

**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 de fin d'études présenté**  
**pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Présenté par :**

**BAADI Aymen et MRABET Amina**

***Thème:***

**Performance d'une cheminée solaire intégrée avec un capteur de vent pour améliorer le confort thermique des bâtiments.**

***Soutenu publiquement le : 18/06/2023***

***Devant le jury composé de :***

<b>Noureddine CHERRAD</b>	<b>MCA</b>	<b>Université Kasdi Merbah Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>Soumia RAHMOUNI</b>	<b>MCB</b>	<b>Université Kasdi Merbah Ouargla</b>	<b>Examinateur</b>
<b>Nadia SAIFI</b>	<b>MCA</b>	<b>Université Kasdi Merbah Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

***Année universitaire: 2022/2023***

# *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.*

*Baadi Aymen*

# *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.*

*Merabet Amina*

# *Remerciements*

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 également à exprimer notre profonde gratitude envers notre directrice de mémoire, Madame **Nadia SAIFI**. Nous la remercions chaleureusement pour ses précieux conseils, son assistance et ses orientations tout au long de notre étude.

Un grand merci à Monsieur **Noureddine CHERRAD**, 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 apporté de grandes contributions en nous guidant et en nous conseillant tout au long de ce travail. Votre soutien et vos efforts ont été d'une aide inestimable.

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.

# Sommaire

LISTE DES FIGURES.....	I
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
NOMENCLATURE.....	V
INTRODUCTION GENERALE.....	1

## Chapitre I : La Ventilation Naturelle

1.Introduction .....	3
2.Objectif de la ventilation .....	3
2.1.Types de ventilation des bâtiments : .....	4
2.1.2.Ventilation mécanique .....	4
2.2.Ventilation naturelle.. .....	7
2.2.2.Concept de ventilation naturelle.. .....	7
2.2.3.Avantages et Inconvénients de la ventilation naturelle .....	7
2.2.4.Ventilation naturelle et qualité de l'air intérieur .....	8
2.2.5.Ventilation naturelle et refroidissement passif .....	8
3.Capteur a vent.....	8
3.1.Historique du capteur à vent. ....	8
3.2.Conceptions et types du capteur de vent .....	9
3.2.2.Types de capteur de vent par nombre d'ouvertures .....	10
3.2.3.Types de capteur de vent en fonction de la section transversale.....	11
3.2.4.Types de capteur de vent en fonction du nombre de pales .....	12
3.3.Fonctions du capteur de vent.. .....	12
3.4.Capteur à vent dans un climat semi-aride .....	13
3.5.Facteurs influant sur les performances de Capteur de vent .....	13
3.5.2.Nombre d'ouvertures.....	13
3.5.3.Hauteur du capteur de vent.. .....	14
3.5.4.Approche du vent.... .....	14
3.5.5.Persiennes et diffuseurs... .....	14
3.6.Amélioration des performances du capteur à vent .....	15
4.Cheminée solaire .....	15
4.1.Composants de la cheminée solaire .....	16
4.2.Conceptions et types de la cheminée solaire .....	16
4.3.Fonctions de la cheminée solaire .....	17
4.4.Cheminée solaire dans un climat semi-aride .....	18
4.5.Facteurs influant sur les performances de cheminée solaire .....	18
4.5.1.Paramètres géométriques.....	18
4.5.2.Conditions d'installation .....	19
4.5.3.Utilisation des matériaux .....	20
4.5.4.L'environnement... .....	21
4.6.Amélioration des performances des cheminées solaires :.....	21
5.Le capteur de vent integre avec la cheminee solaire .....	22
6.Synthese bibliographique.....	22
6.5.Cheminée solaire.....	22

6.5.1. Angle d'inclination.....	22
6.5.2. La Hauteur.....	23
6.5.3. La Cavité d'aire... ..	23
6.5.4. Le vitrage.....	24
6.5.5. L'absorbeur Solaire... ..	24
6.6. Capteur de vent... ..	25
6.6.1. Sections Transversal... ..	25
6.6.2. La hauteur .....	26
6.6.3. Numéro D'ouverture .....	26
6.6.4. Les Diffuseurs.....	27
6.7. Capteur de vent et cheminée solaire.....	27
6.8. Le capteur à vent associé avec le système de refroidissement par évaporation.....	28
7. Conclusion .....	28

## **Chapitre II : Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle**

1. Introduction.....	29
2. Procédure expérimentale .....	29
2.1. Description cellule .....	29
2.1.1. Capteur à vent .....	30
3. Cheminée solaire .....	31
3.1. Système de refroidissement par évaporation.....	32
3.2. Appareillages de mesures.. ..	34
3.2.1. Mesure des températures et Humidité .....	34
3.2.2. Mesure du rayonnement solaire.. ..	36
3.2.3. Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique .....	36
3.3. L'emplacement des capteurs .....	37
4. Partie numérique.....	37
4.1. Le modèle physique.....	37
4.2. Hypothèses de simplification pour une modélisation plus pratique .....	39
4.3. Les conditions aux limites .....	39
4.4. Équations gouvernantes.....	40
4.4.1. Equation de continuité .....	40
4.4.2. Equation de conservation de quantité de mouvement .....	40
4.4.3. Equation de conservation de l'énergie.....	40
4.5. L'approximation de Boussinesq.....	40
4.6. Modèle de la turbulence .....	41
4.7. Equation de transport des espèces pour la vapeur d'eau.....	42
4.8. Taux de changement d'air.....	43
5. Les expressions des paramètres physiques de l'air.....	44
6. Humidité d'air.....	44
7. Simulation de la dynamique des fluides numérique (cfd).....	46
8. Choix du maillage.....	46
9. Organigramme de calcul.....	47
10. Conclusion.....	48

## **Chapitre III : Résultats et Discussions**

1.Introduction.....	49
2.Analyse et interpretation des resultats experimentaux.....	49
2.1.Variation du rayonnement global .....	49
2.2.Évolution de la température à l'intérieur du capteur à vent.....	50
2.3.Variation des températures à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire .....	51
2.4.Variation des températures à l'intérieur de la cellule .....	52
2.5.Variation d'humidité relative à l'intérieur du capteur à vent .....	53
2.6.Variation d'humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire .....	53
2.7.Variation d'humidité relative à l'intérieur de la cellule .....	54
2.9.Variation de vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée .....	56
3.Simulation numerique.....	57
3.1.Contrôle de la solution (convergence) .....	57
3.2.Validation.....	58
3.3.Évaluation des résultats dans la cellule .....	61
3.3.1.Profils de vitesse dans la cellule .....	61
3.3.2.Champs dynamiques .....	62
3.3.3.Champ thermique.. .....	67
3.3.4.Flux d'écoulement (lignes de courant) .....	71
3.3.5.Humidité relative... .....	72
3.4.Evolution d'ACH.....	73
4.Conclusion.....	74
CONCLUSION GENERALE.....	75
<i>BIBLIOGRAPHIES</i> .....	77

## *Liste des figures*

<b>Figure I. 1:</b> Effet de la conception du bâtiment et ses alentours sur l'efficacité du rafraîchissement naturel. ....	3
<b>Figure I. 2:</b> Objectif de la ventilation. ....	4
<b>Figure I. 3:</b> Principe de fonctionnement d'une ventilation mécanique. ....	5
<b>Figure I. 4:</b> Principe de La VMC simple flux hygroréglable. ....	5
<b>Figure I. 5:</b> Principe de La VMC double flux. ....	6
<b>Figure I. 6:</b> Principe de fonctionnement d'une ventilation naturelle. ....	7
<b>Figure I. 7:</b> Facteurs influant sur la qualité de l'air intérieur. ....	8
<b>Figure I. 8:</b> Différents types du capteur à vent traditionnel. ....	9
<b>Figure I. 9:</b> Différents composants d'un capteur à vent traditionnel. ....	10
<b>Figure I. 10:</b> Capteur de vent unilatéral avec toit incliné. ....	10
<b>Figure I. 11:</b> Un capteur à vent a deux côtés ....	11
<b>Figure I. 12:</b> Capteur à vent octaédrique à toit plat. ....	11
<b>Figure I. 13:</b> Principe de fonctionnement du capteur à vent. ....	13
<b>Figure I. 14:</b> Capteurs à vent multi-ouvertures. ....	14
<b>Figure I. 15:</b> Le capteur à vent comporte une grille. ....	15
<b>Figure I. 16:</b> Eléments de la cheminée solaire. ....	16
<b>Figure I.17 :</b> Cheminées solaires typiques utilisées dans le bâtiment. Le mur Trombe est représenté par (a) ; la cheminée solaire de toit est représentée par (b) ; et la cheminée solaire combinée est représentée par (c) ....	17
<b>Figure I. 18 :</b> Les principaux composants de la cheminée solaire ....	17
<b>Figure I. 19:</b> Facteurs influant sur les performances de cheminée solaire. ....	18
<b>Figure I. 20:</b> Principe d'intégration des capteurs solaires plans sur la toiture des habitations. ...	20
<b>Figure I. 21:</b> Systèmes de capteur du vent et de cheminée solaire. ....	22
<b>Figure II. 1:</b> Descriptions de la cellule. ....	30
<b>Figure II. 2:</b> Capteur de vent. ....	31
<b>Figure II. 3:</b> Cheminée solaire. ....	32
<b>Figure II. 4:</b> Système de refroidissement par évaporation. ....	32
<b>Figure II. 5:</b> Toile de jute. ....	33
<b>Figure II. 6:</b> Tube PVC transparent et seringue médicale. ....	33
<b>Figure II. 7:</b> Système de refroidissement par évaporation directe. ....	34
<b>Figure II. 8:</b> Structure générale de système. ....	35
<b>Figure II. 9:</b> Principe des capteurs. ....	35
<b>Figure II. 10:</b> Composants de circuit électronique. ....	35
<b>Figure II. 11:</b> Schéma synoptique de système. ....	36
<b>Figure II. 12:</b> Pyranomètre a affichage numérique. ....	36
<b>Figure II. 13:</b> Anémomètre a affichage numérique. ....	37
<b>Figure II. 14:</b> L'emplacement des captures de vitesse, température et humidité. ....	37
<b>Figure II. 15:</b> Modèle physique ....	38
<b>Figure II. 16:</b> Emplacement du système de refroidissement par évaporation. ....	38
<b>Figure II. 17:</b> Facteurs influençant l'ACH. ....	43
<b>Figure II. 18:</b> Diagramme psychrométrique. ....	45
<b>Figure II. 19:</b> Logiciel de diagramme psychrométrique AntiSecos-V1.20. ....	45



<b>Figure II. 20:</b> Maillage du modèle. ....	47
<b>Figure II.21:</b> Organigramme de calcul. ....	47
<b>Figure III. 1:</b> Variation de rayonnement en fonction du temps. ....	49
<b>Figure III. 2:</b> Variation des différentes températures à l'intérieur du capteur de vent en fonction du temps. ....	50
<b>Figure III.3:</b> Variation des différentes températures à l'intérieur de la cheminée solaire en fonction du temps. ....	51
<b>Figure III.4:</b> Variation des différentes températures à l'intérieur de la cellule et la température ambiante en fonction du temps. ....	52
<b>Figure III. 5:</b> Variation d'Humidité relative à l'intérieur du capteur à vent en fonction du temps. ....	53
<b>Figure III.6:</b> Variation d'Humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire en fonction du temps. ....	54
<b>Figure III. 7:</b> Variation d'Humidité relative à l'intérieur de la cellule d'essai en fonction du temps. ....	55
<b>Figure III. 8:</b> La vitesse à l'entrée du capteur à vent. ....	55
<b>Figure III. 9:</b> La vitesse à la sortie du capteur à vent et proche du mur intérieur du capteur de vent. ....	56
<b>Figure III. 10:</b> Variation de la vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée. ....	57
<b>Figure III. 11:</b> Évolution des résidus. ....	58
<b>Figure III.12:</b> Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (à 9h00 et $V_e = 0.7$ m/s). ....	59
<b>Figure III.13:</b> Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (à 9h00 et $V_e = 0.7$ m/s). ....	59
<b>Figure III.14:</b> Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (14h00). ....	60
<b>Figure III.15:</b> Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (14h00). ....	60
<b>Figure III.16:</b> Profils de vitesse Variation de la vitesse à l'entrée de la cellule au plan médian-vertical. ....	61
<b>Figure III.17:</b> Profils de vitesse Variation de la vitesse à l'entrée dans la cellule au plan médian-horizontale. ....	62
<b>Figure III.18:</b> Champ dynamique à 9h00 et $V_e = 0.7$ m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et Z= 50 cm. ....	63
<b>Figure III.19:</b> Champ dynamique à 14h00 et $V_e = 0.9$ m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et Z= 50 cm. ....	64
<b>Figure III.20:</b> Champ dynamique à 18h00 et $V_e = 0.4$ m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et Z= 50 cm. ....	66
<b>Figure III.21:</b> Champ thermique à 9h00 et $V_e = 0.7$ m/s : (a) à différents plans ZY ; (b) à différents plans ZX ; (c) au plan XY et Z= 50 cm. ....	67
<b>Figure III.22:</b> Champ thermique à 14h00 et $V_e = 0.9$ m/s, (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY et (c) au plan XY et Z= 50 cm. ....	69
<b>Figure III.23:</b> Champ thermique à 18h00 et $V_e = 0.4$ m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et Z= 50 cm. ....	70

**Figure III.24:** Flux d'écoulement (lignes de courant) : (a) à 9h00 et  $V_e = 0.7$  m/s ; (b) à 14h00 et  $V_e = 0.9$  m/s ; (c) à 18h00 et  $V_e = 0.4$  m/s..... 71

**Figure III.25:** Humidité relative à l'intérieur de la cellule : (a) à 9h00 et  $V_e = 0.7$  m/s ; (b) à 14h00 et  $V_e = 0.9$  m/s ; (c) à 18h00 et  $V_e = 0.4$  m/s..... 72

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau II. 1:</b> Caractéristiques thermique des parois de la cellule de teste.....	30
<b>Tableau II. 2:</b> Principales caractéristiques physiques des fibres de jute.....	33
<b>Tableau II. 3:</b> constantes de ce modèle k epsilon .....	42
<b>Tableau II. 4:</b> Les paramètres physiques de l'air.....	44
<b>Tableau II. 5:</b> Différence de débit massique entrant et sortant du modèle et le nombre des itérations. ....	46
<b>Tableau III. 1:</b> Les résidus pour les différentes équations.....	58
<b>Tableau III. 2:</b> Effet du rayonnement et de vitesse d'air sur le taux de renouvellement d'air. ...	73

## *Nomenclature*

<b>C<sub>p</sub></b>	Chaleur spécifique	[kJ/kg.k]
<b>C<sub>μ</sub>, C<sub>1ε</sub>, C<sub>2ε</sub>, C<sub>3ε</sub></b>	Constantes du modèle de turbulence	[1/m]
<b>D<sub>H<sub>2</sub>O</sub></b>	Coefficient de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air	[m <sup>2</sup> /s]
<b>D<sub>t</sub></b>	Coefficient de diffusion de la masse effective due à la turbulence	-
<b>G</b>	Constante de la gravité	[m/s <sup>2</sup> ]
<b>G<sub>k</sub></b>	Source d'énergie cinétique turbulente attribuée au gradient de vitesse moyen	[pa/s]
<b>G<sub>b</sub></b>	Source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité	[pa/s]
<b>H</b>	Hauteur de la cavité	[m]
<b>K</b>	Energie cinétique turbulente	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
<b>S</b>	Surface de conduction	[m <sup>2</sup> ]
<b>T</b>	Température	[K]
<b>T<sub>0</sub></b>	Température de fonctionnement	[K]
<b>T<sub>m</sub></b>	Température moyenne	[K]
<b>u,v,w</b>	Composante de la vitesse dans les directions x,y et z	[m/s]
<b>u,v,w</b>	Fluctuations des composants de la vitesse dans les directions x,y et z	[m/s]
<b>l</b>	Longueur de la fibre	[mm]
<b>SC<sub>t</sub></b>	Nombre de Schmidt pour un écoulement turbulent.	-
<b>S<sub>h</sub></b>	Source de chaleur, comprenant la chaleur de réaction	[ J/mol]
<b>S<sub>H<sub>2</sub>O</sub></b>	Terme source de vapeur d'eau dû à l'évaporation.	[kg/(m <sup>2</sup> .s)]
<b>S<sub>Mx</sub>, S<sub>My</sub>, S<sub>Mz</sub></b>	Composantes x, y et z des forces corporelles	[N]
<b>Y<sub>H<sub>2</sub>O</sub></b>	Concentration de vapeur d'eau	[g/m <sup>3</sup> ]

## Lettres Grecques:

$\alpha_\epsilon$	Nombre de Prandtl turbulent pour l'équation de vitesse de dissipation d'énergie	–
$\alpha_k$	Nombre de Prandtl turbulent pour l'équation d'énergie Kinect turbulente	–
$\alpha_t$	Diffusivité thermique de tourbillon	[m <sup>2</sup> /s]
$\beta$	Coefficient de dilatation thermique	[1/K]
$\mu$	Viscosité dynamique	[Kg/m. s]
$\mu_{eff}$	Viscosité dynamique effective	[Kg/m. s]
$\nu$	Viscosité cinématique	[m <sup>2</sup> /s]
$\rho$	Masse volumique	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	Conductivité thermique	[W/m .k]
$\epsilon$	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
$\nu_t$	Viscosité cinématique de tourbillon	[m <sup>2</sup> /s]

## Abréviation:

<b>ACH</b>	Changement d'air par heure
<b>CFD</b>	Simulateurs de fluides dynamiques
<b>SIMPLE</b>	Méthode semi-Implicite pour les équations liées à la pression

***INTRODUCTION***  
***GENERALE***

### Introduction générale

La ventilation naturelle est un facteur prioritaire dans la conception et la construction des bâtiments, parce que le mouvement de l'air dans tout bâtiment a un impact efficace sur le confort thermique des occupants du bâtiment et l'évolution des méthodes de ventilation naturelle dans l'architecture contemporaine reçoit une attention croissante comme des adaptations naturelles qui sont adaptées à différents facteurs environnementaux et climatiques ainsi que l'aspect économique et jouer un rôle actif dans cette direction.

Ces méthodes ont introduit de nombreuses techniques contemporaines, y compris des méthodes avancées, et leurs applications ont émergé dans de multiples régions climatiques du monde. Le système de tour du vent et le système d'une cheminée solaire sont largement utilisés dans les régions semi-arides pour améliorer la ventilation naturelle des bâtiments. Les facteurs qui affectent les performances des cheminées solaires sont également similaires à ceux des capteurs de vent, qui sont influencés par deux facteurs, à savoir des facteurs externes et internes.

Les facteurs externes comprennent les conditions environnementales, notamment le rayonnement solaire, le vent extérieur et les conditions climatiques sur le site (Layeni, Nwaokocha et al. 2018). Selon la littérature, pour assurer une ventilation maximale au moyen d'une cheminée solaire, le rayonnement incident doit être maximal (Asadi, Fakhari et al. 2016). Cependant la vitesse du vent et sa direction affectent également les performances des cheminées solaires et des capteurs à vent (Shi 2019) et, même à faible vitesse, une direction opposée du vent peut réduire le débit d'air volumétrique de la cheminée (de Oliveira Neves, da Silva et al. 2018). L'étude des mesures régionales des architectes experts locaux peut contribuer à la conception d'un bâtiment adapté à un tel climat.

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement d'un capteur à vent muni avec un système de refroidissement par évaporation et son impact sur les propriétés de l'air intérieur dans une cellule expérimentale équipée par une cheminée solaire, en calculant le débit d'air dans chaque système et son évolution en fonction de la température ambiante et de l'intensité de la radiation solaire. Deux méthodes sont proposées pour cette étude, l'une expérimentale et l'autre numérique, utilisant le code de calcul ANSYS 2020 version R1. Les résultats ont été validés par la comparaison de nos résultats numériques avec ceux obtenus à partir de l'étude expérimentale

Nous avons divisé notre travail en trois chapitres

Dans le premier chapitre, L'importance d'utiliser une ventilation naturelle pour augmenter le confort et économiser l'énergie est soulignée. La définition et les variétés de ventilations naturelles ont été discutées, ainsi que les progrès les plus récents dans les systèmes de ventilation et leur fonctionnement. L'utilisation des principes des tours éoliennes et des cheminées est citée comme une méthode importante de ventilation naturelle des bâtiments.

Dans le deuxième chapitre, une étude expérimentale et une simulation numérique du comportement dynamique ont été consacrées au flux d'air à travers une cellule avec cheminée solaire et tour éolienne et à un système de pulvérisation d'eau. En donnant une description du dispositif à étudier et des appareils de mesure utilisés. Le chapitre contient la formule mathématique, la physique du problème, les conditions limites et la méthode de solution.

Dans troisième trimestre, les résultats empiriques obtenus ont été examinés et comparés aux résultats de la simulation numérique tridimensionnelle. Déterminer le modèle de ventilation naturelle qui a été adapté au bâtiment dans les conditions climatiques de la région d'Ouargla.

Les principales conclusions de ces travaux sont résumées dans une conclusion générale.



# **CHAPTER I**

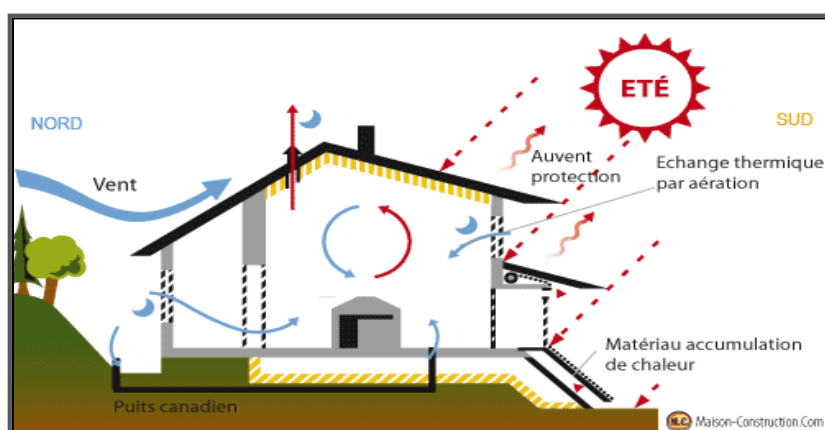
## **LA VENTILATION NATURELLE**

## 1. Introduction :

La ventilation naturelle est un élément important pour assurer le confort thermique du bâtiment et pour réduire la consommation d'énergie nécessaire à sa climatisation. L'architecture actuelle s'intéresse de plus en plus à la valorisation de la ventilation naturelle par la proposition d'adaptation aux différents facteurs environnementaux, climatiques et économiques. Les systèmes passifs sont considérés comme une stratégie efficace pour le concept du bâtiment durable. Il existe plusieurs techniques de refroidissement passif permettant d'assurer un excellent confort thermique et une grande qualité de l'air intérieur avec une faible consommation d'énergie. Dans ce chapitre, nous présentons en général la ventilation dans les bâtiments et nous nous intéressons plus particulièrement à la ventilation naturelle par rapport aux stratégies de ventilation mécanique. On traitera également les avantages et les inconvénients de la ventilation naturelle, on donnera un aperçu sur le système de la cheminée solaire et le système du capteur du vent, et on présentera le rôle de chaque système dans la création d'une ventilation naturelle et dans la contribution à l'amélioration des conditions de confort thermique.

## 2. Objectif de la ventilation :

L'objectif principal de la ventilation est d'assurer un renouvellement de l'air dans un espace clos, en permettant l'apport d'air frais et l'évacuation de l'air vicié ou pollué. La ventilation est essentielle pour maintenir la qualité de l'air intérieur, en éliminant les contaminants, les odeurs, l'excès d'humidité, les polluants chimiques, les particules en suspension, et en régulant la température et l'humidité.



**Figure I. 1:** Effet de la conception du bâtiment et ses alentours sur l'efficacité du rafraîchissement naturel (Gratia and De Herde 2005).

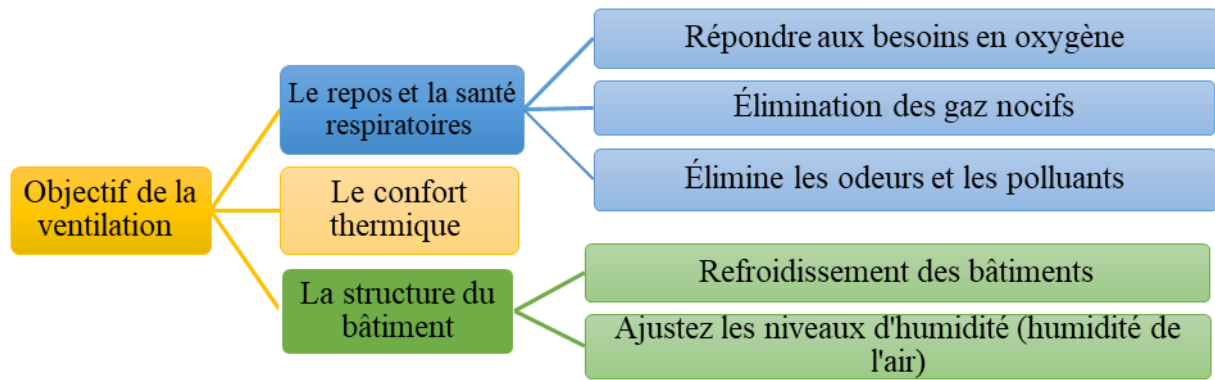


Figure I. 2: Objectif de la ventilation.

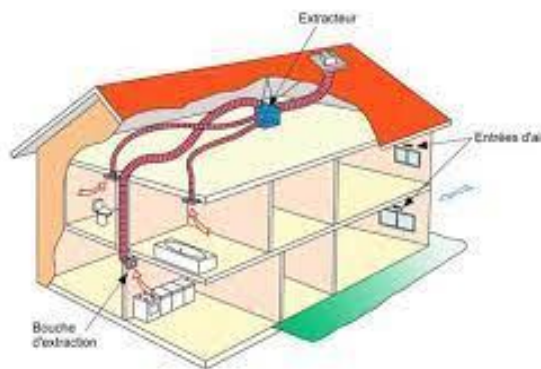
- a. **Pour le repos et la santé respiratoires :** La qualité de l'air intérieur est bonne grâce à la ventilation, elle est garante d'améliorer le processus respiratoire et d'augmenter les taux d'oxygène de l'air, tout en assurant l'élimination permanente du dioxyde de carbone conduit à des niveaux de confort plus élevés.
- b. **Pour le confort thermique :** Le confort thermique résulte d'une ventilation naturelle, il est associé à quatre variables physiques (L'humidité, la température, le rayonnement solaire et la vitesse de l'air). Ces variables agissent en interaction avec le corps humain pour obtenir le confort thermique requis et ils sont considérés comme les principaux facteurs d'échange de chaleur entre l'homme et son environnement.
- c. **La structure du bâtiment :** La plupart des problèmes au niveau du bâtiment sont associés à la présence d'humidité indésirable, qui provoque des dégradations du bâtiment et entraîne des conditions insalubres qui doivent être résolues par la ventilation.

**2.1. Types de ventilation des bâtiments :**

Il existe plusieurs façons de ventiler les bâtiments et de renouveler l'air intérieur. La ventilation peut être divisée en deux types :

**2.1.2. Ventilation mécanique :**

La ventilation mécanique consiste en un apport et/ou une extraction d'air forcé uniforme à l'aide d'un ou de plusieurs ventilateurs, et elle peut être adaptée pour assurer un renouvellement d'air suffisant et contrôlé (Dhalluin 2012). Son rôle est de faciliter la ventilation de la pièce par élimination de l'air vicié et renouvellement de l'air frais provenant de l'extérieur.

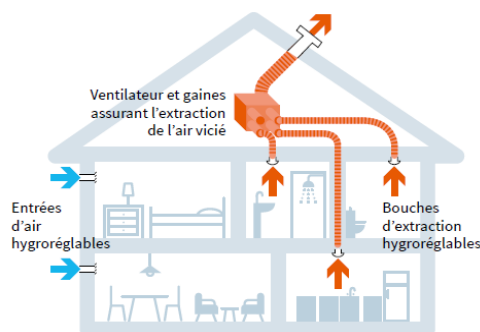


**Figure I. 3:** Principe de fonctionnement d'une ventilation mécanique (SEBTP,2002).

**a. Types de ventilation mécanique :**

• **La ventilation mécanique à simple flux par extraction :**

Le VMC simple flux est un système de ventilation qui permet de renouveler l'air dans un bâtiment de manière mécanique, Ce système consiste à aspirer l'air pollué de l'intérieur et à le remplacer par de l'air frais qui provient de l'extérieur. Cette technique utilise un ventilateur pour évacuer l'air vicié du bâtiment. et le fait passer par un tuyau d'échappement pour l'évacuer à l'extérieur. Dans le même temps, l'air frais est aspiré de l'extérieur et circule dans les pièces de vie par les entrées d'air des pièces principales. Il existe deux types de VMC simple flux : auto-réglable et hygroréglable (Boivin 2007).



**Figure I. 4:** Principe de La VMC simple flux hygroréglable (ADEM, 2020).

• **La ventilation mécanique à double flux :**

En VMC double flux, l'introduction et l'extraction d'air sont assurées par des moyens mécaniques. Il y a des bouches d'aération dans les pièces principales et des extractions dans les pièces de service. L'air soufflé peut-être filtré, limitant ainsi l'introduction de polluants. Le système permet également un haut niveau d'insonorisation grâce à la suppression des prises d'air frontales. Enfin, l'air soufflé peut préchauffer l'air extrait en hiver grâce à un récupérateur de chaleur, ce qui permet d'économiser des frais de chauffage (Boivin 2007) .

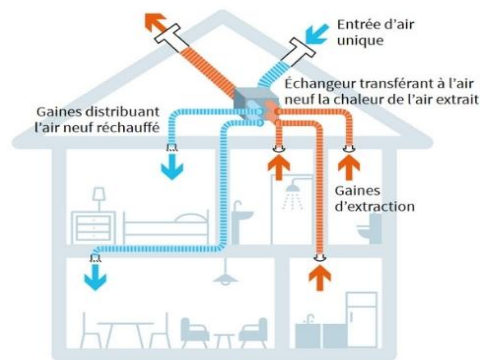


Figure I. 5: Principe de La VMC double flux (ADEM, 2020).

**b. Avantages et inconvénients de la ventilation mécanique :**

La ventilation mécanique présente plusieurs avantages dans le bâtiment, notamment :

- - **Amélioration des conditions d'hygiène de l'air intérieur :** une ventilation mécanique qui renouvelle l'air à l'intérieur avec l'évacuation des polluants.
- **Contrôle de l'humidité :** Les systèmes de ventilation mécanique peuvent aider à réguler l'humidité dans les espaces intérieurs.
- **Confort thermique :** Les systèmes de ventilation mécanique peuvent aider à réguler la température de l'air intérieur à travers l'évacuation de l'air chaud et l'apport d'air frais.
- **Contrôle des odeurs :** La ventilation mécanique peut contribuer à évacuer les odeurs désagréables.
- **Adaptabilité :** Les systèmes de ventilation mécanique peuvent être conçus pour s'adapter à différents types de bâtiments et d'environnements.

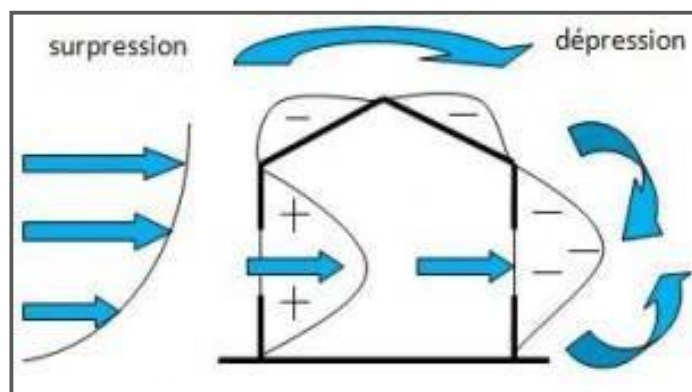
La ventilation mécanique peut présenter certains inconvénients dans le bâtiment, notamment :

- **Coût élevé :** L'installation d'un système de ventilation mécanique peut être coûteuse.
- **Consommation d'énergie :** Les systèmes de ventilation mécanique consomment de l'énergie électrique pour fonctionner.
- **Maintenance :** Les systèmes de ventilation mécanique nécessitent une maintenance régulière pour assurer leur bon fonctionnement et prolonger leur durée de vie.
- **Bruit :** Certains systèmes de ventilation mécanique peuvent être bruyants, ce qui peut être gênant pour les occupants du bâtiment.
- **Qualité de l'air intérieur :** Si le système de ventilation n'est pas correctement entretenu, il peut accumuler des contaminants tels que la poussière, les moisissures et les bactéries, qui peuvent affecter la qualité de l'air intérieur et la santé des occupants.

## 2.2. Ventilation naturelle :

### 2.2.2. Concept de ventilation naturelle :

La ventilation naturelle consiste à fournir de l'air frais et à éliminer l'air vicié qui peut réduire les coûts de construction et d'exploitation du bâtiment, ainsi que la consommation d'énergie. C'est l'une des méthodes fondamentales dans la conception écoénergétique des bâtiments qui peuvent jouer un rôle important dans la ventilation et le refroidissement, en conséquence d'améliorer la qualité de l'air intérieur et de fournir un confort thermique adéquat dans certains climats. Dans la ventilation naturelle d'un espace, la pression du vent et les effets des piles provoquent la circulation de l'air. Différents éléments de construction tels que la fenêtre, le capteur de vent et la cheminée solaire sont utilisés pour la ventilation naturelle.



**Figure I. 6:** Principe de fonctionnement d'une ventilation naturelle (Gratia and De Herde 2005).

### 2.2.3. Avantages et Inconvénients de la ventilation naturelle :

La technologie de ventilation naturelle présente généralement les avantages suivants :

- Faible consommation d'énergie.
- Faible cout de maintenance.
- Création de conditions ambiantes saines.
- Faibles émissions de carbone.
- Propre, non-polluante et produitt peu ou pas de bruit.
- Ces installations sont relativement peu coûteuses à installer et simple d'utilisation.

La ventilation naturelle présente non seulement des avantages, mais présente également certains inconvénients (Elzaidabi 2009):

- Ne convient pas à tous les climats.
- Ne convient pas à tous les types de bâtiments car elle peut nécessiter des travaux importants d'aménagement.
- Difficile à contrôler. Par exemple, la température ne peut pas être prédéfinie.

#### 2.2.4. Ventilation naturelle et qualité de l'air intérieur :

La ventilation naturelle peut avoir un impact important sur la qualité de l'air intérieur. Cela dépend de divers facteurs tels que la région, le climat, la saison et la conception du bâtiment. En général, une bonne ventilation naturelle permet de maintenir un équilibre entre l'air intérieur et l'air extérieur, ce qui peut aider à réduire la concentration de polluants intérieurs tels que les composés organiques volatils (COV), les allergènes et les particules fines. Cependant, si la ventilation naturelle est insuffisante ou mal conçue, elle peut entraîner une accumulation de polluants intérieurs et une détérioration de la qualité de l'air dans le bâtiment. Il est donc important de prendre en compte la ventilation naturelle lors de la conception et de l'entretien des bâtiments pour assurer une qualité de l'air intérieur optimale.

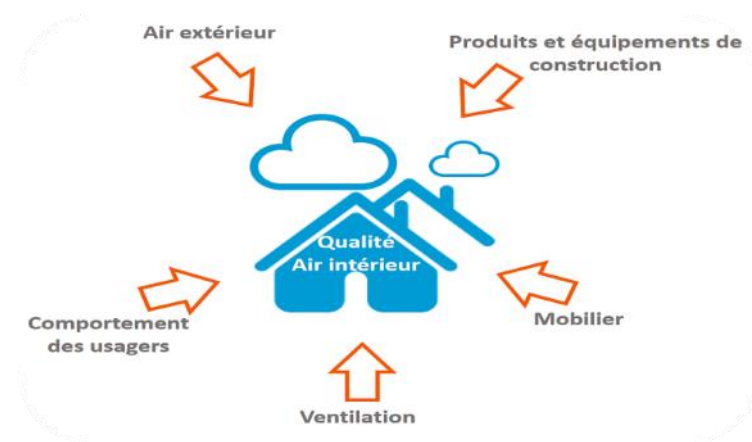


Figure I. 7:Facteurs influant sur la qualité de l'air intérieur.

#### 2.2.5. Ventilation naturelle et refroidissement passif :

La ventilation naturelle et le refroidissement passif sont deux stratégies utilisées pour réduire le besoin de systèmes de refroidissement mécaniques et améliorer la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments. Les stratégies de refroidissement passif peuvent inclure des dispositifs d'ombrage, tels que des auvents ou des surplombs, pour réduire la quantité de lumière solaire qui pénètre dans un bâtiment, ainsi que l'utilisation de matériaux à forte masse thermique, tels que le béton ou la pierre, pour absorber et stocker la chaleur pendant la journée et la restituer pendant la nuit. Le refroidissement passif peut également impliquer l'utilisation de la ventilation naturelle pour augmenter la circulation de l'air et réduire l'accumulation de chaleur dans un bâtiment.

### 3. Capteur à vent :

#### 3.1. Historique du capteur à vent :

Avant l'invention des systèmes de refroidissement mécanique, l'homme utilisait les ressources naturelles de manière innovante pour assurer la ventilation et le confort thermique

dans les climats chauds. Un exemple de cette technique est le capteur de vent (Valipour and Oshrieh 2013). Le capteur de vent est défini comme une tour conçue et montée sur le toit d'un bâtiment pour « attraper » le vent en altitude et le diriger vers l'intérieur du bâtiment. Il est également connu sous le nom de capteur à vent. Les capteurs de vent, en tant qu'éléments architecturaux spectaculaires, démontrent l'harmonie entre l'environnement créé par l'homme et la nature (Bahadori, Dehghani-Sanij et al. 2014) ; en d'autres termes, ils sont ingénieusement adaptés aux conditions climatiques locales (Fanood 2014).

Les capteurs de vent n'étaient pas seulement beaux et décoratifs, ils étaient aussi très fonctionnels et ont joué un rôle considérable dans le refroidissement et la ventilation des espaces d'habitation et du sous-sol des bâtiments résidentiels, des citernes d'eau, des salles de prières des mosquées, des pavillons des jardins et des quartiers d'habitations des caravansérails (une auberge avec une cour centrale pour les voyageurs dans les régions désertiques d'Asie ou d'Afrique du Nord) de manière naturelle, sans utiliser d'énergie (Bahadori, Dehghani-Sanij et al. 2014).

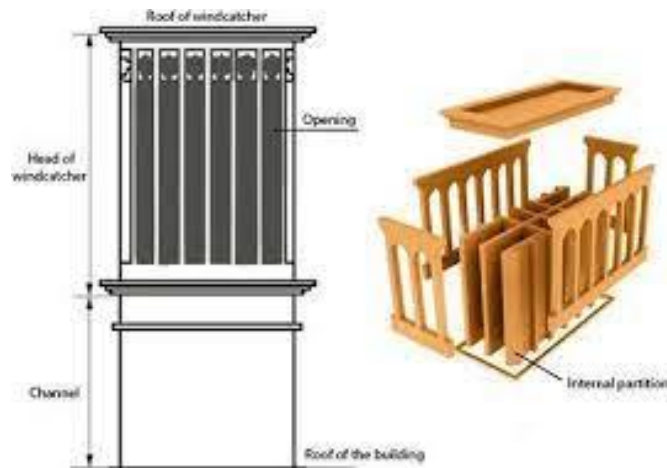


**Figure I. 8:** Différents types du capteur à vent traditionnel (Jomehzadeh, Nejat et al. 2017).

### 3.2. Conceptions et types du capteur de vent :

Les capteurs de vent sont classés en deux groupes principaux : les capteurs de vent traditionnels et les capteurs de vent modernes. Normalement, les coupe-vent conventionnels se composent de différents éléments, y compris les ouvertures, le toit, la tête, le chenal et les cloisons internes. Généralement, le premier type est classé en cinq groupes, dont un, deux, quatre, six et huit. Les ventouses latérales et cylindriques selon le nombre de leurs côtés (faces) qui contiennent des ouvertures (Sangdeh and Nasrollahi 2022).



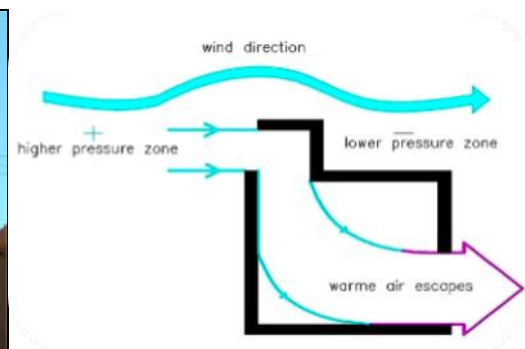


**Figure I. 9:** Différents composants d'un capteur à vent traditionnel (Dehghani-sanij, Soltani et al. 2015).

### 3.2.2. Types de capteur de vent par nombre d'ouvertures :

#### a. Capteur de vent unilatéral

Les capteurs de vent unilatéraux sont généralement utilisés dans les endroits où l'air est dirigé vers une direction particulière. Ils ne comportent qu'un seul conduit ou passage face aux vents dominants pour induire l'air directement à l'intérieur. Il est généralement conçu avec une tour plus haute pour capter l'air venant d'en haut, car l'air en altitude est exempt de poussière et plus frais. Comme cet air doit quitter la pièce, des segments d'évacuation, tels que des fenêtres et des portes, sont nécessaires (Tavakolinia 2011).



**Figure I. 10:** Capteur de vent unilatéral avec toit incliné (Ardakan)(Dehghan, Esfeh et al. 2013).

#### b. Capteur de vent à deux côtés

Un capteur de vent à deux côtés a un arbre avec les ouvertures supérieures sur deux côtés opposés et un panneau de séparation qui va le long de l'arbre pour diriger l'air frais vers le bas à la zone de sièges. Dans ce type d'air de prise de vent entre d'un côté, ventile la pièce, et s'échappe de l'autre côté. Si l'angle d'incident aérien est supérieur à  $0^\circ$  du côté avant de la prise de vent, un court-circuit se produit. Un court-circuit fait entrer l'air par l'ouverture du côté

exposé au vent et le fait sortir par le côté exposé au vent sans qu'il soit possible de faire circuler le bâtiment.

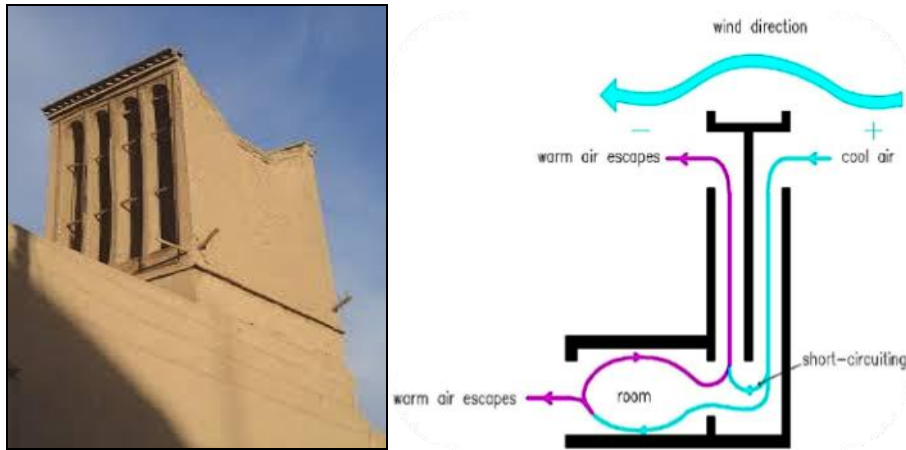


Figure I. 11: Un capteur à vent a deux côtés (Tavakolinia 2011).

**c. Capteur de vent à quatre six et Huit côtés**

Le but d'un capteur de vent avec un grand nombre d'ouvertures est de capter le plus d'air possible. Dans ces types de tours, le côté exposé au vent est généralement plus haut que les autres côtés, ce qui permet de capter la plus grande quantité de vent. Souvent, ces tours éoliennes sont utilisées pour d'autres fonctions telles que le stockage de l'eau (Sangdeh and Nasrollahi 2022).



Figure I. 12: Capteur à vent octaédrique à toit plat (Yazd) (Saadatian, Haw et al. 2012)

**3.2.3. Types de capteur de vent en fonction de la section transversale (Sahu 2022) :**

Selon la forme du plan, Il existe le type tétraédrique, carrée, rectangulaire et hexaédrique. Les capteurs de vent cylindriques ont une grande efficacité en raison de leur conception cylindrique qui est basée sur les caractéristiques thermodynamiques du vent. Cependant, la construction d'une tour éolienne de forme cylindrique est difficile par rapport aux autres types de capteurs de vent, c'est pourquoi elle n'est pas très répandue (Lalit and Kumar 2022). Le type carré de capteur de vent est le plus courant, tandis que le type rectangulaire est le plus

conventionnel. Il est aussi important de savoir que les capteurs de vent hexaédriques et tétraédriques sont plus courts que les autres types de capteurs. Les formes rectangulaires sont utilisées dans les tours à vent à une, deux et quatre directions. Les tours à vent à huit directions sont celles qui ont un plan octogonal.

#### **3.2.4. Types de capteur de vent en fonction du nombre de pales :**

Les pales intérieures des capteurs de vent jouent un rôle essentiel dans l'efficacité de ces derniers. Les pales divisent la section transversale des capteurs de vent en plus petites parties, ce qui affecte la vitesse du flux d'air et les turbulences. Par conséquent, les différentes formes de division des capteurs de vent présentent des caractéristiques variées qui affectent les performances des capteurs de vent (Pragya and Kumar 2022). Il existe quatre types de capteurs de vent à section carrée. Il convient de noter que les attrape-vent à section tétraédrique et hexaédrique ont une seule division, les pales étant attachées aux extrémités tétraédriques et hexaédriques (Sahu 2022).

#### **3.3. Fonctions du capteur de vent :**

Les principes d'exploitation du système de ventilation naturelle par le vent sont principalement fondés sur la ventilation par le vent et l'effet de cheminée (flottabilité) (Hughes, Calautit et al. 2012). Par le mouvement du vent extérieur au niveau du toit, une surpression du côté au vent de la structure et en même temps, une dépression du côté sous le vent est produite. Cette différence de pression est très suffisante pour fournir de l'air frais dans l'espace intérieur et extraire l'air chaud et vicié. En l'absence de mouvement de l'air ou dans des conditions de vent faible, le dispositif coupe-vent fonctionne en utilisant la flottabilité naturelle des forces thermiques comme une cheminée, qui est donnée en raison du gradient de température de l'air entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment (Figure I. 13). Lorsque la température de l'air ambiant est considérablement inférieure à la température intérieure, la différence de pression et le gradient de densité de l'air des masses d'air interne et externe entraînent une augmentation de l'air intérieur faible et dense et une expulsion par le vent du côté sous le vent ; simultanément, en descendant de l'air frais plus dense par le côté au vent du système (Jomehzadeh, Nejat et al. 2017).

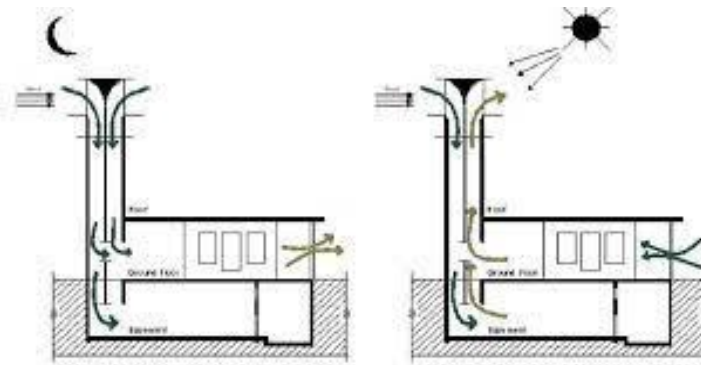


Figure I. 13: Principe de fonctionnement du capteur à vent.

### 3.4. Capteur à vent dans un climat semi-aride :

De nombreuses régions chaudes et arides, chaudes et humides et arides ont adapté les capteurs à vent pour la ventilation passive et possèdent leurs propres formes uniques et noms locaux pour les capteurs à vent. En Égypte, les capteurs de vent sont appelés Malqaf, et ils présentent la particularité d'utiliser des techniques de refroidissement additif. Les malqafs ont été utilisés pour les chambres et les salles et sont parfois associés au refroidissement par évaporation par l'installation d'écrans humides dans le puits ou d'un plan d'eau sous leurs ouvertures (Hughes, Calautit et al. 2012). Les capteurs de vent en Irak ont un aspect unique, avec des ouvertures décorées de motifs et un revêtement en forme de couronne. Ils se présentent sous la forme de fentes / niches / cavités dans un mur de parapet, placées soit le long du mur, les unes à côté des autres, soit les unes derrière les autres (Warren and Fethi 1982). Iran est le seul pays qui possède une grande variété dans la conception et l'application des capteurs de vent. Dans certains contextes, il semble que la technologie de la ventilation passive a été exportée de l'Iran vers d'autres régions ayant des conditions climatiques similaires. Les badgirs iraniens sont conçus selon une grande variété de plans, allant de la forme carré au rectangle, en passant par l'hexagone et l'octogone (Tavassoli 1982).

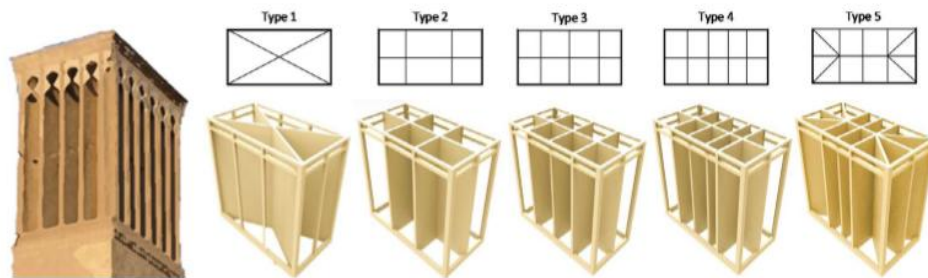
### 3.5. Facteurs influant sur les performances de Capteur de vent :

La performance des capteurs à vent peut être affectée par deux facteurs, à savoir les facteurs externes et les facteurs internes. Le facteur externe est un élément extérieur au dispositif de capture à vent (séparé), tel que les conditions climatiques, la situation géographique, le temps, etc. Le facteur interne, quant à lui, provient de la forme du capteur de vent.

#### 3.5.2. Nombre d'ouvertures :

Le nombre d'ouvertures est le facteur le plus important qui influence l'efficacité du capteur de vent. Bien que, selon la région et la température, un nombre variable d'ouvertures

soient le plus efficace. Les capteurs de vent à deux côtés, par exemple, peuvent imiter les capteurs du vent à un côté. L'un des côtés peut amener de l'air frais dans le bâtiment et l'autre côté agit comme une cheminée, qui expulse l'air chaud et pollué du bâtiment (Sahu 2022).



**Figure I. 14:** Captors à vent multi-ouvertures (Jomehzadeh, Hussien et al. 2020).

### 3.5.3. Hauteur du capteur de vent :

La hauteur du capteur à vent a une grande influence sur ses performances. Plus le capteur à vent est élevé, plus l'induction du vent est importante et plus la pollution de l'air ou la poussière pénétrant dans le bâtiment peuvent être réduites. Les capteurs de vent ont généralement une hauteur comprise entre 5 et 34 m (Prima and Prima 2019).

### 3.5.4. Approche du vent :

La direction du vent a une influence considérable sur la pression qui s'exerce sur l'ouverture, sur le côté sous le vent et celui au vent. En outre, le flux d'air est également affecté par la différence de pression sur les surfaces. Il est important de noter que pour des angles plus élevés, il y a une action inverse avec deux arbres de capteurs de vent bilatéraux. (Sahu 2022). En outre, un flux d'air unilatéral peut se produire dans les espaces intérieurs des brise-vent à quatre côtés entre  $0^\circ$  et  $15^\circ$  d'angle de vent. De même, deux arbres ont cette fonction pour des angles du vent compris entre  $30^\circ$  et  $45^\circ$ .

### 3.5.5. Persiennes et diffuseurs :

Dans les coupe-vent modernes, des grilles sont souvent utilisées. La persienne est une grille horizontale montée sur l'ouverture d'un capteur à vent. L'ajout d'une persienne au capteur à vent permet d'éviter la pénétration de l'eau de pluie, de la lumière directe du soleil et du bruit vers l'extérieur. (Prima and Prima 2019). L'utilisation de persiennes peut également affecter les performances du régulateur de vent. L'augmentation de la quantité de persiennes et l'ajout d'un présentoir à persiennes peuvent augmenter les performances du régulateur de vent (Calautit, Hughes et al. 2015). L'installation des paralumes dans le capteur à vent doit également tenir

compte de l'angle d'inclinaison. L'angle d'inclinaison des persiennes recommandé pour obtenir les meilleures performances est de 35° et 45°.

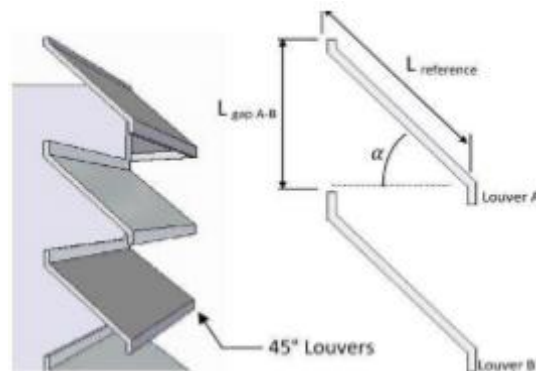


Figure I. 15:Le capteur à vent comporte une grille (Calautit, Hughes et al. 2015).

### 3.6. Amélioration des performances du capteur à vent :

Il existe plusieurs façons d'améliorer les performances d'un capteur à vent : (**Khodakarami and Shokravi 2010**)

- Augmenter la taille de l'éolienne pour capter plus de vent.
- Ajouter un tube venturi au capteur à vent pour augmenter la vitesse du vent et améliorer le flux d'air.
- Ajuster l'orientation du capteur à vent pour capter la direction du vent dominant.
- Utilisation d'un profil aérodynamique très efficace pour le capteur à vent afin d'augmenter l'aérodynamisme et de réduire la traînée.
- Utiliser un mécanisme motorisé pour ajuster la position du capteur à vent en fonction des changements de direction et de vitesse du vent.

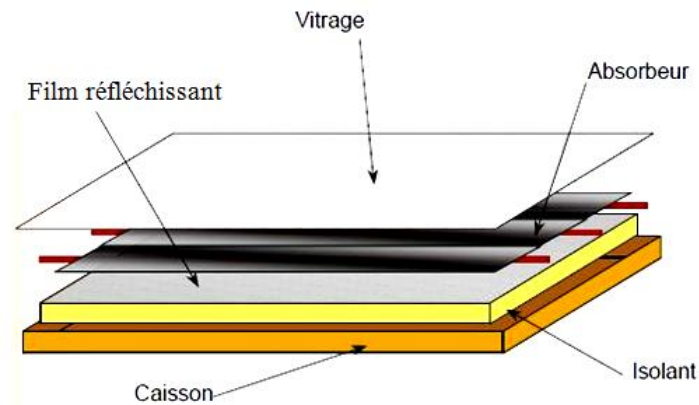
Dans l'ensemble, la meilleure façon d'améliorer les performances d'un capteur à vent dépend de divers facteurs, notamment de sa taille, de son emplacement et du niveau de performance souhaité.

### 4. Cheminée solaire :

La cheminée solaire est un système d'énergie renouvelable utilisé pour améliorer la ventilation naturelle d'un bâtiment grâce à l'énergie solaire. Il s'agit de l'un des systèmes de ventilation passive les plus utilisés, intégré dans l'enveloppe du bâtiment, et qui fonctionne à l'aide de l'énergie solaire. Elle est exceptionnellement performante pour améliorer la ventilation naturelle et le confort thermique dans certaines conditions climatiques (Shi, Zhang et al. 2018).

**4.1. Composants de la cheminée solaire :**

- Vitrage (la surface transparente).
- L'absorbeur.
- L'isolation thermique de la cheminée.
- Le cadre extérieur

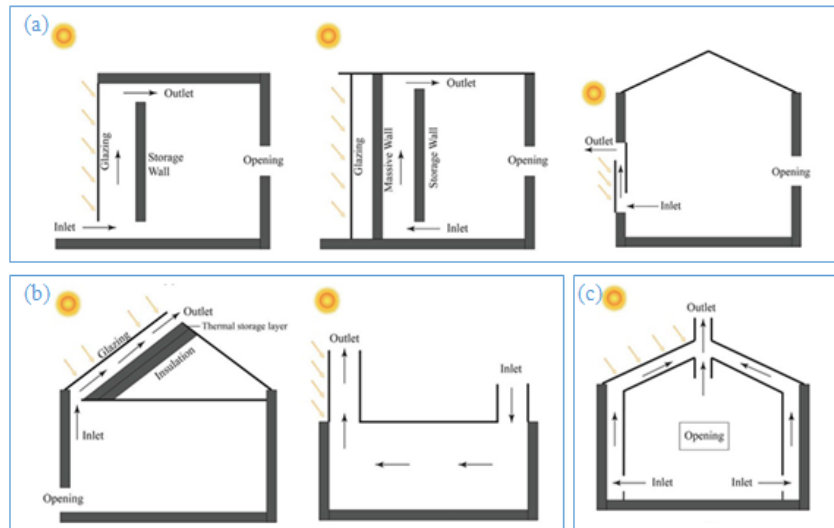


**Figure I. 16:** Eléments de la cheminée solaire.

**4.2. Conceptions et types de la cheminée solaire :**

La cheminée solaire est une démarche d'amélioration la ventilation naturelle des bâtiments basée sur l'énergie solaire passive. Le mécanisme d'entraînement de base du flux d'air à l'intérieur de la cavité de la cheminée est la flottabilité thermique, qui est causée par la variation de la densité de l'air sous le gradient de température entre la pièce intérieure et la cavité de la cheminée (Khanal and Lei 2010). Il faut noter que les cheminées solaires couplées à d'autres systèmes n'étaient pas incluses. On peut voir que trois catégories peuvent être trouvées, implémentées dans le mur, le toit et la fenêtre. Les types de la cheminée solaire sont (Shi, Zhang et al. 2018) :

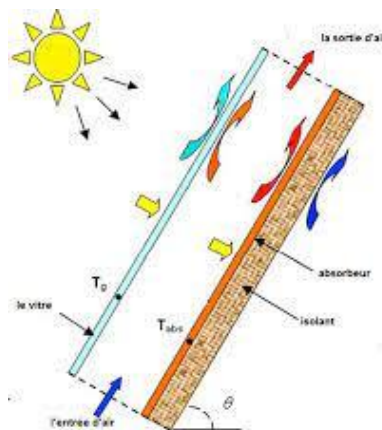
- Cheminée solaire avec mur trombe ;
- Cheminée solaire de toit ;
- Cheminée solaire combinée.



**Figure I. 17 :** Cheminées solaires typiques utilisées dans le bâtiment. Le mur Trombe est représenté par (a) ; la cheminée solaire de toit est représentée par (b) ; et la cheminée solaire combinée est représentée par (c)

**4.3. Fonctions de la cheminée solaire :**

Une cheminée solaire est généralement orientée vers le côté le plus ensoleillé de la construction, elle est constituée d'un absorbeur peint en noir placé derrière un vitrage dont le fonctionnement repose sur l'effet de serre résultant de l'énergie solaire captée par le plan de verre et piégé dans le vide existant entre le vitrage et l'absorbeur. L'air chauffé par la radiation solaire provoque des forces de flottabilité permettant son déplacement vers la partie supérieure de la cheminée. Suivant le bilan de masse, l'air épuisé est évacué de la cheminée et est remplacé par l'air extérieur frais par des ouvertures conçues à cet effet. Le principe de ventilation par cheminée est basé sur l'effet de tirage thermique causé par les différences de densité entre l'intérieur et l'extérieur de la construction. Lors d'une période caniculaire sans vent, seule la cheminée solaire permet d'offrir une ventilation de manière passive.



**Figure I. 18 :** Les principaux composants de la cheminée solaire (AKCHICHE, SETTOU et al.)

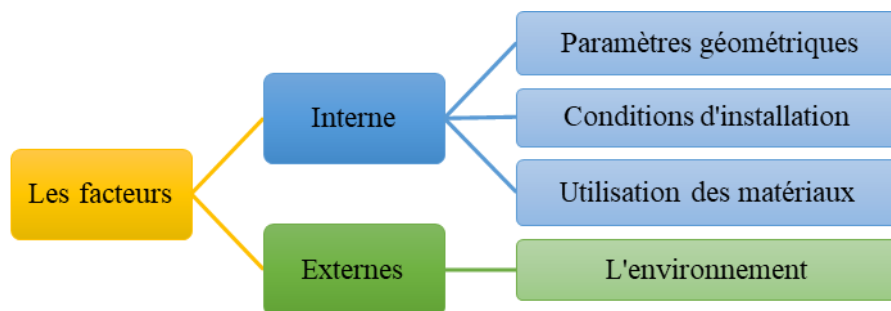


**4.4. Cheminée solaire dans un climat semi-aride :**

Une cheminée solaire peut être une option intéressante dans un climat semi-aride car elle utilise l'énergie solaire pour ventiler un bâtiment ou un espace clos. Cela peut aider à réduire la température et à améliorer l'air intérieur. Toutefois, il est important de tenir compte des variations saisonnières et de l'ensoleillement pour déterminer la conception et l'efficacité de la cheminée solaire. Des experts locaux peuvent aider à évaluer si c'est une option viable pour votre région spécifique.

**4.5. Facteurs influant sur les performances de cheminée solaire :**

Les facteurs qui affectent les performances des cheminées solaires sont également similaires à ceux des capteurs de vent, qui sont influencés par deux facteurs, à savoir les facteurs externes et les facteurs internes. Les facteurs externes comprennent les conditions environnementales, notamment le rayonnement solaire, le vent extérieur et les conditions climatiques sur le site. (Prima and Prima 2019)



**Figure I. 19:** Facteurs influant sur les performances de cheminée solaire.

**4.5.1. Paramètres géométriques :**

**a. La hauteur**

La hauteur d'une cheminée solaire murale correspond à la hauteur verticale de la cavité de la cheminée. Il est certain qu'une hauteur plus élevée peut se traduire par une meilleure performance. Il y a plusieurs raisons à cela. La première est due à la différence de pression augmentée par la hauteur de la cavité de la cheminée, ce qui entraîne une augmentation du taux de ventilation. L'augmentation du gain de chaleur est une autre raison.

**b. La cavité**

La cavité, également appelée largeur de la cheminée ou profondeur du canal dans la littérature, est l'épaisseur du conduit de toit ou la distance entre le mur intérieur et le vitrage extérieur pour les cheminées solaires de toit et de mur, respectivement. (Shi and al 2018) La

performance des deux cheminées solaires est fortement influencée par l'espace entre les cavités. Les expériences menées par (Ong and Chow 2003) ont montré qu'un espace vide de 0,3 m est capable de fournir une ventilation supérieure de 56 % à celle de 0,1 m. (Halldorsson, Byrjalsen et al. 2002). Ont constaté que la modification de la lame d'air (0,1-0,6 m), avec maintien de toutes les autres conditions, provoquait une augmentation régulière du débit d'air avec l'augmentation de la lame d'air.

### **c. Rapport hauteur/espace**

Le rapport hauteur/espace correspond généralement au rapport entre la hauteur de la cavité et l'espace pour les cheminées solaires fixées au mur, ainsi qu'au rapport entre la longueur de la cavité et l'espace d'air pour les cheminées solaires fixées au toit. Les effets du rapport hauteur/entrée d'air sur les performances sont alors déterminés par la combinaison de ces deux paramètres. On sait que le flux d'air augmente lorsque le rapport entre la hauteur de l'absorbeur et la lame d'air est plus important (Jianliu et Weihua 2013). (Montazeri 2011) a montré que pour une surface de captage solaire donnée, il est préférable de concevoir un espace creux plus grand et une hauteur plus petite.

### **d. Les zones d'entrée et de sortie**

Les zones d'entrée et de sortie sont des facteurs déterminants pour l'entrée et la sortie de l'air. Pour une cheminée solaire de toit, les surfaces d'entrée et de sortie de la plupart des bancs d'essai précédents sont égales à la surface de la section horizontale de la cavité. Cela s'explique par le fait que ces bancs d'essai se présentent sous la forme d'une boîte composée de deux groupes de panneaux parallèles (Chen, Bandopadhyay et al. 2003). Dans ces conditions, les influences des zones d'entrée et de sortie sur la performance peuvent être partiellement reflétées par l'espace entre les cavités. Cette tendance ne s'applique pas à certaines cheminées solaires murales dont l'entrée et la sortie sont verticales et situées dans le mur vitré ou la paroi latérale.

## **4.5.2. Conditions d'installation**

### **a. L'angle d'inclinaison**

L'angle d'inclinaison d'une cheminée solaire représente généralement l'angle entre la cavité de la cheminée et l'horizontale, comme dans le cas des cheminées solaires de toit. La cheminée solaire de toit devant être assemblée avec le toit, l'angle d'inclinaison dépend fortement de l'angle d'inclinaison du toit. L'angle d'inclinaison optimal est l'un des principaux facteurs influant sur les performances de la cheminée solaire. (Halldorsson, Byrjalsen et al. 2002) ont observé qu'une cheminée solaire avec un angle d'inclinaison d'environ 45° permet d'obtenir un rendement

supérieur d'environ 45% à celui d'une cheminée verticale lorsque les autres conditions sont identiques, cette différence pouvant s'expliquer par une réduction de la perte de pression.

**b. Les absorbeurs solaires**

L'objectif de l'absorbeur solaire est d'optimiser la récupération de la chaleur du rayonnement solaire. Ainsi, une conception qui maximise cette récupération peut améliorer les performances du système, par exemple en augmentant la surface de la plaque du capteur et en utilisant des matériaux ayant une forte capacité d'absorption et une faible conductivité thermique.



**Figure I. 20:** Principe d'intégration des capteurs solaires plans sur la toiture des habitations.

**4.5.3. Utilisation des matériaux**

**a. Type de vitrage**

Le vitrage est largement utilisé dans les cheminées solaires murales et de toit. Il a pour but d'améliorer la flottabilité thermique à l'intérieur de la cavité par le biais des processus de chauffage. Plusieurs propriétés du vitrage sont importantes pour les performances de la cheminée solaire, telles que la transmissivité, la réflectivité et l'absorptivité. Bien que le double vitrage présente des avantages, il semble être un bon choix pour le chauffage en hiver, mais pas pour le refroidissement en été, compte tenu de son coût. Lorsque le double vitrage a été appliqué au mur Trombe en été, les débits d'air ont augmenté de 10 à 17 % (Gan 1998).

**b. Matériaux de l'absorbeur solaire**

Les matériaux ont été utilisés dans les cheminées solaires pour plusieurs fonctions, telles que l'isolation thermique, le stockage et l'absorption. Pour les cheminées solaires de toit, une couche de stockage thermique avec un matériau à changement de phase sous la cavité est utilisée pour absorber une quantité maximale de chaleur générée par l'air chaud dans la cavité de la cheminée. Le matériau à changement de phase absorbe la chaleur externe en changeant de phase, par exemple en passant de l'état solide à l'état liquide (Raj and Velraj 2010). La couche inférieure d'isolation vise à minimiser la perte de chaleur pour la couche de stockage.

**c. Isolation thermique :**

L'isolation thermique est un aspect important de la conception de la cheminée solaire pour maximiser l'efficacité. L'isolation réduit les pertes de chaleur et permet de conserver la chaleur à l'intérieur de la cheminée solaire pendant une période prolongée. (Yang, Wang et al. 2012) ont indiqué dans leur étude expérimentale que la diminution de la résistance au transfert de chaleur dans la cavité jouait un rôle plus important dans l'amélioration de l'efficacité thermique par rapport aux quatre autres paramètres tels que les propriétés optiques du vitrage, la hauteur de la couche d'air stationnaire, l'émissivité de la surface de la plaque absorbante et la résistance conductrice de la plaque arrière.

**4.5.4. L'environnement**

Les facteurs environnementaux qui ont un impact sur la cheminée solaire comprennent le rayonnement solaire, le vent extérieur et d'autres conditions climatiques. Sur la base des mécanismes de la cheminée solaire, il est clair que le rayonnement solaire élevé peut améliorer ses performances, et le débit volumétrique montre que la puissance augmente de façon proportionnelle au rayonnement solaire. Lors de la conception d'une cheminée solaire, des mesures doivent être prises pour absorber le maximum de rayonnement solaire. Bien que le vent extérieur ait une influence significative sur les performances, la conception d'une cheminée solaire peut se faire sans tenir compte des effets du vent extérieur en raison de son profil aléatoire.

D'autres conditions climatiques, telles que l'emplacement et l'orientation du bâtiment, sont importantes pour la conception d'une cheminée solaire. Le principe de conception est le même que pour le rayonnement solaire : absorber le maximum de chaleur.

**4.6. Amélioration des performances des cheminées solaires :**

Il existe plusieurs façons d'améliorer les performances d'une cheminée solaire :

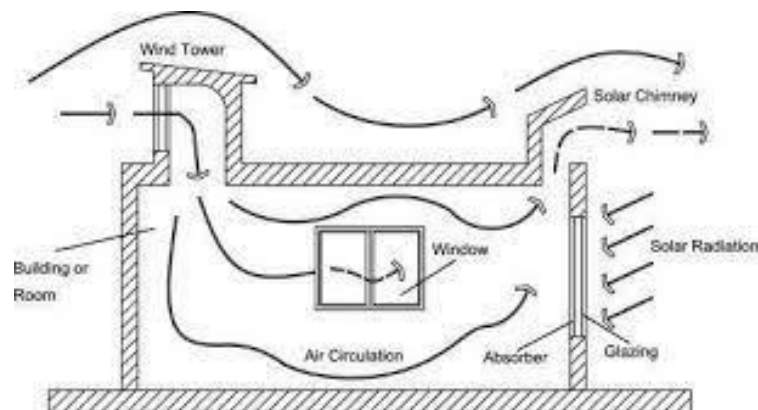
- L'augmentation de la longueur de la base de la cheminée contribue de manière significative à l'augmentation du débit et de la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée.
- Les formes trapézoïdales et triangulaires se rétrécissent progressivement, ce qui entraîne un stockage de la chaleur au centre de la cheminée.
- Le réchauffement à la sortie de la cheminée dépend de la surface de captation du flux radiatif, et il est donc fonction de la forme de la cheminée.
- La température de l'air passant par la cheminée décroît avec l'augmentation du débit d'air à l'entrée de la cheminée.

- L'augmentation de la température du vitrage et de l'absorbeur et du gradient de température entre eux est directement liée à l'augmentation du rayonnement solaire.
- La longueur de la base de la cheminée est un facteur dimensionnel qui influence fortement sur le temps de renouvellement de l'air.

**5. Le capteur de vent intégré avec la cheminée solaire :**

Dans la théorie de la ventilation il y a deux forces principales capables de conduire le vent, à savoir la pression du vent et la flottabilité. Un effort pour améliorer la performance de ventilation passive des capteurs de vent est d'intégrer avec plusieurs technologies de refroidissement et d'autres stratégies sous forme d'éléments de conception architecturale, tels que les cours, les toits en dôme, la ventilation transversale et une cheminée solaire.

Pour maximiser la performance du capteur de vent et l'ajuster aux conditions climatiques tropicales humides urbaines qui ont de faibles vitesses de vent, il peut combiner des capteurs de vent avec des cheminées solaires (cheminée solaire). Il est possible d'augmenter la force du vent en utilisant les effets de flottabilité causés par les différences de température (Zhai, Song et al. 2011). Des recherches sur les capteurs de vent combinés avec la cheminée solaire ont été effectuées par des études antérieures de diverses conditions climatiques. Lorsque les résultats de l'étude indiquent que la combinaison des deux rend la ventilation passive plus efficace, ce qui peut augmenter le débit d'air (Shi, Zhang et al. 2018).



**Figure I. 21:** Systèmes de capteur du vent et de cheminée solaire (Shi, Zhang et al. 2018).

**6. Synthèse bibliographique :**

**6.5. Cheminée solaire :**

**6.5.1. Angle d'inclinaison :**

(Imran, A. A. et al, 2015) Ont proposé un modèle expérimental et numérique d'une cheminée solaire pour déterminer ses performances en fonction de différentes caractéristiques techniques dans des conditions environnementales en Iraq. Le flux turbulent 2D stationnaire est

développé par convection naturelle à l'intérieur d'une cheminée solaire inclinée. Ce flux a été étudié numériquement pour des angles d'inclinaison de  $15^\circ$  à  $60^\circ$ , un flux de chaleur solaire de  $150-750 \text{ W/m}^2$  et des épaisseurs de cheminée (50, 100 et 150) mm. Les résultats du modèle numérique ont montré que l'angle d'inclinaison optimal de la cheminée était de  $60^\circ$  pour obtenir le taux de ventilation maximal. À cet angle d'inclinaison, le taux de ventilation était environ 20 % plus élevés qu'à  $45^\circ$ .

(Saifi, N. et al, 2012) Ont réalisé une étude expérimentale et numérique d'une cheminée solaire inclinée. L'étude expérimentale porte sur les différentes inclinaisons de la cheminée ( $30^\circ$  et  $45^\circ$ ). Le rendement thermique optimal est obtenu avec un angle d'inclinaison de la cheminée de  $45^\circ$ . Cette étude a modifié l'angle de l'inclinaison de la cheminée solaire entre  $30^\circ$  et  $90^\circ$ . Le débit maximal a été observé à 45 degrés.

(Harris, D. et al, 2007) ont utilisé la modélisation CFD pour étudier l'impact de l'angle d'inclinaison sur les performances des cheminées solaires. Ils ont constaté que l'inclinaison affecte de manière considérable à la performance des cheminées solaires. Une inclinaison de  $67,5^\circ$  est optimale pour un flux d'air maximal, ce qui donne un rendement supérieur de 11 % à celui d'une cheminée verticale.

### 6.5.2. La Hauteur :

(Hirunlabh, J. et al. 1999) ont réalisés une étude sur l'évacuation de la chaleur résidentielle à Bangkok en utilisant un mur solaire métallique (MSW). Ce mur solaire métallique est constitué d'une couverture en verre, d'une lame d'air, d'un panneau métallique noir, d'une isolation en microfibres et d'un contreplaqué. Les résultats de l'étude ont démontré que, avec une hauteur de 1 mètre, le mur solaire métallique peut permettre une ventilation naturelle optimale et saine.

(AboulNaga, M. et al, 2000) ont présenté une étude théorique des cheminées solaires combinées mur-toit pour améliorer la ventilation pendant la nuit dans les bâtiments. Un programme informatique a été utilisé pour l'étude paramétrique afin de trouver la configuration optimale de la cheminée mur-toit. On a constaté qu'une cheminée solaire de toit seule peut induire un débit d'air de  $0,81 \text{ m}^3/\text{s}$  lorsque le rayonnement solaire incident moyen de  $850 \text{ W/m}^2$ .

### 6.5.3. La Cavité d'aire :

( Hirunlabh, J, 1999) ont mené une étude sur l'évacuation de la chaleur des habitations en utilisant un mur solaire métallique (MSW) à Bangkok. Le mur solaire métallique se compose d'un couvercle en verre, une lame d'air, une plaque métallique noire et un isolant en microfibre et en contreplaqué. Il a été constaté que le mur solaire métallique avec une lame d'air de 14,5 cm et une surface de  $2 \text{ m}^2$  produisait le débit massique d'air le plus élevé, d'environ 0,01-0,02 kg/s.

(Ong, K. et al, 2003) ont proposé un modèle mathématique pour la cheminée solaire. Une étude expérimentale a été menée sur un modèle physique pour une cavité d'aire comprise entre 0,1 et 0,3 m. Les essais ont été réalisés dans des conditions extérieures. Un accord qualitatif plus satisfaisant a été obtenu entre les résultats expérimentaux et théoriques pour le flux d'air et la progression de la température intérieure de la cavité la plus large de 0,3 m d'aire de 0,3 m entre les valeurs d'intensité de rayonnement de 200 à 650 W/m<sup>2</sup>. Aucun flux d'air inverse n'a été observé jusqu'à une distance de 0,3 m.

#### 6.5.4. Le vitrage

(Harris, D. et al, 2007) ont développé une cheminée solaire pour assurer la ventilation d'un bâtiment. Des techniques de modélisation CFD ont été utilisées pour évaluer l'impact de l'angle d'inclinaison, de la présence d'un double vitrage et de finitions à faible émissivité sur le taux de ventilation induit. Il a été constaté que pour une cheminée orientée vers le sud, le meilleur angle d'inclinaison était de 67,5° par rapport à l'horizontale, ce qui donnait une efficacité supérieure de 11 % à celle d'une cheminée verticale, et qu'une efficacité supérieure de 10 % était obtenue par l'utilisation d'une surface murale à faible émissivité.

(Gan, G. , 1998) ont étudié les performances d'une cheminée solaire vitrée pour la récupération de chaleur dans les bâtiments à ventilation naturelle à l'aide du logiciel CFD. Le taux de ventilation prédit a augmenté avec la température de la paroi de la cheminée. Les effets du gain de chaleur solaire et du type de vitrage ont été étudiés. Il a été démontré que pour maximiser le taux de ventilation lors d'un hiver froid, il faut utiliser un double, ou même un triple vitrage.

#### 6.5.5. L'absorbeur Solaire :

(Lee, K. H. et al, 2009) ont développé un nouveau module pour le programme Energy Plus et l'ont mis en œuvre pour la simulation et la détermination de l'impact énergétique des cheminées thermiques. Ils ont étudié les effets de son absorptivité et ont montré une augmentation de 57 % du débit d'air lorsque l'absorptivité solaire passe de 0,25 à 1,0. Ceci est dû à une élévation de la température superficielle du mur de l'absorbeur dans ces conditions.

(Pillai, P. et al, 1981) ont évalué les effets du vitrage, du flux solaire, de l'émissivité et de l'absorptivité de la surface de l'absorbeur sur les performances du capteur pour différentes températures de la plaque (60°C et 100°C). Aux faibles niveaux de flux solaire (200-600 W/m<sup>2</sup>). Les résultats ont montré une relation linéaire entre l'absorption du capteur solaire et l'efficacité avec une absorption supérieure à 0,8.

## 6.6. Capteur de vent :

### 6.6.1. Sections Transversal :

(Elmualim, A. A. et al, 2002) ont étudié l'effet de deux sections transversales (carrée et circulaire) sur les performances du capteur de vent à différentes vitesses et directions du vent. L'étude a effectué des mesures à l'échelle réelle du débit d'air volumétrique, du coefficient de pression et de la vitesse du vent interne obtenu par les systèmes de capteurs de vent contemporains. Les résultats obtenus ont montré que la vitesse et la direction du vent dominant étaient les principaux facteurs affectant le fonctionnement de la ventilation des deux types de capteurs de vent. Il a également été constaté qu'à vitesse de vent externe égale, l'efficacité d'un capteur de vent à quatre côtés et à section circulaire était inférieure à celle d'un capteur à section carrée. L'auteur a conclu que cela était dû aux arêtes vives du capteur de vent carré, qui créaient une large zone de séparation des flux avec un gradient de pression plus élevé à travers le dispositif.

(Gage, S. et al, 2000) ont comparé expérimentalement les performances de ventilation de deux capteurs de vent contemporains à section transversale carrée (quatre côtés) et hexagonale à différentes vitesses et directions du vent. Une maquette à l'échelle 1 :10 des deux configurations de capteurs de vent a été connectée à une salle d'essai située sous la soufflerie. Les résultats obtenus ont montré que la performance de ventilation était plus fiable et plus cohérente pour le capteur de vent à section hexagonale dans les zones où l'angle du vent est variable. Cependant, le capteur de vent à quatre côtés a donné de bons résultats à l'angle d'incidence de l'air de 45° dans les conditions de vent dominant.

(Maneshi, M. M. et al, 2012) ont effectué une analyse numérique pour comparer les performances de ventilation de capteurs de vent modernes à quatre côtés avec des sections transversales carrées et circulaires pour deux directions de vent de 0° et 45°. De même, il a été constaté que le capteur de vent à section transversale carrée était plus efficace à un angle d'incidence de l'air de 45°.

(Farouk, M., 2020) a évalué l'impact de trois formes de coupe transversale différentes, à savoir carrée (quatre côtés), circulaire et hexagonale, sur les performances de ventilation d'un capteur de vent contemporain. Les résultats de la CFD ont montré que l'impact de la variation de la direction du vent sur la ventilation était négligeable pour le capteur de vent hexagonal. En outre, le taux de renouvellement de l'air et la vitesse de l'air intérieur le plus faible ont été observés dans le capteur de vent circulaire.



### 6.6.2. La Hauteur :

(Ghadiri, M. H. et al, 2011) ont utilisé un outil CFD pour évaluer les performances de ventilation du capteur de vent traditionnel dans la région chaude et sèche de Yazd, en Iran. Le modèle de capteur de vent carré à quatre côtés avec différentes hauteurs de 3,5 à 10,5 m a été simulé pour étudier sa nuance sur la vitesse de l'air et les schémas de température à l'intérieur du bâtiment. L'objectif principal de l'étude était de déterminer la hauteur optimale pour les capteurs de vent traditionnels avec une section transversale en forme de H. Les résultats des calculs ont démontré que la performance de ventilation du capteur de vent était considérablement affectée par la hauteur de la tour. L'étude a conclu que la hauteur optimale pour les capteurs de vent traditionnels de la ville de Yazd était de 6 m.

### 6.6.3. Numéro D'ouverture :

(Elmualim A. A., 2006) a examiné un capteur de vent avec une section transversale cylindrique et différents nombres d'ouvertures. Il a divisé la section transversale des capteurs de vent en 2, 4, 6 et 12 sections et a comparé leur efficacité dans des conditions expérimentales. Les résultats de cette expérience indiquent qu'un capteur de vent à deux côtés est le plus performant. D'autre part, plus les ouvertures d'un capteur de vent sont nombreuses, moins les angles du vent ont d'effets sur le débit d'entrée.

(Attia, S.,2009) ont analysé la distribution des flux d'air dans une pièce équipée d'un capteur de vent unilatéral sous différents angles de vent à l'aide d'un test de visualisation de la fumée dans une soufflerie. L'étude a montré l'effet de la position, de la taille et de l'orientation des ouvertures d'entrée et de sortie sur les performances de ventilation de la girouette. Les résultats ont montré qu'un seul capteur de vent fournissait jusqu'à 4 ACH avec un mur de sortie pour un ratio d'ouverture de 0,6 à une vitesse de vent externe de 2 m/s. La configurations avec deux capteurs de vent unilatéraux (au vent et sous le vent) fournissait jusqu'à 5,6 ACH avec un taux d'ouverture de 0,6 à une vitesse extérieure de 2 m/s.

(Ghadiri, M. H. et al. 2013) ont étudié la ventilation transversale induite par le vent dans un bâtiment équipé d'un capteur de vent bilatéral et d'une fenêtre ouvrable dans différentes directions de vent ( $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ). L'effet de plusieurs paramètres de calcul tels que le modèle de turbulence, la taille du domaine et la résolution de la grille a été étudié. Les résultats ont montré que le modèle de turbulence SSG Reynolds Stress fournissait la meilleure concordance avec les données expérimentales de la soufflerie.

(Zarandi, M. M., 2009) a mené une enquête sur le terrain pour étudier la typologie des capteurs de vent traditionnels existants dans les bâtiments résidentiels de Yazd, en Iran. 53 capteurs de vent différents ont été classés en fonction de leur répartition sur le plan du bâtiment

et de la configurations des capteurs de vent rectangulaires avec différentes formes de cloisons internes, notamment X, I, +, H et K. Le travail a également développé trois modèles CFD d'un capteur de vent sélectionné avec différentes formes de cloisons. Les résultats numériques ont indiqué que le capteur de vent avec la forme + des cloisons internes avait montré de meilleures performances en termes d'amélioration du confort interne des habitants.

#### 6.6.4. Les Diffuseurs :

(Elmualim, A. A. 2006) a évalué l'effet de l'intégration d'un capteur de vent commercial avec des amortisseurs et des diffuseurs en utilisant des techniques expérimentales et numériques. Un prototype grandeur nature d'un capteur de vent carré à quatre côtés a été connecté à une salle d'essai montée sous la soufflerie. Le modèle CFD a également été développé pour simuler les distributions de flux d'air autour et à travers le dispositif à une vitesse de vent comprise entre 0 et 6 m/s. Il a été observé que les résultats de la CFD étaient généralement conformes aux mesures effectuées dans la soufflerie. Les résultats obtenus indiquent que l'installation de registres et de diffuseurs a réduit le flux d'air induit à travers le capteur de vent jusqu'à 50 % lorsque la vitesse du vent était comprise entre 1 et 3 m/s. Les capteurs de vent modernes fournissent une ventilation contrôlée en fonction de la température et du dioxyde de carbone, au moyen de registres de contrôle de volume motorisés et de capteurs.

#### 6.7. Capteur de vent et cheminée solaire

(Nouanégué, H. et al. 2008) ont analysé numériquement l'utilisation d'une cheminée solaire en combinaison avec un capteur de vent pendant les périodes de faible vent ou d'absence de vent. L'orientation de l'ouverture supérieure était contre la direction du vent. Par conséquent, la plupart du temps, elle se trouve dans la zone de recirculation. La tour peut être utilisée comme système de stockage d'énergie et comme capteur solaire tout en ayant la fonction de capteur de vent. Les performances de ventilation augmentent en proportion du rapport d'aspect de la tour, en particulier lorsque le nombre de Rayleigh est élevé. L'étude a montré que le rapport d'aspect doit être optimisé dans ce cas pour obtenir les meilleures performances de ventilation.

(Moosavi, L. et al. 2020) se sont appuyés sur une étude numérique et expérimentale d'un système combiné de capteurs de vent et d'une cheminée solaire pour un immeuble de bureaux de deux étages dans un climat chaud et sec. Les résultats obtenus montrent que le système permet d'obtenir environ 9 ACH à l'intérieur du bâtiment. En outre, pendant les heures estivales les plus chargées, les économies d'énergie devraient être de l'ordre de 90 %.

### 6.8. Le capteur à vent associé avec le système de refroidissement par évaporation

(Erell, E. et al. 2008) ont présenté un système de tour de refroidissement par évaporation à plusieurs étages et à tirage vertical. Dans ce système, la pulvérisation d'eau dans la partie supérieure de la tour refroidit l'air ambiant sec. Ensuite, l'air frais, qui est maintenant plus lourd, se déplace vers le bas de la tour et se mélange à d'autres flux d'air dans l'entrée secondaire. Avec d'autres flux d'air dans l'entrée secondaire et le mélange est refroidi par évaporation. En plus En plus de l'analyse théorique, l'article décrit les résultats expérimentaux sur la réduction de la température, la consommation d'eau et la puissance de refroidissement, la consommation d'eau et la puissance frigorifique.

(Janajreh, I. et al. 2017) ont proposé la possibilité d'utiliser un capteur à vent pour assurer le confort des occupants dans le cadre d'un refroidissement Trans évaporatif. Le vent capturé par le capteur à vent est imprégné d'humidité, ce qui a pour effet de réduire la température et d'augmenter le niveau d'humidité. Le vent capturé par le capteur est imprégné d'humidité, ce qui a pour effet de réduire la température et d'augmenter la densité de l'air.

### 7. Conclusion :

L'utilisation de cheminées solaires et de capteurs de vent permet d'améliorer considérablement la ventilation naturelle des bâtiments dans les climats semi-arides. Ces techniques permettent d'améliorer la qualité de l'air intérieur et de réduire l'utilisation des systèmes de ventilation artificielle, ce qui permet d'économiser de l'énergie et de l'argent tout en améliorant le confort et la santé des utilisateurs des bâtiments. Bien qu'il existe des obstacles à l'application de ces techniques, les avantages qu'elles offrent justifient leur utilisation dans de nombreux cas. Il est donc possible de s'appuyer sur ces méthodes naturelles pour améliorer la ventilation des bâtiments dans les régions au climat semi-aride.

# **CHAPTER II**

**ÉTUDE NUMÉRIQUE ET EXPÉRIMENTALE  
DE LA VENTILATION NATURELLE**

## 1. Introduction

La ventilation est cruciale dans la conception et la construction des bâtiments. Elle peut être réalisée par des systèmes naturels ou mécaniques. Cependant, en raison des problèmes environnementaux et de la consommation d'énergie croissante, la ventilation naturelle est réexaminée. L'utilisation de systèmes de ventilation passive efficaces est essentielle pour améliorer la qualité de l'air intérieur et assurer le confort des occupants. Des études expérimentales et numériques ont été réalisées pour évaluer les performances de ces systèmes. Dans notre étude, on a envisagé l'intégration de la tour à vent associée à une cheminée solaire dans une structure et dans le climat semi-aride de la ville d'Ouargla. Un système de refroidissement par évaporation a été installé au niveau du capteur à vent pour fournir un effet de refroidissement supplémentaire. Le système consiste à installer des dispositifs dans le capteur à vent, ce qui permet de réduire la température de l'air qui passe par ce dernier et de fournir un flux d'air frais et rafraîchissant pour le bâtiment. Pour évaluer les performances de ces systèmes, une étude expérimentale a été menée sur la base de la mesure de paramètres physiques. En outre, une étude numérique a été réalisée après avoir obtenu les résultats expérimentaux. Le calcul numérique a été effectué à l'aide du logiciel de simulation ANSYS 2020 R1.

## 2. Procédure expérimentale :

### 2.1. Description cellule :

Dans notre étude, nous avons examiné une cellule de 1 mètre carré avec une hauteur de 80 cm, ses dimensions ont été déterminées par la réduction de la taille d'une chambre standard à l'échelle 1/4. La cellule est équipée d'une petite fenêtre de 39,5 x 24,5 cm<sup>2</sup> et d'une petite porte de 47,5 x 29 cm<sup>2</sup>. Certains paramètres, tels que l'orientation et le matériau de construction, ont été définis pour tous les éléments. Les parois sont constituées de briques creuses avec des enduits intérieurs et extérieurs en mortier. Le plancher et la dalle sont réalisés en béton armé. Une couche isolante sur la surface extérieure en béton de fibres de palmes, d'une épaisseur d'environ 50 mm.



**Figure II. 1:** Descriptions de la cellule.

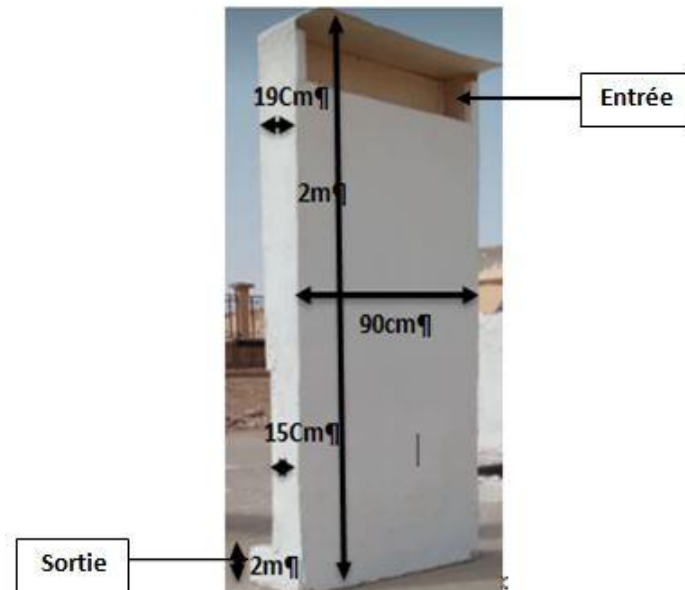
Dans le tableau (II 1), on résume les propriétés thermiques des composants des murs :

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

Parois	Epaisseur (cm)	Conductivité thermique $\lambda$ (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

### 2.1.1. Capteur à vent :

Le capteur à vent a des dimensions de 200 cm de hauteur, 15 cm de largeur et 90 cm de longueur (Figure II.1). Il est en forme de parallélépipède, ses parois sont en bois de 2 mm d'épaisseur et il est recouvert d'une couche d'isolation en polystyrène. Il est ouvert sur la partie supérieure (section d'entrée d'air) orientée vers l'est, d'une dimension de 200 x 800  $mm^2$ , ainsi que sur la partie inférieure (section de sortie d'air), qui mesure 100 x 80  $mm^2$ . La lame d'air à l'intérieur du capteur à vent est d'une épaisseur de 100 $mm$ .



**Figure II. 2:** Capteur de vent.

Une couche de vernis du bois a été appliquée à l'intérieur du capteur de vent pour réduire l'impact de l'humidité sur le bois. Le vernis du bois est un type de matériau anti-humidité qui protège efficacement le bois contre l'humidité. Il est appliqué uniformément sur la surface intérieure du capteur à vent, ce qui permet de réduire l'absorption d'humidité et la détérioration du bois causée par une exposition continue à des conditions météorologiques humides.

### 3. Cheminée solaire :

Les principaux composants de la cheminée solaire sont un boîtier en tôle de fer de dimensions 1 x 92 m. La cheminée solaire est équipée d'une seule couverture transparente en verre d'une épaisseur de 4 mm, ainsi que d'une plaque absorbante mince en acier galvanisé peinte en noir mat, d'une épaisseur de 0,4 mm. Une autre plaque mince en acier galvanisé, d'une épaisseur de 0,4 mm, est placée à l'arrière de l'isolant. La distance entre la couverture transparente et la plaque absorbante est de 10 mm. L'isolation arrière est assurée par deux plaques en polystyrène, l'une ayant une épaisseur de 40 mm et l'autre de 20 mm.

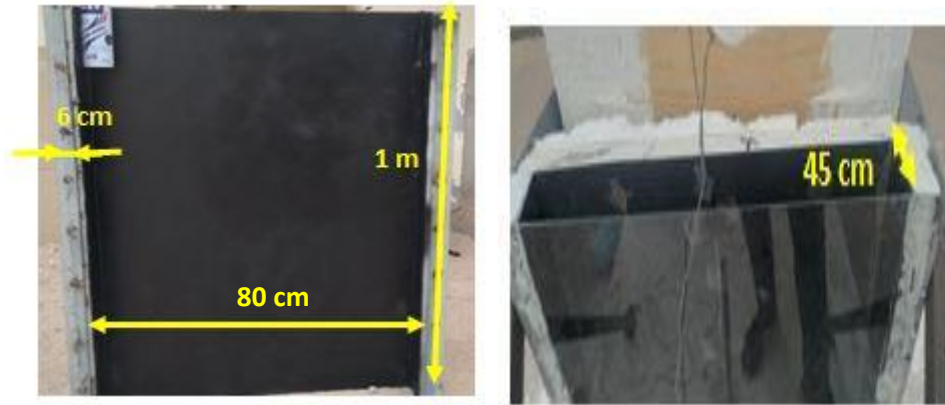


Figure II. 3: Cheminée solaire.

### 3.1. Système de refroidissement par évaporation :

Les capteurs du vent provoquent un refroidissement naturel de deux manières, par déplacement et par évaporation (Maghrabie, Abdelkareem et al. 2022). Le refroidissement par évaporation peut être généré naturellement lorsqu'un flux d'air traverse un milieu humide ou une source d'eau.

A l'intérieur des conduits principaux du capteur à vent, un rideau vertical en tissu et des tuyaux de pulvérisation d'eau conçus pour pulvériser de l'eau sur les rideaux. La quantité d'eau restante est stockée dans un réservoir situé au bas de ce conduit (figure II.4).



Figure II. 4: Système de refroidissement par évaporation.

Un rideau de tissu de forme rectangulaire a été placé à l'intérieur du conduit d'entrée du capteur à vent. Le rideau a été réalisé à partir d'un tissu de jute de 0,60 m de largeur et de 1,60 m de longueur. Le rideau est placé dans le conduit, dans le sens de l'écoulement de l'air. Le rideau est positionné parallèlement au conduit d'entrée et il est installé correctement afin d'assurer une performance optimale de capture du vent.



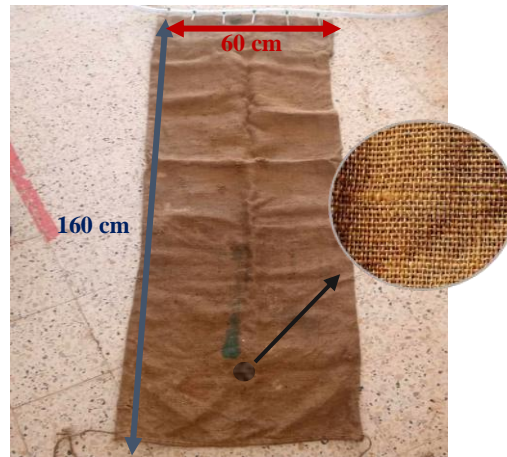


Figure II. 5: Toile de jute.

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

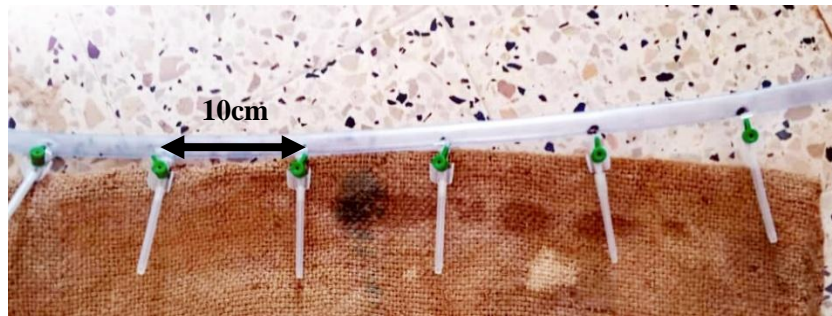
Tableau II. 2: Principales caractéristiques physiques des fibres de jute (Bourahli 2018)

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

Les gicleurs d'eau, qui sont installés sur la partie supérieure du rideau, pour mouiller ce dernier. Les gicleurs ont été fabriqués à l'aide des seringues médicales et d'un tube PVC transparent. Plusieurs étapes ont été suivies pour fixer les seringues médicales au tuyau en plastique. Tout d'abord, un petit trou a été réalisé dans le tuyau. Les seringues ont été collées dans les trous, en utilisant le silicone pour éviter les fuites d'eau et assurer 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 placé avec soin au bas du capteur à vent pour rassembler l'eau qui s'infiltre à travers la toile de jute. Le réservoir est bien positionné pour assurer une accumulation efficace de l'eau. Il est conçu avec la bonne taille et la bonne capacité pour contenir l'eau accumulée et permettre à l'air de pénétrer dans la cellule.

### 3.2. Appareillages de mesures :

Afin d'évaluer les performances du système dans des conditions réelles d'exploitation, et de valider les expressions numériques obtenues, un ensemble d'expériences a été réalisé au cours du mois de mai 2023. Les mesures ont été prises au laboratoire VPRS de l'université Kasdi Merbah-Ouargla.

Les expériences ont été menées pendant une période de climat tempéré avec un ciel dégagé, et les mesures ont été prises entre 8h et 18h avec un intervalle de temps de 30 minutes. Les paramètres physiques de l'air et le système de ventilation ont été mesurés, tels que la température, l'humidité, la vitesse du vent, et le rayonnement solaire, par exemple.

#### 3.2.1. Mesure des températures et Humidité :

Dans notre étude, on essaie de créer un système qui permet de mesurer la température, l'humidité, et de visualiser et contrôler les données à travers un réseau wifi à l'aide d'une application web. Le système est composé avec des capteurs pour mesurer des grandeurs physiques, une carte microcontrôleur Arduino UNO pour l'acquisition et le traitement des données, ainsi que d'un module Wifi pour transmettre les valeurs mesurées à un PC à distance connecté à l'Internet.

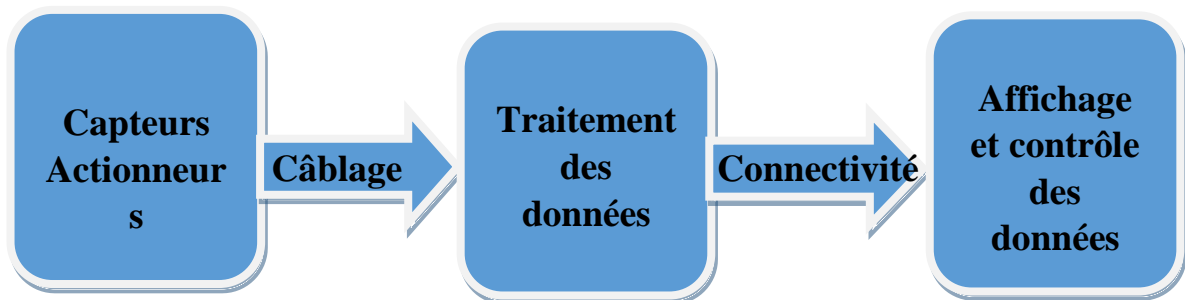


Figure II. 8: Structure générale de système.

Les capteurs sont le premier élément du schéma fonctionnel du système de mesures, qui est en contact direct avec les variables pour produire une sortie des données affichées.



Figure II. 9: Principe des capteurs.

### a. Conception du circuit

Nous avons mis en place un système de mesure de la température et de l'humidité, connecté en ligne, qui utilise le capteur DHT22 et la carte WiFi « ESP8266WiFi » pour effectuer les mesures dans un endroit spécifique et envoyer les résultats au site Thingspeak. La carte ESP8266WiFi sert à se connecter à Internet, à vérifier la connexion et à envoyer les données à Thingspeak. Cette technologie permet d'afficher les lectures en temps réel sur Internet, ainsi que de les analyser et de les visualiser.



Figure II. 10: Composants de circuit électronique.

Les étapes de base pour réaliser ce projet sont les suivantes :

- Connecter le capteur DHT22 à la carte ESP8266WiFi.
- Installer la bibliothèque DHT22 dans le langage de programmation que vous allez utiliser, tel que l'IDE Arduino.
- Programmer ESP8266WiFi pour se connecter à Internet et établir une connexion avec Thingspeak en utilisant la bibliothèque Thingspeak.
- Programmer ESP8266WiFi pour lire les valeurs du capteur DHT22 et les envoyer à Thingspeak.
- Analyser et visualiser les données dans Thingspeak.

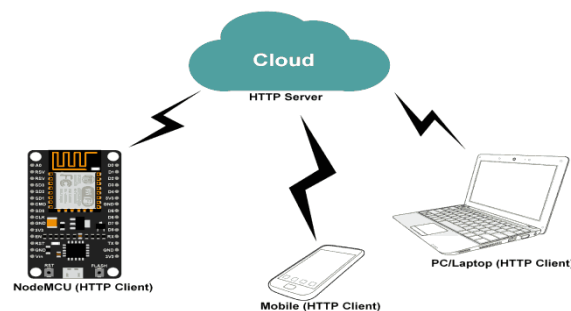


Figure II. 11: Schéma synoptique de système.

### 3.2.2. Mesure du rayonnement solaire :

La mesure du rayonnement solaire a été effectuée à l'aide d'un pyranomètre pour déterminer le rayonnement global reçu sur le plan de la cheminée pendant la journée de l'expérience. Les résultats ont été exprimés en  $W/m^2$  et affichés sur un appareil à affichage numérique.



Figure II. 12: Pyranomètre à affichage numérique.

### 3.2.3. 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.

### 3.3. L'emplacement des capteurs :

Pour étudier le comportement de l'écoulement de l'air dans le prototype, les distributions de la température et de la vitesse de l'air, ainsi que de l'humidité, ont été contrôlées à intervalles d'une demi-heure. La figure montre la disposition des capteurs pour les différents cas, comprenant les capteurs de température et d'humidité.

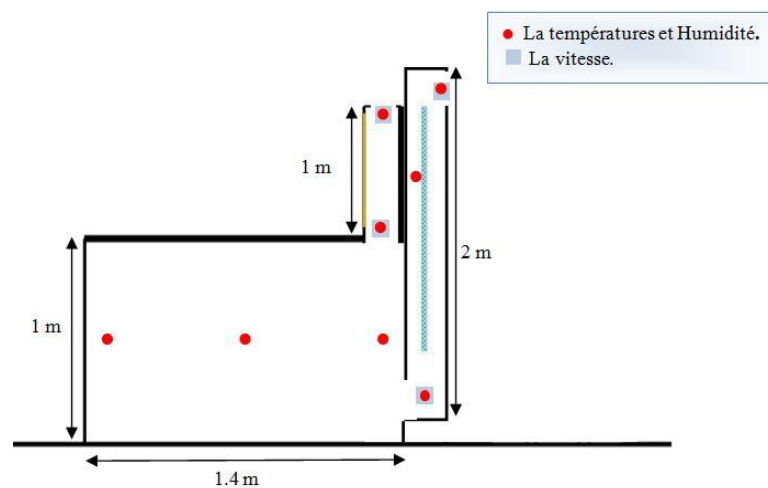


Figure II. 14: L'emplacement des captures de vitesse, température et humidité.

## 4. Partie numérique :

### 4.1. Le modèle physique :

La ventilation dans ce prototype est assurée par une cheminée solaire couplée avec un capteur de vent. Les deux systèmes sont séparés par un isolant en polystyrène et une couche d'air. Le système de refroidissement par évaporation est intégré à l'intérieur du capteur de vent. Il fonctionne en fournissant une source humide, telle que des dispositifs d'évaporation réguliers, à l'intérieur du capteur de vent. Lorsque la source humide s'évapore, la chaleur est extraite de l'air ambiant, ce qui refroidit l'air circulant à l'intérieur du prototype. La source humide est alimentée par un système d'approvisionnement en eau indépendant. Lorsque le flux d'air traverse un milieu

humide ou une source d'eau, le refroidissement naturel est assuré à l'intérieur du capteur à vent. Ce concept fonctionne par l'absorption d'une quantité relativement importante de vapeur d'eau par l'air passant près de la surface mouillée.

Cette action entraîne une baisse de la température et une augmentation de la densité de l'air, ce qui se traduit par un affaissement.

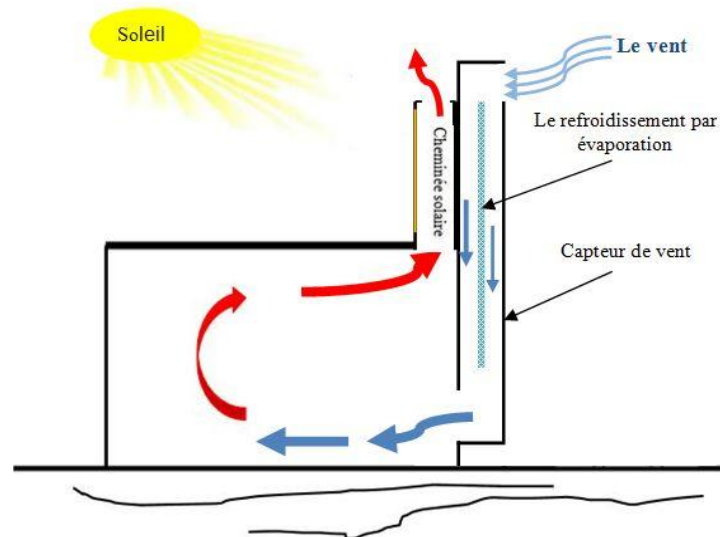


Figure II. 15: Modèle physique

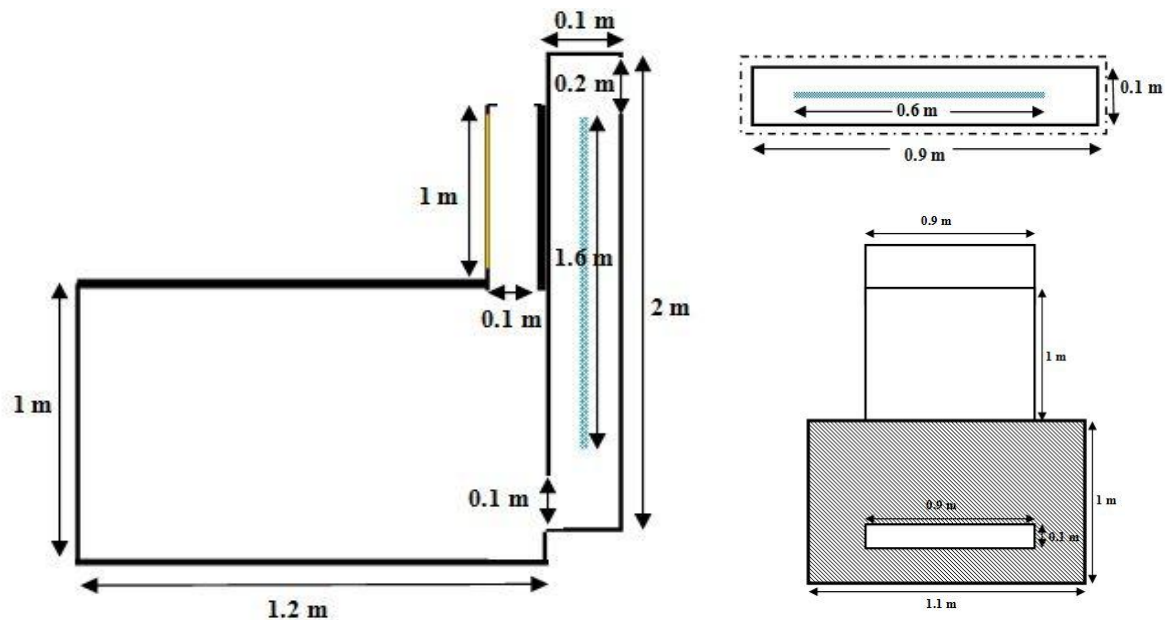


Figure II. 16: Emplacement du système de refroidissement par évaporation.

#### 4.2. Hypothèses de simplification pour une modélisation plus pratique :

Pour rendre la description physique plus accessible, il est nécessaire de simplifier certains aspects et de formuler plusieurs hypothèses afin de faciliter les calculs. Dans cette étude, nous avons choisi un domaine tridimensionnel et nous avons établi les hypothèses suivantes :

- L'écoulement est tridimensionnel.
- L'écoulement permanent.
- L'écoulement de l'air est turbulent.
- Fluide prenant en compte (air humide) : mélange de deux gaz : l'air sec et vapeur d'eau.
- Mélange : fluide newtonien incompressible
- Il n'y a pas de réaction chimique entre les constituants du mélange.
- Capacité thermique spécifique du mélange : formulation de la loi des mélanges, basée sur la fraction de masse moyenne des deux espèces (air et vapeur d'eau)
- L'absorbeur et le verre sont toujours parallèles.

#### 4.3. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites désignent les conditions imposées à la frontière externe du domaine étudié. Elles sont nécessaires pour assurer la bonne résolution du problème mathématique. Les conditions aux limites se présentent sous trois formes : entrée, sortie et paroi.

- À l'entrée du système, les conditions sont identiques à celles de l'entrée du capteur de vent. La condition est fixée et correspond à la vitesse du vent. Elle est de type Dirichlet, c'est-à-dire qu'elle fixe la valeur de la variable à l'entrée.

- La cheminée solaire est soumise à trois conditions limites : absorbant, vitre et de sortie. Pour les parois solides, les conditions limites sont traitées en utilisant la méthode de la DTRM au niveau des parois. Le flux de chaleur radiatif incident est obtenu en intégrant l'intensité du rayonnement atteignant un point de la surface de la paroi. ANSYS FLUENT incorpore ce flux de chaleur radiatif dans la prédiction de la température de surface de la paroi. Le logiciel ANSYS FLUENT propose une option permettant d'utiliser des températures différentes pour le rayonnement, ce qui peut être utile lorsque la température à l'extérieur de l'entrée ou de la sortie diffère de celle de l'enceinte.

La sortie de la cheminée solaire est fixée à la pression atmosphérique.

- Les autres parois sont considérées comme adiabatiques, ce qui signifie qu'elles ne présentent pas d'échange thermique avec leur environnement.

Ces conditions aux limites sont nécessaires pour définir complètement le problème et permettre la résolution mathématique adéquate.

#### 4.4. 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.

##### 4.4.1. Equation de continuité

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

##### 4.4.2. Equation de conservation de quantité de mouvement

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

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

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

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 ;
- $\mu_{eff}$  : viscosité dynamique effective.
- $S_{Mx}, S_{My}$  et  $S_{Mz}$  Sont les composantes x, y et z des forces corporelles

##### 4.4.3. Equation de conservation de l'énergie

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

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).

#### 4.5. L'approximation de Boussinesq

L'approximation de Boussinesq est une hypothèse simplificatrice couramment utilisée en mécanique des fluides pour modéliser le comportement des fluides dans lesquels la densité varie avec la température. Cette approximation est particulièrement utile pour les problèmes de



convection thermique, où les différences de densité causées par les variations de température conduisent à des mouvements de fluide.

L'hypothèse de Boussinesq postule que la variation de densité du fluide avec la température est faible, de sorte que la densité peut être considérée comme constante, sauf dans les termes impliquant la gravité dans les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement.

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

- $\rho_0$  : densité du flux (constante) ;
- $T_0$  est la température de fonctionnement ;
- $\beta$  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 (Niktash 2016):

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

#### 4.6. 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 :

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

Équation du taux de dissipation d'énergie  $\epsilon$  :

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

- $G_k$  : indique source d'énergie cinétique turbulente attribuée à gradient de vitesse moyenne ;
- $G_b$  : La source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité ;
- $\alpha_k$  et  $\alpha_\epsilon$  : sont les coefficients de turbulents. Nombre de Prandtl avec  $C_{1\epsilon}$ ,  $C_{2\epsilon}$  et  $C_{3\epsilon}$  représentant les constantes du modèle empirique. (Niktasha 2016)
- $G_k$  : indique source d'énergie cinétique turbulente attribuée à gradient de vitesse moyenne ;
- $G_b$  : La source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité ;
- $\alpha_k$  et  $\alpha_\epsilon$  : sont les coefficients de turbulents. Nombre de Prandtl avec  $C_{1\epsilon}$ ,  $C_{2\epsilon}$  et  $C_{3\epsilon}$  représentant les constantes du modèle empirique. (Niktasha 2016)

Tableau II. 3: constantes de ce modèle k epsilon

$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	$C_{\mu}$	$\sigma_k$	$\sigma_\epsilon$
1.44	1.92	0.09	1.00	1.3

#### 4.7. 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 :

$Y_{H_2O}$ : La concentration de vapeur d'eau

$S_{H_2O}$ : Le terme source de vapeur d'eau dû à l'évaporation.

$D_{H_2O}$ : 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.

$\mu_t$ : La viscosité turbulente.

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

4.8. Taux de changement d'air :

Le taux de changement de l'air est un facteur important pour évaluer l'efficacité de la ventilation de la distribution d'air. Le renouvellement d'air par heure (ACH) est exprimé comme le débit d'air volumétrique à travers l'espace divisé par le volume de l'espace, ce qui permet d'obtenir le nombre de fois où l'air est présent dans la pièce.

Dans de nombreux systèmes de distribution d'air, l'air n'est ni uniforme ni parfaitement mélangé. Le pourcentage réel d'air échangé dans une enceinte au fil du temps dépend du débit d'air de l'enceinte et des méthodes de ventilation utilisées. Dans un scénario de ventilation bien mélangée, environ 63,2 % de l'air sera échangé après une heure avec un taux de changement d'air (ACH) de 1. Pour atteindre l'équilibre de pression, la quantité d'air qui quitte l'espace doit être égale à celle qui entre dans l'espace (Bearg 1993)

La relation définissant le taux de changement d'air est la suivante :

$$ACH = \frac{3600Q}{V} \tag{II.13}$$

- **Q**: Débit volumétrique d'air en mètres cubes par seconde.
- **V**: Volume d'espace en mètres cubes.

Les facteurs influençant la détermination de l'ACH pour les systèmes de ventilation naturelle dépendent de la cheminée solaire et du capteur de vent, de l'environnement extérieur, de l'utilisation des matériaux, des conditions d'installation, des paramètres techniques de la cheminée, de capteur de vent et de la pièce, ainsi que du comportement des occupants (figure II.16).

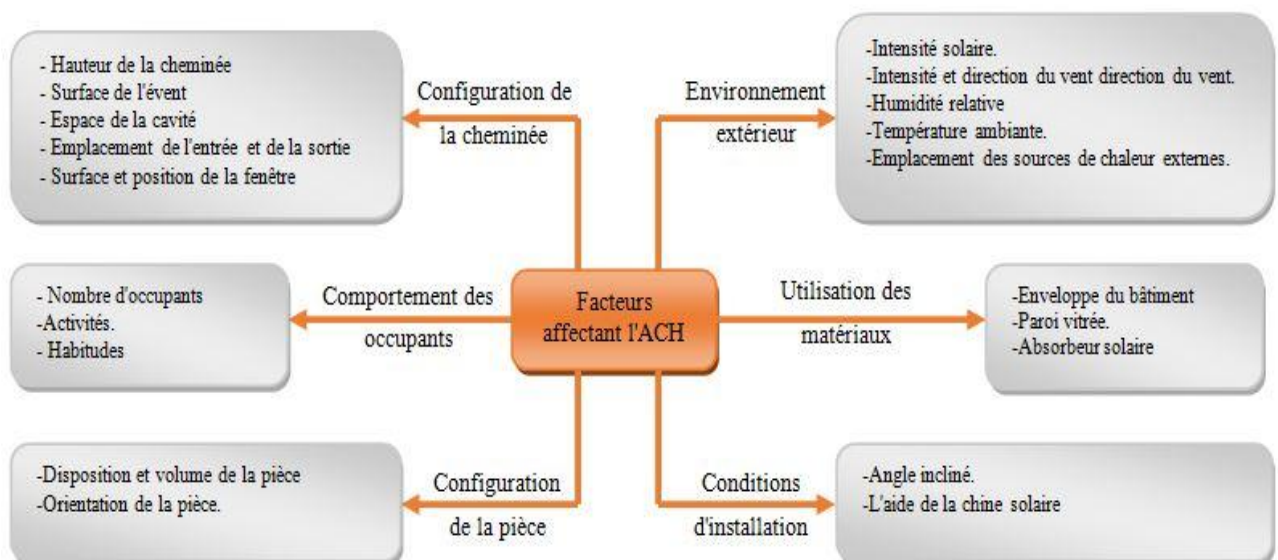


Figure II. 17: Facteurs influençant l'ACH.

## 5. Les expressions des paramètres physiques de l'air

Tableau II. 4: Les paramètres physiques de l'air

Désignation	Expression
Température moyenne 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.	$C_p = [1.007 + 0.00004(T_m - 300)] \times 10^3$

## 6. Humidité d'air :

L'humidité se réfère à la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. On distingue trois principales mesures de l'humidité : l'humidité absolue, l'humidité relative et l'humidité spécifique. L'humidité relative (HR) est calculée en comparant la masse de vapeur d'eau présente dans un volume donné d'air humide à une certaine température, avec la masse de vapeur d'eau contenue dans le même volume d'air saturé à la même température (J. Nayak et al, 2006). L'humidité relative est exprimée en pourcentage et ne possède pas d'unité spécifique.

Le diagramme de Carrier, également connu sous le nom de diagramme de l'air humide (DAH) ou diagramme psychrométrique, est utilisé pour représenter visuellement les principales propriétés physiques et thermodynamiques de l'air humide à une pression donnée. Il est considéré comme un outil essentiel dans les domaines de la réfrigération et de la climatisation, car ce diagramme permet de connaître les propriétés de l'air qui est transformé, en évitant les calculs les plus compliqués.

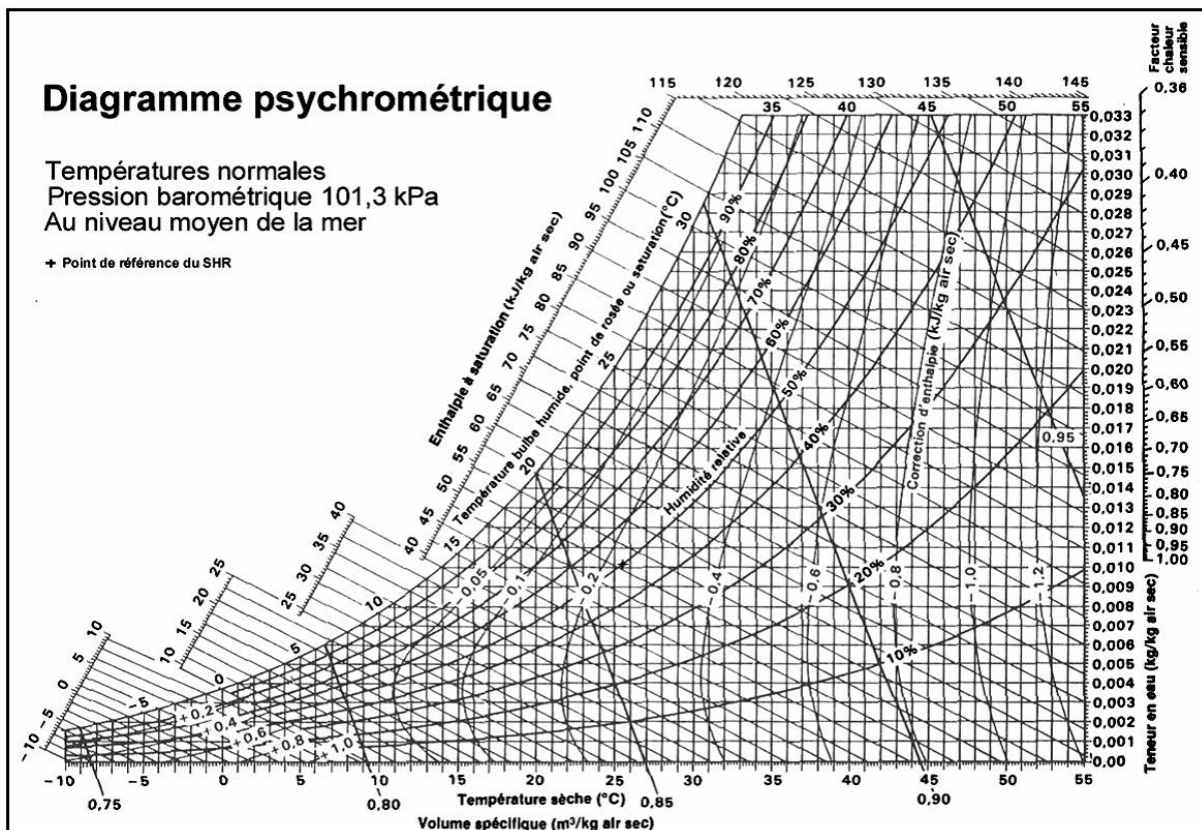


Figure II. 18: Diagramme psychrométrique.

Pour déterminer les caractéristiques de l'air humide, nous avons utilisé le logiciel de diagramme psychrométrique AntiSecos-V1.20. Ce logiciel nous permet de visualiser rapidement et facilement la température et l'humidité de l'air sur un diagramme psychrométrique.

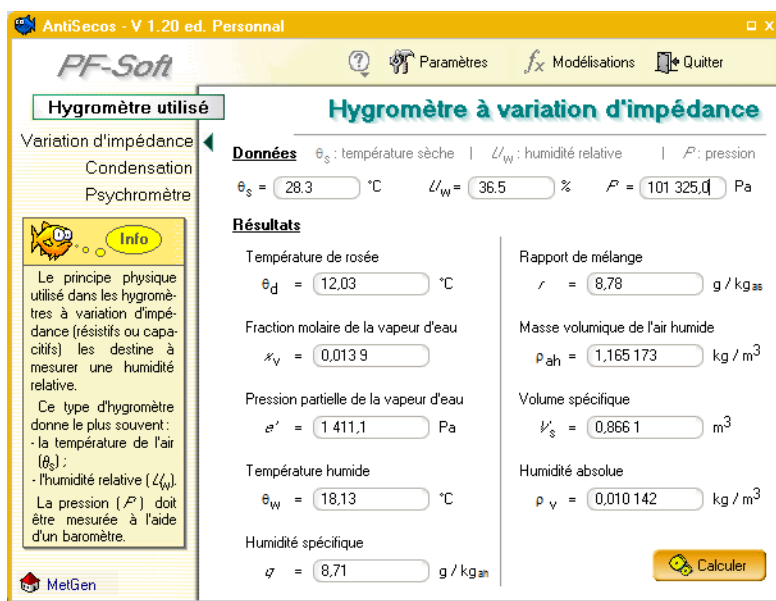


Figure II. 19: Logiciel de diagramme psychrométrique AntiSecos-V1.20.

### 7. Simulation de la dynamique des fluides numérique (CFD) :

La simulation numérique a été réalisée à l'aide du logiciel ANSYS 2020 R1, appliqué aux équations de Navier-Stokes avec moyenne de Reynolds (RANS). Le modèle de turbulence k-ε (standard) a été utilisé dans un domaine tridimensionnel. Les équations principales ont été résolues à l'aide de la méthode des volumes finis pour les écoulements turbulents basés sur le modèle k-ε. La méthode a été combinée avec l'algorithme de couplage vitesse-pression pour les équations liées à la pression (SIMPLE) à l'aide d'un schéma de vent ascendant du premier ordre.

### 8. Choix du maillage :

La précision nécessaire à la résolution d'un problème dépend du nombre de cellules utilisées. Le maillage doit être serré dans toutes les zones où les variables présentent de forts gradients, mais surtout au voisinage des parois. Dans le but de sélectionner un maillage optimal pour obtenir des résultats numériques acceptables, on fait varier le nombre de cellules et par la suite il est nécessaire d'observer l'évolution des résidus en fonction du nombre d'itérations. Le critère de convergence est constitué par les écarts relatifs entre les débits à l'entrée et à la sortie du modèle.

**Tableau II. 5:** Différence de débit massique entrant et sortant du modèle et le nombre des itérations.

Taille du maillage (cm)	Nombre d'itérations	Différence relative de débit massique de l'air entrant et sortant
0.75	171	3.438139E-06
1	147	2.935097E-07
1.25	148	1.081675E-06
1.5	139	1.068647E-06

On choisit le maillage qui donne une différence entre le débit massique entrant et sortant de la cheminée avec un minimum d'itérations (minimisation du temps de calcul), après les calculs précédents, on choisit un maillage irrégulier, raffiné au niveau des parois.

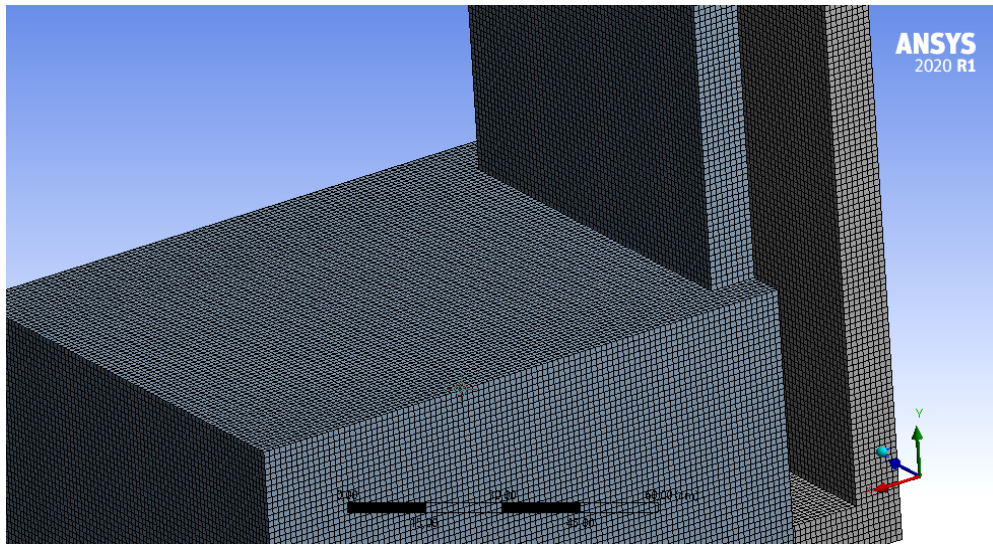


Figure II. 20: Maillage du modèle.

### 9. Organigramme de calcul

L'organigramme de notre modèle est présenté ci-dessous

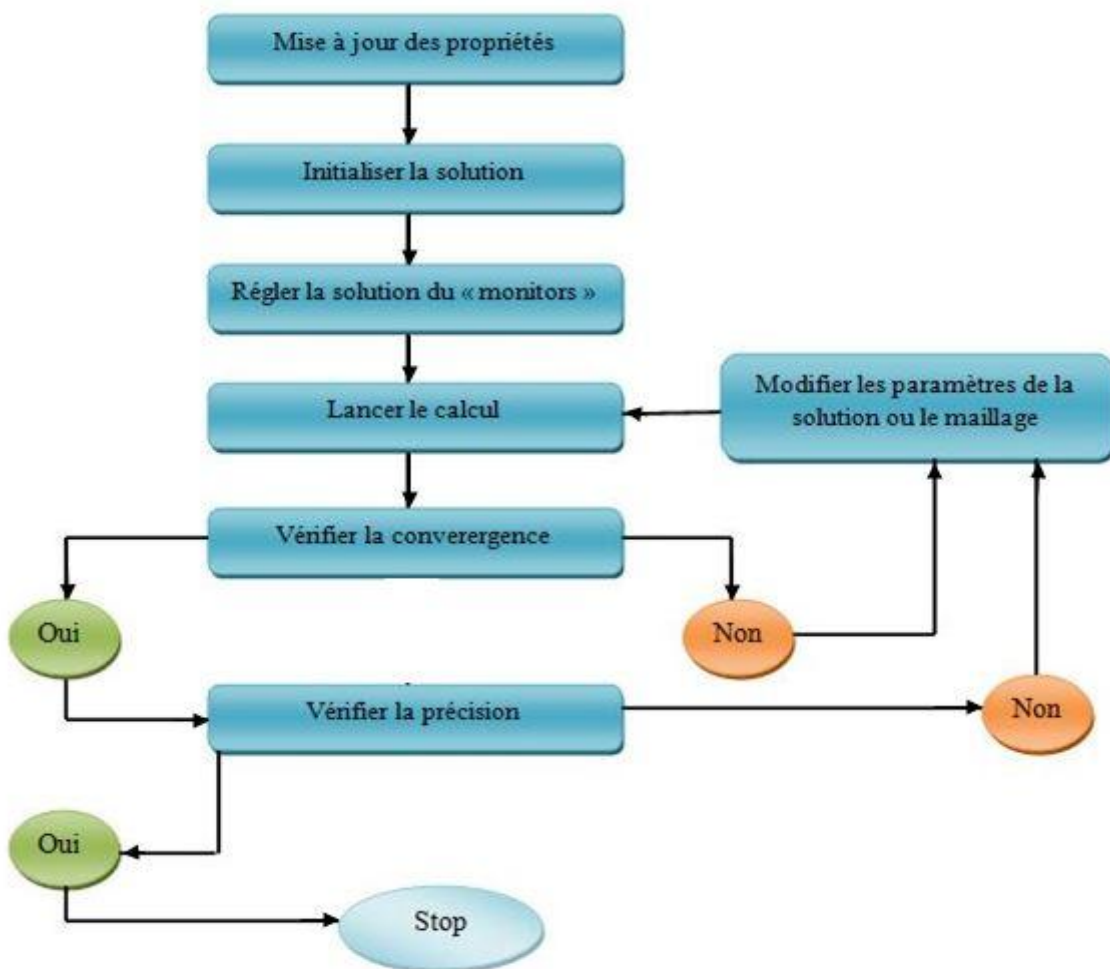


Figure II.21: Organigramme de calcul.

**10. Conclusion :**

La présente étude a permis d'introduire concrètement l'intégration de la ventilation naturelle à l'aide d'une méthode expérimentale. Les données expérimentales nous permettront d'effectuer une analyse plus approfondie de notre système expérimental et de valider le modèle numérique. La conception d'un système de refroidissement de l'air par évaporation intégrée à un système de capteur à vent a été développée. Les équations différentielles régissant le phénomène étudié ont été écrites et seront traitées par le code Fluent avec le choix du modèle de turbulence standard k- $\epsilon$ . Comme indiqué précédemment, l'utilisation de la CFD dans ce chapitre a été réalisée uniquement dans le but de vérifier la conception et de montrer le passage de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de tous les systèmes.



# **CHAPITER III**

## **RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

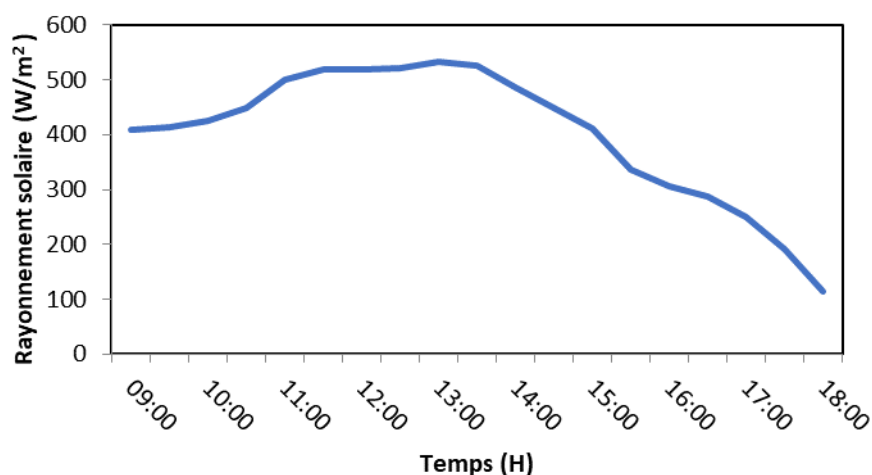
## 1. Introduction

Les capteurs du vent sont l'un des plus anciens systèmes de refroidissement utilisés pour assurer une ventilation naturelle suffisante dans les bâtiments. Ils sont couramment construits dans la majorité des régions chaudes et sèches ou humides. Le capteur à vent fonctionne sous l'influence de deux forces motrices : la force de flottabilité, qui est due à la différence de température, et la force des vents extérieurs. Dans les capteurs du vent traditionnel, l'air passant sur des surfaces d'eau, comme les pots poreux, les étangs, toile de jute mouillée, pour améliorer le refroidissement naturel et la climatisation. Ces systèmes conservent un équilibre entre les deux paramètres importants que sont le refroidissement par évaporation et la ventilation. Cette étude propose un capteur du vent avec une seule ouverture. Les performances du système développé, basé sur un capteur à vent traditionnel amélioré par un système de refroidissement par évaporation et une cheminée solaire, ont été évaluées. Afin d'évaluer les performances du système dans des conditions de fonctionnement réelles, une série d'expériences a été réalisée dans les conditions climatiques de la ville d'Ouargla. Des modèles de calcul ont été développés en se basant sur les équations de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie thermique. Dans ces modèles de calcul, les données expérimentales sont également utilisées pour valider les résultats obtenus par la simulation numérique.

## 2. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux :

### 2.1. Variation du rayonnement global :

La figure (III.1) présente la variation de rayonnement globale en fonction du temps.

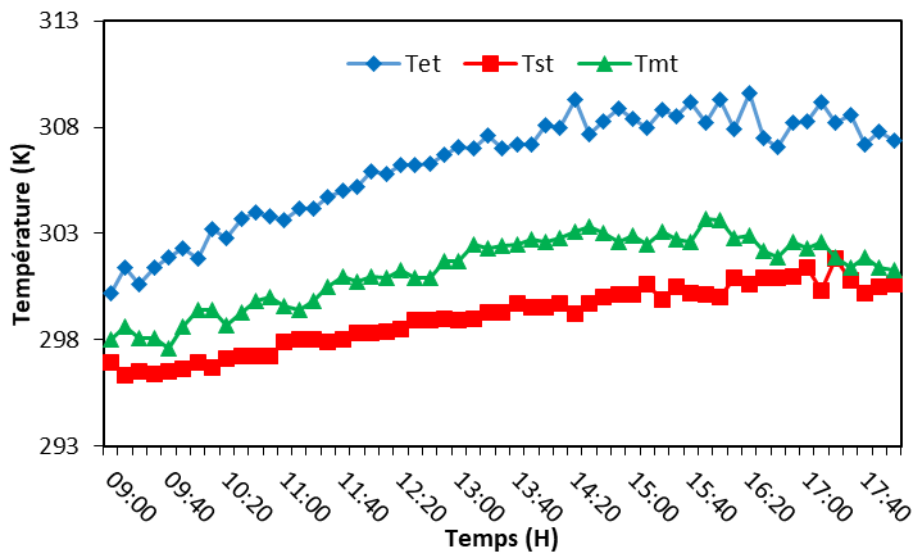


**Figure III. 1:** Variation de rayonnement en fonction du temps.

Les mesures ont été effectuées au cours d'une journée claire correspondant au (11/05/2023), la courbe de variation du rayonnement solaire en fonction du temps prend une forme Gaussienne, avec une valeur maximale de rayonnement de  $534 \text{ W/m}^2$  à 13h00 et une valeur minimale de  $114 \text{ W/m}^2$  à 18h00, à la fin des mesures.

### 2.2. Évolution de la température à l'intérieur du capteur à vent

La figure (III.2) présente la variation de différentes températures à l'intérieur du capteur à vent en fonction du temps au cours de la journée du 11 mai 2023.



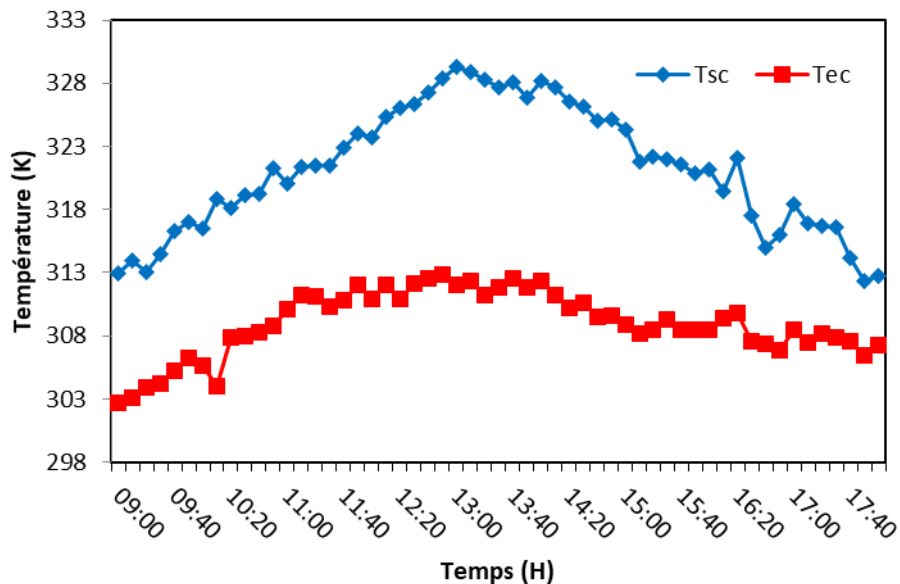
**Figure III. 2:** Variation des différentes températures à l'intérieur du capteur de vent en fonction du temps.

La figure (III.2) indique que les courbes de température dans les trois endroits choisis pour faire les mesures ont presque la même forme. Une augmentation des températures a été observée de la période de 09h00 à 17h00, pour l'entrée du capteur à vent, sa valeur à 9h00 est égale à 300.2 K, et la valeur maximale de la température au même endroit atteint 309.3K à 14h00. Pour la période entre 14h20 et 17h10, ces valeurs ont continué à augmenter par petites valeurs jusqu'à atteindre 309.2K à 17h10. Cela est dû au mur du bâtiment adjacent au prototype expérimental, celui-ci a toujours été exposé au rayonnement solaire. Le mur a absorbé le rayonnement solaire et il l'a stocké sous forme d'énergie thermique pendant la période entre 9h00 du matin et 14h00 de l'après-midi. Quand l'intensité du rayonnement solaire et la température ambiante diminuent, le mur dégage une certaine quantité de chaleur, ce qui provoque une faible augmentation de la température de l'air à l'entrée de la tour. La température de l'air à l'intérieur du capteur à vent a atteint 302.6°C et 302.3 °C pour la période de 14h0à 17h00. On constate que la température diminue significativement après que l'air a traversé au contact avec la toile de

jute mouillée, la différence entre la température à l'entrée et au milieu du capteur à vent est de 2.4 °C à 10h00 et de 6.7 °C à 16h20. La température a continué à décroître, pour atteindre à la sortie du capteur à vent de 26.5 à 14h00. L'écart de température entre l'entrée et la sortie du capteur à vent est maximal à 14h00, où il a passé 10°C. Le passage lent de l'air à travers la toile de jute mouillée lui permet de prendre de l'humidité et par conséquent de parvenir à la température la plus basse possible.

**2.3. Variation des températures à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire :**

Le rayonnement solaire transmis dans la cheminée solaire provoque une différence de température entre la vitre et l'absorbeur, ce qui entraîne un écart de température entre l'entrée et la sortie de la cheminée solaire. Ceci est illustré par la figure (III.3).



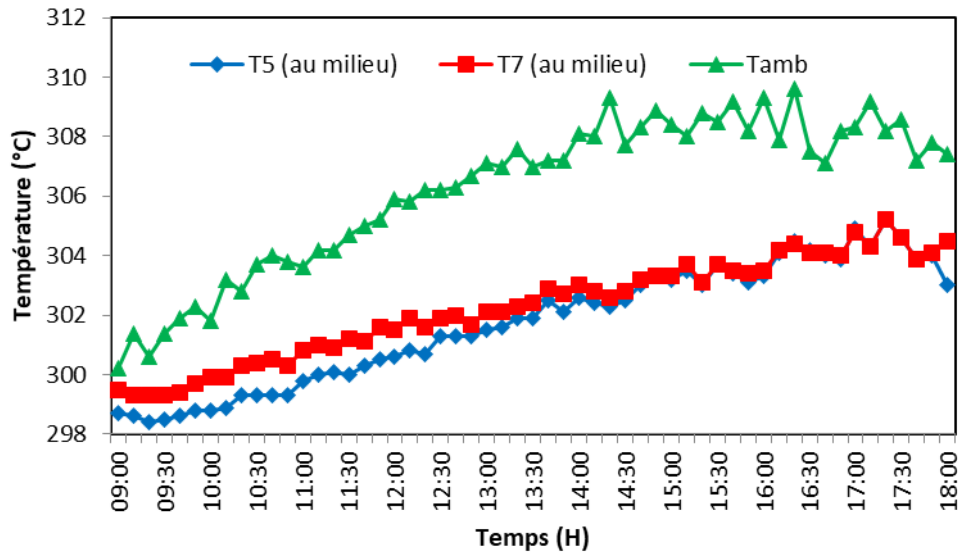
**Figure III. 3:** Variation des différentes températures à l'intérieur de la cheminée solaire en fonction du temps.

La température de l'air à l'entrée augmente de 9h00 à 13h00, puis reste presque constante jusqu'à 14h00, elle diminue à cause de la décroissance de l'intensité du rayonnement solaire.

La courbe qui résulte par la différence de température entre l'entrée et la sortie de la cheminée indique que les températures augmentent avec la croissance de l'intensité du rayonnement solaire, cela est dû à des caractéristiques de l'absorbeur qui reçoit et stocke de l'énergie thermique. La différence entre ces deux températures arrive à sa valeur maximale, qui est égale à 18,1°C, à 13h00. Cette énergie a pour effet d'augmenter la température de l'absorbeur, et la grande partie de cette énergie se transmet à l'air de la cheminée.

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

Dans la figure (III.4), les courbes de variation de la température en fonction du temps au sein de la cellule sont représentées.



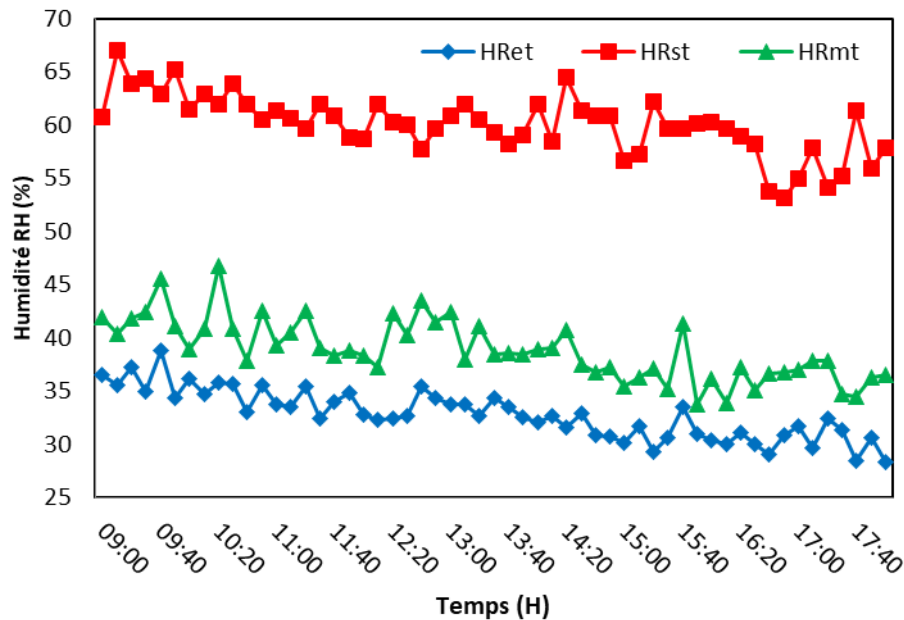
**Figure III. 4:** Variation des différentes températures à l'intérieur de la cellule et la température ambiante en fonction du temps.

La courbe représente la variation de la température à l'intérieur de la cellule en deux emplacements. Le premier emplacement (T7) est situé à 10 cm du mur près de l'entrée de la cheminée solaire, à une hauteur de 40 cm par rapport au sol. Le deuxième emplacement (T5) se situe au milieu de la cellule.

On remarque que les deux valeurs de température continuent d'augmenter tout au long de la journée. Entre 9h00 et 14h20 on observe une augmentation presque linéaire des températures lorsque l'intensité du rayonnement solaire augmente. On peut également observer que la différence de température entre les deux endroits à l'intérieur de la cellule d'essai est presque constante pendant la période de mesure mentionnée précédemment, elle est comprise entre 0.8 °C au début de la mesure et 0.3°C à 14:20. La différence de température commence à disparaître après 14:20, ce qui est dû à l'effet du système de cheminée solaire où la température de l'air diminue lentement à cause de la réduction du rayonnement solaire et de la quantité de chaleur stockée par l'absorbeur.

**2.5. Variation d’humidité relative à l’intérieur du capteur à vent :**

La figure (III.5) 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.



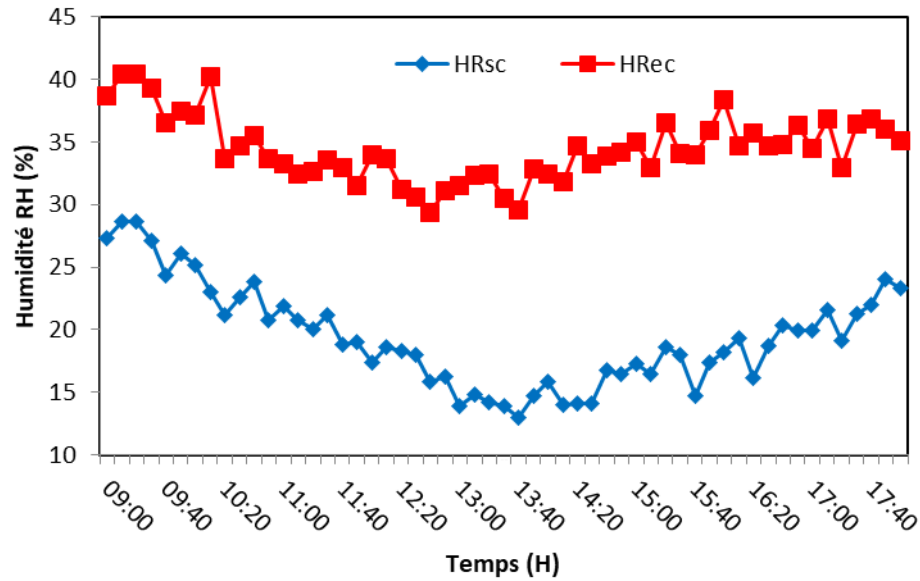
**Figure III. 5:** Variation d’Humidité relative à l’intérieur du capteur à vent en fonction du temps.

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 28.3 % à 18h00 après avoir été maximaux, avec une valeur de 38.3 % 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 46.8 % à 10h20 et 42.4 % à 13h00. Ceci est dû au passage de l'air à côté de la toile de jute mouillée. Selon les résultats obtenus, l'humidité relative à la sortie du capteur à vent a enregistré les valeurs les plus élevées. De plus, le rôle de la toile de jute mouillée (zone d'évaporation) a été très efficace pour abaisser la température.

La différence des valeurs d'humidité relative entre l'entrée et la sortie du capteur à vent atteint 24 % à 11h50, et sa valeur maximale atteint 32.9 % à 17h40, ce qui peut entraîner des gains plus importants dans le changement de température au sein d'un capteur à vent.

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

La figure (III.6) 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.

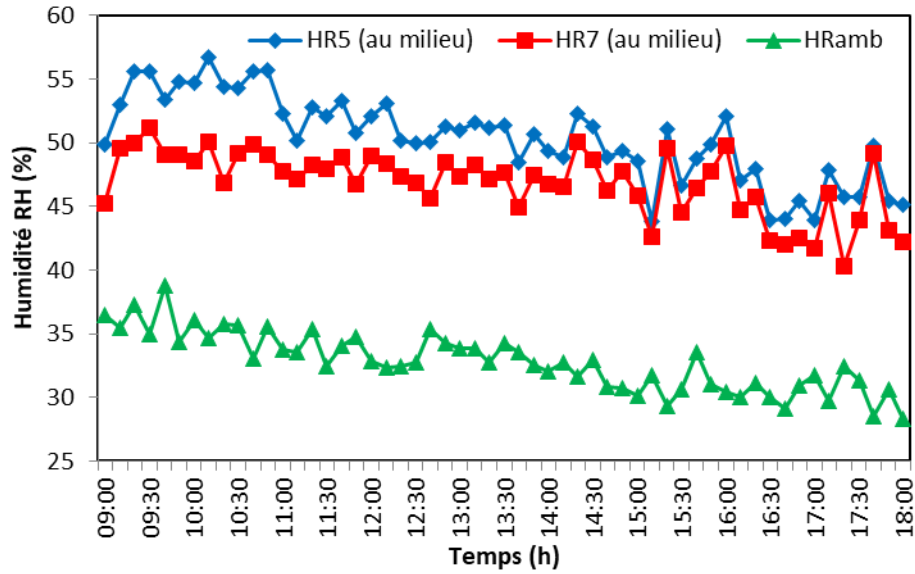


**Figure III. 6:** Variation d'Humidité relative à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire en fonction du temps.

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 29.6% à l'entrée et une valeur de 13% 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.

### 2.7. 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.7).

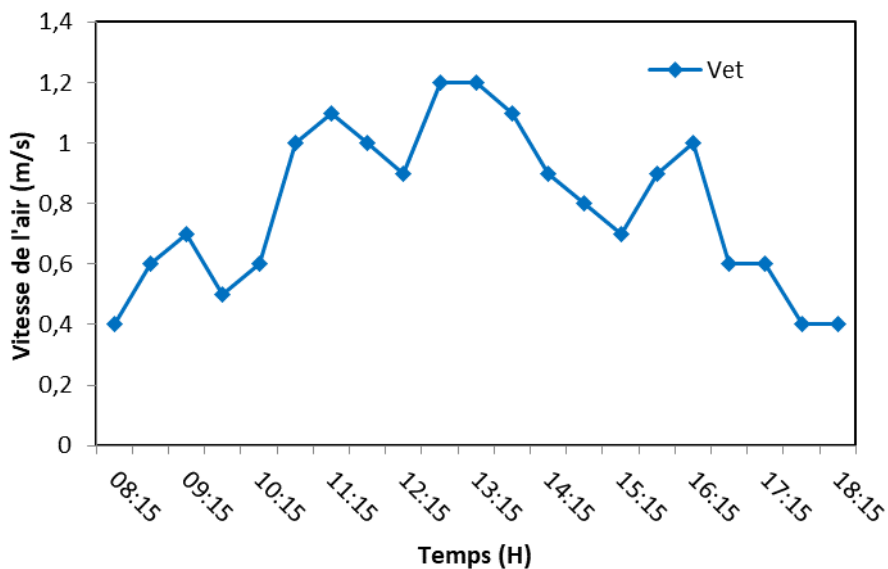


**Figure III. 7:** Variation d’Humidité relative à l’intérieur de la cellule d’essai en fonction du temps.

Les courbes donnent l’évolution de l’humidité relative à l’intérieur de la cellule en deux endroits, notamment l’un (HR7) 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 (HR5) 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 15h10, soit environ 42.6%, alors qu’il y avait une différence dans la valeur de l’humidité relative au début de la journée.

**2.8. Variation de vitesse à l’entrée à la sortie du capteur :**

La figure (III.8) illustre la variation de la vitesse à l’entrée du capteur à vent avec le temps.

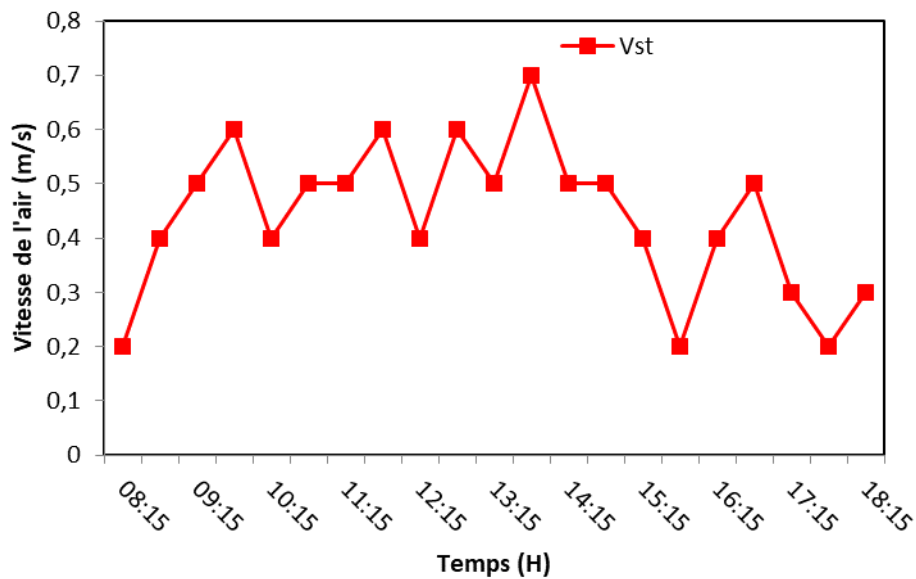


**Figure III. 8:** La vitesse à l’entrée du capteur à vent.



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.

La figure (III.9) 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.

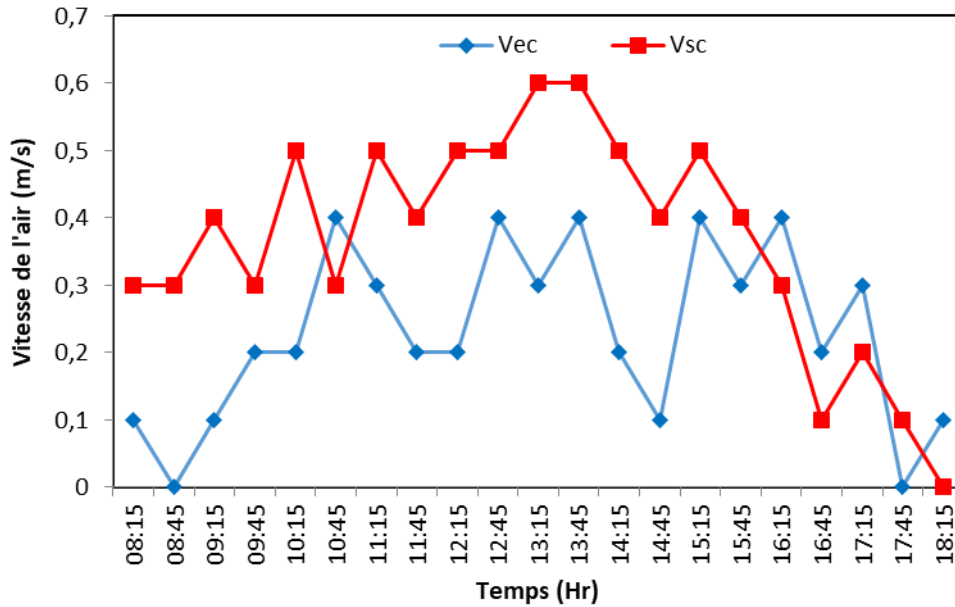


**Figure III. 9:** La vitesse à la sortie du capteur à vent et proche du mur intérieur du capteur de vent.

On remarque que la vitesse du courant d'air diminue dans la partie proche de la paroi intérieure du capteur à vent, car le courant d'air se déplace vers le bas et il est forcé de tourner dans la direction horizontale vers la cellule. La mesure de la vitesse a été effectuée dans une zone en forme de coude, ce qui a permis de mesurer une vitesse plus faible et une turbulence moins importante.

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

La figure (III.10) représente la variation de la vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée en fonction du temps.



**Figure III. 10:** Variation de la vitesse à l’entrée et à la sortie de la cheminée.

Dans la figure (III.10), on observe que la vitesse à la sortie de la cheminée augmente avec l’augmentation de la valeur de la vitesse lorsque la valeur du rayonnement solaire et la vitesse à l’entrée de la cheminée. La différence de température entre la vitre et l’absorbeur provoque un phénomène de convection naturelle. L’énergie absorbée augmente la température de l’air à l’intérieur de la cheminée et donc on remarque une augmentation de la vitesse de lame d’air.

### 3. Simulation numérique :

#### 3.1. Contrôle de la solution (convergence) :

Pour vérifier la convergence des solutions, un test de convergence a été effectué afin d’évaluer l’efficacité du modèle numérique présenté et les propagations d’erreur sont illustrées dans la figure (III.11).

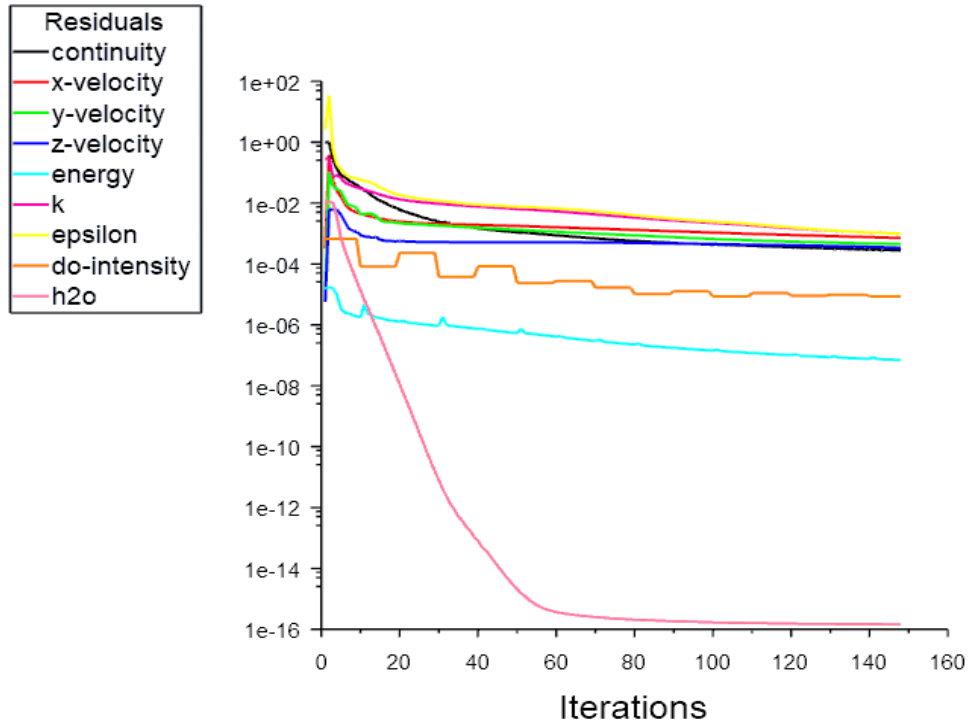


Figure III. 11: Évolution des résidus.

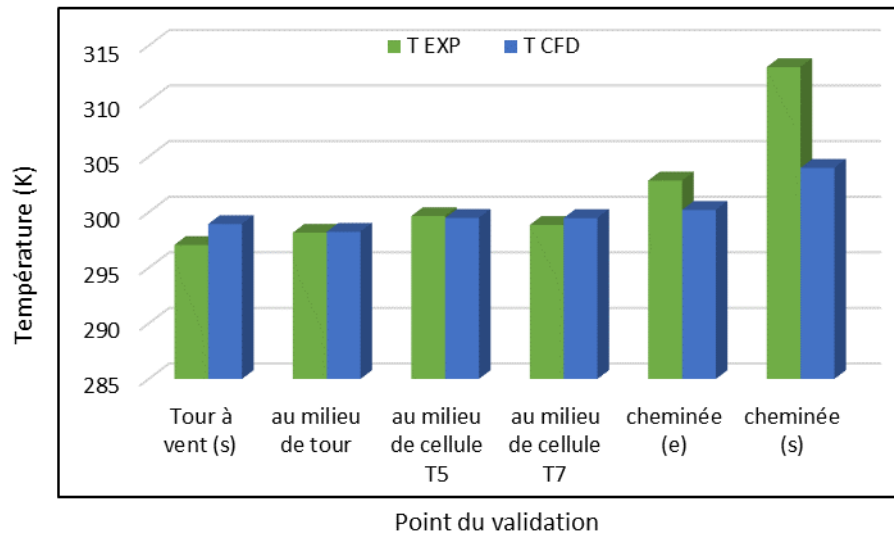
La convergence du calcul est déterminée par le logiciel Ansys-Fluent lorsque les itérations pour tous les résidus calculés atteignent la valeur du critère de convergence indiqué pour chaque paramètre. Dans le tableau suivant, on trouve la liste des valeurs résiduelles calculées pour chaque équation.

Tableau III. 1: Les résidus pour les différentes équations.

Equation	Equation de continuité	Quantité du mouvement	Equation de l'énergie	k	Epsilon	Rayonnement	H <sub>2</sub> O
Résidu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>

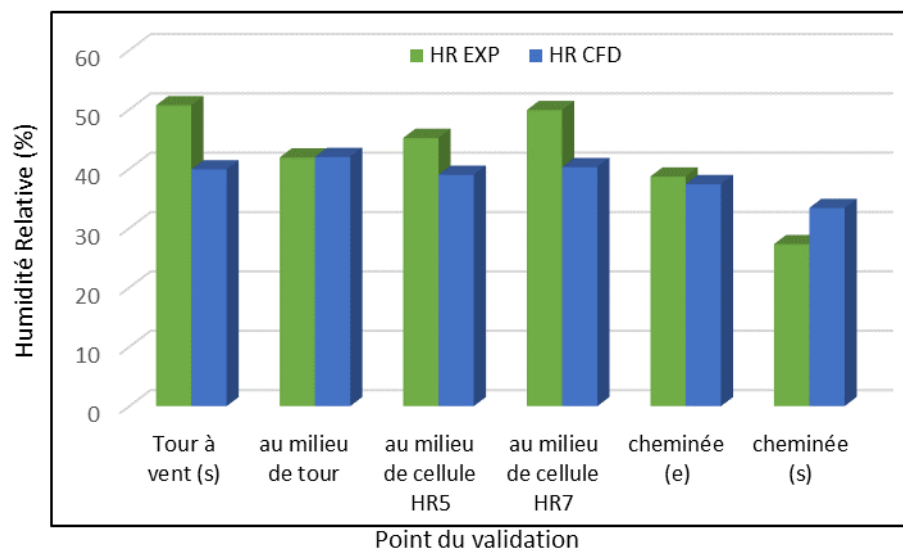
### 3.2. Validation :

Pour valider le modèle de simulation numérique de cette étude, une comparaison a été réalisée entre les résultats expérimentaux et les résultats obtenus par simulation. Les figures (III.12) et (III.13) illustrent respectivement 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  $V_e = 0.7$  m/s.



**Figure III. 12:** Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (à 9h00 et  $V_e = 0.7$  m/s).

Concernant les valeurs de température, les valeurs expérimentales et numériques sont similaires au moment de la mesure (9h00), où la vitesse de l'air à l'entrée du capteur de vent était de 0,7 m/s. L'erreur relative moyenne est de 0.7 % et le maximum de 2.89 %, ce qui indique une bonne concordance entre les deux résultats obtenus.



**Figure III. 13:** Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (à 9h00 et  $V_e = 0.7$  m/s).

La comparaison entre les valeurs d'humidité relative a permis de constater que l'erreur relative moyenne était de 13.36 % et que l'erreur maximale était de 22.34 %.

La deuxième étape consiste à valider la simulation numérique en comparant les résultats expérimentaux obtenus à 14h00 et les résultats numériques.

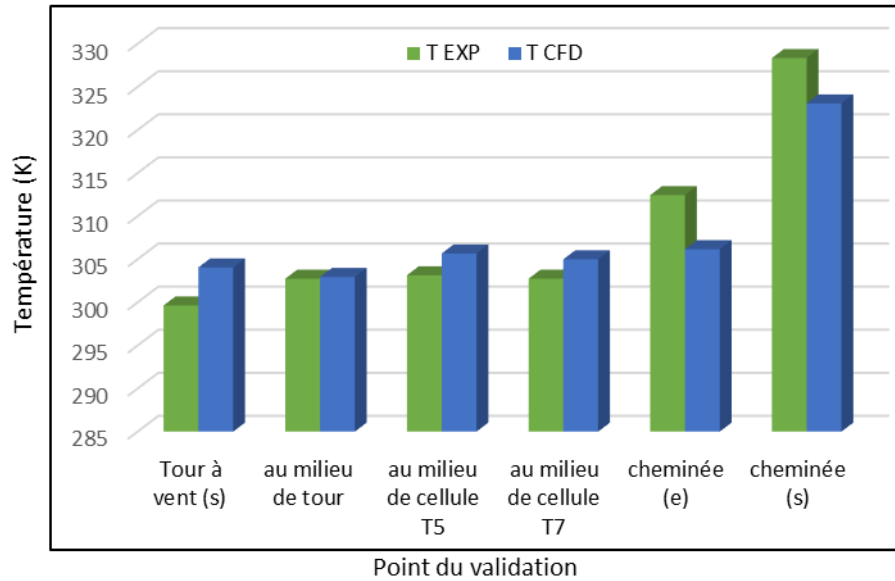


Figure III. 14: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (14h00).

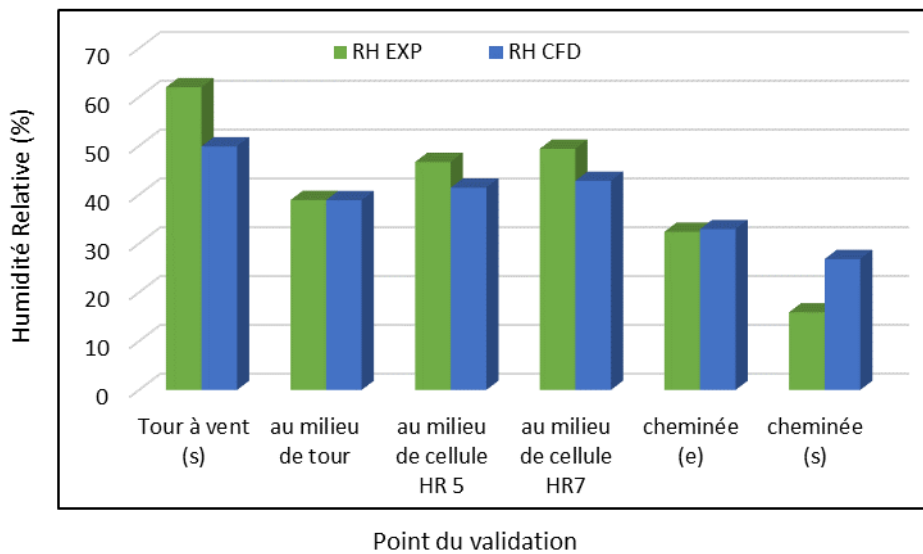


Figure III. 15: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pour la température en différents endroits de mesure (14h00).

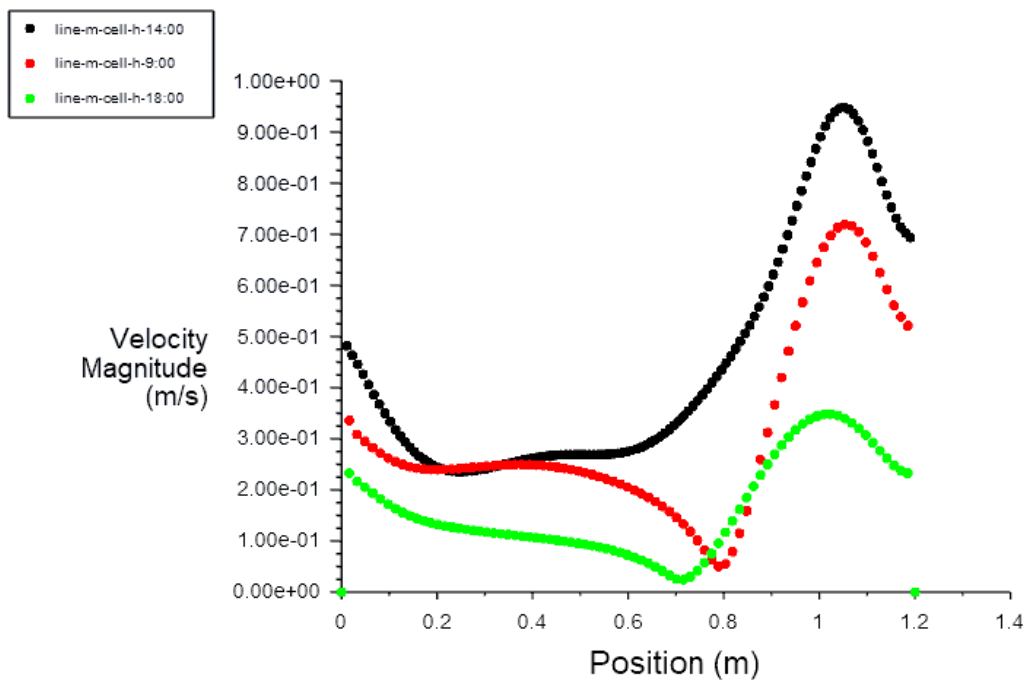
Les figures (III.14) et (III.15) montrent la variation des valeurs de température et d'humidité relative dans différents points de mesure. Les résultats montrent que la variation de la température dépend fortement de celui du rayonnement solaire. On peut noter que les résultats sont proches dans la plupart des points de mesure et qu'il y a également des désaccords entre certains résultats. Cette différence est due à des conditions climatiques temporaires, telles que le

rayonnement solaire ou la vitesse du vent. La simulation a estimé la température de l'air avec une petite marge d'environ 0.84% comme erreur relative moyenne et de 19.06 % pour les résultats de la simulation de l'humidité relative.

### 3.3. Évaluation des résultats dans la cellule :

#### 3.3.1. Profils de vitesse dans la cellule :

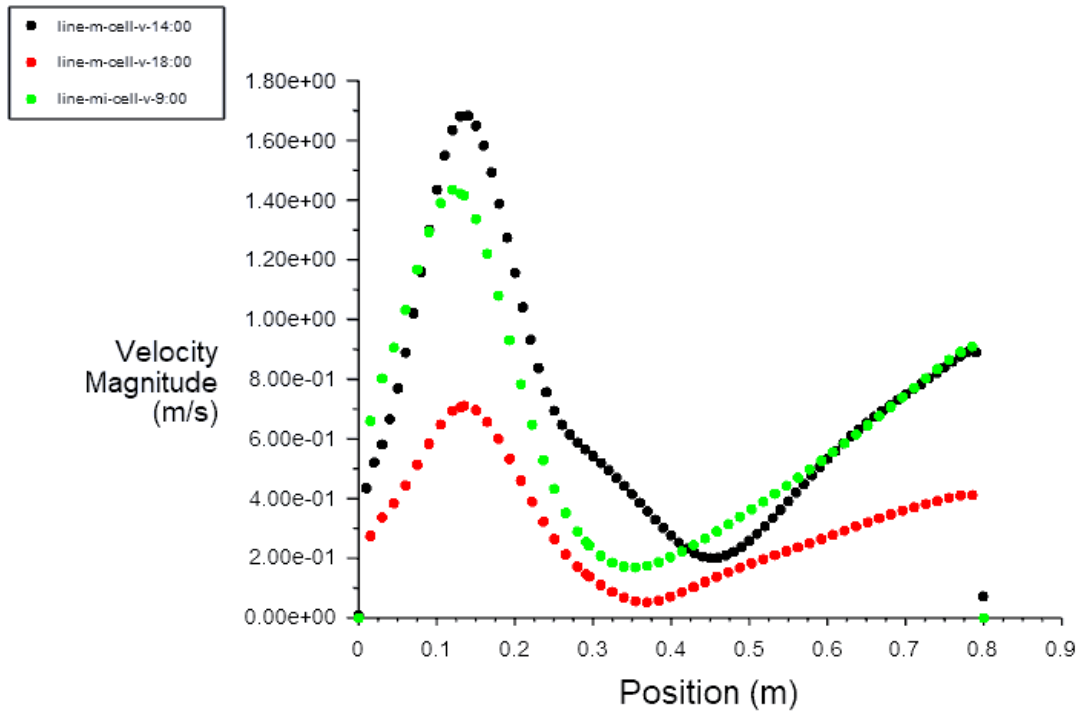
La figure (III.16) illustre la variation de la vitesse dans le plan vertical médian à l'intérieur de la cellule d'essai.



**Figure III. 16:** Profils de vitesse Variation de la vitesse à l'entrée de la cellule au plan médian-vertical.

La courbe montre que la vitesse varie en fonction de l'augmentation de la vitesse du vent . À 9 heures du matin elle atteint une valeur de 0.7 m/s et de 0.96 m/s à 14h00 puis décroît. À différents moments, la valeur la plus élevée de la vitesse est toujours enregistrée dans la zone proche de la sortie du capteur de vent. Une augmentation de la vitesse due à l'absorption d'eau par l'air et à son poids. Cela signifie que la force de flottabilité négative s'intensifie. D'autre part, dans les régions supérieures et inférieures de la cellule, les lignes de courant se rapprochent l'une de l'autre et la vitesse augmente.

La figure (III.17) montre la variation de la vitesse le long de l'axe (y) à la partie intermédiaire de la cellule en fonction de la position le long de l'axe (x).

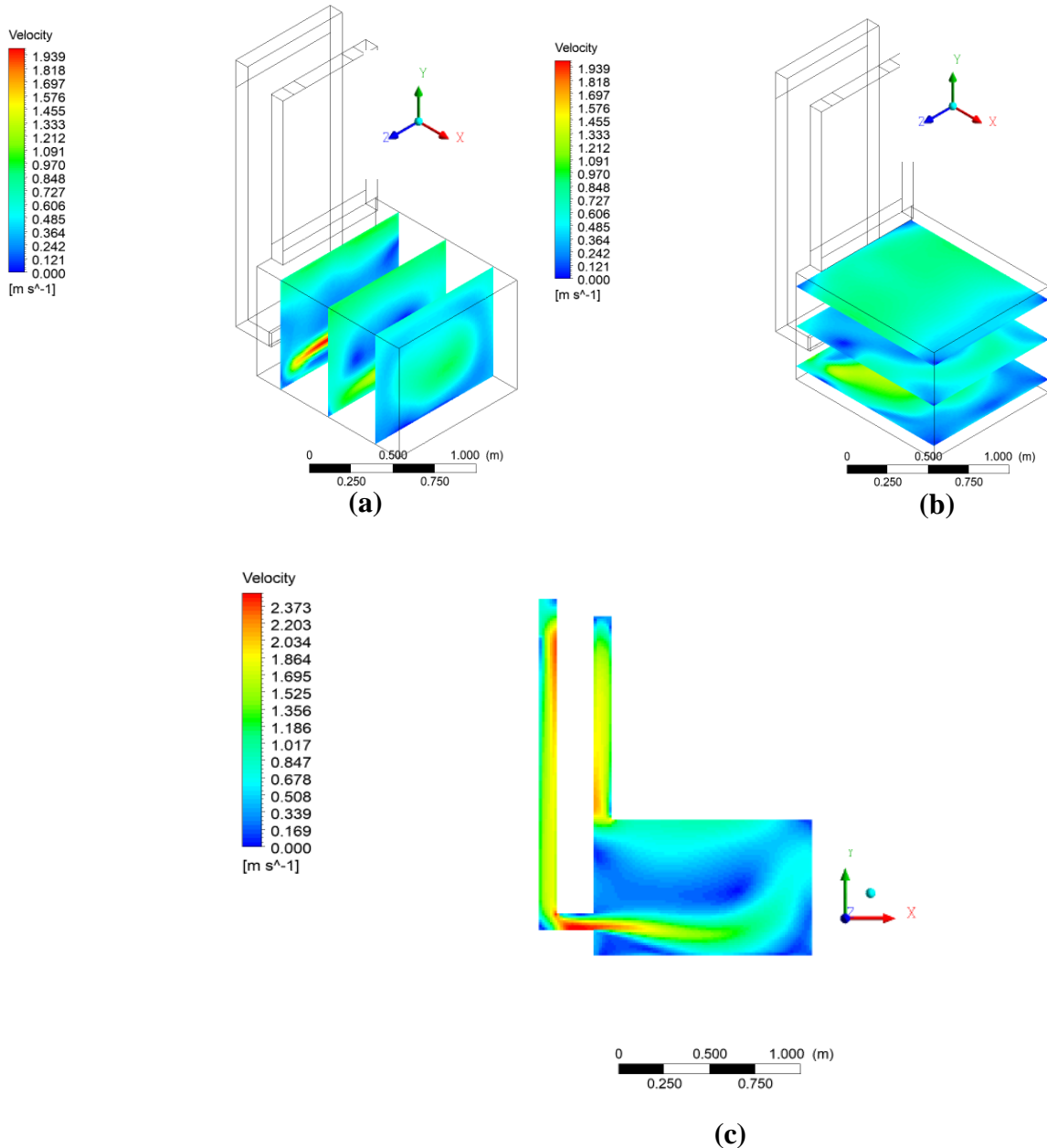


**Figure III. 17:** Profils de vitesse Variation de la vitesse à l'entrée dans la cellule au plan médian- horizontal.

Des valeurs de vitesse très faibles ont été obtenues au centre de la cellule, puis ont progressivement augmenté jusqu'à atteindre 1.7 m/s. Cette valeur représente la vitesse de l'air entrant par la section de sortie du capteur de vent. L'air continue à se déplacer le long de la ligne médiane et tourne dans le plan horizontal de la cellule. Dans la partie droite, on remarque que l'air a changé sa direction et s'est dirigé vers la section d'entrée de la cheminée. On remarque que les valeurs de vitesse diminuent de manière significative à 18h00 en raison du minimum de vitesse du vent.

### 3.3.2. Champs dynamiques :

Les figures (III.18: (a) ;(b) et (c)) représentent les champs de vitesses 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.



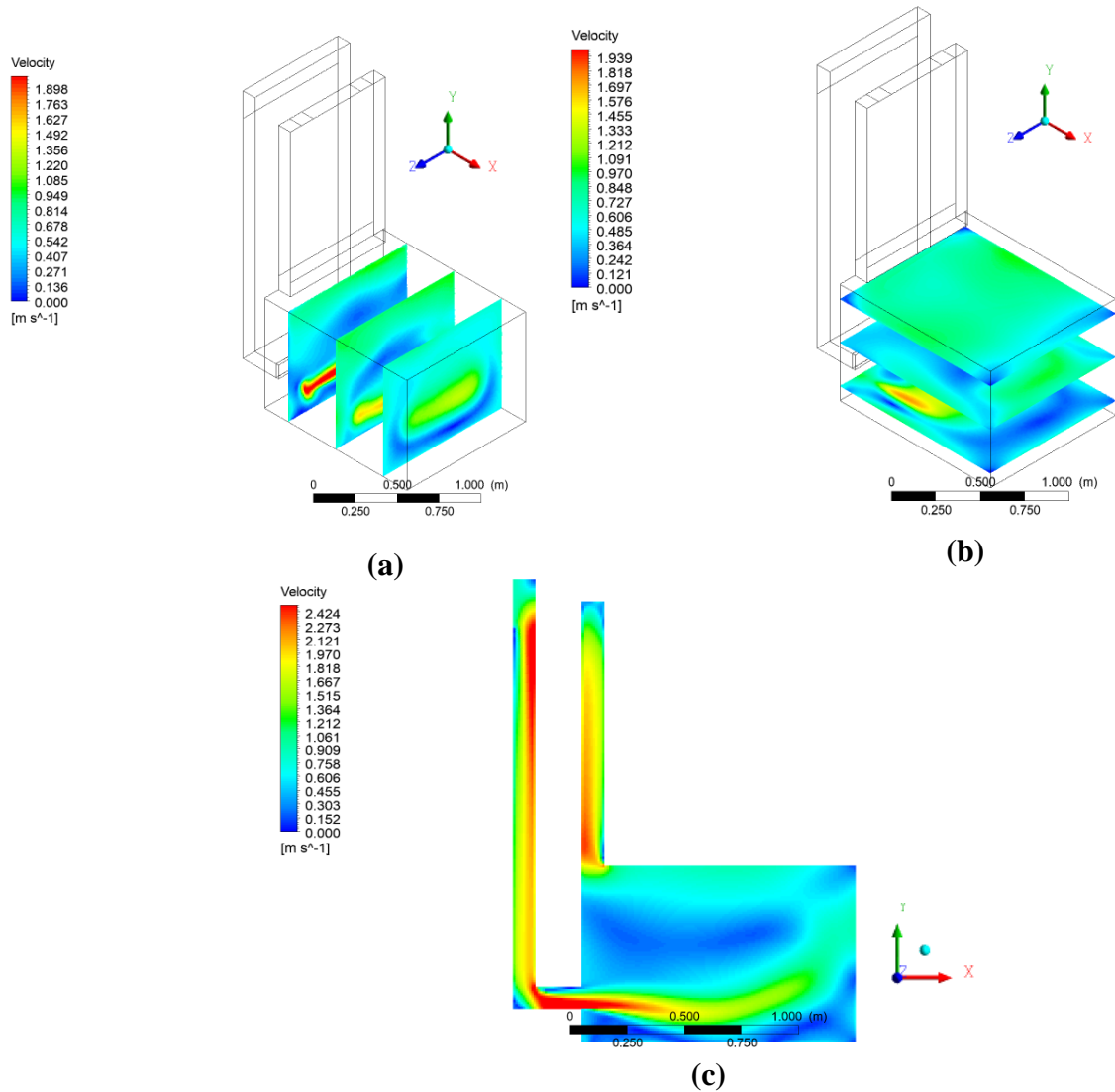
**Figure III. 18:** Champ dynamique à 9h00 et  $V_e = 0.7 \text{ m/s}$  : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et  $Z = 50 \text{ cm}$ .

La figure (III.18 c) montre que, à cause de l'écoulement de l'air entre dans le capteur de vent par l'entrée, les variations de vitesse sont importantes près de la paroi intérieure, en face de l'entrée. La vitesse atteint  $2.01 \text{ m/s}$ . Le courant principal entre dans la cellule d'essai avec un écoulement semi-laminaire et il en sort avec un écoulement turbulent. La vitesse est également plus élevée au bas de la sortie du capteur de vent, elle est égale de  $2,25 \text{ m/s}$ . Ce courant principal est distribué dans la plupart des parties de la pièce et il forme deux cellules circulaires, l'une dans la partie supérieure de la cellule d'essai et l'autre dans la zone moyenne au bas de la cellule, comme le montrent les figures (III.18 (a) et (b)), Une partie de l'air monte, quitte la cellule et se



dirige vers l'extérieur à travers la cheminée solaire. Cette orientation est principalement liée aux forces de flottabilité créées dans la cheminée solaire.

Le champ dynamique est présenté dans les figures (III.19: (a) ;(b) et (c)) pour le modèle examiné dans les conditions et les paramètres de l'expérience à 14h00.

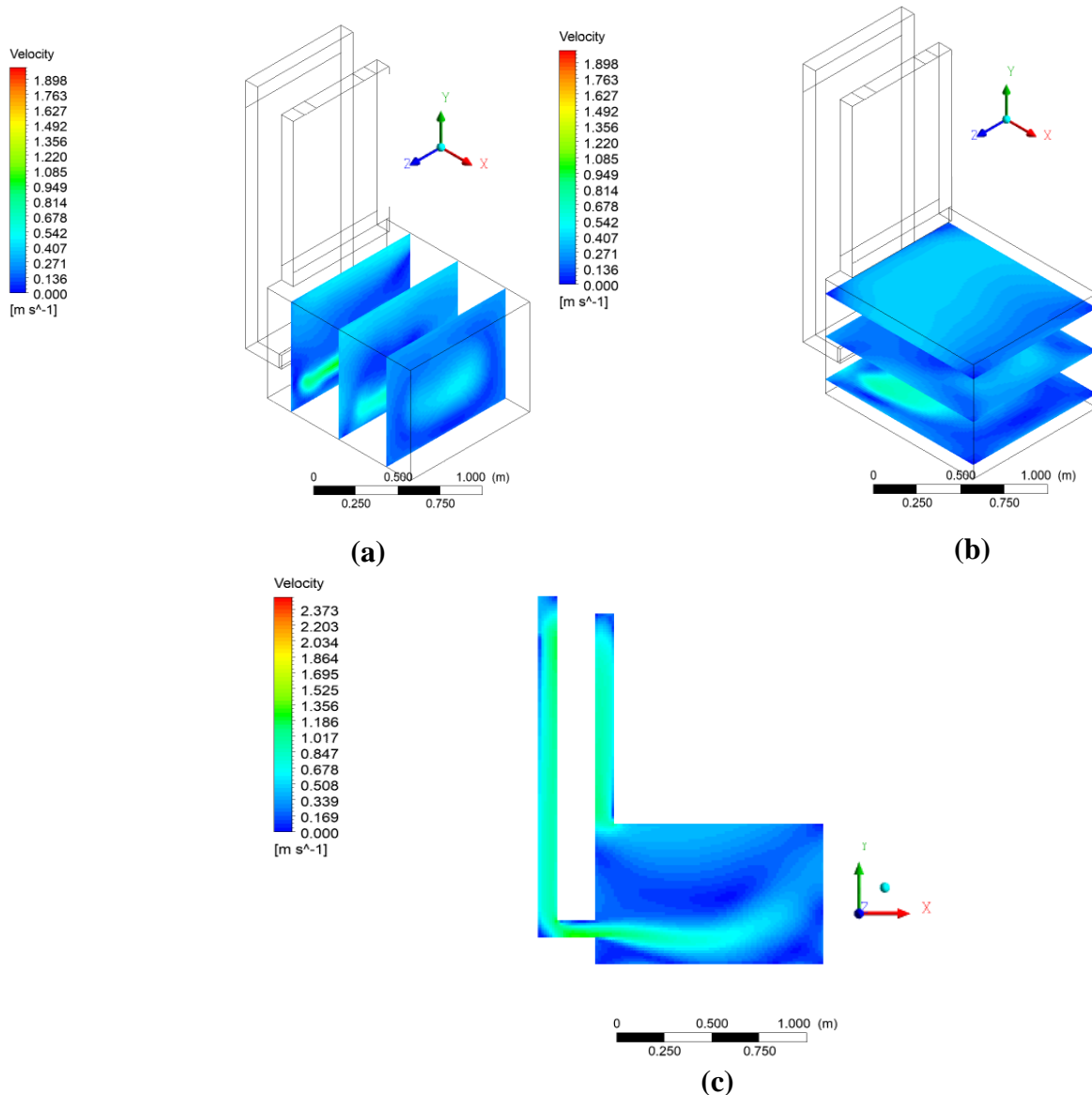


**Figure III. 19:** Champ dynamique à 14h00 et  $V_e = 0.9 \text{ m/s}$  : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et  $Z = 50 \text{ cm}$ .

Le flux d'air se déplace donc 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. La vitesse de l'air dans la tour a atteint une valeur maximale de 2.78 m/s et une valeur minimale de 0,2 m/s. Dans la cellule, une zone de recirculation avec une vitesse d'air assez faible a été observée au milieu, loin de l'entrée de la cheminée, avec une vitesse qui varie entre 0 m/s et 0,4 m/s. La zone de recirculation de l'air augmente avec la vitesse d'entrée du capteur de vent. La circulation de l'air dans la cellule présente une grande zone de recirculation dans les parties inférieures avec des flux plus rapides, et la vitesse du flux d'air varie de 0.78 m/s à 2.19 m/s. À partir de celle-ci, on en déduit que plus la vitesse de l'air est élevée à l'entrée de la tour, plus on obtient une bonne ventilation au sein de la cellule. On constate que les vitesses d'air le long de la paroi chaude (absorbée) sont élevées et maximales dans la même section, elles diminuent quand on se trouve loin de cette paroi. Le transfert de chaleur entre l'absorbeur et l'air de la cheminée entraîne une diffusion de chaleur entre ces deux milieux. Les gradients thermiques créent des gradients de densité, ce qui se traduit par une poussée verticale (poussée d'Archimède) causée par la dilatation du fluide. Ainsi, la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée solaire augmente avec l'intensité du rayonnement solaire, ce qui entraîne une évacuation rapide de l'air de l'intérieur de la cellule vers l'extérieur. On observe un mouvement de l'air du capteur de vent vers l'espace intérieur de la cellule. Une différence de vitesse de l'air est clairement observée dans le plan XY inférieur adjacent au plancher. Lorsque l'air pénètre dans la cellule par la sortie du capteur de vent, une différence de vitesse se produit entre la partie inférieure et le centre de la cellule. La même observation peut être faite dans le plan XY près du toit et à partir de l'entrée de la cheminée solaire. La variation de vitesse est plus prononcée que celle observée à 9 heures. Dans le plan XY central, on constate une différence relative de vitesse.

Les figures (III.20: (a) ;(b) et (c)) montrent champ dynamique à 18h00, où la vitesse à l'entrée du capteur de vent était de 0,4 m/s.



**Figure III. 20:** Champ dynamique à 18h00 et  $V_e = 0.4$  m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et Z= 50 cm.

On remarque que les vitesses d'air sont beaucoup plus faibles qu'à 9h00 et 14h00 à cause des faibles vitesses d'air à l'entrée du capteur de vent. Les variations de vitesse de l'air se produisant également le long des directions X, trois plans XZ ont été considérés, l'un au milieu et les deux autres adjacents aux parois latérales de la cellule. Les variations de vitesses ont été plus importantes près de la sortie du capteur de vent, et moins importantes près des parois latérales opposées, où la zone de distribution de l'air était plus grande, car l'air entrait directement en contact avec la paroi, ce qui contribuait à sa distribution à l'intérieur de la cellule. Aucun changement n'a été observé dans la valeur de la vitesse d'air dans les autres espaces intérieurs. Dans la partie inférieure, la vitesse a atteint la valeur la plus élevée 0.65 m/s, alors qu'elle a atteint 0.33m/s dans la partie supérieure, et elle est restée presque nulle dans la partie médiane, puisque sa valeur était comprise entre 0 m/s et 0.38 m/s.

3.3.3. Champ thermique :

Les figures (III.21 : (a) ;(b) et (c)) 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 0,7 m/s à l'entrée du capteur de vent.

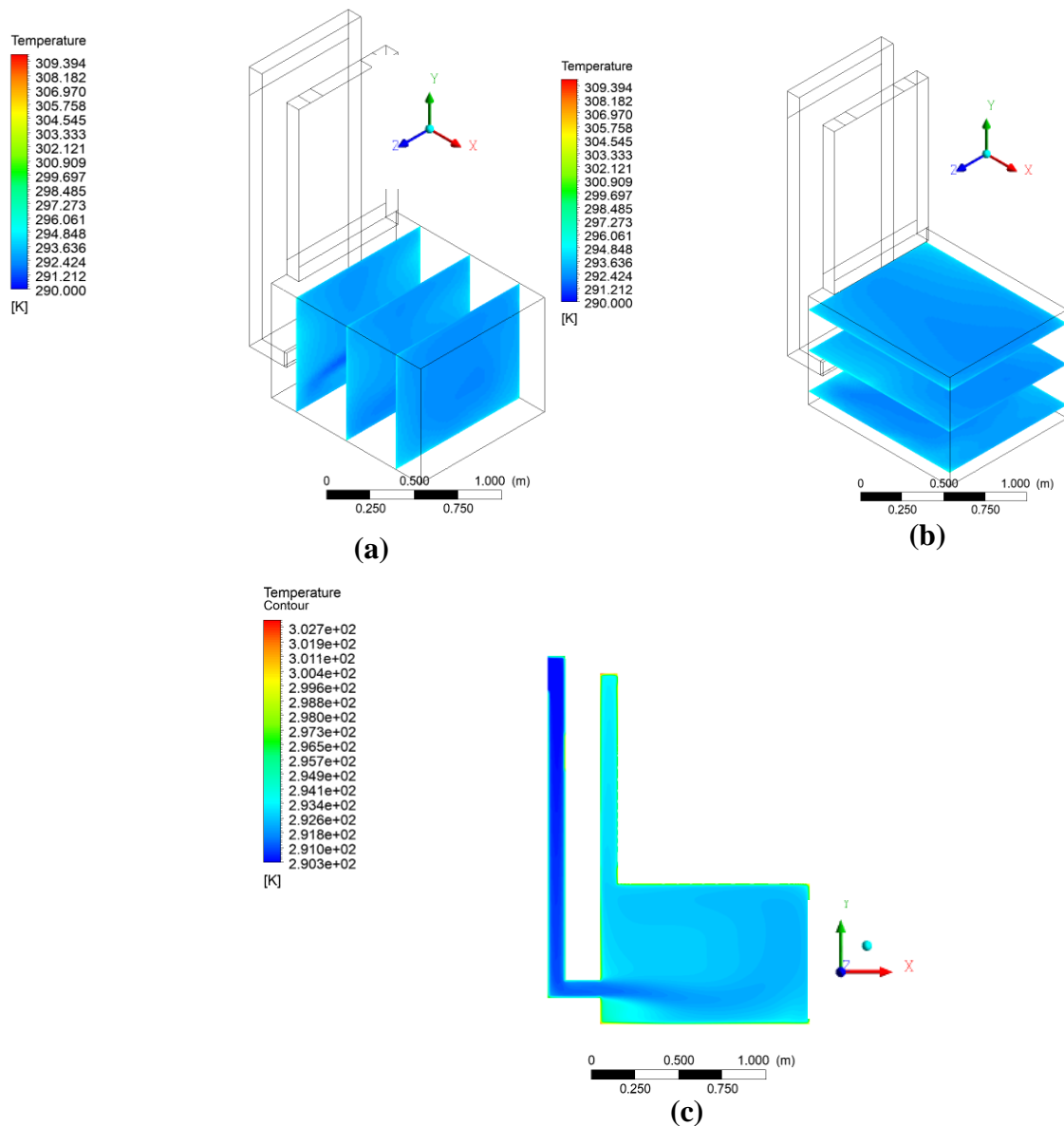
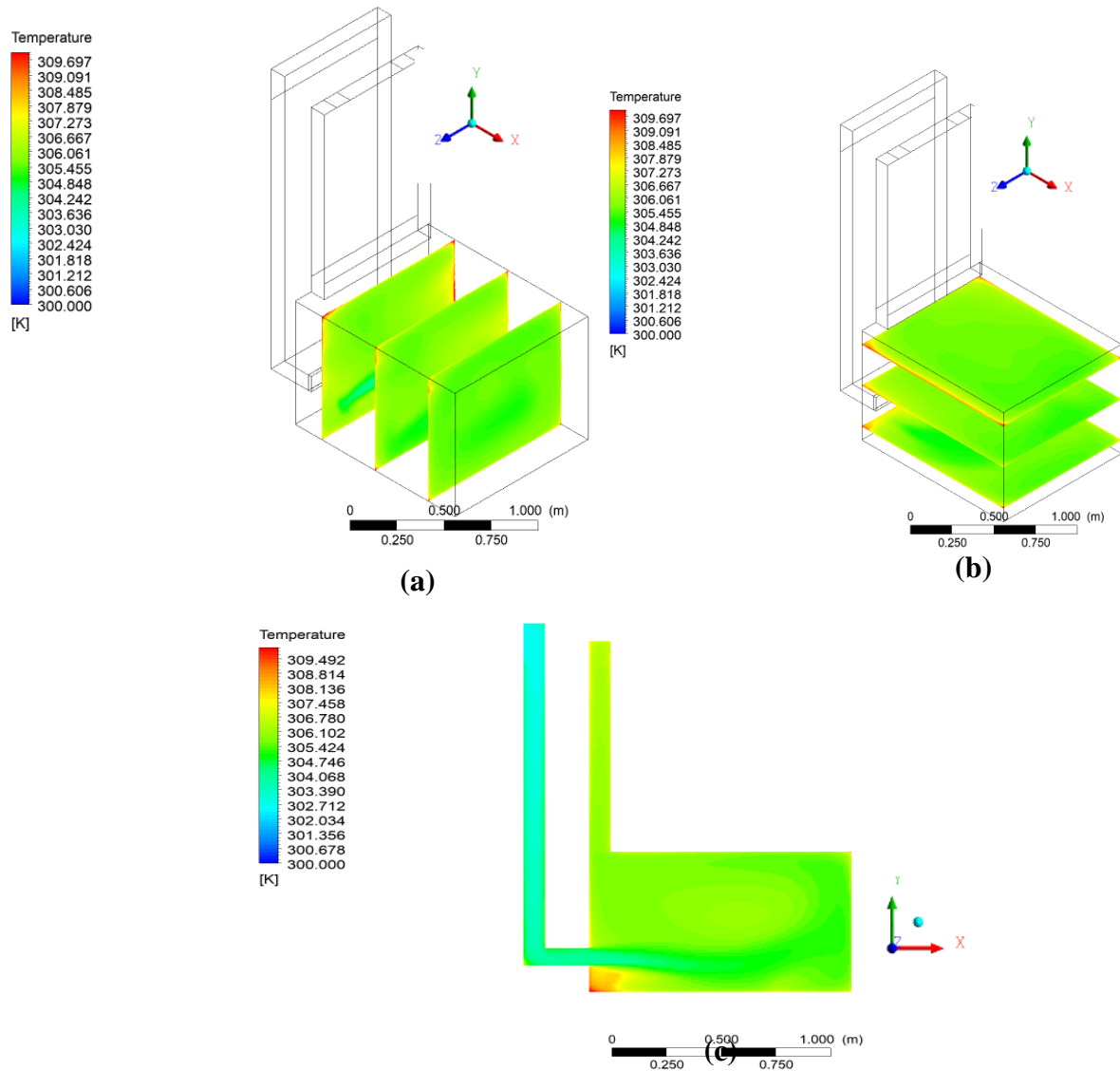


Figure III. 21: Champ thermique à 9h00 et  $V_e = 0.7$  m/s : (a) à différents plans ZY ; (b) à différents plans ZX ; (c) au plan XY et Z= 50 cm.

Les résultats montrent que la température est presque uniforme dans toute la cellule d'essai. Cela signifie 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, donc il se traduit par une distribution uniforme du flux d'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 1,5 °C. On s'explique par le fait que la chaleur est transférée de l'air entrant à l'eau pulvérisée qui s'évapore. Les résultats indiquent que la température de l'air a diminué après avoir traversé le capteur de vent, allant de 300.2 K à 298 K au milieu de la tour. Le lent passage de l'air à travers la toile de jute mouillée conduit à une quasi-saturation, et l'air atteint donc la cellule avec la température la plus basse possible. La température de la cellule d'essai a été ramenée à 298.7 K, soit 1.5 °C de moins que la température ambiante. 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 de le capteur de vent, le deuxième plan au milieu et l'autre plan 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 quand on se rapproche de la paroi arrière. Ainsi que dans l'espace intérieur de la cellule,

Le champ thermique est présenté dans la figure (III.22: (a) ;(b) et (c)) pour le modèle examiné dans les conditions et les paramètres de l'expérience à 14h00.

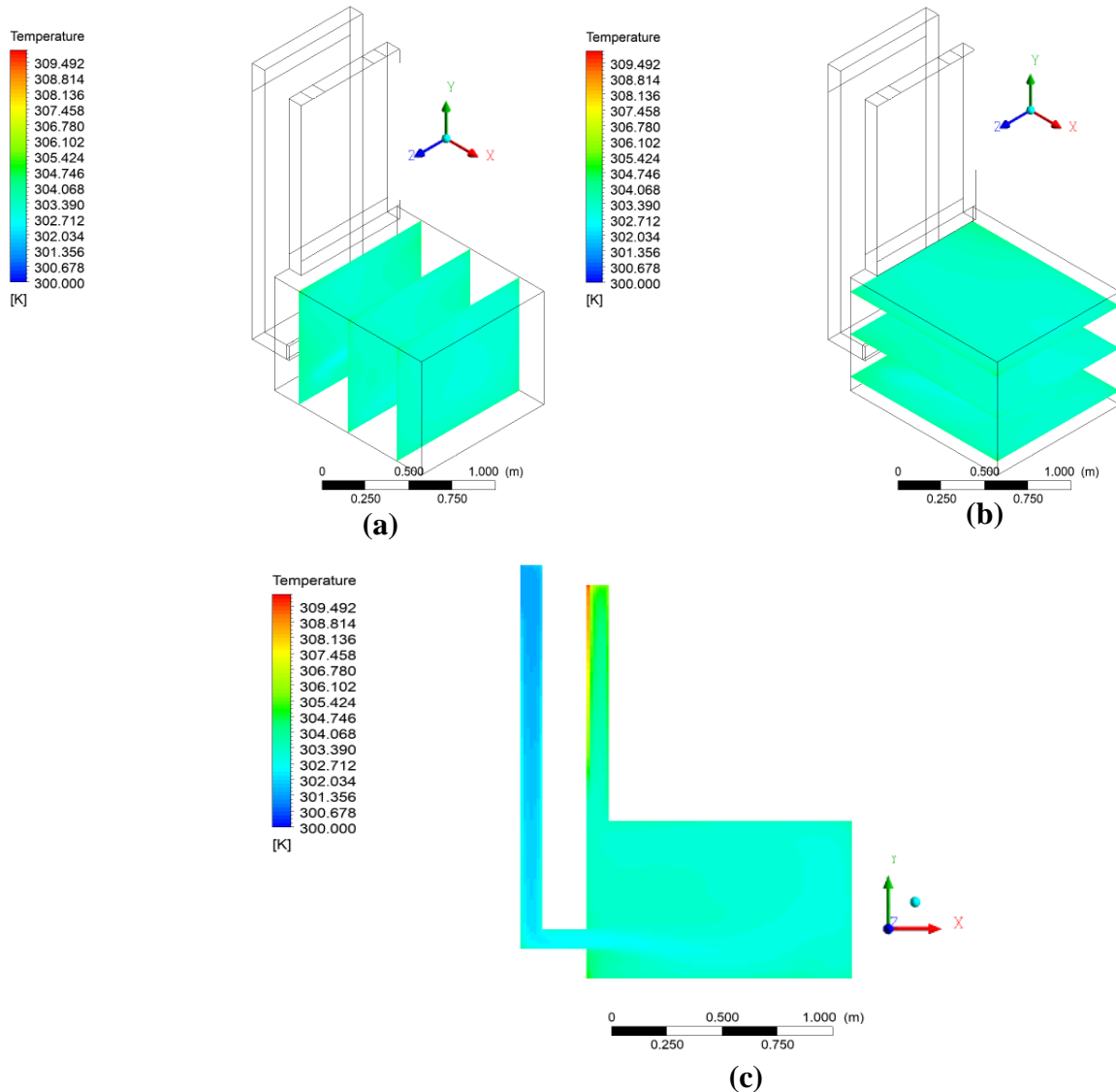


**Figure III. 22:** Champ thermique à 14h00 et  $V_e = 0.9$  m/s, (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY et (c) au plan XY et  $Z = 50$  cm.

Les variations de température observées dans le modèle, comme illustré dans la figure (III.22), peuvent être attribuées à une bonne répartition de la chaleur à l'intérieur et à une diminution de la température de l'air due à l'utilisation d'une toile de jute mouillée. La cheminée solaire a un impact sur la quantité de chaleur solaire absorbée par la paroi de stockage thermique (absorbeur). Il est évident que l'augmentation du rayonnement solaire augmente la température de la cheminée solaire, ce qui influence la température de l'air environnant. Les résultats des mesures de vitesse et de rayonnement solaire effectuées à 14h00 indiquent que ces deux valeurs ont un impact sur les écarts de température, avec une différence de  $5,5^{\circ}\text{C}$  entre la température à l'intérieur de la cellule et la température ambiante. La figure (III.22, (a) et (b)) présente la répartition de la température à l'intérieur de la cellule. Des variations plus prononcées de

température ont été observées près de la sortie du capteur de vent, tandis que des variations moins importantes ont été constatées près des murs opposés, où la température était de 305 K.

Les figures (III.23 : (a) ; (b) et (c)) représentent les champs thermiques dans le modèle étudié à 18h00, à la fin de la mesure.

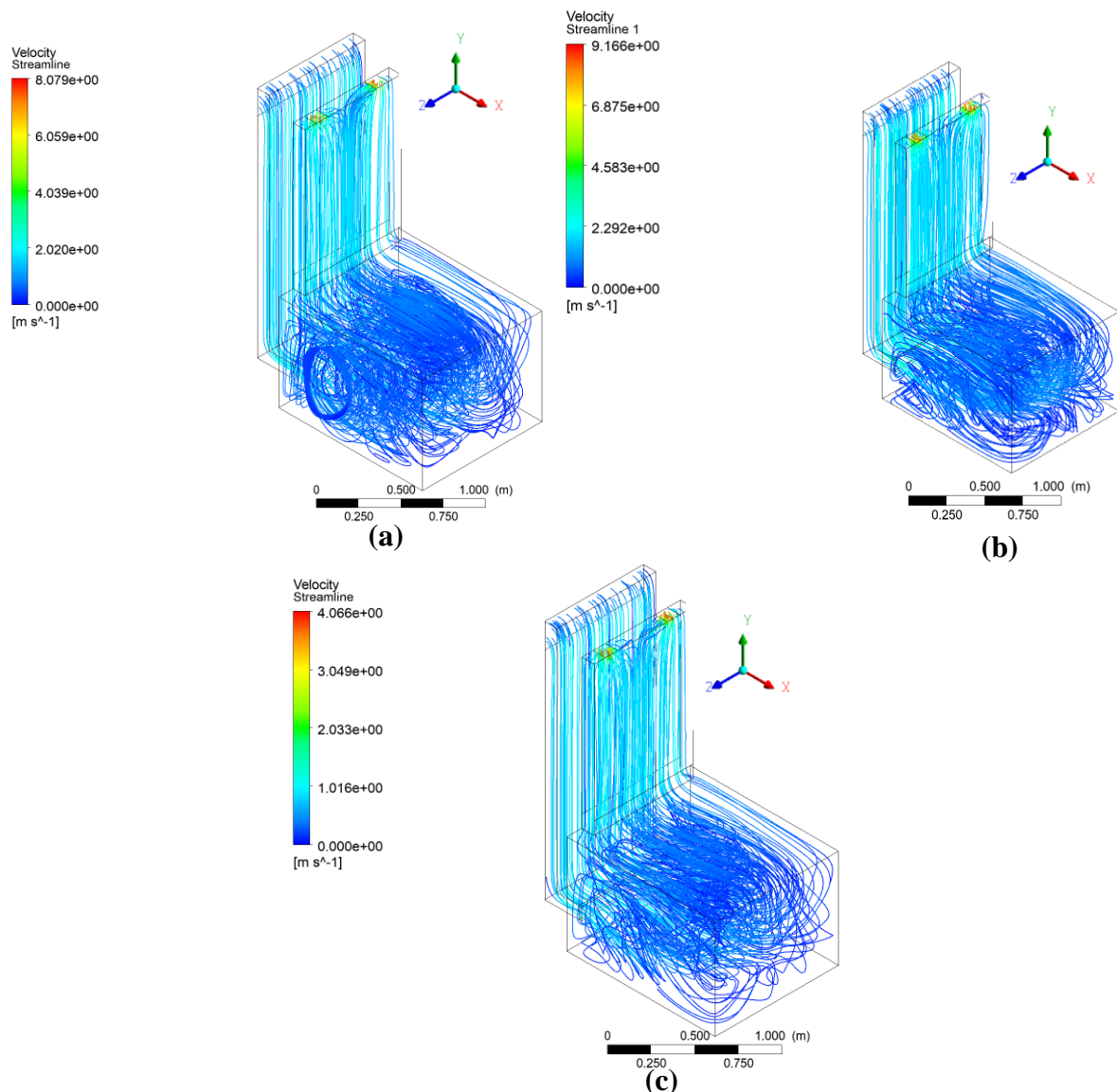


**Figure III. 23:** Champ thermique à 18h00 et  $V_e = 0.4$  m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan XY et  $Z = 50$  cm.

La température à l'entrée et à la sortie du capteur de vent était de 300.6 K, après avoir été de 304.7 K à l'entrée. On observe une distribution interne de la température avec des températures plus élevées au niveau de la cheminée solaire et des températures plus basses au niveau de la partie inférieure. Leur distribution est homogène avec des valeurs proches. La température était comprise entre 302.5 K et 303.6 K. La différence de température entre la partie supérieure et la partie inférieure, dans ce cas, était d'environ 0.5 à 2°C. À une hauteur de 0.5 m, la température variait entre 303 K et 304.5 K.

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

La figure (III.24 : (a) ;(b) et (c)) montrent le flux d'écoulement. L'air entrant descend vers le fond de la cellule à différents moments.



**Figure III. 24:** Flux d'écoulement (lignes de courant) : (a) à 9h00 et  $V_e= 0.7$  m/s ; (b) à 14h00 et  $V_e= 0.9$  m/s ; (c) à 18h00 et  $V_e= 0.4$  m/s.

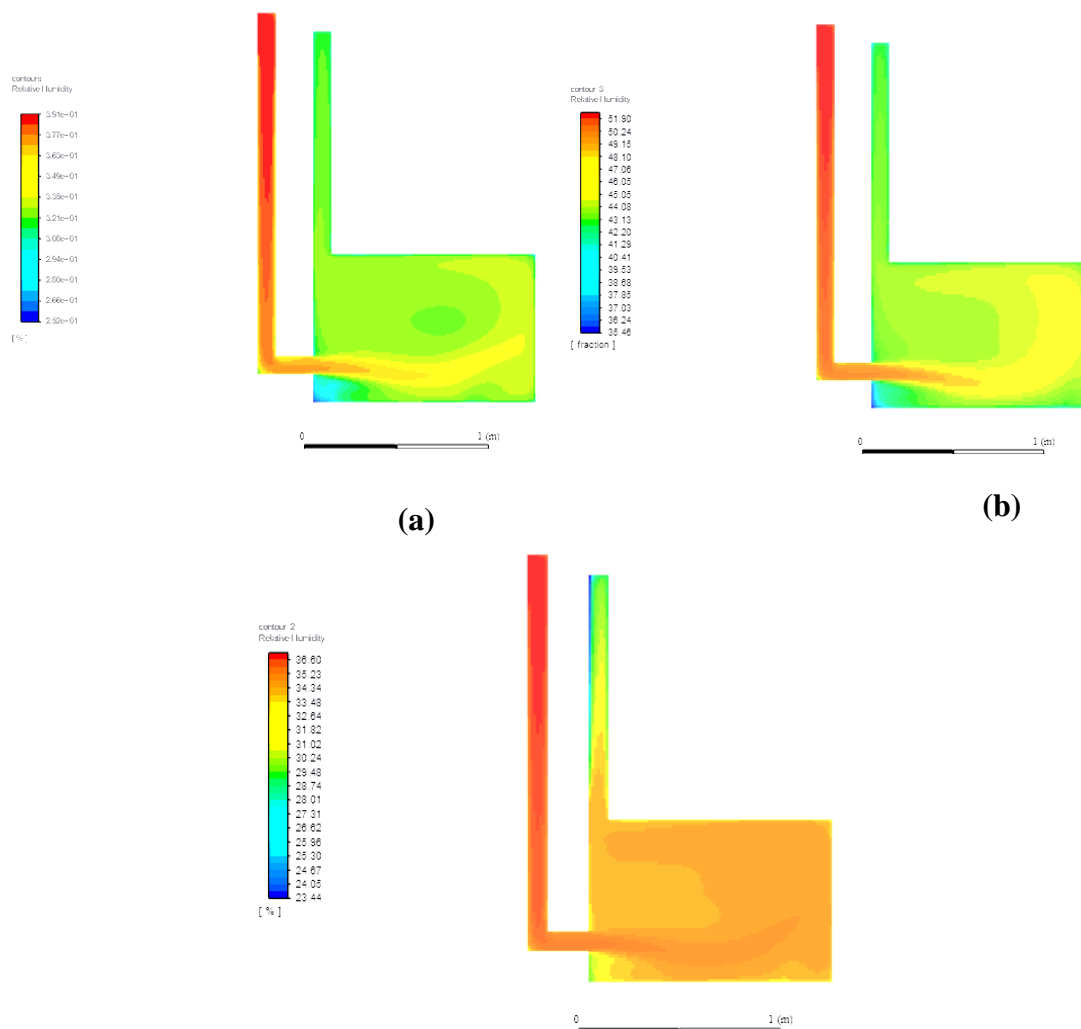
L'air entrant descend vers le fond de la cellule d'essai, après avoir traversé le capteur de vent munie par une toile de jute mouillée, l'air entrant passe à travers le capteur de vent et il descend et atteint le fond de la cellule. Il remonte ensuite vers le haut de la cellule sous l'effet de la force de flottaison et il sort par la cheminée solaire. L'augmentation du rayonnement solaire augmente la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée solaire, ce qui améliore la zone de circulation de l'air à l'intérieur de la pièce, principalement en raison de l'intensification de la force de flottaison.



Le modèle permet de choisir la vitesse la plus appropriée pour la ventilation et à différents moments. L'air entrant dans la cellule rencontre le mouvement d'air généré par la convection naturelle dans la lame d'air de la cheminée. En fonction de la localisation du flux d'air dans la cellule, le flux principal à 14h00 donne le meilleur résultat. En effet, à ce moment, il produit une distribution de l'air en tout point de la cellule sans la présence de vortex d'air que l'on trouve dans le courant principal à 9h00.

**3.3.5. Humidité relative :**

Les figures (III.25 : (a) ;(b) et (c)) montrent la distribution de l'humidité relative dans le modèle. Les profils d'humidité relative obtenus lors de l'analyse CFD à différents moments de la journée sont présentés.



**Figure III. 25:** Humidité relative à l’intérieur de la cellule : (a) à 9h00 et  $V_e= 0.7$  m/s ; (b) à 14h00 et  $V_e= 0.9$  m/s ; (c) à 18h00 et  $V_e= 0.4$  m/s.

Un refroidisseur par évaporation est un système de refroidissement qui a un effet sur l'humidité et la température de l'air dans la ruche. Dans ce refroidisseur, l'énergie thermique consommée par l'air en mouvement transforme le liquide en vapeur et réduit la température pendant que l'humidité relative de l'air s'accroît. L'augmentation de l'humidité de l'air est donc l'un des avantages du système installé à l'intérieur du capteur de vent dans les régions chaudes et sèches. Comme il y a des sources de production d'humidité à l'intérieur de la tour, la différence de la valeur de l'humidité relative par rapport aux conditions extérieures sera significative. Nous constatons une augmentation continue de la valeur de l'humidité relative. Sa valeur à l'intérieur de la cellule au début de la journée (9h00) était de 45.2% et à la sortie de la tour de 60.7 %. La valeur la plus basse a été enregistrée à la sortie de la cheminée solaire, où elle a atteint 27.3. Dans le niveau inférieur adjacent à la sortie du capteur de vent, aucune différence relative d'humidité n'a été observée. On observe une variation plus importante de l'humidité relative à 14h00 près de la sortie d'un capteur de vent et une variation moins importante près de l'entrée de la cheminée solaire. Une faible variation de la valeur de l'humidité relative est observée dans les autres espaces intérieurs lorsque l'on va plus en profondeur, comme le montre la figure (III.22 b). Sa valeur à l'intérieur de la cellule varie entre 46.7% et 49.4%. La valeur de l'humidité relative était très élevée à 18h00, et sa distribution se faisait dans tous les points à l'intérieur de la cellule.

### 3.4. Evolution d'ACH :

Le tableau suivant indique le taux de renouvellement de l'air (ACH) et le débit d'air sortant de la cheminée:

**Tableau III. 2:** Effet du rayonnement et de vitesse d'air sur le taux de renouvellement d'air.

Temps (s)	Vitesse (m/s)	Rayonnement (W/m <sup>2</sup> )	Débit massique (kg/s)	Débit Volumique (m <sup>3</sup> /S)	ACH (1/h)
09 :00	0.7	409	0.096819	0,08901253	11,8683358
14 :00	0.9	487	0.166823	0,1533723	20,4496397
18 :00	0.4	114	0.074549	0,0685382	9,13842667

Le tableau (III.2) montre que la valeur du rayonnement solaire influe sur le taux de ventilation ACH. En effet, l'augmentation du rayonnement solaire entraîne une augmentation de la température au niveau de l'absorbeur, ce qui entraîne une augmentation de la force motrice et de la force de flottabilité, et l'augmentation de la vitesse du vent provoque une augmentation du débit volumique d'air dans la cellule, ce qui améliore considérablement le taux d'ACH. La valeur

d'ACH nécessaire se situe généralement entre 4 et 30 1/h donc les résultats obtenus dans cette étude sont donc acceptables.

#### 4. Conclusion

Dans ce chapitre, notre objectif était d'étudier un nouveau système de capteur à vent qui intègre un système de refroidissement par évaporation et une cheminée solaire. Nous avons réalisé cette étude en utilisant une cellule expérimentale et en évaluant la performance de ces systèmes. Nous avons également comparé les résultats des simulations numériques avec les résultats expérimentaux pour valider notre modèle. L'objectif de cette étude était d'améliorer la qualité de l'air à l'intérieur des locaux en analysant la distribution des flux d'air, de la température et de l'humidité relative dans la cellule d'essai à différents moments. Les résultats les plus significatifs ont été présentés et discutés. Nous avons constaté que la meilleure distribution de l'air à l'intérieur des bâtiments a été obtenue à 14h00. La vitesse du vent et l'intensité du rayonnement solaire ont une influence majeure sur l'amélioration de la ventilation naturelle.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

### Conclusion Générale

Les régions chaudes et semi-arides se caractérisent par des étés très chauds et un faible niveau de précipitations tout au long de l'année. Le climat durant ces saisons chaudes joue un rôle crucial dans la performance des bâtiments et la consommation d'énergie. Les solutions traditionnelles pour assurer le confort thermique dans de telles régions sont généralement basées sur des systèmes mécaniques de ventilation et de climatisation. Cependant, ces systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation représentent près de la moitié de la consommation énergétique des bâtiments, ce qui contribue de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre.

Les systèmes passifs peuvent être considérés comme une solution efficace dans le contexte du concept de bâtiment durable, car l'un des objectifs clés de la conception durable est de garantir le confort des occupants. Plusieurs techniques de refroidissement passif permettent d'assurer un excellent confort thermique et une meilleure qualité de l'air dans les espaces intérieurs, tout en réduisant la consommation d'énergie.

Parmi les systèmes de refroidissement et de ventilation naturels les plus importants, on peut citer le capteur à vent et la cheminée solaire. Ces deux systèmes sont considérés comme des éléments essentiels pour les bâtiments dans des climats chauds et semi-arides.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les performances du système de capteur de vent et d'accroître sa contribution à la distribution du flux d'air à l'intérieur d'une cellule d'essai, dans des conditions climatiques réelles. Le système comprend une cheminée solaire et un système de refroidissement par évaporation, qui sont conçus pour améliorer la ventilation et le potentiel de refroidissement dans des conditions climatiques chaudes et semi-arides. On a également essayé de créer un système d'évaluation qui prend en compte la qualité du refroidissement par évaporation et son effet sur l'air intérieur de la cellule expérimentale. En outre, nous avons étudié et analysé le fonctionnement de la cheminée solaire associée avec un capteur à vent à l'aide du logiciel CFD. Les résultats obtenus sont les suivants :

L'augmentation de la vitesse du vent peut entraîner une augmentation de la vitesse de l'air à l'intérieur du capteur à vent. Lorsque l'air entre en contact direct avec le mur opposé à l'entrée, la vitesse augmente de 227,51 % et atteint une augmentation de 228,57 % dans les zones les plus basses de la tour. De plus, une augmentation de la vitesse provoque une diminution plus rapide de la température de l'air sortant du capteur à vent et se dirigeant vers la cellule, ce qui permet de

réduire considérablement la charge de refroidissement. Les résultats obtenus montrent que la température de l'air varie à travers le capteur à vent où se trouve un système de refroidissement par évaporation et ils déterminent les effets de ce système sur le refroidissement de l'air à l'intérieur de la cellule d'essai. On a observé que l'eau réduit la température jusqu'à 7°C lorsque la vitesse du vent est de 0.9 m/s. En outre, la valeur de l'humidité augmente avec la température extérieure, elle atteint une valeur minimale à neuf heures du matin et une valeur maximale à six heures du soir.

La température était de 308.1 K à la sortie du capteur à vent, et de 299.5 K à l'entrée, ce qui représente une différence de 8,6 °C. De plus, il est évident que les performances du système de refroidissement par évaporation et la vitesse de l'air à l'intérieur du capteur à vent ont un impact significatif sur le mouvement de l'air à l'intérieur de la cellule. On observe une diminution substantielle de la température par rapport à la température ambiante et une augmentation significative de l'humidité relative. L'augmentation de la température crée des différences plus prononcées dans les valeurs d'humidité relative. Le débit et le volume de l'air extérieur entrant dans la cellule jouent également un rôle dans la modification des valeurs d'humidité relative.

Ces deux systèmes de ventilation naturelle passive permettent d'augmenter le taux de renouvellement de l'air dans la cellule d'essai.

Nous pouvons également proposer les recommandations suivantes à partir des résultats et des conclusions de notre étude :

- Il faut étudier la cheminée solaire associée à un capteur de vent dans les bâtiments à plusieurs étages pour étudier la distribution du flux d'air et son efficacité de refroidissement
- Des études complémentaires de ce système afin d'évaluer ses performances dans d'autres régions et sous d'autres climats.

# *Bibliographies*

## *Bibliographies*

- AboulNaga, M. and S. Abdrabboh (2000). "Improving night ventilation into low-rise buildings in hot-arid climates exploring a combined wall–roof solar chimney." *Renewable energy* **19**(1-2): 47-54.
- AKCHICHE, Z., N. SETTOU, N. SAIFI and B. NEGROU "Refroidissement passif d'une enceinte munie d'une cheminée solaire couplée d'un échangeur airsol."
- Asadi, S., M. Fakhari, R. Fayaz and A. Mahdavi Parsa (2016). "The effect of solar chimney layout on ventilation rate in buildings." *Energy Buildings* **123**: 71-78.
- Attia, S. and A. De Herde (2009). Designing the Malqaf for summer cooling in low-rise housing an experimental study. *Passive and Low Energy Architecture (PLEA) 2009*, Les Presses de l'Université Laval, Quebec, Canada.
- Bahadori, M. N., A. Dehghani-Sanij and A. Sayigh (2014). *Wind towers: Architecture, climate and sustainability*.
- Bearg, D. W. (1993). *Indoor air quality and HVAC systems*, CRC Press.
- Behbood, K. T., M. Taleghani and S. Heidari (2010). "Energy efficient architectural design strategies in hot-dry area of Iran: Kashan." *Emirates Journal for Engineering Research* **15**(2): 85-91.
- Boivin, H. (2007). "La ventilation naturelle: développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale."
- Bohojło-Wiśniewska, A. (2015) " Numerical Modelling Of Humid Air Flow Around A Porous Body ", *acta mechanica et automatica*, vol.9 no.3
- Bourahli, M. E. H. (2018). "Caractérisation d'un composite verre époxy."; Thèse de doctorat en sciences, université Ferhat Abbas Setif 1, Algérie.
- Calautit, J. K., B. R. Hughes and S. S. Shahzad (2015). "CFD and wind tunnel study of the performance of a uni-directional wind catcher with heat transfer devices." *Renewable Energy* **83**: 85-99.
- Chen, Z. D., P. Bandopadhyay, J. Halldorsson, C. Byrjalsen, P. Heiselberg and Y. Li (2003). "An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux." *Building Environment* **38**(7): 893-906.
- de Oliveira Neves, L., F. M. J. J. o. W. E. da Silva and I. Aerodynamics (2018). "Simulation and measurements of wind interference on a solar chimney performance." **179**: 135-145.
- Dehghan, A., M. K. Esfeh and M. D. Manshadi (2013). "Natural ventilation characteristics of one-sided wind catchers: experimental and analytical evaluation." *Energy Buildings* **61**: 366-377.
- Dehghani-sanij, A. R., M. Soltani and K. Raahemifar (2015). "A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions." *J Renewable Sustainable Energy Reviews* **42**: 182-195.
- Dhalluin, A. (2012). *Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire*, Université de La Rochelle.



- Elmualim, A. A. (2006). "Effect of damper and heat source on wind catcher natural ventilation performance." *Energy buildings* **38**(8): 939-948.
- Elmualim, A. A. and H. B. Awbi (2002). "Wind tunnel and CFD investigation of the performance of "Windcatcher" ventilation systems." *International Journal of ventilation* **1**(1): 53-64.
- Elzaidabi, A. A. M. (2009). Low energy, wind catcher assisted indirect-evaporative cooling system for building applications, University of Nottingham.
- Erell, E., D. Pearlmutter and Y. Etzion (2008). "A multi-stage down-draft evaporative cool tower for semi-enclosed spaces: aerodynamic performance." *Solar Energy* **82**(5): 420-429.
- Fanood, M. R. (2014). "The role of four key structures in the creation and survival of cultural landscapes in the desert environment of Iran." *Architectural Conservation* **20**(3): 184-196.
- Farouk, M. (2020). "Comparative study of hexagon & square windcatchers using CFD simulations." *Journal of Building Engineering* **31**: 101366.
- Gage, S., J. M. R. Graham and Information (2000). "Static split duct roof ventilators." *Building Research* **28**(4): 234-244.
- Gan, G. (1998). "A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings." *Energy buildings* **27**(1): 37-43.
- Gan, G. and S. Riffat (1998). "A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery." *Applied Thermal Engineering* **18**(12): 1171-1187.
- Ghadiri, M. H., N. L. N. Ibrahim and M. Dehnavi (2011). "The effect of tower height in square plan wind catcher on its thermal behavior." *Australian Journal of Basic Applied Sciences* **5**(9): 381-385.
- Ghadiri, M. H., N. Lukman, N. Ibrahim and M. F. Mohamed (2013). "Computational analysis of wind-driven natural ventilation in a two sided rectangular wind catcher." *International Journal of Ventilation* **12**(1): 51-62.
- Gratia, E. and A. De Herde (2005). "Guidelines to improve efficiency of a double-skin facade in an office building." *Ventilation in Relation to the Energy Performance of Buildings*: 245.
- Halldorsson, J., C. Byrjalsen, Z. Chen, P. Bandopadhyay and P. Heiselberg (2002). Experimental and theoretical studies of a solar chimney with uniform heat flux. The 8th International Conference on Air Distribution in Rooms, Copenhagen, Denmark.
- Harris, D. and N. Helwig (2007). "Solar chimney and building ventilation." *Applied Energy* **84**(2): 135-146.
- Hirunlabh, J., W. Kongduang, P. Namprakai and J. Khedari (1999). "Study of natural ventilation of houses by a metallic solar wall under tropical climate." *Renewable Energy* **18**(1): 109-119.
- Hosseini, A. A., Ghodrat, M. Hosseini, S.H., Golparvar, B. Calautit, J.K., Ahmadi, G., (2020)," CFD Study of Evaporative Cooling System Integrated to a Windcatcher", 22nd Australasian Fluid Mechanics Conference AFMC2020, Brisbane, Australia, 7-10 December 2020
- Hughes, B. R., J. K. Calautit and S. A. Ghani (2012). "The development of commercial wind towers for natural ventilation: A review." *Applied energy* **92**: 606-627.

- Imran, A. A., J. M. Jalil and S. T. Ahmed (2015). "Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney." *Renewable Energy* **78**: 236-244.
- Janajreh, I., K. Adouane and M. Hussain (2017). "Wind catcher and trans-evaporative cooling residential integration in arid region." *Int. J. of Thermal Environmental Engineering* **14**(1): 1-9.
- Jianliu, X. and L. Weihua (2013). "Study on solar chimney used for room natural ventilation in Nanjing." *Energy Buildings* **66**: 467-469.
- Jomehzadeh, F., H. M. Hussien, J. K. Calautit, P. Nejat and M. S. Ferwati (2020). "Natural ventilation by windcatcher (Badgir): A review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate." *Energy Buildings* **226**: 110396.
- Jomehzadeh, F., P. Nejat, J. K. Calautit, M. B. M. Yusof, S. A. Zaki, B. R. Hughes and M. N. A. W. M. Yazid (2017). "A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment." *Renewable Sustainable Energy Reviews* **70**: 736-756.
- Jomehzadeh, F., P. Nejat, J. K. Calautit, M. B. M. Yusof, S. A. Zaki, B. R. Hughes and M. N. A. W. M. Yazid (2017). "A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment." *Renewable Sustainable Energy Reviews* **70**: 736-756.
- Khanal, R. and C. Lei (2010). "Numerical investigation of the ventilation performance of a solar chimney." *The ANZIAM journal* **52**: C899-C913.
- Khodakarami, M. and A. Shokravi (2010). "Investigation on the effect of wind catcher shape on the natural ventilation of buildings in Yazd." *Energy and Buildings*, vol. 42: pp. 1304-1311.
- Lalit, A. and K. Kumar (2022). "Applicability of Shading Devices in Building Design for Reducing Heat; SSN: 2583-0228." *International Journal of Multidisciplinary Innovative Research* **2**(1): 20-25.
- Layeni, A., C. Nwaokocha, S. Giwa and O. Olamide (2018). "Numerical and analytical modeling of solar for chimney combined ventilation and power in buildings." *Covenant Journal of Engineering Technology*.
- Lee, K. H. and R. K. Strand (2009). "Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney." *Energy Buildings* **41**(6): 615-621.
- Maghrabie, H. M., M. A. Abdelkareem, K. Elsaid, E. T. Sayed, A. Radwan, H. Rezk, T. Wilberforce, A. G. Abo-Khalil and A. Olabi (2022). "A review of solar chimney for natural ventilation of residential and non-residential buildings." *Sustainable Energy Technologies Assessments* **52**: 102082.
- Maneshi, M. M., A. Rezaei-Bazkiaei, A. S. Weber and G. F. Dargush (2012). A numerical investigation of impact of architectural and climatic parameters of windcatcher systems on induced ventilation. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers.

- Mebrouk, R., A. Boudenn and Y. Kabar (2017). Etude paramétrique des échanges convectifs turbulents dans les configurations d'intérêt pratique, Université Frères Mentouri-Constantin.
- Montazeri, H. (2011). "Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers." *Building Environment* **46**(2): 370-378.
- Moosavi, L., M. Zandi, M. Bidi, E. Behroozizade and I. Kazemi (2020). "New design for solar chimney with integrated windcatcher for space cooling and ventilation." *Building Environment* **181**: 106785.
- Niktasha, A. (2016). " Investigation into Two-Sided Windcatcher Used for Room Ventilation." University of Technology Sydney.
- Nouanégué, H., L. Alandji and E. Bilgen (2008). "Numerical study of solar-wind tower systems for ventilation of dwellings." *Renewable Energy* **33**(3): 434-443.
- Ong, K. and C. Chow (2003). "Performance of a solar chimney." *Solar energy* **74**(1): 1-17.
- Pillai, P. and R. Agarwal (1981). "Factors influencing solar energy collector efficiency." *Applied Energy* **8**(3): 205-213.
- Pragma, M. and K. Kumar (2022). "A Review of Performance of Green Roofs for Retrofitting Existing Structures." *Journal of Research in Infrastructure Designing* **4**(3).
- Prima, Y. and S. Prima (2019). "Wind catcher and solar chimney integrated as an alternative ventilation for urban dense settlements in tropical climate." *International Journal of Architecture Urbanism* **3**(1): 51-68.
- Raj, V. A. A. and R. Velraj (2010). "Review on free cooling of buildings using phase change materials." *Sustainable Energy Reviews* **14**(9): 2819-2829.
- Saadatian, O., L. C. Haw, K. Sopian, M. Y. J. R. Sulaiman and S. E. Reviews (2012). "Review of windcatcher technologies." **16**(3): 1477-1495.
- Sahu, P. (2022). "Factors Affecting Wind Tower Efficiency and Modern Design Concepts & Techniques to Increase its Effectiveness." *Journal of Sustainable Construction Engineering and Project Management, Department of Building Engineering & Management, School of Planning & Architecture.*
- Sahu, P. K. (2022). "Factors Affecting Wind Tower Efficiency and Modern Design Concepts & Techniques to Increase its Effectiveness." *Journal of Sustainable Construction Engineering Project Management* **5**(2).
- Saifi, N., N. Settou, B. Dokkar, B. Negrou and N. Chennouf (2012). "Experimental study and simulation of airflow in solar chimneys." *Energy Procedia* **18**: 1289-1298.
- Sangdeh, P. K. and N. Nasrollahi (2022). "Windcatchers and their applications in contemporary architecture." *Energy Built Environment* **3**(1): 56-72.
- Shi, L. (2019). "Impacts of wind on solar chimney performance in a building." *Energy* **185**: 55-67.
- Shi, L. and al (2018). "Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*: 88: p. 223-238.
- Shi, L., G. Zhang, W. Yang, D. Huang, X. Cheng and S. Setunge (2018). "Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings." *Renewable Sustainable Energy Reviews* **88**: 223-238.

- Tavakolinia, F. (2011). "Wind-chimney (integrating the principles of a wind-catcher and a solar-chimney to provide natural ventilation)."
- Tavassoli, M. (1982). *City Planning in the Hot, Dry Climate of Iran, Design for Arid Regions*; Golany, G., Ed, Van Nostrand Reinhol: New York, NY, USA.
- Valipour, E. and R. Oshrieh (2013). Survey of Traditional Wind Catchers of the Middle East. *ICSDEC 2012: Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction*: 912-920.
- Warren, J. and I. Fethi (1982). de l'article/du chapitre Traditional Houses in Baghdad, distributeur Coach Publishing House.
- Yang, M., P. Wang, X. Yang and M. Shan (2012). "Experimental analysis on thermal performance of a solar air collector with a single pass." *Building environment* **56**: 361-369.
- Zarandi, M. M. (2009). "Analysis on Iranian wind catcher and its effect on natural ventilation as a solution towards sustainable architecture (Case Study: Yazd)." *International Journal of Humanities Social Sciences* **3**(6): 668-673.
- Zhai, X., Z. Song and R. Wang (2011). "A review for the applications of solar chimneys in buildings." *Renewable Sustainable Energy Reviews* **15**(8): 3757-3767.

## Résumé

La croissance de la demande énergétique des bâtiments a souligné l'importance de l'adoption de sources d'énergie durables. Dans ce contexte, l'utilisation de systèmes de refroidissement passifs et de ventilation naturelle, tels que les capteurs à vent et les cheminées solaires, a suscité un intérêt croissant. L'objectif principal de cette étude était d'analyser la performance d'un nouveau système de rafraîchissement solaire passif pour le refroidissement de l'air à l'intérieur d'une cellule d'essai dans un climat semi-aride, spécifiquement dans la ville de Ouargla. Ce système est composé d'un capteur à vent associé à un système de refroidissement par évaporation et à une cheminée solaire. Les performances du système ont été évaluées à travers une étude expérimentale comprenant une série de tests visant à mesurer la vitesse de l'air, la température et l'humidité à différents emplacements du système. En parallèle, une étude numérique a été menée en utilisant une analyse de la dynamique des fluides numérique (CFD) afin d'évaluer le flux d'air à l'intérieur de la cellule d'essai ainsi que dans le système du capteur à vent et de la cheminée solaire. Les résultats obtenus ont démontré que dans des conditions de vent, le capteur à vent permettait d'augmenter la vitesse de l'air à l'intérieur de la cellule, dépassant celle de l'extérieur, avec des valeurs pouvant atteindre 1,8 m/s. De plus, la présence d'une cheminée solaire favorisait une climatisation naturelle souhaitable à l'intérieur de la pièce pendant la journée, évitant ainsi la stratification de la température au sein de la cellule. Ces résultats démontrent l'efficacité du système dans la création d'un environnement confortable et bien ventilé. La température interne moyenne de la cellule diminue d'environ 3 à 7°C. Cette diminution significative de la température témoigne de l'efficacité du système de refroidissement solaire passif dans la réduction de la chaleur à l'intérieur de la cellule. Grâce à cette baisse de température, un environnement plus frais et confortable est créé,

**Mots clés :** Mots clés : capteur à vent. Système de refroidissement par évaporation ; cheminée solaire ; validation expérimentale ; dynamique des fluides numérique (CFD).

## المخلص:

أبرز النمو في الطلب على الطاقة في المباني أهمية اعتماد مصادر الطاقة المستدامة. في هذا السياق ، اجتذب استخدام التبريد السلبي وأنظمة التهوية الطبيعية ، مثل لواقط الرياح والمدخن الشمسية ، اهتمامًا متزايدًا. كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحليل أداء نظام التبريد الشمسي السلبي الجديد لتبريد الهواء داخل خلية اختبار في مناخ شبه جاف ، وتحديدًا في مدينة ورقلة. يتكون هذا النظام من مجمع رياح مرتبط بنظام تبريد بالتبخير ومدخنة شمسية. تم تقييم أداء النظام من خلال دراسة تجريبية تضمنت سلسلة من الاختبارات لقياس سرعة الهواء ودرجة الحرارة والرطوبة في مواقع مختلفة في النظام. بالتوازي مع ذلك ، أجريت دراسة عددية باستخدام تحليل ديناميكيات السوائل الحاسوبية (CFD) لتقييم تدفق الهواء داخل خلية الاختبار وكذلك في نظام لاقط الرياح والمدخنة الشمسية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه في ظروف الرياح ، يسمح لاقط الرياح بزيادة سرعة الهواء داخل الخلية ، متجاوزًا مثيله في الخارج ، بقيم تصل إلى 1.8 م / ث. بالإضافة إلى ذلك ، وجود مدخنة شمسية خلق تكييف للهواء الطبيعي مرغوب فيه داخل الغرفة أثناء النهار ، وبالتالي تجنب التقسيم الطبقي لدرجة الحرارة داخل الخلية. توضح هذه النتائج فعالية النظام في خلق بيئة مريحة وجيدة التهوية. ينخفض متوسط درجة حرارة الخلية الداخلية بحوالي 3 إلى 7 درجة مئوية. يشهد هذا الانخفاض الكبير في درجة الحرارة على فعالية نظام التبريد الشمسي السلبي في تقليل الحرارة داخل الخلية. بفضل هذا الانخفاض في درجة الحرارة ، يتم إنشاء بيئة أكثر برودة وراحة

**الكلمات المفتاحية :** لاقط الرياح. نظام التبريد التبخيري ، مدخنة شمسية ، التحقق التجريبي ، ديناميكا الموائع

الحسابية (CFD)