conclusion Générale	50
Bibliographies	52

Nomenclature

C_p	La chaleur spécifique	[kJ/kg.k]
$C_{\mu}, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon} C_{3\varepsilon}$	Constantes du modèle de turbulence	[1/m]
G	La constante de la gravité	[m/s ²]
G_k	Source d'énergie cinétique turbulente attribuée au gradient de vitesse moyen	[pa/s]
G_b	Source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité	[pa/s]
H	Hauteur de la cavité	[m]
K	Energie cinétique turbulente	[m ² /s ²]
S	La surface de conduction	[m ²]
T	Température	[K]
T_o	Température de fonctionnement	[K]
T_m	Température moyenne	[K]
u, v, w	Composante de la vitesse dans les directions x,y et z	[m/s]
u', v', w'	Fluctuations des composants de la vitesse dans les directions x,y et z	[m/s]
x, y, z	Coordonnée cartésienne	[m]
S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}	Composantes x, y et z des forces corporelles	[N]
S_h	Source de chaleur, comprenant la chaleur de réaction	

Lettres Grecques:

α_ε	Nombre de Prandlt turbulent pour l'équation de vitesse de dissipation d'énergie	–
α_k	Nombre de Prandlt turbulent pour l'équation d'énergie	–
α_t	Kinect turbulente	
	Diffusivité thermique de tourbillon	[m ² /s]
β	coefficient de dilatation thermique	[1/K]
μ	La viscosité dynamique	[Kg/m. s]
μ_{eff}	Viscosité dynamique effective	[Kg/m. s]
ν	Viscosité cinématique	[m ² /s]
ρ	La masse volumique	[kg/m ³]
λ	La conductivité thermique	[W/m .k]
ε	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	[m ² /s ³]
ν_t	viscosité cinématique de tourbillon	[m ² /s]

Abréviation:**ACH**

Changement d'air par heure

CFD

Simulateurs de fluides dynamiques

SIMPLE

Méthode semi-Implicite pour les équations liées à la pression

Liste des figures

Chapitre I : La Ventilation Naturelle

Figure I.1. Ventilation	3
Figure I.2. L'effet de vent dans habitant.	4
Figure I.3. Effet de tirage thermique dans habitant.	5
Figure I.4. Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment.	5
Figure I.5. Principe de fonctionnement	5
Figure I.6. Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment	6
Figure I.7. Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire.	8
Figure I.8. Installation d'une cheminée solaire inclinée	8
Figure I.9. Principe de fonctionnement d'une ventilation naturelle	8
Figure I.10. Schéma du capteur de vent avec des configurations de toit plat, incliné et courbé	12
Figure I.11. Pales pour contrôler de l'écoulement	11
Figure I.12. Différents types de tours à vent traditionnels	14

Chapitre II : Étude Numérique et Expérimentale de la Ventilation Naturelle

Figure II.1. Descriptions de la cellule	17
Figure II.2. Capteur de vent	18
Figure II.3. Les dimensions des ondulations dans l'absorbeur de chaleur.	19
Figure II.4. Système de refroidissement par évaporation	20
Figure II.5. Toile de jute	21
Figure II.6. Tube PVC transparent et seringue médicale	21
Figure II.7. Système de refroidissement par évaporation directe	21
Figure II.8. Structure générale de système	22
Figure II.9. Principe des capteurs	22
Figure II.10. Composants de circuit électronique	23
Figure II.11. Schéma synoptique de système	23
Figure II.13. Anémomètre a affichage numérique	24
Figure II.14. L'emplacement des captures de vitesse, température et humidité	24
Figure II.15. Modèle physique	25
Figure II.16. Emplacement du système de refroidissement par évaporation	25

Chapitre III : Résultats et Discussions

Figure III.1. Variation des différentes températures à l'intérieur du capteur à vent en fonction du temps	31
Figure III.2. Variation des différentes températures à l'intérieur de la cheminée solaire en fonction du temps	32
Figure III.3. Variation des différentes températures à l'intérieur de la cellule en fonction du temps	33
Figure III.4. Variation d'Humidité relative à l'intérieur du capteur à vent en fonction du temps.	34
Figure III.5. Variation d'Humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire en fonction du temps	35
Figure III.6. Variation d'Humidité relative à l'intérieur de la cellule d'essai en fonction du temps	36
Figure III.7. La vitesse à l'entrée du capteur à vent	36
Figure III. 8: la vitesse dans la partie inférieure du capteur à vent et près de la paroi intérieure, à une distance de 10 cm.	37
Figure III.9 Variation de la vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée	38

Figure III.10	Évolution des résidus	39
Figure III.11	Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour les valeurs de température à différents points de mesure (à 9h00 et $V_e = 0.2$ m/s)	40
Figure III. 12:	Profils de vitesse Variation de la vitesse dans le plan vertical médian à l'intérieur de la cellule d'essai	41
Figure III. 13 :	Profils de vitesse Variation de la vitesse à l'entrée de la cellule au plan médian- vertical.	41
Figures III.14 :	Champ thermique dans le modèle étudié à 9h00 du matin.	42
Figure .III.15 :	Champs dynamiques dans le modèle étudié à 9h00 du matin.	44
Figure .III.16 :	Champs dynamiques vitesses dans le modèle étudié à 14h00 .	45
Figure III. 17:	Flux d'écoulement (lignes de courant) : (a) à 9h00 et $V_e = 0.2$ m/s ; (b) à 14h00 et $V_e = 0.5$ m/s	46
Figure III. 18 :	Champ thermique dans le capteur de vent, la cellule d'essai et la cheminée solaire pour une vitesse d'air de 0,5 m/s à l'entrée du capteur de vent.	47

Liste des tableaux

Tableau II. 1	Caractéristiques thermiques des parois de la cellule de teste	17
Tableau II. 2	Principales caractéristiques physiques des fibres de jute	21
Tableau II. 3	Les constantes de ce modèle k epsilon	33
Tableau II. 4	Les paramètres physiques de l'air	35

Introduction Générale

Introduction générale

La ventilation naturelle joue un rôle crucial dans la conception des bâtiments, influençant le confort des occupants et les considérations environnementales et économiques. L'architecture moderne intègre des techniques avancées de ventilation naturelle, telles que les tours de vent et les cheminées solaires, adaptées à divers climats mondiaux, notamment dans les régions semi-arides (Layeni, Nwaokocha et al. 2018). Ces systèmes sont sensibles aux conditions externes telles que le rayonnement solaire et la vitesse et direction du vent, nécessitant une compréhension approfondie pour une conception efficace (Asadi, Fakhari et al. 2016; de Oliveira Neves, da Silva et al. 2018; Shi 2019).

En Algérie, où le secteur du bâtiment consomme une part importante de l'énergie, la ventilation, le chauffage et la climatisation sont des contributeurs majeurs (Référence 1). Cette utilisation intensive génère des émissions de gaz à effet de serre, soulignant l'importance des solutions de ventilation naturelle pour réduire la consommation énergétique.

L'optimisation de la ventilation naturelle est essentielle pour améliorer le confort et réduire l'impact environnemental du secteur du bâtiment. L'adoption de pratiques adaptées aux conditions locales et des connaissances techniques avancées contribuera à créer des bâtiments durables et écoénergétiques, répondant aux défis actuels liés à l'énergie et au climat.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les performances de ventilation d'un système combinant une tour éolienne et une cheminée solaire dans un environnement réel. Nous avons adopté deux approches pour cette étude, une expérimentale et une numérique, en utilisant le code de calcul ANSYS 2021 version R1. L'originalité de notre approche réside dans la modification de l'absorbeur de la cheminée solaire, passant d'une surface plane à une surface ondulée. Nous avons analysé l'impact de cette modification sur le comportement et les propriétés de l'air intérieur dans une cellule expérimentale équipée d'un collecteur éolien doté d'un système de refroidissement par évaporation.

Nous avons divisé notre travail en trois chapitres

Dans le premier chapitre, nous mettons en évidence l'importance cruciale de la ventilation naturelle dans l'amélioration du confort des occupants et la réduction de la consommation d'énergie. Nous offrons un aperçu détaillé des dernières avancées dans les systèmes de ventilation, en définissant la ventilation naturelle et en explorant ses différentes formes. En particulier, nous soulignons l'efficacité des concepts de tour à vent et de cheminée solaire comme

des

moyens

essentiels pour fournir une ventilation naturelle efficace aux bâtiments, marquant ainsi un progrès significatif dans la conception écoénergétique des infrastructures.

Dans le deuxième chapitre, nous avons mené une étude approfondie, à la fois expérimentale et numérique, du comportement dynamique de l'écoulement d'air à travers une cellule équipée d'une cheminée solaire, d'une tour éolienne et d'un système de pulvérisation d'eau. Nous décrivons en détail le dispositif étudié ainsi que les appareils de mesure utilisés pour cette étude. Le chapitre englobe également la formulation mathématique du problème, les conditions aux limites pertinentes et la méthode de résolution employée.

Dans le chapitre trois, nous entamons une discussion des résultats expérimentaux obtenus, les comparant aux résultats de la simulation numérique tridimensionnelle. L'objectif est de déterminer le modèle de ventilation naturelle le plus adapté au bâtiment dans les conditions climatiques spécifiques de la région d'Ouargla. Ces résultats incluent également l'effet du changement de la surface de l'absorbeur de la cheminée solaire, passant d'une surface plane à une surface ondulée avec des ailettes. Cette analyse nous permettra de tirer des conclusions précises sur l'efficacité de ce modèle de ventilation et de recommander celui qui répond le mieux aux besoins et aux contraintes climatiques de cette région particulière.

On achève ce manuscrit par une conclusion générale.

CHAPITRE I : La ventilation et les technologies

1.Introduction

La ventilation joue un rôle vital dans la création d'un environnement intérieur confortable et sain dans les bâtiments, en contrôlant la qualité de l'air et la température (Deng et al., 2019; Hassan et al., 2020). La ventilation naturelle, en utilisant les éléments naturels comme le vent, présente des avantages notables en termes d'efficacité énergétique et de confort thermique (Mahmoud et al., 2018 ; Sawerwain et al., 2021). En Algérie, où les bâtiments consomment une part significative de l'énergie, la ventilation naturelle est devenue une priorité pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et promouvoir la durabilité environnementale (Cherif et al., 2017; Boukhalfa et al., 2019). Ce chapitre examine ces aspects, en mettant en évidence le potentiel des technologies émergentes comme la cheminée solaire et les tours à vent pour une ventilation efficace et respectueuse de l'environnement. Il explore également les avantages et les limites de la ventilation naturelle par rapport aux systèmes mécaniques conventionnels. En conclusion, la ventilation naturelle offre une solution durable pour améliorer la qualité de l'air intérieur et contribuer à une construction plus respectueuse de l'environnement et de l'énergie.

2.Ventilation

Le renouvellement de l'air est crucial pour maintenir un environnement intérieur sain et confortable dans les bâtiments. La ventilation joue un rôle essentiel en assurant ce renouvellement en continu, évacuant l'air vicié chargé en polluants et en humidité pour le remplacer par de l'air frais de l'extérieur. Cette fonction principale de la ventilation contribue à prévenir l'accumulation de substances nocives et à maintenir des conditions de vie et de travail optimales pour les occupants (Oz, 2018; Liu et al., 2021).

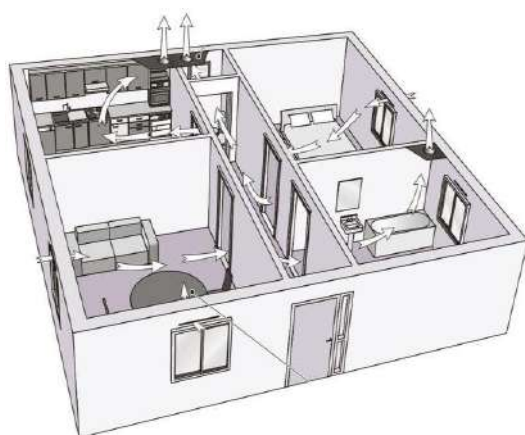


Figure I.1 : Ventilation

Outre le renouvellement de l'air, la ventilation remplit d'autres fonctions clés dans les bâtiments. Elle permet de contrôler la température intérieure en évacuant la chaleur excessive pendant les périodes chaudes et en fournissant de l'air frais et rafraîchi pendant les périodes plus chaudes, contribuant ainsi au confort thermique des occupants (Yang et al., 2019). De plus, la ventilation participe à la régulation de l'humidité, en éliminant l'excès d'humidité qui peut favoriser la croissance de moisissures et créer un environnement malsain (Ding et al., 2020). En résumé, la ventilation est un élément essentiel dans la création d'un environnement intérieur sain, confortable et sûr dans les bâtiments, jouant un rôle crucial dans le renouvellement de l'air, le contrôle de la température et la régulation de l'humidité.

3. Ventilation Naturelle

La ventilation naturelle représente une approche ingénieuse qui tire parti des forces naturelles telles que le vent et les variations de température pour garantir le renouvellement de l'air dans les espaces intérieurs des bâtiments. Son concept repose sur la création de flux d'air naturels et sur l'exploitation des différences de pression pour favoriser l'évacuation de l'air vicié et l'introduction d'air frais.

4. Effet du vent

L'effet du vent est un pilier essentiel de la ventilation naturelle. Il génère des courants d'air à travers les ouvertures du bâtiment, comme les fenêtres et les portes, favorisant ainsi le brassage et le renouvellement de l'air intérieur (Yan et al., 2020)

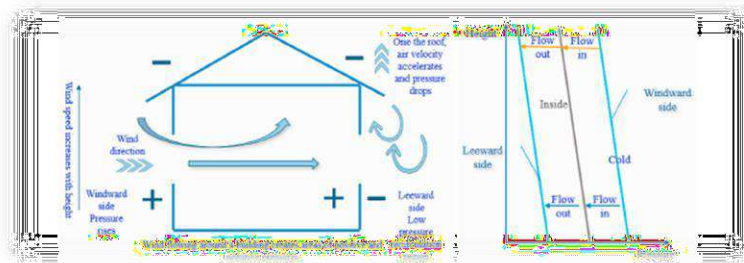


Figure I.2 : L'effet de vent dans habitant (Zhang, H., et al, 2021).

4.1. Effet du tirage thermique

L'effet du tirage thermique intervient lorsque l'air chaud monte naturellement, créant une aspiration qui facilite l'évacuation de l'air chaud vers l'extérieur. Cette combinaison d'effets naturels contribue à maintenir des conditions de confort thermique et à améliorer la qualité de l'air intérieur (Cao et al., 2019).

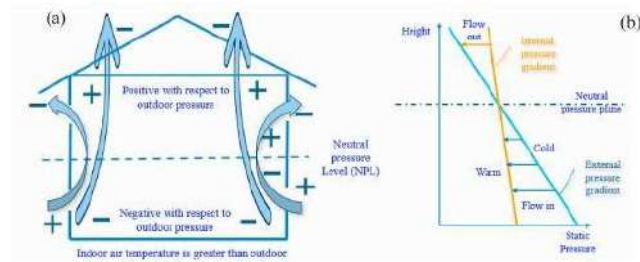


Figure I.3 : Effet de tirage thermique dans habitant (Zhang, H., et al, 2021).

4.2. Effet combiné du vent et du tirage thermique

L'effet combiné du vent et du tirage thermique joue un rôle crucial dans l'efficacité de la ventilation naturelle. Cette combinaison d'effets naturels offre une solution performante pour maintenir des conditions de ventilation optimales dans les bâtiments, tout en réduisant la consommation d'énergie associée aux systèmes de ventilation mécanique (Li et al., 2021). Elle illustre également l'ingéniosité de la conception bioclimatique qui tire parti des ressources naturelles pour assurer un environnement intérieur sain et agréable.

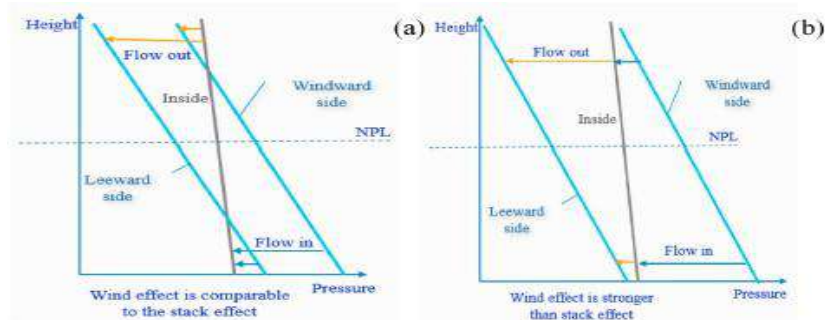


Figure I. 5 : Effet combiné entre le vent et tirage thermique dans habitant (Zhang, H., et al, 2021).

5. Types de ventilation naturelle

La ventilation naturelle comprend différents types qui exploitent divers mécanismes pour assurer le renouvellement de l'air dans les bâtiments, sans recourir à des systèmes mécaniques complexes. Voici quelques-uns des principaux types de ventilation naturelle :

5.1. Cheminée solaire

La cheminée solaire, un dispositif de ventilation naturelle couramment utilisé dans les bâtiments écologiques et durables, est composée de plusieurs éléments cruciaux qui jouent un rôle majeur dans son fonctionnement optimal.



Figure I.6: Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment (Yoshiteru Shinada, et al, 2007).

5.1.1. Principaux éléments de la cheminée solaire

- a. Ouverture d'admission d'air :** Positionnée généralement au niveau inférieur du bâtiment, cette ouverture permet à l'air extérieur de pénétrer dans la cheminée. C'est le point de départ du processus de ventilation naturelle.
- b. Conduit de ventilation :** Ce conduit est essentiel pour guider le mouvement de l'air à l'intérieur de la cheminée. Il favorise le mouvement ascendant de l'air chaud vers la sortie.
- c. Sortie en hauteur :** Placée en haut de la cheminée, cette sortie permet l'évacuation de l'air vicié et chaud vers l'extérieur, créant ainsi un flux d'air continu.
- d. Système de régulation :** Certains modèles de cheminées solaires intègrent des mécanismes de régulation pour contrôler le débit d'air, assurant ainsi une ventilation adaptée aux besoins spécifiques du bâtiment et de ses occupants.

5.1.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'une cheminée solaire repose sur le principe de la convection thermique. Lorsque les rayons du soleil chauffent la surface du bâtiment, l'air à proximité se réchauffe et acquiert une poussée ascensionnelle. Cet air chaud monte naturellement dans la cheminée, créant une aspiration qui évacue l'air vicié. Parallèlement, de l'air frais entre par les ouvertures d'admission, créant ainsi un cycle de ventilation naturelle et continue.

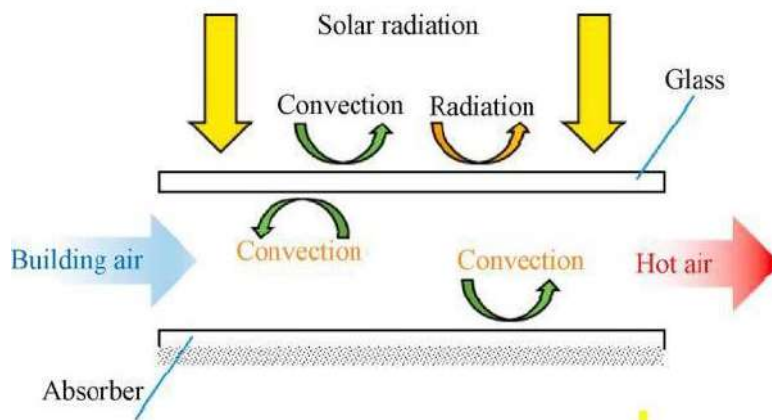


Figure I. 7: Principe de fonctionnement. (Z. Akchiche , 2011)

5.1.3. Types de cheminées dans les habitats

a. Cheminée solaire verticale :

Ce type est le plus rencontré, où l'entrée d'air se fait par l'ouverture au fond et la sortie par l'ouverture au- dessus. Par convection, trois types de cheminée sont dénotés selon l'admission (figure II.16). Le positionnement de l'ouverture d'admission représente trois manières possibles, d'intégrer La cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle.

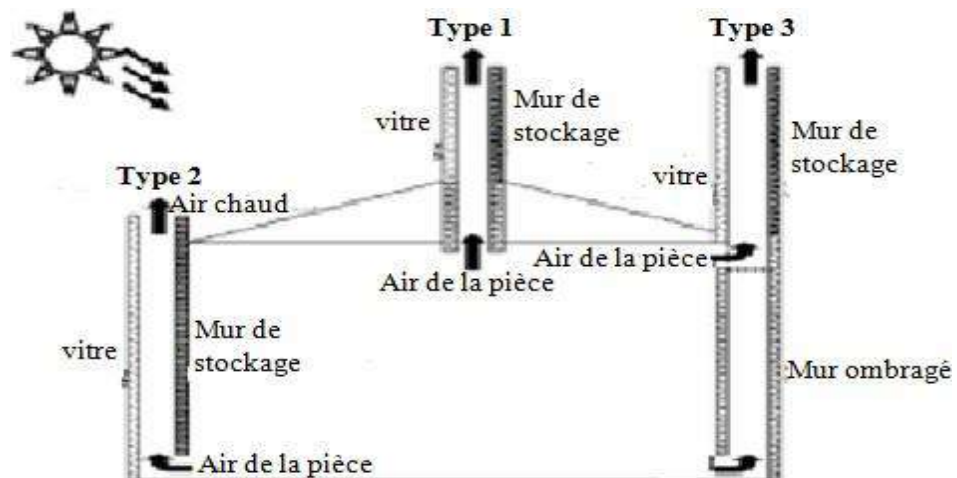


Figure I.8 : Types de cheminée solaire selon l'ouverture d'entrée, et leur position pour la ventilation naturelle (Guohui Gan, 2006).

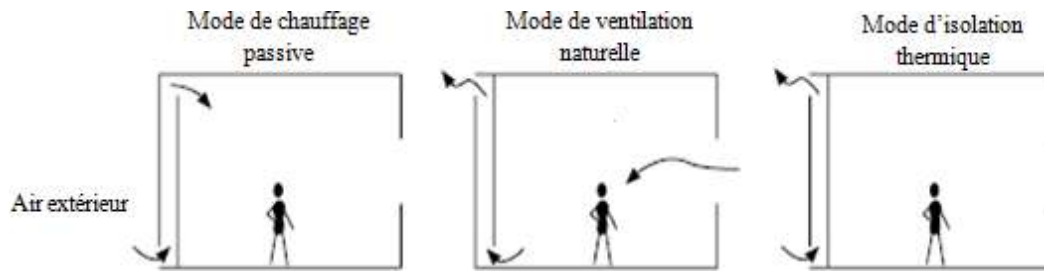


Figure I.9: Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire (T. Miyazaki et al , 2006).

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

b. Cheminée solaire inclinée :

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

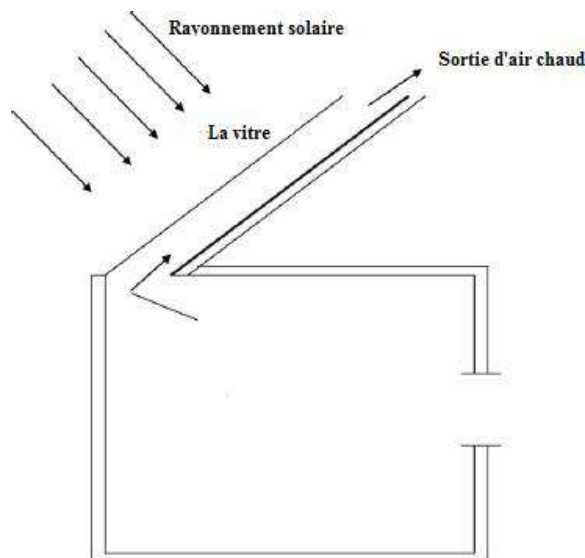


Figure I.10 Installation d'une cheminée solaire inclinée (T. Miyazaki et al, 2006).

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

à une altitude plus élevée du soleil.

5.1.4. Facteurs affectant le comportement d'une cheminée solaire

Plusieurs paramètres influent sur l'efficacité et les performances d'une cheminée solaire. L'orientation de la cheminée par rapport au soleil, la taille et le positionnement des ouvertures, ainsi que la hauteur de la cheminée sont des facteurs déterminants. Des études approfondies, telles que celle menée par Brown et al. (2019), mettent en évidence l'importance de ces paramètres dans la conception et l'optimisation de cheminées solaires efficaces pour la ventilation naturelle des bâtiments.

5.1.5. Analyse bibliographique et synthèse des connaissances appropriées

a. .la cheminée solaire :

Les tours à vent, également connues sous le nom de tours éoliennes, sont des structures utilisées pour capter et canaliser le vent afin de produire de l'énergie éolienne ou d'assurer une ventilation naturelle dans les bâtiments. Leur conception et leur fonctionnement sont sujets à de nombreuses recherches et publications scientifiques.

b. Conception et Types : Les travaux de Wang et al. (2018) décrivent les différentes conceptions et types de tours à vent, allant des structures simples aux turbines éoliennes intégrées. Ces études mettent en lumière l'importance de la conception pour maximiser l'efficacité énergétique et la stabilité des tours à vent.

c. Performances et Facteurs d'Influence : Les recherches menées par Zhang et Liu (2020) ont analysé les performances des tours à vent et identifié les principaux facteurs qui influencent leur efficacité, tels que la hauteur de la tour, la forme des pales, et les conditions météorologiques locales.

Elmualim (2006) a utilisé des modèles expérimentaux et des simulations CFD pour étudier l'effet des mécanismes de contrôle du flux d'air et des sources de chaleur internes sur les performances des cheminées solaires. Les résultats ont montré une bonne corrélation entre les mesures expérimentales et les simulations numériques.

Karakatsanis et al. (1986) ont mesuré les coefficients de pression du vent à diverses ouvertures d'une cheminée solaire en testant un modèle réduit du bâtiment dans une soufflerie. Les résultats ont révélé que la présence d'une cour autour de la structure et l'angle d'incidence du vent influencent le débit d'air et la direction de l'écoulement de la cheminée solaire vers la maison.

Montazeri et Azizian (2008) ont mené une étude expérimentale sur les performances de ventilation naturelle des cheminées solaires unilatérales. Les modèles testés avaient des toits plats, inclinés et courbés. Ils ont observé que la réduction des effets de séparation à la région

d'entrée augmentait la capacité de ventilation de la cheminée solaire.

Su et al. (2012) ont réalisé des investigations expérimentales et des simulations CFD pour évaluer le débit net d'une cheminée solaire à section circulaire pour diverses vitesses et directions du vent. Ils ont constaté que la direction du vent a un faible effet sur le débit d'air, bien que la capacité induite de ce type de cheminée soit inférieure à celle des cheminées à section rectangulaire.

Montazeri (2015) a comparé les performances de ventilation naturelle de cheminées solaires unilatérales et bilatérales en utilisant un modèle analytique non dimensionnel. Il a conclu que, dans les zones où il y a une direction de vent prédominante, la cheminée solaire unilatérale est plus adaptée.

Kazemi et al. (2011) ont effectué des tests de visualisation de fumée sur plusieurs modèles réduits de cheminées solaires unilatérales courantes. Les résultats ont montré que la réduction des effets de séparation à l'entrée augmentait la capacité de ventilation des cheminées solaires.

Les méthodes pour réduire la sensibilité des cheminées solaires à la direction du vent incluent l'utilisation de cheminées à section circulaire et l'augmentation du nombre d'ouvertures (Montazeri, 2015; Su et al., 2012). Cependant, ces méthodes peuvent entraîner une réduction significative de la capacité induite des cheminées solaires.

d. Intégration dans l'Architecture : Les études de Chen et al. (2019) se sont penchées sur l'intégration des tours à vent dans l'architecture des bâtiments, mettant en avant les avantages en termes de ventilation naturelle, de réduction de la consommation d'énergie et d'impact environnemental.

Les tours à vent sont des éléments importants dans le domaine de l'énergie renouvelable et de la ventilation naturelle des bâtiments.

Leur conception doit être soigneusement étudiée pour optimiser leur efficacité énergétique et leur performance.

Les facteurs influençant leur efficacité comprennent la hauteur, la forme des pales, la vitesse du vent, et les conditions climatiques locales.

Leur intégration dans l'architecture peut contribuer à améliorer le confort thermique des occupants et à réduire la dépendance aux systèmes de ventilation mécanique.

Les tours à vent exploitent le principe fondamental de l'écoulement d'air pour générer de l'énergie éolienne ou pour assurer une ventilation naturelle efficace dans les bâtiments. Leur

fonctionnement repose sur plusieurs éléments clés liés au principe d'écoulement :

5.2. Capture du Vent :

Les tours à vent sont conçues de manière à capturer le vent et à le canaliser à travers des ouvertures spécifiques. Ce processus de capture est essentiel pour maximiser l'énergie récupérée ou le débit d'air entrant dans la tour.

5.2.1. Création de Différences de Pression :

Lorsque le vent est capturé par la tour, il crée des différences de pression à l'intérieur et à l'extérieur de la structure. Ces variations de pression sont utilisées pour induire un mouvement d'air ascendant à l'intérieur de la tour, favorisant ainsi la ventilation naturelle.

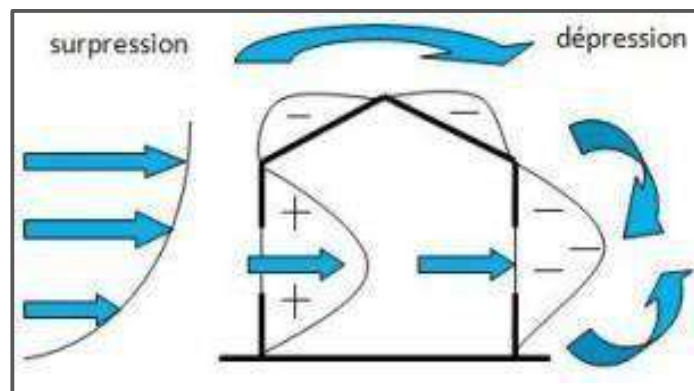


Figure I.11: Principe de fonctionnement d'une ventilation naturelle (Gratia and De Herde 2005).
5.2.2. Effet Venturi :

Le principe de l'effet Venturi est également exploité dans les tours à vent. Lorsque le vent est canalisé à travers des sections de la tour de différentes tailles, il accélère dans les zones étroites et crée ainsi une aspiration supplémentaire, augmentant le débit d'air et l'efficacité de la ventilation.

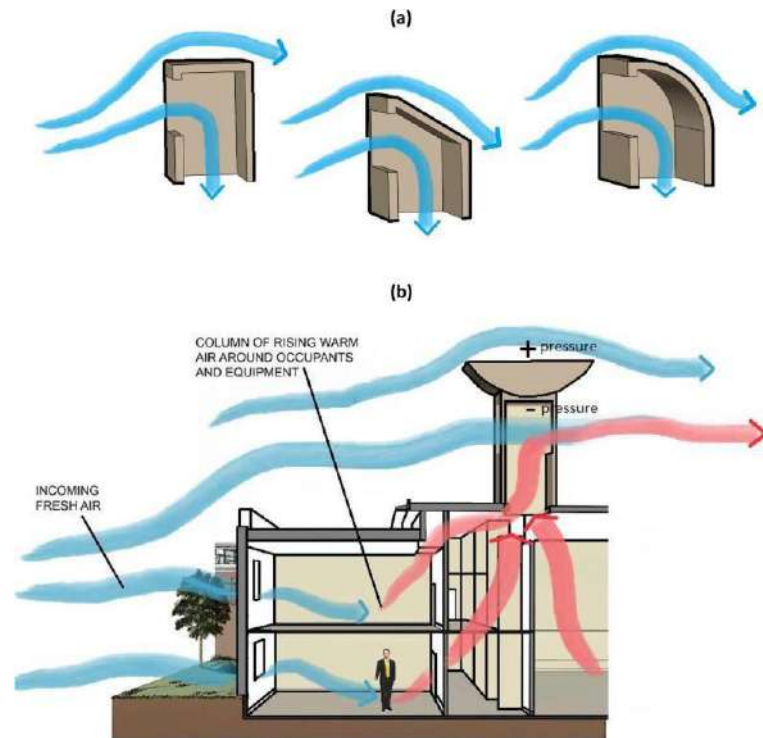


Figure. I.12: (a) Schéma du capteur de vent avec des configurations de toit plat, incliné et courbé, (b) Schéma d'un bâtiment avec un capteur de vent intégré avec un toit en forme de venturi. (F. Jomehzadeh , 2020)

5.2.3. Contrôle de l'Écoulement :

La conception des tours à vent intègre souvent des dispositifs pour contrôler et optimiser l'écoulement de l'air. Cela peut inclure des déflecteurs, des pales ajustables ou d'autres mécanismes pour réguler la vitesse et la direction de l'air, améliorant ainsi la performance globale de la tour.

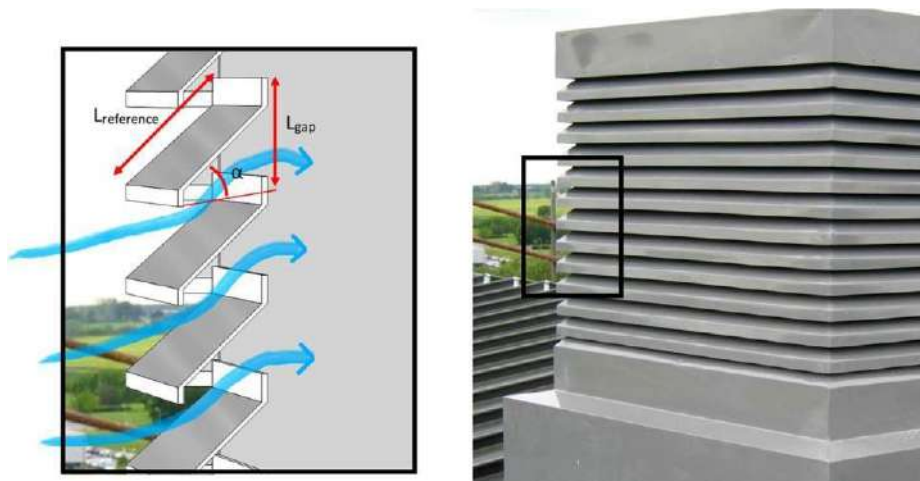


Figure 1.13 : pales pour contrôler de l'écoulement (Sangdeh, P.K. et al. 2020).

5.2.4. Interaction avec l'Environnement :

L'écoulement d'air à l'intérieur de la tour est également influencé par les conditions environnementales externes telles que la force et la direction du vent, la température, et la topographie locale. Ces facteurs doivent être pris en compte dans la conception et l'exploitation des tours à vent.

5.2.5. Types de tours à vent

a. Tours à Vent Classiques : Aussi appelées turbines éoliennes, ces tours ont généralement une conception à axe horizontal avec des pales qui tournent autour de cet axe. Elles sont largement utilisées dans les parcs éoliens pour la production d'électricité à grande échelle. Les turbines éoliennes peuvent être de différentes tailles, des petites installations domestiques aux grandes éoliennes industrielles.

b. Tours à Vent Axiales : Ces tours à vent ont également un axe horizontal, mais leurs pales sont disposées autour de l'axe de manière à capturer le vent de manière plus efficace que les turbines éoliennes classiques. Elles sont souvent utilisées pour les applications de ventilation naturelle dans les bâtiments, où une conception compacte est nécessaire.

c. Tours à Vent Verticales : Contrairement aux tours à vent classiques, les tours verticales ont un axe vertical et des pales disposées de manière à capturer le vent sous différents angles. Elles sont souvent utilisées dans des environnements urbains où l'espace est restreint et où une esthétique plus moderne est souhaitée.

d. Tours à Vent Hélicoïdales : Ces tours à vent ont une conception en forme d'hélice, avec des pales incurvées qui captent le vent de manière plus efficace que les autres designs. Elles sont connues pour leur rendement élevé et sont utilisées dans des applications industrielles et commerciales où une production d'énergie stable est cruciale.

e. Tours à Vent Hybrides : Ces tours combinent généralement plusieurs sources d'énergie, telles que l'éolien et le solaire, pour optimiser la production d'énergie. Elles peuvent également intégrer des systèmes de stockage d'énergie pour une utilisation plus fiable et flexible, adaptée aux besoins spécifiques de l'installation.

f. Mini-Tours à Vent : Ces tours à vent sont de petite taille et peuvent être montées sur des toits ou des structures spécifiques. Elles sont souvent utilisées pour des applications résidentielles ou locales, fournissant de l'énergie pour des besoins individuels ou pour des petits systèmes autonomes.

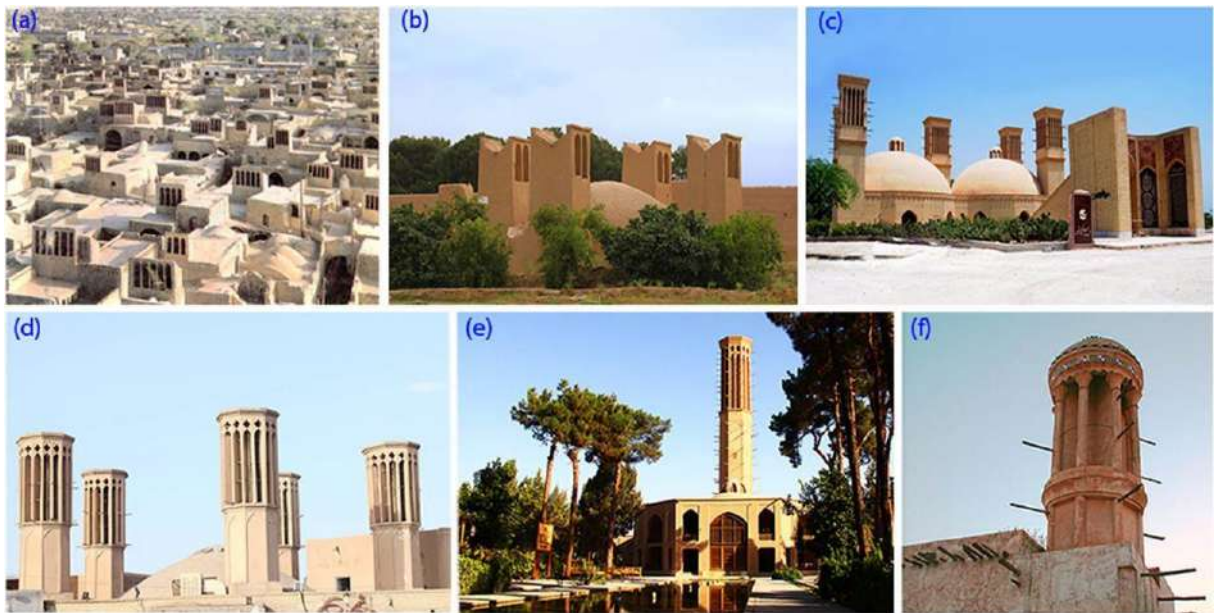


Figure I.14: Différents types de tours à vent traditionnels : (a) tours à vent unilatéraux à Meybod, Iran (Dehghani et al, 2014) ; (b) tours à vent à deux côtés de la citerne d'eau du jardin de Dowlat-Abad, Yazd, Iran (Panoramio, 2024) ; (c) des tours à vent à quatre côtés de la citerne d'eau de l'île de Kish, en Iran (Tourism, 2022) ; (d) tours à vent à six côtés à Yazd, Iran (Razavi, M., et al, 2015); (e) tour à vent à huit côtés dans le jardin de Dowlat-Abad, Yazd, Iran (Kwon et al ,2013) ; (f) tour à vent cylindrique à Dubaï (Razavi, M., et al, 2015).

5.2.6. Facteurs influençant les performances des tours à vent

Les performances des tours à vent sont influencées par plusieurs facteurs clés qui jouent un rôle crucial dans leur efficacité et leur rendement énergétique.

a. Vitesse et Direction du Vent :

La vitesse et la direction du vent sont des paramètres fondamentaux qui influencent directement la production d'énergie éolienne (Smith & Johnson, 2020). Des études ont montré que des vents plus rapides et constants conduisent à des rendements énergétiques plus élevés (Chen et al., 2019). la direction du vent peut également influencer la performance des tours à vent en affectant l'angle d'attaque des pales.

b. Hauteur de la Tour :

La hauteur de la tour à vent est un élément crucial pour capturer des vents plus forts et plus constants. Les tours plus hautes ont généralement un meilleur potentiel de production d'énergie car elles sont exposées à des vents plus réguliers et à des altitudes où la vitesse du vent est généralement plus élevée. Des recherches ont démontré que les tours à vent plus hautes ont un

meilleur potentiel de capture des vents plus forts et constants (Brown et al., 2021). De plus, le diamètre et l'efficacité des pales jouent un rôle crucial dans l'optimisation de la conversion de l'énergie du vent en électricité (Zhang & Liu, 2018).

c. Emplacement de la tour :

L'emplacement d'une tour à vent est un facteur crucial qui influence directement ses performances et son rendement énergétique. Les études montrent que les zones venteuses caractérisées par des vents constants et forts sont généralement privilégiées pour l'installation de tours à vent (Zhang & Liu, 2018).

6. Conclusion

A partir de ce chapitre on conclut que la ventilation est une nécessité essentielle dans les locaux. Il y a deux mécanismes de ventilation naturelle, qui ont le même but, de créer un mouvement d'air. La ventilation naturelle se produit également en raison de la commande des ouvertures, des portes et des fenêtres ou par un moyen passif solaire tel que la cheminée solaire. Ce genre de ventilation a des avantages multiples. Il ne nécessite ni énergie fossile, ni énergie électrique, pour fonctionner en mode de refroidissement passif ou d'éliminer la condensation de la vapeur d'eau.

CHAPITER II : Etude Numérique Et Expérimentale De La Ventilation Naturelle

1. Introduction

La ventilation joue un rôle fondamental dans la conception et la construction des bâtiments, qu'elle soit assurée par des systèmes naturels ou mécaniques. Toutefois, face aux préoccupations environnementales et à la hausse de la consommation énergétique, la ventilation naturelle fait l'objet d'une réévaluation. Il est primordial d'utiliser des systèmes de ventilation passive efficaces pour améliorer la qualité de l'air intérieur et garantir le confort des occupants. Afin de mesurer l'efficacité de ces systèmes, des études expérimentales et numériques ont été menées. Dans le cadre de notre recherche, nous avons étudié l'intégration d'une tour à vent couplée à une cheminée solaire dans une structure adaptée au climat semi-aride de la ville d'Ouargla. Un système de refroidissement par évaporation a été installé au niveau du capteur à vent pour ajouter un effet de refroidissement supplémentaire. Ce système permet d'abaisser la température de l'air traversant le capteur, fournissant ainsi un flux d'air frais pour le bâtiment. Pour évaluer l'efficacité de ces systèmes, nous avons conduit une étude expérimentale basée sur la mesure de paramètres physiques. Par ailleurs, une étude numérique a été réalisée suite aux résultats expérimentaux, en utilisant le logiciel de simulation ANSYS 2020 R1.

2. Procédure expérimentale :

2.1. Description cellule :

Dans le cadre de notre étude, nous avons analysé une cellule mesurant 1 mètre carré de surface au sol et 80 cm de hauteur, dont les dimensions ont été obtenues en réduisant à l'échelle 1/4 celles d'une chambre standard. Cette cellule est équipée d'une petite fenêtre de 39,5 x 24,5 cm et d'une petite porte de 47,5 x 29 cm. L'orientation et les matériaux de construction ont été uniformisés pour tous les éléments. Les murs sont faits de briques creuses, enduits de mortier à l'intérieur et à l'extérieur. Le plancher et le plafond sont en béton armé. Une couche isolante, constituée de béton avec des fibres de palmes d'environ 50 mm d'épaisseur, a été appliquée sur la surface extérieure



Figure II. 1: Descriptions de la cellule.

Dans le tableau (II 1), on résume les propriétés thermiques des composants des murs :

Tableau II. 1: Caractéristiques thermique des parois de la cellule de teste.

Parois	Epaisseur (cm)	Conductivité thermique λ (W/m .K)
Revêtement intérieur, extérieur en mortier de ciment	1.5	1.4
Brique creuse	10	0.48
Plateforme et dalle en béton armé	7	2.4

2.2. Capteur à vent :

Le capteur à vent mesure 200 cm de hauteur, 15 cm de largeur et 90 cm de longueur (Figure II.1). De forme parallélépipédique, il est constitué de parois en bois de 2 mm d'épaisseur, recouvertes d'une isolation en polystyrène. L'ouverture supérieure, orientée vers l'est, a une dimension de 200 x 800 mm, tandis que l'ouverture inférieure, servant de sortie d'air, mesure 100 x 80 mm. À l'intérieur du capteur, la lame d'air a une épaisseur de 100 mm.

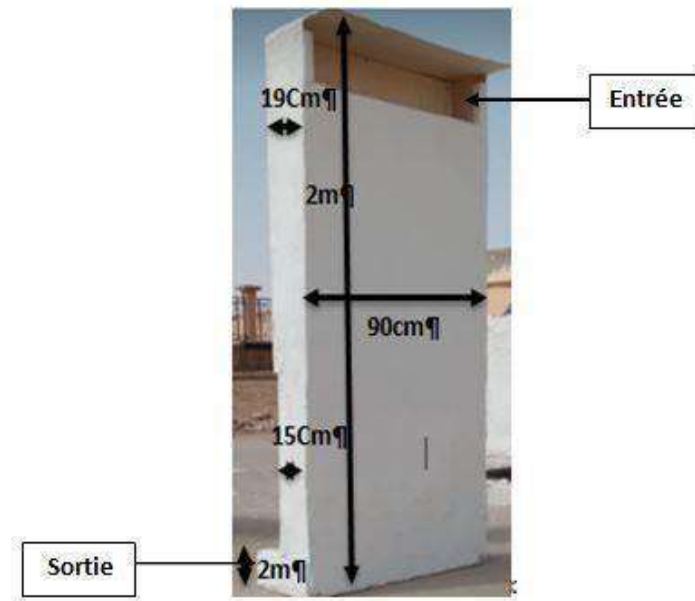


Figure II. 2: Capteur de vent.

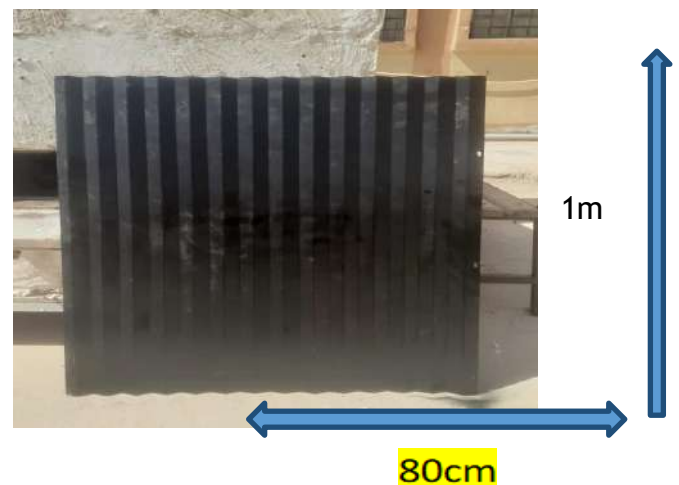
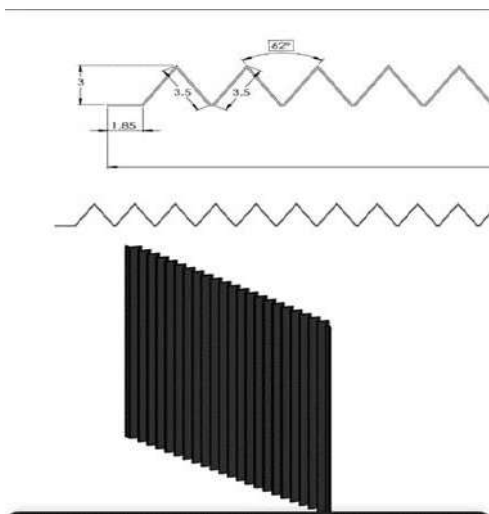
Une couche de vernis a été appliquée à l'intérieur du capteur de vent pour minimiser l'impact de l'humidité sur le bois. Le vernis utilisé est un matériau anti-humidité qui protège efficacement le bois. Il est appliqué uniformément sur la surface intérieure du capteur, réduisant ainsi l'absorption d'humidité et la détérioration du bois due à une exposition prolongée à des conditions météorologiques humides.

2.3. Cheminée solaire :

Les principaux composants de la cheminée solaire comprennent un boîtier en tôle de fer mesurant 1 x 80 m. La cheminée est équipée d'une couverture transparente en verre de 4 mm d'épaisseur, avec une distance de 10 mm entre cette couverture et la plaque absorbante. L'absorbeur est un absorbeur ondulé en acier galvanisé, peint en noir mat et d'une épaisseur de 0,4 mm. Une autre plaque mince en acier galvanisé, également de 0,4 mm d'épaisseur, est placée derrière l'isolant. L'isolation arrière est assurée par deux plaques en polystyrène, l'une de 40 mm d'épaisseur et l'autre de 20 mm.



Figure II. 3 : Cheminée solaire avec absorbeur à surface ondulée



..Figure II. 3 : Les dimensions des ondulations dans l'absorbeur de chaleur.

2.4. Système de refroidissement par évaporation

Les capteurs de vent favorisent un refroidissement naturel de deux manières : par déplacement et par évaporation, comme l'indique l'étude de Maghrabie, Abdelkareem et al. (2022). Le processus de refroidissement par évaporation se déclenche de manière spontanée lorsque de l'air traverse un milieu humide ou une source d'eau. À l'entrée de capture du vent, un rideau vertical en tissu mouillé est positionné, accompagné de tuyaux de pulvérisation d'eau spécialement conçus pour répandre de l'eau sur ce rideau.



Figure II. 4: Système de refroidissement par évaporation.

À l'entrée du canal de capteur du vent, un rideau en tissu rectangulaire est positionné. Fabriqué en jute, il mesure 60 cm de large sur 10 cm de long. Ce rideau est disposé dans le conduit, suivant la direction du flux d'air, pour garantir des performances optimales de capture du vent.

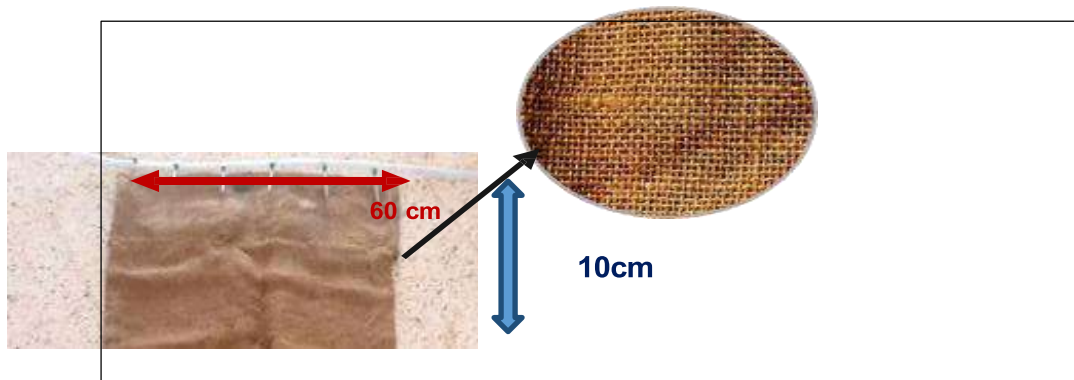


Figure II. 5: Toile de jute.

Le tableau II.2 présente les caractéristiques physiques principales des fibres de jute.

Tableau II. 2: Principales caractéristiques physiques des fibres de jute (Bourahli 2018)

CARACTERISTIQUES	
Longueur de la fibre [mm]	2.5
Masse volumique g/ cm^3	1.48-1.50
Reprise en humidité (20 °C – 65 % HR) [%]	16-18
Taux de sorption d'eau [%]	25.4
Ténacité à sec [N. Tex^{-1}]	0.3-0.6
Perte de Ténacité au mouillé [%]	Gain de 15-25
Résistance aux UV	Moyen
Résistance aux micro-organismes	Moyen

CHAPITER II : Etude Numérique Et Expérimentale De La Ventilation

Les gicleurs d'eau, fabriqués à l'aide de seringues médicales et d'un tube PVC transparent, sont installés sur la partie supérieure du rideau pour le mouiller. Plusieurs étapes ont été suivies pour fixer les seringues médicales au tuyau en plastique. Tout d'abord, des petits trous ont été percés dans le tuyau. Ensuite, les seringues ont été collées dans les trous en utilisant du silicone pour éviter les fuites d'eau et garantir une étanchéité complète.



Figure II. 6: Tube PVC transparent et seringue médicale.

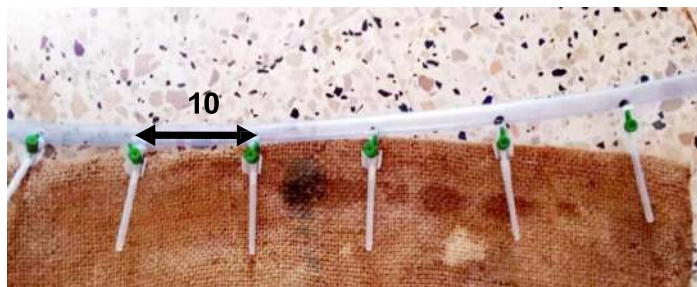


Figure II. 7: Système de refroidissement par évaporation directe.

Un réservoir a été minutieusement installé en bas du capteur à vent afin de recueillir l'eau qui passe à travers la toile de jute. Ce réservoir est stratégiquement positionné pour garantir une collecte efficace de l'eau. Il est dimensionné de manière adéquate pour contenir la quantité d'eau accumulée et permettre à l'air de circuler librement dans la cellule.

2.5. Appareillages de mesures :

Pour évaluer les performances du système dans des conditions réelles d'exploitation et valider les équations numériques obtenues, une série d'expériences a été réalisée au laboratoire VPRS de l'université Kasdi Merbah-Ouargla au cours du mois de mai 2024. Les expériences ont eu lieu pendant une période de climat tempéré avec un ciel dégagé, et les mesures ont été prises entre 8h et 16h, avec un intervalle de 30 minutes. Les paramètres physiques de l'air et du

système de ventilation ont été enregistrés, incluant la température, l'humidité, la vitesse du vent, entre autres.

2.5.1. Mesure des températures et Humidité :

Dans notre projet, nous cherchons à mettre en place un système complet pour la mesure de la température et de l'humidité, ainsi que la visualisation et le contrôle des données via un réseau Wi-Fi grâce à une application web. Ce système est composé de plusieurs éléments clés : des capteurs dédiés à la mesure des grandeurs physiques, une carte microcontrôleur Arduino UNO responsable de l'acquisition et du traitement des données, et un module Wi-Fi qui assure la transmission des valeurs mesurées à un ordinateur distant connecté à Internet. L'objectif est de créer une solution intégrée et efficace pour la surveillance et la gestion à distance de ces paramètres environnementaux essentiels.

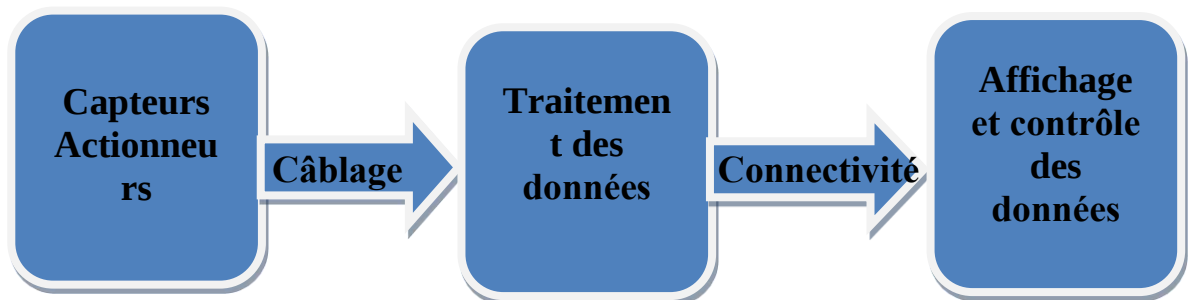


Figure II. 8: Structure générale de système.

Les capteurs constituent le premier composant du schéma fonctionnel du système de mesures, étant en liaison directe avec les variables pour générer des données affichées en sortie..



Figure II. 9: Principe des capteurs.

2.5.2. Conception du circuit

Nous avons mis en place un système de surveillance en ligne de la température et de l'humidité en utilisant le capteur DHT22 et la carte WiFi "ESP8266WiFi". Ce système effectue des mesures précises dans un emplacement défini et transmet les résultats au site Thingspeak. La carte ESP8266WiFi assure la connexion à Internet, vérifie la connectivité et envoie les données à Thingspeak. Cette technologie permet non seulement d'afficher en temps réel les lectures sur Internet, mais aussi de les analyser et de les visualiser de manière interactive, offrant ainsi une surveillance et une gestion efficaces des conditions environnementales.



Figure II. 10: Composants de circuit électronique.

Voici les étapes de base pour réaliser ce projet :

1. Connecter le capteur DHT22 à la carte ESP8266WiFi.
2. Installer la bibliothèque DHT22 dans l'environnement de programmation que vous utilisez, comme l'IDE Arduino.
3. Programmer la carte ESP8266WiFi pour se connecter à Internet et établir une connexion avec Thingspeak en utilisant la bibliothèque Thingspeak.
4. Programmer la carte ESP8266WiFi pour lire les valeurs du capteur DHT22 et les transmettre à Thingspeak.
5. Analyser et visualiser les données dans Thingspeak.

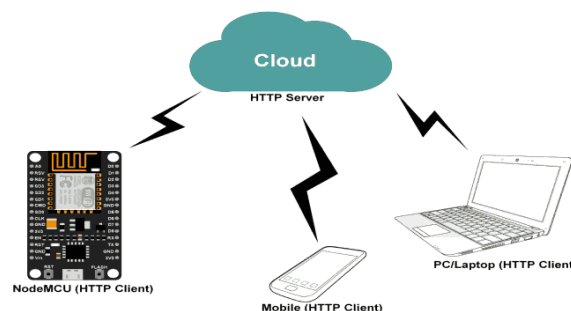


Figure II. 11: Schéma synoptique de système.

CHAPITER II : Etude Numérique Et Expérimentale De La Ventilation

2.5.3. Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique :

La vitesse de l'air et le débit volumique ont été mesurés pour évaluer la performance du système de ventilation passive. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un anémomètre. Les résultats ont été enregistrés et analysés pour déterminer l'efficacité du système de ventilation passive.



Figure II. 13: Anémomètre à affichage numérique.

2.5.4. L'emplacement des capteurs :

Afin d'étudier le comportement de l'écoulement de l'air dans le prototype, nous avons surveillé les distributions de la température, de la vitesse de l'air et de l'humidité à des intervalles de trente minutes. La disposition des capteurs pour les différents cas, incluant les capteurs de température et d'humidité, est illustrée dans la figure.

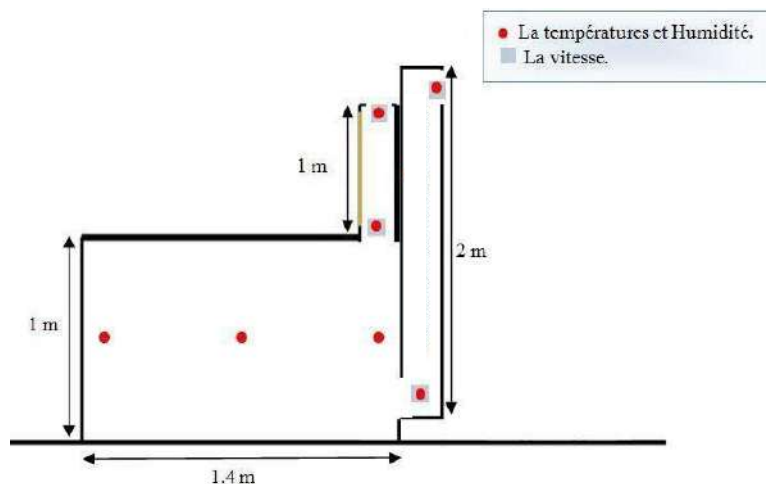


Figure II. 14: L'emplacement des capteurs de vitesse, température et humidité.

3 . Partie numérique :

3.1. Le modèle physique :

L'absorbeur ondulé joue un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité globale du système. Il augmente la surface effective de capture de la lumière solaire, ce qui conduit à une meilleure absorption et conversion de l'énergie solaire en énergie utile. En outre, il favorise également une augmentation de la densité de l'air et une baisse de la température à l'intérieur du capteur à vent lorsqu'il est associé au système de refroidissement par évaporation. Ce processus de refroidissement naturel par évaporation garantit un flux d'air refroidi et densifié, contribuant ainsi à

CHAPITER II : Etude Numérique Et Expérimentale De La Ventilation

l'efficacité et à la performance globale du système de ventilation et de refroidissement du prototype.

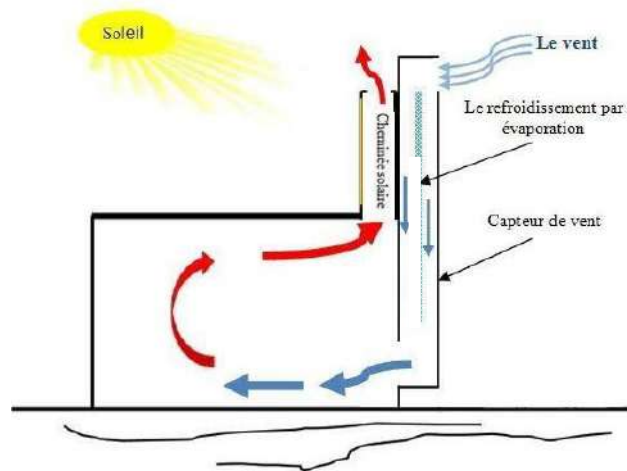


Figure II. 15: Modèle physique

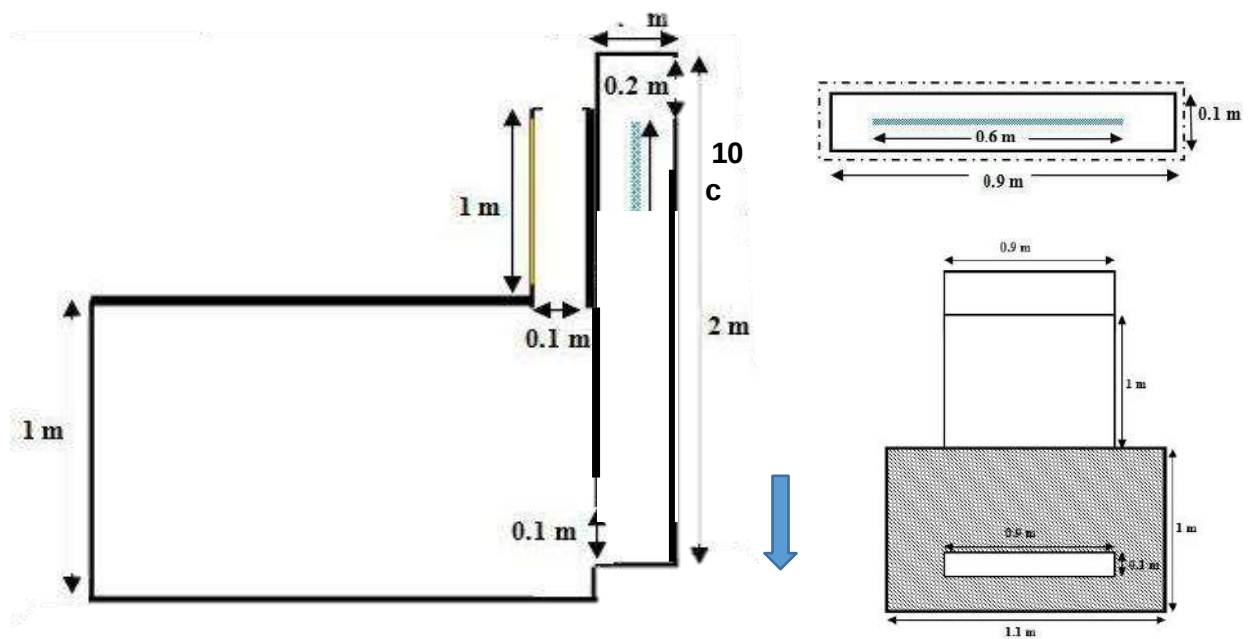


Figure II. 16: Emplacement du système de refroidissement par évaporation.

3.2. Hypothèses de simplification pour une modélisation plus pratique :

Pour simplifier la description physique, nous avons établi plusieurs hypothèses dans notre étude :

- L'écoulement est tridimensionnel, ce qui signifie qu'il se produit dans trois dimensions.
- L'écoulement est permanent, c'est-à-dire qu'il se maintient dans le temps sans changement significatif.

CHAPITER II : Etude Numérique Et Expérimentale De La Ventilation

- L'écoulement de l'air est turbulent, caractérisé par des mouvements irréguliers et chaotiques.
- Le fluide considéré est un mélange de deux gaz : l'air sec et la vapeur d'eau.
- Ce mélange est traité comme un fluide newtonien incompressible, ce qui simplifie les calculs.
- Aucune réaction chimique n'est supposée entre les constituants du mélange.
- La capacité thermique spécifique du mélange est formulée selon la loi des mélanges, en fonction de la fraction de masse moyenne des deux espèces (air et vapeur d'eau).
- L'absorbeur et le verre sont toujours considérés comme parallèles.

3.3. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites jouent un rôle crucial dans la résolution mathématique du problème, car elles définissent les contraintes appliquées à la frontière externe du domaine étudié. Elles se divisent en trois catégories principales : l'entrée, la sortie et les parois.

- ✓ À l'entrée du système, les conditions sont similaires à celles de l'entrée du capteur de vent. La vitesse du vent est une condition de type Dirichlet, fixant la valeur de la variable à l'entrée.
- ✓ Pour la cheminée solaire, trois conditions sont définies : l'absorbeur, la vitre et la sortie. Les parois solides ont des conditions de type Dirichlet, maintenant une température constante sur la vitre et l'absorbeur pour le champ thermique. La sortie de la cheminée solaire est définie à la pression atmosphérique.
- ✓ Les autres parois sont considérées comme adiabatiques, ce qui signifie qu'elles n'ont pas d'échanges thermiques avec leur environnement.
- ✓ Ces conditions aux limites sont essentielles pour une résolution mathématique précise du problème, en assurant une définition complète du problème et en facilitant une solution adéquate.

3.4. Équations gouvernantes :

Trois équations sont utilisées pour décrire un problème de transfert thermique et d'écoulement de fluide : l'équation de continuité, l'équation de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de conservation de l'énergie.

CHAPITER II : Etude Numérique Et Expérimentale De La Ventilation

3.4.1. Equation de continuité

$$(II.1) \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

3.4.2. Equation de conservation de quantité de mouvement

$$\text{Selon (OX)} : u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left[-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{eff} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \right] + S_{Mx} \quad (II.2)$$

$$\text{Selon (OY)} : u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left[-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{eff} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \right] + S_{My} \quad (II.3)$$

$$\text{Selon (OZ)} : u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left[-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu_{eff} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right] + S_{Mz} \quad (II.4)$$

Où :

- u, v et w : sont les composantes de la vitesse dans les directions x, y et z ;
- p : est la pression ;
- ρ : est la masse volumique ;
- μ_{eff} : viscosité dynamique effective.
- S_{Mx}, S_{My} et S_{Mz} Sont les composantes x, y et z des forces corporelles

3.4.2.1. Equation de conservation de l'énergie

$$\rho h \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + S_h \quad (II.5)$$

Où u, v et w sont les composantes de la vitesse dans les directions x, y et z , T signifie la température, k la conductivité thermique et S_h : Est la source de chaleur, comprenant la chaleur de réaction (Mebrouk, R. et al. 2017 ; Hosseini, A.A, et al 2020).

3.4.3. L'approximation de Boussinesq

L'approximation de Boussinesq est une hypothèse simplificatrice largement utilisée en mécanique des fluides pour modéliser le comportement des fluides dont la densité varie avec la température. Cette approche est particulièrement utile dans les problèmes de convection thermique, où les écarts de densité dus aux changements de température entraînent des mouvements de fluide.

En substance, l'hypothèse de Boussinesq suppose que la variation de densité du fluide avec la température est négligeable. Ainsi, la densité est considérée comme constante, sauf dans les termes

CHAPITER II : Etude Numérique Et Expérimentale De La Ventilation

liés à la gravité dans les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement.

$$(\rho - \rho_0)g \approx -\rho_0(1 - \beta\Delta T)g \quad (\text{II.6})$$

- ρ_0 : densité du fluide (constante) ;
- T_0 est la température de fonctionnement ;
- β est le coefficient de dilatation thermique.

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta\Delta T) \quad (\text{II.7})$$

L'approximation de Boussinesq est utilisée pour éliminer le terme de flottabilité dans certaines conditions. Cette approximation est valable lorsque les variations de densité sont faibles. Plus précisément, elle est applicable lorsque les changements de densité réelle sont négligeables, conformément à (Niktaş 2016):

$$\beta(T - T_0) \ll 1 \quad (\text{II.8})$$

3.4.4. Modèle de la turbulence

L'écoulement turbulent se réfère à l'état d'un fluide, liquide ou gaz, dans lequel la vitesse génère des fluctuations aléatoires en chaque point, créant ainsi des tourbillons dont la taille et la position varient constamment. Les écoulements turbulents se distinguent par leur apparence très désordonnée, leur comportement imprévisible (appelé chaos) et la présence de multiples échelles spatiales et temporelles qui interfèrent entre elles. L'étude du comportement complexe de la turbulence se concentre principalement sur les statistiques. Des études ont démontré que les équations de Navier-Stokes sont applicables pour décrire l'écoulement turbulent observé dans le contexte du bouclier thermique.

- K-epsilon (2 équations)
- K-Omega (2 équations)
- Reynolds Stress (5 équations)

Pour notre simulation en régime turbulent, le modèle K-epsilon standard à deux équations de transport a été utilisé. Equation de l'énergie cinétique turbulente

Équation de l'énergie cinétique turbulente K :

$$\nabla(\rho K u) = \nabla[\alpha_k \mu_{eff} \nabla K] + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (\text{II.9})$$

Équation du taux de dissipation d'énergie ϵ :

$$(II.10) \quad \nabla(\rho \varepsilon u) = \nabla[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \nabla K] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{K} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{K}$$

• **G_k** : indicâtes source d'énergie cinétique turbulente attribuée à gradient de vitesse moyenne ;

: La **G_b** source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité ;

α_k et **α_ε** : sont les coefficients de turbulents. Nombre **C_{1ε}** de **C_{2ε}** Prandtl **C_{3ε}** avec , et représentant les constantes du modèle empirique. (Niktasha 2016)

□ **G_k** : indicâtes source d'énergie cinétique turbulente attribuée à gradient de vitesse

: La **G_b** source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité ;

α_k et **α_ε** : sont les coefficients de turbulents. Nombre **C_{1ε}** de **C_{2ε}** Prandtl **C_{3ε}** avec , et représentant les constantes du modèle empirique. (Niktasha 2016)

Tableau II. 3: constantes de ce modèle k epsilon

C_{ε1}	C_{ε2}	C_μ	σ_k	σ_ε
1.44	1.92	0.09	1.00	1.3

3.4.5. Equation de transport des espèces pour la vapeur d'eau :

L'équation de transport des espèces pour la vapeur d'eau dans le flux d'air s'écrit comme suit (Bohojło-Wiśniewska, A., 2015 ; Hosseini, A. A., 2020) :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho Y_{H_2O} u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\rho D_{H_2O} + \frac{\mu_t}{SC_t} \right) \frac{\partial Y_{H_2O}}{\partial x_j} \right] + S_{H_2O} \quad (II.11)$$

Avec :

Y_{H₂O} : La concentration de vapeur d'eau

S_{H₂O} : Le terme source de vapeur d'eau dû à l'évaporation. **D_{H₂O}** : Le coefficient de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air :

SC_t = $\frac{\mu_t}{\rho D_t}$: le nombre de Schmidt pour un écoulement turbulent. La viscosité turbulente.

μ_t :

D_t : Le coefficient de diffusion de la masse effective due à la turbulence

3.5. Les expressions des paramètres physiques de l'air

Tableau II. 4: Les paramètres 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	$\mu = [1.846 + 0.00472(T_m - 300)] \times 10^{-5}$
Viscosité cinématique	$\nu = \mu/\rho$
Conductivité thermique de l'air	$K = [0.0263 + 0.000074(T_m - 300)]$
Chaleur spécifique du fluide.	$C_p = [1.007 + 0.00004(T_m - 300)]10^3$

4. Conclusion

Cette étude a démontré l'efficacité de l'utilisation d'un système de ventilation naturelle basé sur une combinaison de refroidissement par évaporation et de cheminée solaire pour améliorer la performance thermique des bâtiments dans des régions arides et chaudes comme Ouargla. À travers des expériences et des modélisations numériques, il a été constaté que les températures à l'intérieur de la tour à vent et de la cheminée solaire suivent des schémas temporels prévus, fortement influencés par le rayonnement solaire et la force des vents extérieurs. Les résultats ont montré que l'utilisation d'une plaque ondulée comme dispositif d'absorption dans la cheminée solaire améliore significativement l'efficacité du système, en optimisant le transfert et la distribution de chaleur à l'intérieur du bâtiment. Les expériences ont également prouvé que l'utilisation de tissu mouillé dans la tour à vent contribue à réduire considérablement les températures grâce au mécanisme de refroidissement par évaporation. Les différences évidentes de l'humidité relative et de la vitesse de l'air à différents points du système reflètent des dynamiques complexes qui favorisent une ventilation efficace. Enfin, les modèles numériques se sont avérés cohérents avec les résultats expérimentaux, renforçant ainsi la fiabilité des résultats et fournissant une base solide pour l'amélioration future des systèmes de ventilation naturelle.

CHAPTER III : Résultats Et Discussions

1. Introduction

Les capteurs de vent ont longtemps été utilisés pour assurer une ventilation naturelle dans les bâtiments, en particulier dans les régions chaudes et sèches ou humides. Ils fonctionnent grâce à deux forces motrices : la force de flottabilité due à la différence de température et la force des vents extérieurs. Les capteurs traditionnels utilisent des surfaces d'eau comme les pots poreux ou les étangs, favorisant le refroidissement par évaporation et la ventilation. Cette étude se concentre sur un capteur de vent à une seule ouverture, amélioré par un système de refroidissement par évaporation et une cheminée solaire, évalué dans des conditions réelles à Ouargla. Des modèles de calcul ont été développés, intégrant les équations de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie thermique, validés par des données expérimentales pour une simulation numérique précise.

Cette étude utilise un absorbeur ondulé dans une cheminée solaire pour améliorer la performance du système de ventilation naturelle, offrant une meilleure efficacité énergétique et une régulation thermique optimale dans les bâtiments.

2. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux :

2 .1. Évolution de la température à l'intérieur du capteur à vent

La figure (III.1) illustre l'évolution des températures internes du capteur de vent au fil du temps, le 29 mai 2024..

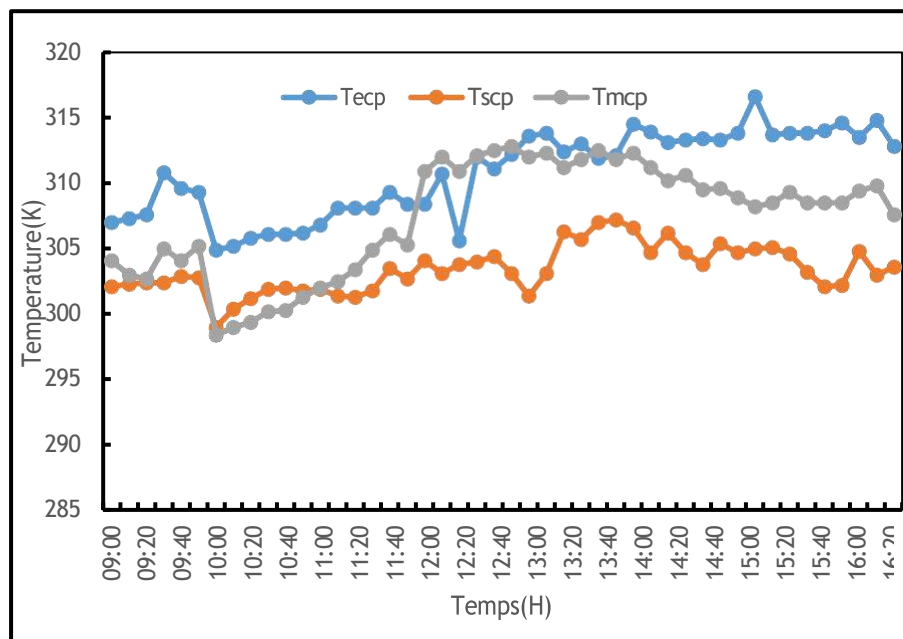


Figure III. 1: Variation des différentes températures à l'intérieur du capteur de vent en fonction du temps

La figure (III.1) montre que les températures dans les trois endroits sélectionnés pour les mesures suivent des tendances similaires tout au long de la journée du 29 mai 2024. Une augmentation progressive des températures est observée de 9h00 à 15h00, avec une valeur de 307,1 K à 9h00 pour l'entrée du capteur de vent, atteignant 315 K à 14h00 et 316,5 K à 15h20. Cette augmentation est due à l'absorption du rayonnement solaire par le mur du bâtiment adjacent au prototype, stockant ainsi de l'énergie thermique. L'air à l'intérieur du complexe éolien a atteint 311,6 °C entre 14h00 et 16h00, puis a baissé après contact avec le tissu. La différence de température entre l'entrée et la sortie du capteur de vent dépasse 10 °C à 14h00, montrant l'efficacité de la toile de jute humide pour capturer l'humidité et abaisser la température de l'air.

2.2. Évolution de la température à l'intérieur dans la cheminée

La différence de température entre la vitre et l'absorbeur dans la cheminée solaire, induite par le rayonnement solaire, crée un écart thermique entre l'entrée et la sortie du système, comme démontré dans la figure (III.2).

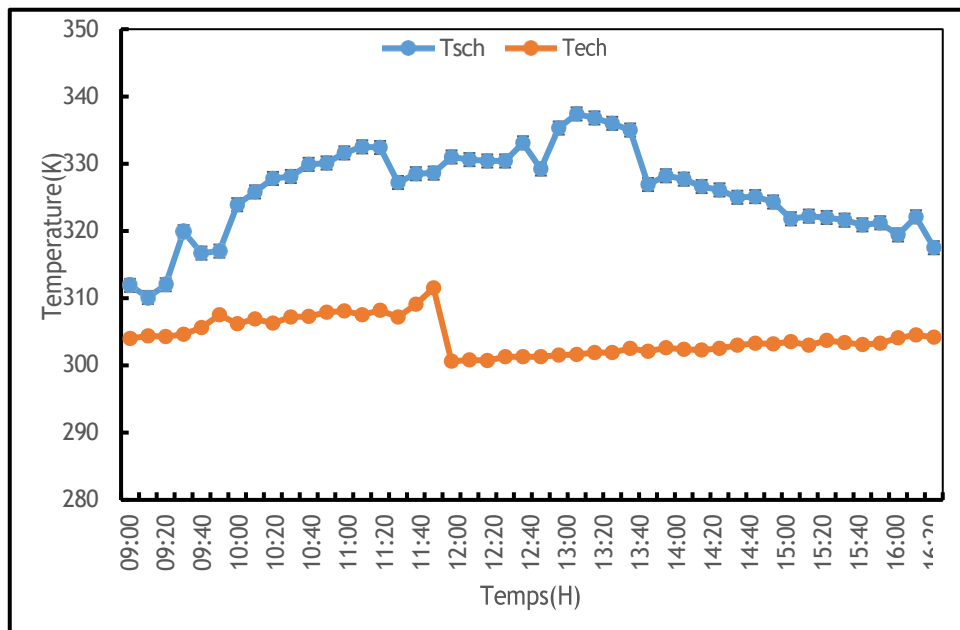


Figure III. 2: Variation des différentes températures à l'intérieur de la cheminée solaire en fonction du temps

La température à l'entrée augmente de 9h00 à 13h00, se stabilise jusqu'à 14h00, puis diminue avec la baisse du rayonnement solaire. La différence de température entre l'entrée et la sortie de la cheminée augmente avec l'intensité du rayonnement solaire, grâce aux propriétés de l'absorbeur qui stocke l'énergie thermique. Cette différence atteint environ 298.4 à 13h00, augmentant la température de l'absorbeur et transférant une grande partie de cette énergie à l'air

de la cheminée.

Les ondulations sur la surface de l'absorbeur permettent une meilleure absorption de la chaleur solaire en maximisant le contact entre la lumière solaire et la surface de l'absorbeur. Cette configuration contribue également à réduire les pertes de chaleur lors du transfert de chaleur vers le fluide de travail dans la cheminée solaire, améliorant ainsi l'efficacité globale du système de chauffage solaire.

2.3. Variation des températures à l'intérieur de la cellule :

Dans la figure (III.3), les courbes de variation de la température en fonction du temps au sein de la cellule sont représentées.

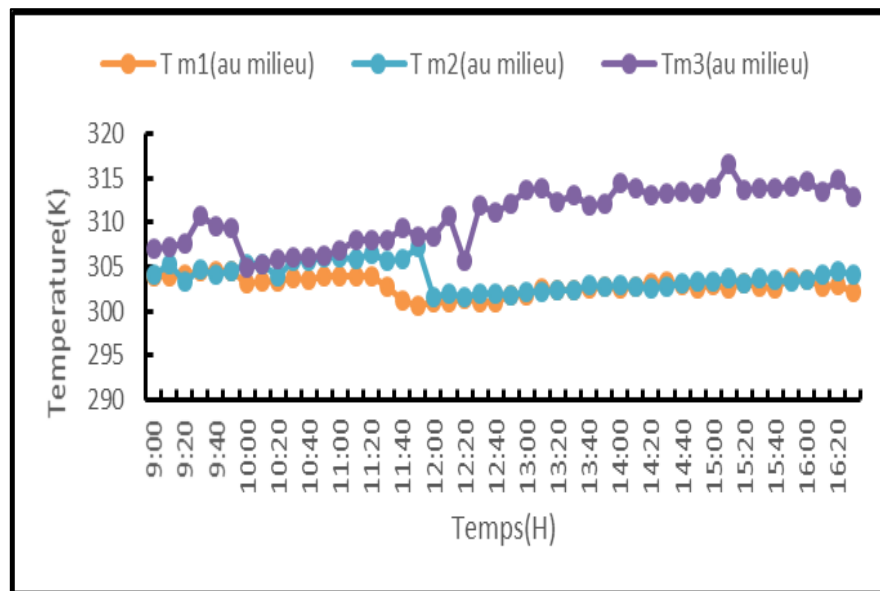


Figure III. 3: Variation des différentes températures à l'intérieur de la cellule et la température ambiante en fonction du temps.

La courbe illustre l'évolution des températures en deux points de mesure à l'intérieur de la cellule. Le premier point (Tm1) est près de l'entrée de la cheminée solaire, à 10 cm du mur et à une hauteur de 40 cm du sol, tandis que le deuxième point (Tm2) est au milieu de la cellule. On observe une croissance linéaire des températures entre 9h00 et 14h20, en corrélation avec l'intensité croissante du rayonnement solaire. Pendant cette période, la différence de température entre les deux points reste relativement stable, variant de 1.2 °C au début à 0.7°C à 14h20. Cette différence commence à diminuer après 14h20, influencée par le système de cheminée solaire qui contribue à la dissipation de la chaleur stockée dans l'absorbeur, résultant en une baisse progressive de la température de l'air.

4. Variation d'humidité relative à l'intérieur du capteur à vent :

La figure (III.4) indique l'évolution de l'humidité à l'entrée et à la sortie du capteur à vent en fonction du temps, ainsi que la valeur de l'humidité en son milieu, où se trouve la toile de jute

mouillée, qui a été adoptée comme système d'évaporation.

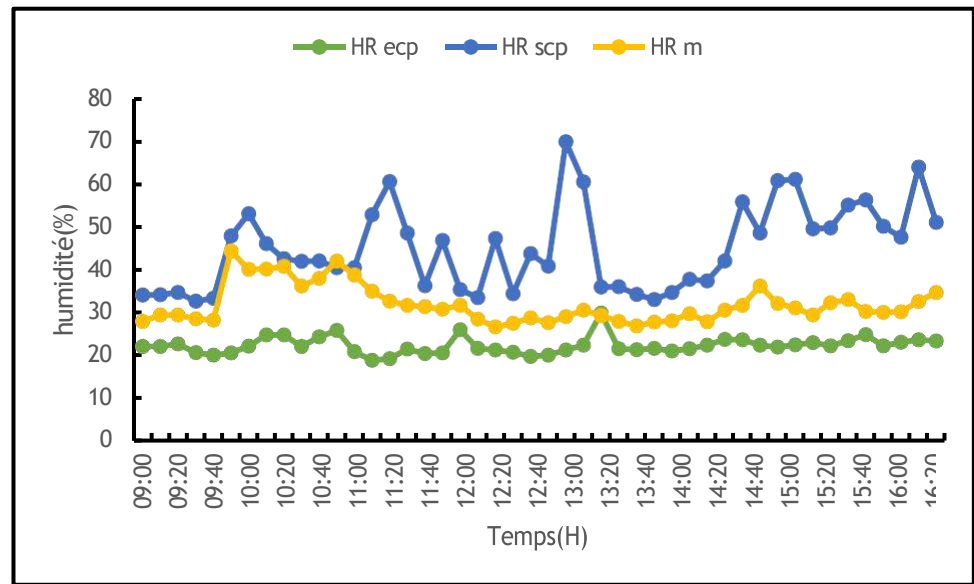


Figure III. 4: Variation d'Humidité relative à l'intérieur du capteur à vent en fonction du temps.

On constate que les valeurs d'humidité relative de l'air à l'entrée du capteur à vent varient légèrement au cours des 8 heures de la journée, puisqu'elles atteignent 21.3 % à 16h00 après avoir été maximales, avec une valeur de 20.1 % à 9h40 heures. La valeur de l'humidité relative à l'intérieur du capteur à vent était nettement plus élevée que ses valeurs à l'entrée, soit 42.1 % à 10h20 et 30.9 % à 13h00. Ceci est dû au passage de l'air à travers la toile de jute humide située à l'entrée du capteur de vent. Selon les résultats obtenus, l'humidité relative à la sortie du capteur de vent a enregistré les valeurs les plus élevées. De plus, le rôle de la toile de jute humide (zone d'évaporation) s'est avéré très efficace pour abaisser la température. La différence des valeurs d'humidité relative entre l'entrée et la sortie du capteur de vent atteint 21 % à 11h40 et atteint une valeur maximale de 30,6 % à 16h20, ce qui peut entraîner des gains plus importants en termes de changement de température en raison de le capteur de vent.

2.4. Variation d'humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire :

La figure (III.5) présente l'évolution du taux d'humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire, ce qui montre que la forme des deux courbes est restée la même.

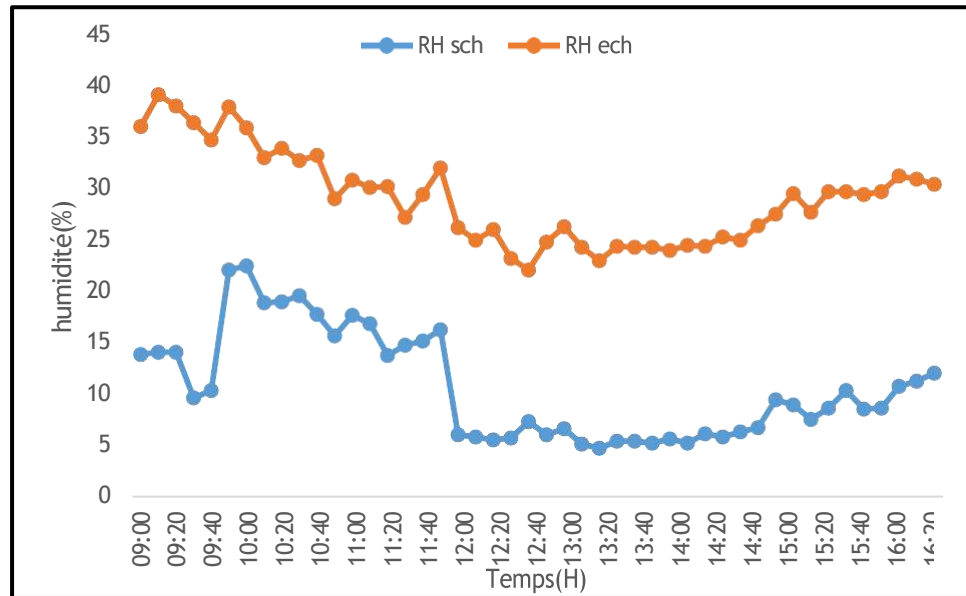


Figure III. 5: Variation d'Humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire en fonction du temps.

Par l'analyse des courbes ci-dessus (Figure III.5), on remarque que les courbes d'humidité relative à l'entrée de la cheminée solaire en fonction du temps suivent l'évolution des courbes d'humidité relative à l'entrée, les courbes sont presque parallèles. On constate que la valeur de l'humidité relative est décroissante jusqu'à 13h40, où elle enregistre une valeur de 29.5% à l'entrée et une valeur de 10% à la sortie, puis augmente jusqu'à la fin de la mesure. L'augmentation de la température de lame d'air dans la cheminée solaire, qui est le facteur le plus influent, entraîne une réduction des niveaux d'humidité.

2.5. Variation d'humidité relative à l'intérieur de la cellule :

Les évolutions respectives de l'humidité relative à l'intérieur de la cellule d'essai sont représentées dans la figure (III.6).

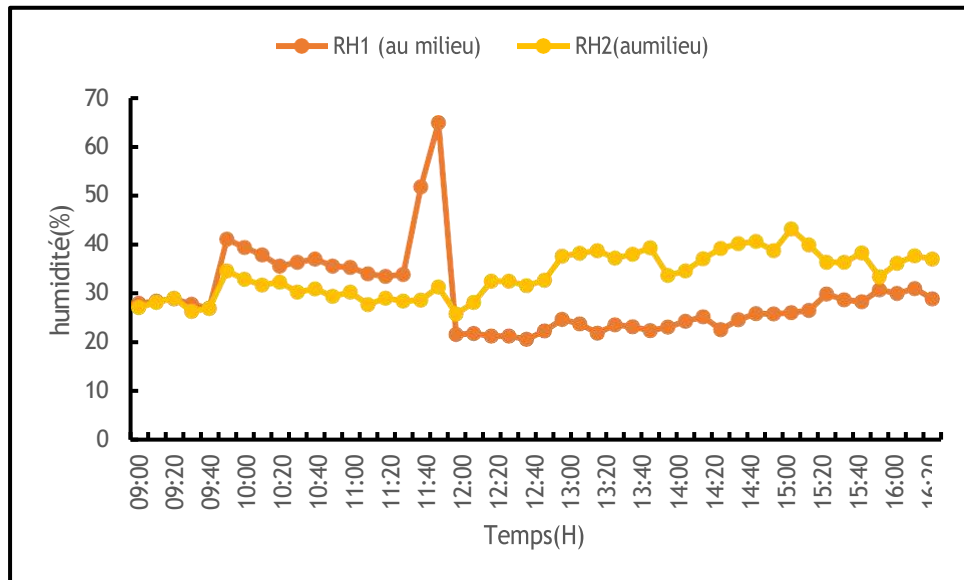


Figure III. 6: Variation d'Humidité relative à l'intérieur de la cellule d'essai en fonction du temps.

Les courbes donnent l'évolution de l'humidité relative à l'intérieur de la cellule en deux endroits, notamment l'un (HR1) qui se trouve à 10 cm du mur, à côté de l'entrée de la cheminée solaire, et l'autre à 40 cm de hauteur par rapport au plancher. Le second (HR2) est situé au milieu de la cellule. On remarque que l'humidité relative à l'intérieur de la cellule aux deux points de mesure est presque la même à 16h00, soit environ 30.7%, alors qu'il y avait une différence dans la valeur de l'humidité relative au début de la journée.

2.6. Variation de vitesse à l'entrée à la sortie du capteur :

La figure (III.7) illustre la variation de la vitesse à l'entrée du capteur à vent avec le temps.

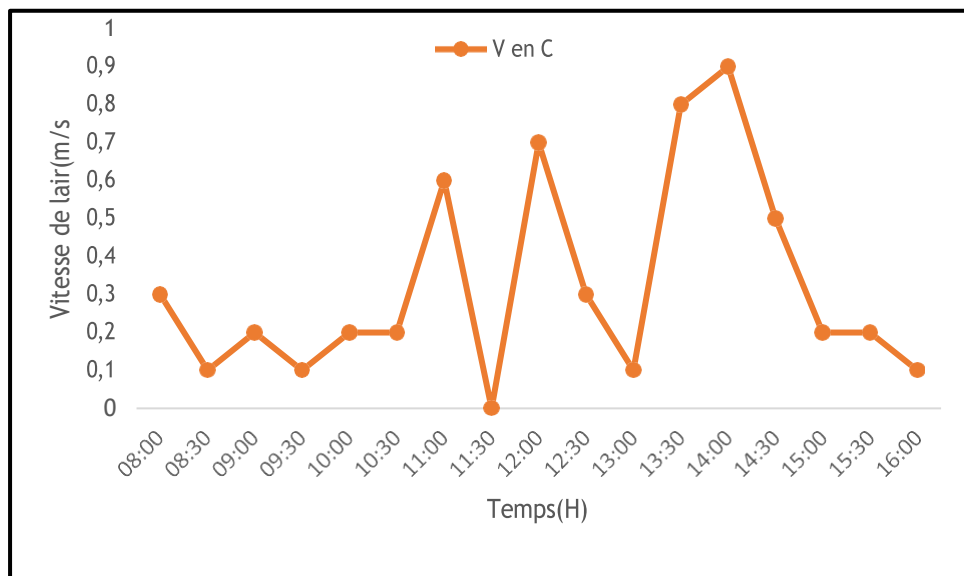


Figure III. 7: La vitesse à l'entrée du capteur à vent.

On remarque que la vitesse varie brusquement, et parfois un changement significatif de la vitesse se produit à l'entrée du capteur à vent, et ce changement est dû aux différentes conditions climatiques, telles que le rayonnement solaire et la vitesse du vent.

2.7. Variation de vitesse dans la partie inférieure du capteur à vent et près de la paroi intérieure, à une distance de 10 cm.

La figure (III.8) représente la variation de la vitesse dans la partie inférieure du capteur à vent et près de la paroi intérieure, à une distance de 10 cm.

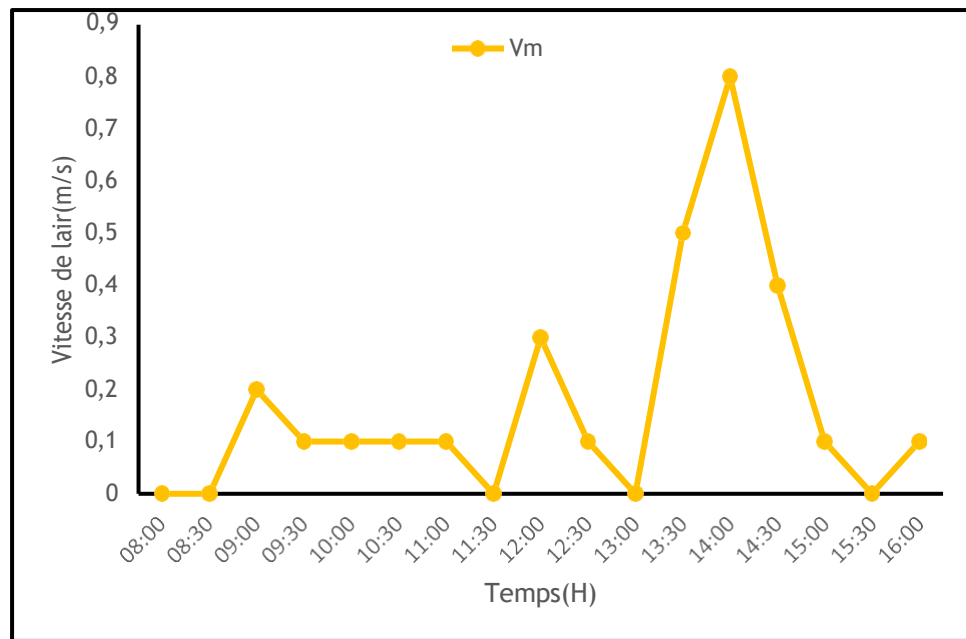


Figure III. 8: la vitesse dans la partie inférieure du capteur à vent et près de la paroi intérieure, à une distance de 10 cm.

Dans la figure (III.8), on observe que la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée augmente proportionnellement à l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire. La différence de température entre la vitre et l'absorbeur engendre un phénomène de convection naturelle. L'énergie absorbée par l'absorbeur élève la température de l'air à l'intérieur de la cheminée, entraînant ainsi une augmentation de la vitesse du flux d'air.

2.8. Variation de vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée :

La figure (III.9) représente la variation de la vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée en fonction du temps.

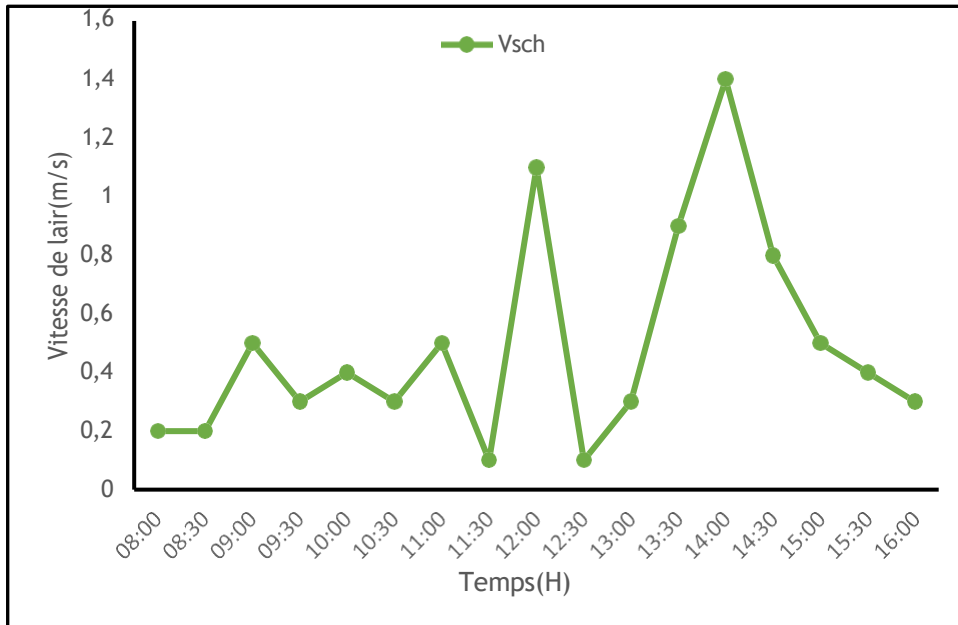


Figure III. 9: Variation de la vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée.

Dans la figure (III.9), on observe que la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée augmente en fonction de l'intensité du rayonnement solaire et de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée. La différence de température entre la vitre et l'absorbeur engendre un phénomène de convection naturelle. L'énergie absorbée par l'absorbeur élève la température de l'air à l'intérieur de la cheminée, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse du flux d'air.

Un absorbeur ondulé améliore l'absorption de chaleur, réduisant ainsi les pertes thermiques pendant le transfert de chaleur vers le fluide de travail dans la cheminée solaire. De plus, les ondulations favorisent une meilleure circulation de l'air à l'intérieur de la cheminée, optimisant ainsi le transfert de chaleur et augmentant l'efficacité globale du système.

3. Simulation numérique :

3.1. Contrôle de la solution (convergence) :

Pour évaluer l'efficacité du modèle numérique présenté, un test de convergence a été réalisé. Les résultats, montrant les propagations d'erreur, sont illustrés dans la figure (III.10).

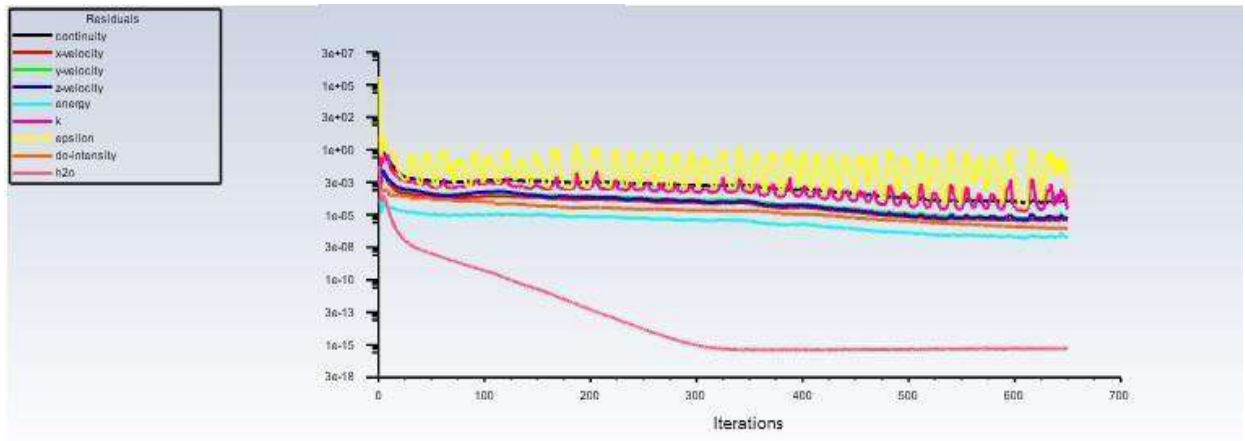


Figure III. 10: Évolution des résidus.

La convergence du calcul est déterminée par le logiciel Ansys-Fluent lorsque les itérations de tous les résidus calculés atteignent les critères de convergence spécifiés pour chaque paramètre. Le tableau suivant présente les valeurs résiduelles calculées pour chaque équation

. Tableau III. 13: Les résidus pour les différentes équations.

Equation	Equation de continuité	Quantité du mouvement	Equation de l'énergie	k	Epsilon	Rayonnement	H ₂ O
Résidu	10^{-3}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-5}

3.2. Validation :

Pour valider le modèle de simulation numérique de cette étude, une comparaison a été réalisée entre les résultats expérimentaux et ceux obtenus par simulation. Les figures (III.11) illustrent cette comparaison pour différentes valeurs de température et d'humidité relative dans divers endroits. La validation a été effectuée à 9h00, lorsque la vitesse à l'entrée du capteur de vent était de $V_e = 0,2$ m/s.

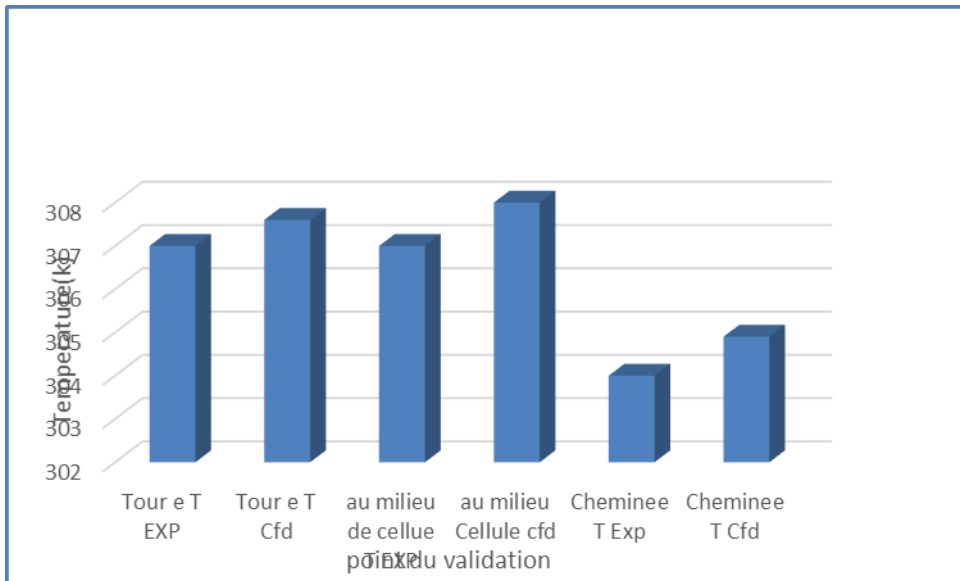


Figure III. 11: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (à 9h00 et $V_e = 0.2$ m/s).

Pour valider le modèle de simulation numérique de cette étude, une comparaison a été réalisée entre les résultats expérimentaux et ceux obtenus par simulation. Les figures (III.11) illustrent cette comparaison pour différentes valeurs de température et d'humidité relative dans divers endroits de mesure à 9h00, lorsque la vitesse à l'entrée du capteur de vent était de $V_e = 0,2$ m/s. Concernant les valeurs de température, les résultats expérimentaux et numériques sont similaires, avec une erreur relative moyenne de 0,2 % et un maximum de 2,89 %, indiquant une bonne concordance entre les deux ensembles de données.

3.3. . . Évaluation des résultats dans la cellule :

3.3.1. Profils de vitesse dans la cellule :

La figure (III.12) illustre la variation de la vitesse dans le plan vertical médian à l'intérieur de la cellule d'essai.

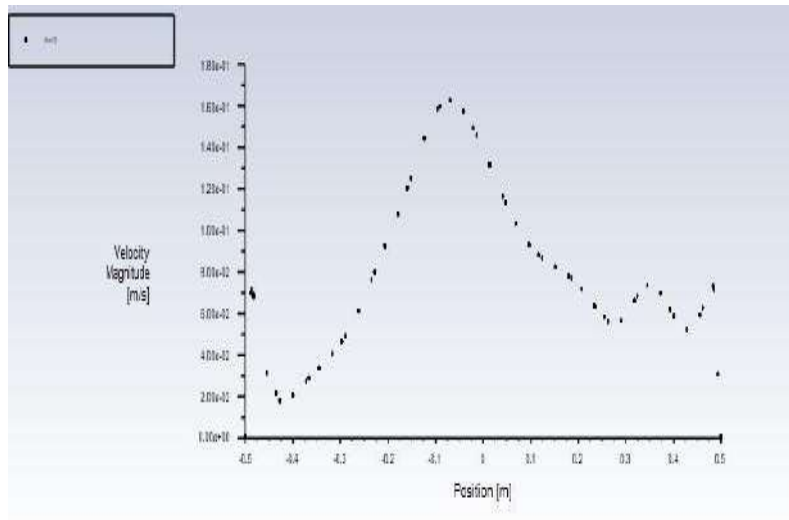


Figure III. 12: Profils de vitesse Variation de la vitesse dans le plan vertical médian à l'intérieur de la cellule d'essai.

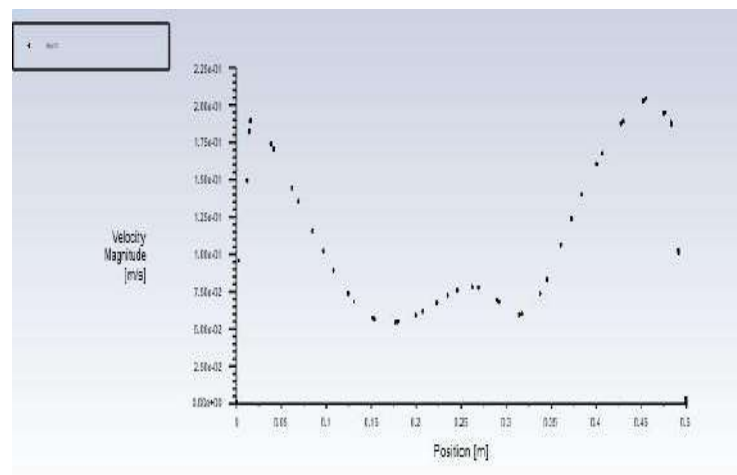


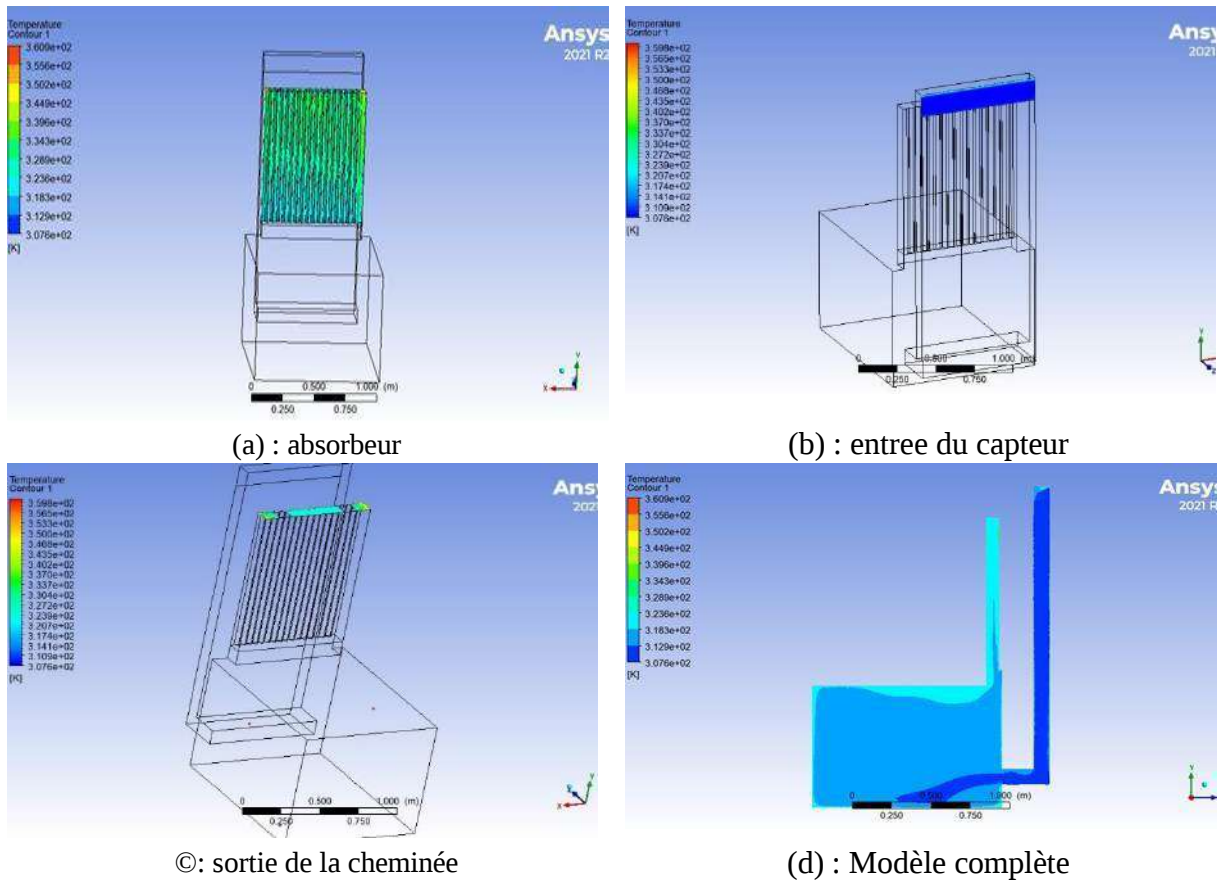
Figure III. 13 : Profils de vitesse Variation de la vitesse à l'entrée de la cellule au plan médian-vertical.

La courbe montre que la vitesse du vent varie au cours de la journée. À 9 heures du matin, elle atteint une valeur de 0,2 m/s et continue d'augmenter jusqu'à atteindre son maximum à 14 heures, avant de diminuer. Les valeurs les plus élevées de la vitesse sont toujours enregistrées à proximité de la sortie du capteur de vent. Cette augmentation de vitesse est due à l'absorption d'eau par l'air, ce qui alourdit l'air et intensifie la force de flottabilité négative. Par ailleurs, dans les régions supérieures et inférieures de la cellule, les lignes de courant se rapprochent, indiquant des variations dans la circulation de l'air.

3.3.2. Champ thermique :

Les figures (III.14 : (a) ;(b) et (c) (d)) représentent les champs de Température dans le modèle étudié à 9h00 du matin, au début de la mesure. L'air entre par la surface d'entrée du capteur de vent, s'écoule et se

répartit à différents niveaux à l'intérieur de la cellule et sort finalement par la surface de sortie de la cheminée solaire



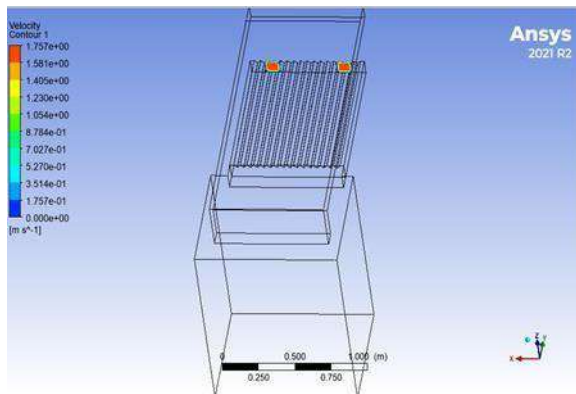
Figures .III.14 : Champ thermique dans le modèle étudié à 9h00 du matin .

Les résultats montrent que la température est presque uniforme dans toute la cellule d'essai, indiquant que la convection naturelle créée par la différence entre les températures de l'air entrant et de l'air sortant entraîne une recirculation du flux d'air, aboutissant à une distribution homogène de l'air dans la pièce. La présence d'une toile de jute mouillée comme système d'évaporation à l'intérieur du capteur de vent a contribué à la réduction de la température de la pièce d'environ 34,6 °C. Cette réduction s'explique par le transfert de chaleur de l'air entrant à l'eau pulvérisée qui s'évapore. Les résultats montrent que la température de l'air a diminué après avoir traversé le capteur de vent, passant de 318,3 K à 312,9 K au milieu de la tour. Le lent passage de l'air à travers la toile de jute mouillée conduit à une quasi-saturation, permettant à l'air d'atteindre la cellule avec la température la plus basse possible. La température de la cellule d'essai a été ramenée à 323,8 K, soit environ 50 °C. Ce phénomène est dû à l'échange de chaleur entre l'air intérieur et l'air provenant de la tour. Trois plans le long de la direction XZ ont été considérés pour l'analyse des résultats obtenus : l'un près de la sortie du capteur de vent, le deuxième au milieu, et l'autre adjacent à la paroi arrière. L'effet de l'air entrant depuis le capteur

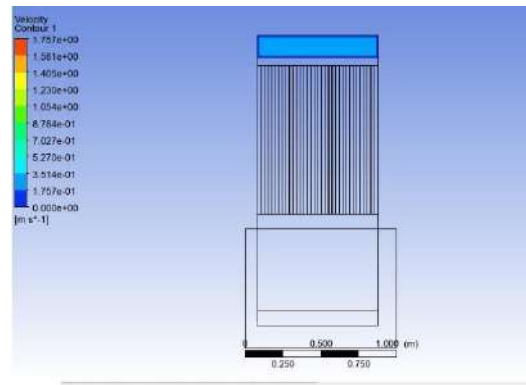
de vent a été clairement identifié sur le premier plan. La figure (III.21 a) montre également une légère différence de température à proximité de la paroi arrière, ainsi que dans l'espace intérieur de la cellule.

3.3.3. Champs dynamiques :

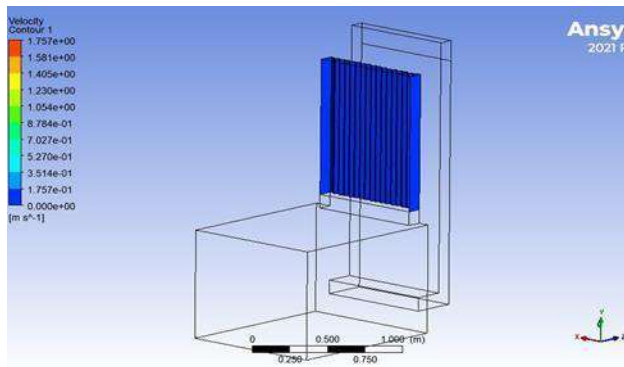
Les figures (III.15 : (a), (b), (c), et (d)) présentent les champs de vitesses dans le modèle étudié à 9h00 du matin, au début de la mesure. L'air pénètre par la surface d'entrée du capteur de vent, se déplace et se distribue à divers niveaux à l'intérieur de la cellule, puis sort finalement par la surface de sortie de la cheminée solaire.



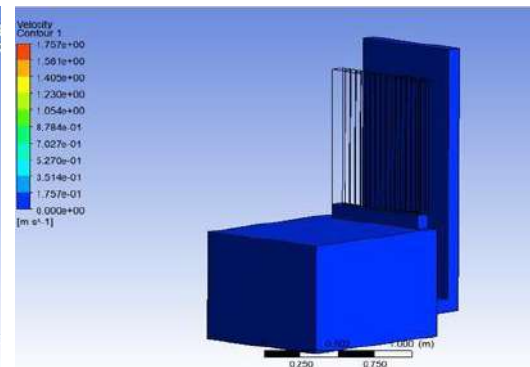
(d) : sortie de la cheminée)



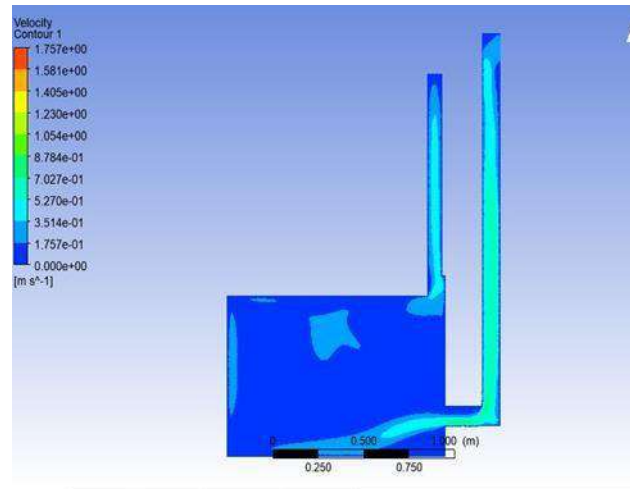
c : entree du capteur



(a) : absorbeur



(b) : murs



(d) : Modèle complète

Figure .III.15 : Champs dynamiques dans le modèle étudié à 9h00 du matin.

La figure (III.15 c) met en évidence les variations de vitesse importantes près de la paroi intérieure face à l'entrée du capteur de vent, avec une vitesse atteignant 0.95 m/s. L'écoulement principal entre dans la cellule d'essai de manière semi-laminaire et en sort de manière turbulente. La vitesse est également élevée à la sortie inférieure du capteur de vent, également à 0.95 m/s. Une partie de l'air monte et quitte la cellule, se distribuant dans la plupart des parties de la pièce avec une vitesse de 0.01 m/s. Une autre partie de l'air monte, quitte la cellule et s'échappe vers l'extérieur à travers la cheminée solaire, principalement en raison des forces de flottabilité générées dans la cheminée solaire.

3.3.4. Champs dynamiques :

Les figures (III.16) : (a), (b), (c), (d), et (e) représentent les champs de vitesses dans le modèle étudié à 14h00 du matin, au début de la mesure. L'air entre par la surface d'entrée du capteur de vent, s'écoule et se répartit à différents niveaux à l'intérieur de la cellule, puis il sort finalement par la surface de sortie de la cheminée solaire.

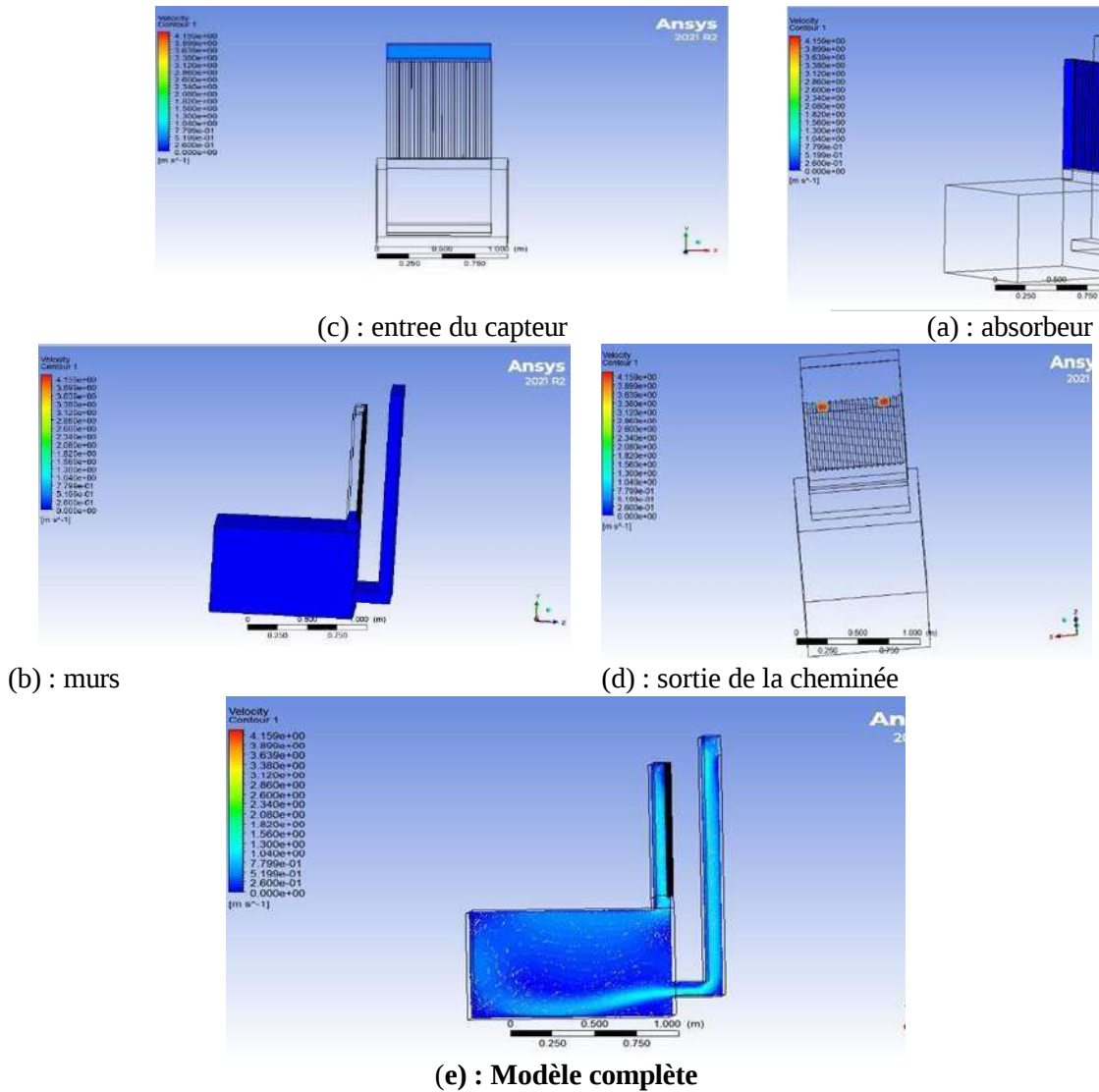


Figure .III.16 : Champs dynamiques vitesses dans le modèle étudié à 14h00 .

Le flux d'air se déplace verticalement à travers la section de sortie du capteur de vent avant de tourner dans la direction verticale vers la section d'entrée de la cheminée. À l'intérieur de la cellule, le courant d'air continue à se déplacer avec une faible vitesse. À 14h00, la vitesse et le rayonnement solaire ont été augmentés, atteignant une valeur maximale de 1.3 m/s et une valeur minimale de 0.26 m/s dans la tour. Une zone de recirculation avec une vitesse d'air faible a été observée au milieu de la cellule, éloignée de l'entrée de la cheminée, variant entre 0 m/s et 0.26 m/s. Cette zone de recirculation augmente avec la vitesse d'entrée du capteur de vent. La circulation de l'air dans la cellule montre une grande zone de recirculation dans les parties inférieures avec des flux plus rapides, variant de 0.77 m/s à 1.04 m/s. Plus la vitesse de l'air est élevée à l'entrée de la tour, meilleure est la ventilation de la cellule. Les vitesses d'air le long de la paroi absorbante sont maximales et diminuent loin de cette paroi en raison du transfert de chaleur entre l'absorbeur et l'air de la cheminée, créant des gradients thermiques et de densité qui entraînent une poussée verticale. Ainsi, la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée solaire augmente avec l'intensité du

rayonnement solaire, favorisant l'évacuation rapide de l'air de la cellule. On observe un mouvement de l'air du capteur de vent vers l'espace intérieur de la cellule, avec des différences de vitesse clairement observées dans différents plans XY.

3.3.5. Flux d'écoulement (lignes de courant) :

L'air entrant descend vers le fond de la cellule d'essai, traverse le capteur de vent muni d'une toile de jute mouillée, puis passe à travers le capteur de vent avant de descendre jusqu'au fond de la cellule. Il remonte ensuite vers le haut de la cellule grâce à la force de flottaison et sort par la cheminée solaire. L'augmentation du rayonnement solaire accroît la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée solaire, améliorant ainsi la circulation de l'air dans la pièce, principalement grâce à l'intensification de la force de flottaison.

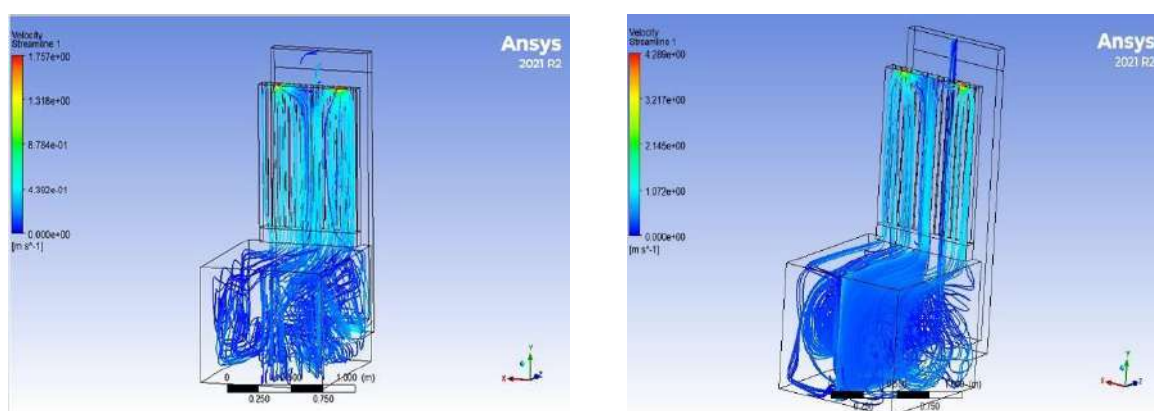
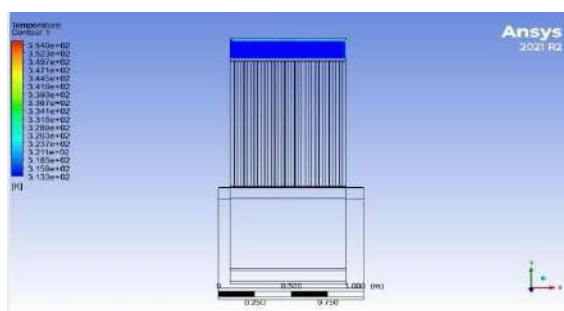


Figure III. 17: Flux d'écoulement (lignes de courant) : (a) à 9h00 et $V_e = 0.2$ m/s ; (b) à 14h00 et $V_e = 0.5$ m/s

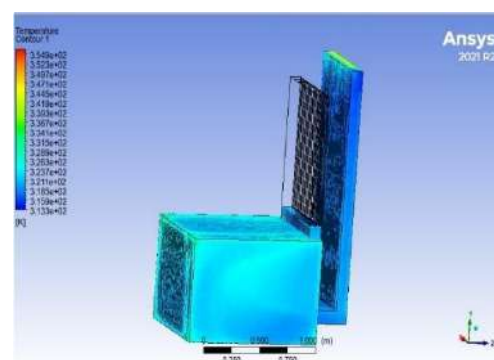
Le modèle permet de choisir la vitesse de ventilation la plus adaptée à différents moments. L'air entrant rencontre le mouvement d'air généré par la convection naturelle dans la lame d'air de la cheminée. À 14h00, le flux principal offre les meilleurs résultats en termes de distribution homogène de l'air dans toute la cellule, sans la formation de vortex d'air observée dans le flux principal à 9h00.

3.3.6. Champ thermique :

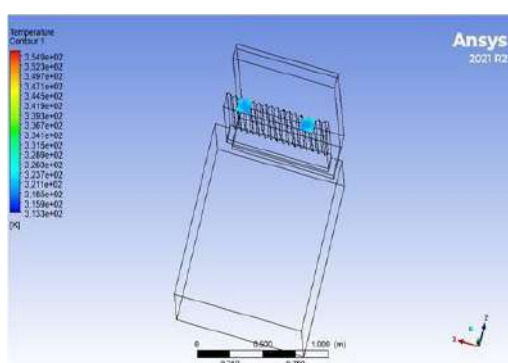
Les figures (III.18 : (a), (b) et (c)), (d) et (e) représentent respectivement la distribution de la température dans le capteur de vent, la cellule d'essai et la cheminée solaire pour une vitesse d'air de 0,5 m/s à l'entrée du capteur de vent.



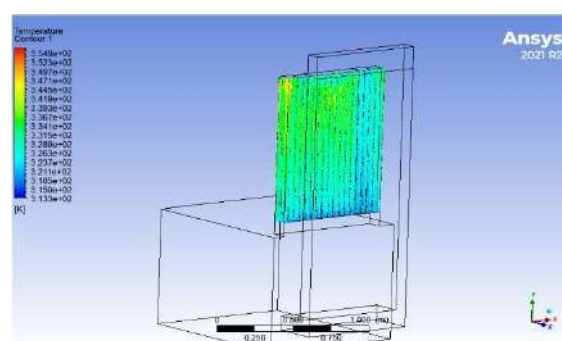
(a) :entree du capteur



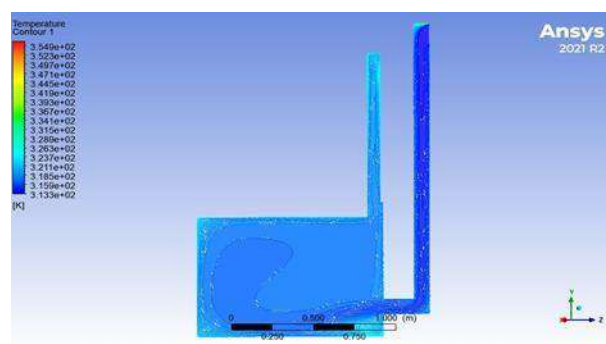
(b) :Walls



(c) : sortie de la cheminée



(d) : absorbeur



(e)modèle complète

Figure III. 18 : Champ thermique dans le capteur de vent, la cellule d'essai et la cheminée solaire pour une vitesse d'air de 0,5 m/s à l'entrée du capteur de vent.

Les variations de température observées dans le modèle, comme illustré dans la figure (III.18), peuvent être attribuées à une bonne répartition de la chaleur à l'intérieur de la cellule et à une diminution de la température de l'air due à l'utilisation d'une toile de jute mouillée. La cheminée solaire joue un rôle crucial dans l'absorption du rayonnement solaire par la paroi de stockage thermique (absorbeur), ce qui influence directement la température de la cheminée et, par conséquent, la température de l'air environnant.

Les mesures de vitesse et de rayonnement solaire effectuées à 14h00 révèlent l'impact de ces paramètres sur les écarts de température, avec une différence de 25.7°C entre la température à l'intérieur de la cellule et la température ambiante. La figure (III.22) présente la répartition de la température à l'intérieur de la cellule. On observe des variations plus prononcées de température près de la sortie du capteur de vent, tandis que des variations moins importantes sont constatées près des murs opposés, où la température était de 315.9°C .

4. Conclusion

Cette étude a démontré l'efficacité de l'utilisation d'un système de ventilation naturelle basé sur une combinaison de refroidissement par évaporation et de cheminée solaire pour améliorer la performance thermique des bâtiments dans des régions arides et chaudes comme Ouargla. À travers des expériences et des modélisations numériques, il a été constaté que les températures à l'intérieur de la tour à vent et de la cheminée solaire suivent des schémas temporels prévus, fortement influencés par le rayonnement solaire et la force des vents extérieurs. Les résultats ont montré que l'utilisation d'une plaque ondulée comme dispositif d'absorption dans la cheminée solaire améliore significativement l'efficacité du système, en optimisant le transfert et la distribution de chaleur à l'intérieur du bâtiment. Les expériences ont également prouvé que l'utilisation de tissu mouillé dans la tour à vent contribue à réduire considérablement les températures grâce au mécanisme de refroidissement par évaporation. Les différences évidentes de l'humidité relative et de la vitesse de l'air à différents points du système reflètent des dynamiques complexes qui favorisent une ventilation efficace. Enfin, les modèles numériques se sont avérés cohérents avec les résultats expérimentaux, renforçant ainsi la fiabilité des résultats et fournissant une base solide pour l'amélioration future des systèmes de ventilation naturelle.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

À travers l'utilisation d'une toile de jute mouillée dans le capteur de vent, l'air entrant subit un trajet ascendant-descendant, créant ainsi une circulation d'air verticale favorisée par la force de flottaison induite par le rayonnement solaire. Cette configuration contribue à améliorer la ventilation globale de la pièce en intensifiant les mouvements d'air et en minimisant la présence de vortex, notamment observée à 9h00.

Le modèle numérique utilisé permet de sélectionner une vitesse d'air optimale pour la ventilation, en tenant compte des variations temporelles. À 14h00, lorsque la vitesse de l'air est maximale sous l'effet accru du rayonnement solaire, le flux d'air principal génère une distribution uniforme dans la cellule, éliminant les turbulences constatées à d'autres moments. Cette amélioration de la circulation d'air favorise un environnement intérieur plus homogène en termes de température et de mouvement d'air, contribuant ainsi au confort thermique des occupants.

Après l'utilisation d'un absorbeur ondulé dans une cheminée solaire, la conclusion générale met en évidence les bénéfices observés dans la régulation thermique du système. L'absorbeur ondulé joue un rôle crucial dans l'absorption du rayonnement solaire, ce qui entraîne une augmentation significative de la température à l'intérieur de la cheminée solaire. Cette augmentation de température contribue à améliorer la circulation de l'air à l'intérieur de la pièce, favorisant ainsi une meilleure distribution de la chaleur.

Les résultats obtenus démontrent que l'utilisation d'un absorbeur ondulé dans une cheminée solaire permet d'optimiser l'efficacité énergétique du système, en exploitant de manière plus efficace l'énergie solaire disponible. Cette approche contribue également à réduire les variations de température et à maintenir un environnement intérieur confortable et stable.

Les données de vitesse et de rayonnement solaire relevées à 14h00 montrent que ces paramètres ont un impact significatif sur les variations de température observées, avec une différence de 25.7°C entre la température intérieure de la cellule et la température ambiante. Ces résultats soulignent l'efficacité du système étudié dans la régulation thermique, avec des variations plus marquées de température près de la sortie du capteur de vent et des variations moins prononcées près des murs opposés.

Ces résultats soulignent l'importance des facteurs environnementaux tels que le rayonnement solaire et la circulation d'air dans la conception des systèmes de ventilation naturelle. L'intégration de technologies telles que les capteurs de vent et les cheminées solaires avec des matériaux absorbants comme la toile de jute humide présente un potentiel significatif pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et le bien-être des utilisateurs. Cette étude met en avant les avantages d'une approche intégrée, reliant la conception architecturale, la dynamique thermique, et les stratégies de ventilation pour créer des environnements intérieurs confortables et durables.

Bibliographies

Bibliographies

- AboulNaga, M. M., & Al-Sallal, K. A. (2014). *Design strategies for sustainable housing in the Middle East*. Journal of Energy and Buildings, 72, 102-110.
- Ahmed, Mohamed M., et al. "Sedation for non-invasive ventilation after blunt chest trauma." Aswan University Medical Journal 3.1 (2023): 69-73.
- Bahadori MN, Dehghani-sanij A. Wind Towers: architecture, Climate and Sustainability. Springer; 2014.
- Boukhalfa, Zakaria, et al. "Magnetotelluric investigation of the Precambrian crust and intraplate Cenozoic volcanism in the Gour Oumelalen area, Central Hoggar, South Algeria." *Geophysical Journal International* 223.3 (2020): 1973-1986.
- Brown, Collin R., et al. "Flexible Cu (In, Ga) Se -- -- -- Solar Cells for Outer Planetary Missions: Investigation Under Low-Intensity Low-Temperature Conditions." *IEEE Journal of Photovoltaics* 9.2 (2019): 552-558.
- Cao, Shi-Jie, et al. "Ventilation inlets design based on ventilation performance assessment using a dimensionless time scale." *Indoor and Built Environment* 28.8 (2019): 1049-1063. Deng et al., 2019
- Cao, Yang, et al. "Probabilistic estimation of wind power ramp events: A data-driven optimization approach." *IEEE Access* 7 (2019): 23261-23269.
- Chen, Chaoji, Yudi Kuang, and Liangbing Hu. "Challenges and opportunities for solar evaporation." *Joule* 3.3 (2019): 683-718.
- Dehghani-sanij AR, Soltani M, Raahemifar K. A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;42:182–95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.018>.
- Ding, Yan, et al. "Simulation and prediction of storm surges and waves using a fully integrated process model and a parametric cyclonic wind model." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 125.7 (2020): e2019JC015793. Yan et al., 2020
- Elmualim, A. A. (2006). *Dynamic modeling of a wind catcher/tower turret for natural ventilation*. Building Services Engineering Research and Technology, 27(3), 165-182.
- F. jomehzadeh, fatemeh. simulation of classroom modeling on fourfaced windcatcher for optimum indoor natural ventilation rate. diss. universiti teknologi malaysia, 2022.
- GhaffarianHoseini, A., Berardi, U., & GhaffarianHoseini, A. (2015). *Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates*. Energy and Buildings, 87, 225-236.
- Guohui Gan , Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation , Energy and Buildings, vol. 38, pp. 410–420, (2006).
- Hassan, Ahmad, and Muhammad Zeeshan. "Microbiological indoor air quality of hospital buildings with different ventilation systems, cleaning frequencies and occupancy levels." *Atmospheric Pollution Research* 13.4 (2022): 101382.
- Hughes, B. R., Calautit, J. K., & Ghani, S. A. (2012). *The development of commercial wind towers for natural ventilation: A review*. Applied Energy, 92, 606-627.
- Jomehzadeh, F., et al., Natural ventilation by windcatcher (Badgir): A review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate. Energy and Buildings, 2020. **226**: p. 110396.
- Karakatsanis, C., Bahadori, M. N., & Vickery, B. J. (1986). *Evaluation of pressure coefficients and estimation of air flow rates in buildings employing wind towers*. Solar Energy,

37(5), 363-374.

- Kazemi, H., et al. (2011). *Smoke visualization tests on one-sided wind-catchers*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 99(6-7), 653-662.
- Koufi, Lounes, et al. "Numerical investigation and analysis of indoor air quality in a room based on impinging jet ventilation." *Energy Procedia* 139 (2017): 710-717.
- Kwon C. Form or performance in sustainable architecture. *Int J Sustain Build Technol Urban Dev* 2013;5:21–7. <http://dx.doi.org/10.1080/2093761X.2013.806061>
- Li, Muyuan, et al. "An assessment of observed wind speed and wind power density over China for 1980–2021." *Wind Energy* 25.12 (2022): 2052-2070.
- Liu, Laibao, et al. "Optimizing wind/solar combinations at finer scales to mitigate renewable energy variability in China." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 132 (2020): 110151. Karakatsanis et al. 1986
- Liu, Laibao, et al. "Potential contributions of wind and solar power to China's carbon neutrality." *Resources, Conservation and Recycling* 180 (2022): 106155.
- Liu, Zhifa, et al. "Open-circuit voltages exceeding 1.26 V in planar methylammonium lead iodide perovskite solar cells." *ACS Energy Letters* 4.1 (2018): 110-117.
- Montazeri, H. (2015). *Natural ventilation performance of cylindrical wind-catchers: Sensitivity to the number of openings*. Energy and Buildings, 86, 156-171.
- Montazeri, H., & Azizian, R. (2008). *Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catchers*. Energy and Buildings, 40(3), 504-510.
- Montazeri, Hamid, and Ruhollah Azizian. "Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher." *Building and Environment* 43.12 (2008): 2193-2202. Su et al. 2012
- Montazeri, Hamid, Bert Blocken, and J. L. M. Hensen. "Evaporative cooling by water spray systems: CFD simulation, experimental validation and sensitivity analysis." *Building and environment* 83 (2015): 129-141.
- Panoramio n.d. Available from: <<<http://www.panoramio.com/photo/83605606>>> [accessed 2024.01.15].
- Rickasereh n.d. <<<http://rickasereh.persianblog.ir/?>>> [accessed 27.03.15].
- Sangdeh, P.K. and N. Nasrollahi, Windcatchers and their applications in contemporary architecture. Energy and Built Environment, 2020.
- Su, Y., et al. (2012). *Experimental investigation and CFD simulation of a circular- section wind catcher*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 104, 1-8.
- Su, Yan, et al. "Real-time prediction models for output power and efficiency of grid-connected solar photovoltaic systems." *Applied energy* 93 (2012): 319-326.
- T. Miyazaki, A. Akisawa, T. Kashiwagi, The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate, Renewable Energy, vol. 31, pp. 987–1010, (2006).
- Tourism n.d. Available from: <<<http://tourism.kish.ir/fa/view/ghanat>>> [accessed 25.03.15].
- Van Moeseke, Geoffrey, et al. "Wind pressure distribution influence on natural ventilation for different incidences and environment densities." *Energy and Buildings* 37.8 (2005): 878-889.
- Wang, Teng, et al. "Microplastics in a wind farm area: A case study at the Rudong Offshore Wind Farm, Yellow Sea, China." *Marine pollution bulletin* 128 (2018): 466- 474.
- Yang, Jun, et al. "Spatial differentiation of urban wind and thermal environment in different grid sizes." *Urban Climate* 28 (2019): 100458.
- Yoshiteru Shinada, Ken-ichi Kimura, Hiromasa Katsuragi, Sung-ki Song, Natural

Ventilation System for a School Building Combined with Solar Chimney and Underground Pit, Proceedings of Annual Meeting of Japan Solar Energy Society. Suwa. pp. 83-86. (In Japanese) (2007).

- Zhang, H., et al., A critical review of combined natural ventilation techniques in sustainable buildings. Renewable and sustainable energy reviews, 2021. 141: p. 110795.

Résumé :

Cette étude a mis en évidence l'importance de l'utilisation d'un système de ventilation naturelle basé sur une combinaison de refroidissement par évaporation et de cheminée solaire pour améliorer la performance thermique des bâtiments dans des régions arides et chaudes comme Ouargla. À travers des expériences et des modélisations numériques, il a été vérifié que les températures à l'intérieur de la tour à vent et de la cheminée solaire suivent des schémas temporels prévus, fortement influencés par le rayonnement solaire et la force des vents extérieurs. Les résultats ont montré que l'utilisation d'une plaque ondulée comme dispositif d'absorption dans la cheminée solaire améliore significativement l'efficacité du système de 25%, en optimisant le transfert et la distribution de chaleur à l'intérieur du bâtiment. Les expériences ont également prouvé que l'utilisation de tissu mouillé dans la tour à vent contribue à réduire considérablement les températures avec une diminution moyenne de 7 degrés Celsius grâce au mécanisme de refroidissement par évaporation. Les différences évidentes de l'humidité relative et de la vitesse de l'air à différents points du système reflètent des dynamiques complexes qui favorisent une ventilation efficace. Enfin, les modèles numériques se sont avérés cohérents avec les résultats expérimentaux avec une précision de 90%, renforçant ainsi la fiabilité des résultats et fournissant une base solide pour l'amélioration future des systèmes de ventilation naturelle.

Mots Clés: Natural ventilation, Wind tower, Solar chimney, Evaporative cooling, Numerical modeling.

ملخص :

لقد أبرزت هذه الدراسة أهمية استخدام نظام التهوية الطبيعية، الذي يعتمد على الجمع بين التبريد بالتبخير والمدخنة الشمسية، لتحسين الأداء الحراري للمباني في المناطق القاحلة والحارة مثل ورقلة. من خلال التجارب والنمذجة الرقمية، تم التحقق من أن درجات الحرارة داخل البرج الهوائي والمدخنة الشمسية تتبع أنماطاً زمنية متوقعة، تتأثر بشكل كبير بالإشعاع الشمسي وقوة الرياح الخارجية. أظهرت النتائج أن استخدام صفيحة مموجة كجهاز امتصاص في المدخنة الشمسية يحسن بشكل كبير من كفاءة النظام بنسبة تصل إلى 25%، عن طريق تحسين نقل وتوزيع الحرارة داخل المبنى. كما أثبتت التجارب أن استخدام القماش المبلل في البرج الهوائي يساهم في تقليل درجات الحرارة بشكل ملحوظ بمتوسط انخفاض يبلغ 7 درجات مئوية بفضل آلية التبريد بالتبخير. الفروق الواضحة في الرطوبة النسبية وسرعة الهواء في نقاط مختلفة من النظام تعكس ديناميكيات معقدة تساهم في تهوية فعالة. وأخيراً، كانت النماذج الرقمية متوافقة مع النتائج التجريبية بنسبة تصل إلى 90%، مما يعزز موثوقية النتائج ويوفر أساساً قوياً لتحسينات مستقبلية لنظم التهوية الطبيعية.

الكلمات المفتاحية : التهوية الطبيعية، البرج الهوائي، المدخنة الشمسية، التبريد بالتبخير، النمذجة الرقمية.