



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA  
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



## Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de  
**MASTER**

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Energétique

Prépare Par :

GUERROUT Abdessamed et BOUDINA Youcef

## Thème

Étude Expérimentale Et Simulation Numérique De  
La Ventilation Naturelle Dans Un Bâtiment Associé  
A Une Cheminée Solaire Et Une Tour A Vent Dans  
Un Climat Semi-Aride

*Soutenu publiquement le : 13/06/2022  
Devant le jury composé de :*

BOUBEKRI Abdelghani	Peofesseur	Université Kasdi Merbah Ouargla	président
RAHMOUNI Soumia	MCB	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur:
SAIFI Nadia	MCA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Promoteur

**Année universitaire : 2021/2022**

# *Remerciements*

Merci à ALLAH qui nous guide vers cela, merci à tous ceux qui nous ont donné l'opportunité de faire ce travail.

Nous vous sommes extrêmement, reconnaissant à notre superviseur Mademoiselle SAIFI NADIA pour son soutien efficace et sa supervision utile concernant mon étude de recherche.

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

Monsieur Abdelghani BOUBEKRI, Professeur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

Madame Soumia RAHMOUNI, Maître de conférence à l'université de Kasdi Merbah Ouargla d'avoir accepté d'examiner ce travail.

C'est un plaisir d'exprimer mes chaleureux remerciements à, groupe de maintenance , Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière ,Université, Tous les membres du laboratoire VPRS , nous tenons à remercier enfin tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce travail

Je remercie également tous ceux qui nous ont aidés ou soutenus pendant notre travail de la part de nos familles, amis et collègues.

## *Dédicace*

Dédié à ceux qui me sont les plus chers de toute ma vie : ma mère et mon père  
qui m'ont apporté à la fois un soutien mental et enduré les épreuves de la vie  
pour m'assurer que je vivais de la meilleure façon possible.

Abd essamed guerrout

## *Dédicace*

Dédié à mes parents qui m'ont aidé sur le chemin Et m'ont guidé avec succès tout au long de ces nombreuses années.

Youcef boudina

# Sommaire

Nomenclature .....	I
Listes des figures.....	III
Liste des tableaux.....	VI
Introduction générale .....	1

## Chapitre I : Généralité sur la ventilation

1 . Introduction : .....	3
2 . La ventilation .....	3
2.1.l'importance de renouvellement d'air.....	4
2.2.fonctions de la ventilation .....	4
2.3.2 ventilation naturelle.....	5
2.3.2.1. L'effet de vent .....	6
2.3.2.2. l'effet du tirage thermique.....	6
2.3.2.3 effet combine cnter le vent et tirage thermique.....	7
2.3.2.4. types de ventilation naturelle.....	7
2.4. Ventilation assistee par l'energie renouvelable .....	9
2.4.1. La cheminee solaire : .....	9
2.4.1.1. Principaux elements de la cheminee solaire :.....	9
2.4.1.2. Principe de fonctionnement.....	10
2.4.1.3. Type de la cheminee dans les habitats.....	11
2.4.1.4- les facteurs qui affectent le comportement d'une cheminee solaire .....	12
2.4.1.5. Analyse bibliographique et synthese des connaissances approprie a la cheminee solaire : .....	17
2.4.2.1. Principe d'ecoulement :.....	18
2.4.2.2. Les types de tour a vent:.....	19
2.4.2.3. Facteurs ayant un impact sur les performances des tours a vent .....	22
2.4.2.4 Tour à vent ent modern .....	24
2.4.2.5. Analyse bibliographique et synthese des connaissances approprie a la tour a vent :.....	27
3.Climat de la zone d'etude : .....	28

4. Conclusion :	30
-----------------	----

## Chapitre II : Etude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle

1. Introduction :	31
2. Partie experimental.....	31
2.1. Description des cellules :	31
2.2. Description d'une cheminee solaire :	32
2.2.1. Differentes etapes de constructions de la cheminee .....	32
2.2.1.1. Le cadre de la cheminee .....	32
2.2.1.2. Peintre et assemblage de vitrage et l'isolation thermique .....	33
2.2.2. Description d'une tour a vent.....	34
2.2.2.1. Differentes etapes de constructions de la tour a vent .....	35
2.2.3. Caracteristique physique des materiaux utilises :	36
2.2.4. appareillages de mesures.....	36
2.2.4.1. Mesure du rayonnement solaire .....	36
2.2.4.2. Mesure des temperatures .....	37
2.2.4.3. Mesure de la vitesse de l'air et du debit volumique.....	37
2.2.5. L'emplacement des capteurs .....	37
3. Partie numerique.....	38
3.1. Le modele physique .....	38
3.2. les hypotheses simplificatrices .....	38
3.3. Les equations regissantes :	39
3.3.1. Equation de continuite.....	39
3.3.2. Equation de conservation de quantite de mouvement .....	39
3.3.3. Equation de conservation de l'energie .....	39
3.3.4. Equation de l'energie cinetique turbulente.....	40
3.3.4.1. Equation de l'energie cinetique turbulente (k) .....	40
3.3.4.2. Equation du taux de dissipation d'energie ( $\epsilon$ ) .....	40
3.3.5. L'approximation de boussinesq :.....	40
3.3.6. Les nombres adimensionnels :	41
3.3.6.1. Le nombre de reynolds : .....	41
3.3.6.2. Nombre de rayleigh : .....	41
3.3.6.3. Nombre de grashof : .....	42
3.3.6.4. Le nombre de prandtl :.....	42

3.3.methode de resolution numerique :	42
3.4.les modeles de turbulence :	43
3.4.1.modele k-ε :	43
3.5.generation du maillage :	43
3.5.1.maillage structuree :	43
3.5.2. Maillage non structurel :	44
3.6. les conditions aux limites :	44
3.7. Choix du maillage :	45
3.8. Code cfd :	48
3.9. Schemas de discretisation :	48
3.10. Taux de changement d'air :	48
3.11. Organigramme de calcul	49
3.12. Les expressions des parametres physiques de l'air	50
4.Conclusion	50

## Chapitre III : Résultats et discussion

1. Introduction :	51
2. Etude experimentale :	51
2.1. Variation du rayonnement global :	51
2.2. L'evolution des differentes temperatures d'absorbeur et de vitre :	52
2.3. Vitesse a l'entree et a la sortie de la cheminee	52
2.4. Vitesse a l'entree et proche du mur interieur de la tour a vent	53
3. Simulation numerique	54
3.1. Controle de la solution (convergence) :	54
3.2. Courbe de convergence	55
3.4. Validation	55
3.5. Evaluation des resultats dans la cellule	58
3.5.1 champs dynamique	58
3.5.2. Profils de vitesse dans la cellule :	59
3.5.2.1. Profils de vitesse a la sortie de la tour a vent :	59
2.5.2.2. Au plan median- horizontal :	59
2.5.2.3. Au plan median-vertical	60
3.5.2.4. Profils de vitesse a l'entree de la cheminee solaire :	61
3.5.2.5. Profils de vitesse a la sortie de la cheminee solaire :	61

3.6. L'effet du changement de localisation de la cheminee solaire et de la .....	62
3.6.1. Champs dynamique dans different configuration : .....	63
3.6.2. La variation de vitesse au plan median-horizontal .....	66
3.6.3. La variation de vitesse au plan median-verticales .....	68
3.6.4. Champ dynamique dans la configuration 4 pour different valeur de vitesse.....	72
3.6.5. Evolution d'ACH .....	73
4. Conclusion .....	74
Conclusion générale .....	75
Bibliographiques.....	77
Annexe.....	80
Resumé	



## Nomenclature :

<b>C<sub>p</sub></b>	La chaleur spécifique	<b>(kJ/kg.k)</b>
<b>C<sub>μ</sub>, C<sub>1ε</sub>, C<sub>2ε</sub>, C<sub>3ε</sub></b>	Constantes du modèle de turbulence	<b>[1/m]</b>
<b>G</b>	La constante de la gravité	<b>[m/s<sup>2</sup>]</b>
<b>G<sub>k</sub></b>	Source d'énergie cinétique turbulente attribuée au gradient de vitesse moyen	<b>[pa/s]</b>
<b>G<sub>b</sub></b>	Source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité	<b>[pa/s]</b>
<b>H</b>	Hauteur de la cavité	<b>(m)</b>
<b>K</b>	Energie cinétique turbulente	<b>[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]</b>
<b>S</b>	La surface de conduction	<b>[m<sup>2</sup>]</b>
<b>T</b>	Température	<b>[K]</b>
<b>T<sub>0</sub></b>	température de fonctionnement	<b>[K]</b>
<b>T<sub>m</sub></b>	Température moyenne	<b>[K]</b>
<b>u,v,w</b>	Composante de la vitesse dans les directions x,y et z	<b>[m/s]</b>
<b>u,v,w</b>	Fluctuations des composants de la vitesse dans les directions x,y et z	<b>[m/s]</b>
<b>x,y,z</b>	Coordonnée cartésienne	<b>[m]</b>

### Lettres Grecques:

<b>α<sub>ε</sub></b>	Nombre de Prandlt turbulent pour l'équation de vitesse de dissipation d'énergie	–
<b>α<sub>k</sub></b>	Nombre de Prandlt turbulent pour l'équation d'énergie Kinect turbulente	–
<b>α<sub>t</sub></b>	Diffusivité thermique de tourbillon	<b>[m<sup>2</sup>/s]</b>
<b>β</b>	coefficient de dilatation thermique	<b>[1/K]</b>
<b>μ</b>	La viscosité dynamique	<b>[ Kg/m. s ]</b>

$\mu_t$	Viscosité dynamique turbulente du fluide	[Kg/m. s]
$\nu$	Viscosité cinématique	[m <sup>2</sup> /s]
$\rho$	La masse volumique	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	La conductivité thermique	[W/m .k]
$\varepsilon$	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]

**Abréviation :**

<b>ACH</b>	Changement d'air par heure
<b>CFD</b>	Simulateurs de fluides dynamiques
<b>CVC</b>	Chauffage, ventilation, climatisation
<b>RNG</b>	Ré normalisation Group
<b>RSM</b>	Modèle de stress de Reynolds
<b>SIMPLE</b>	Méthode semi-Implicite pour les équations liées à la pression

## Liste des figures

### Chapitre I : Généralité sur la ventilation

Figure I.1 : Systeme de ventilation .....	4
Figure I.2 : Ventilation mecanique .....	5
Figure I.3 : Principe de circulation de l'air dans un habitant .....	6
Figure I.4 : L'effet de vent dans habitant .....	6
Figure I.5 : Effet de tirage thermique dans habitant .....	7
Figure I.6 : Effet combine entre le vent et tirage thermique dans habitant .....	7
Figure I.7 : Ventilation d'un seul cote mono expose dans habitant. ....	8
Figure I.8 : Ventilation transversale sur deux cote expose dans habitant.....	8
Figure I.9 : Ventilation par l'utilisation de la cheminee solaire dans un habitant[8] .....	9
Figure I.10 : Principaux elements de la cheminee solaire. ....	10
Figure I.11 : Bilan energetique dans une cheminee solaire. ....	10
Figure I.12 : Cheminees solaires typiques utilisees dans le batiment. Le mur trombe est represente par (a) ; la cheminee solaire de toit est representee par (b) ; et la cheminee solaire combinee est representee par (c) .....	11
Figure I.13 : Les principaux facteurs d'influence sur la cheminee solaire .....	12
Figure I.14 : Deux configurations de cheminees pour un batiment a plusieurs etages : (a) cheminee solaire separee ; et (b) cheminee solaire combinee .....	13
Figure I.15 : Exemples des tours a vent dans le monde . ....	18
Figure I.16 : Principe de fonctionnement du tour a deux faces .....	19
Figure I.17 : Principe composant d'un tour a vent .....	19
Figure I.18 : Deux type de tour a vent a face unilaterial et multi-faces .....	20
Figure I.19 : Types de la tour en fonction de la section transversale .....	21
Figure I.20 : Types de la tour en fonction de la position des pales .....	22
Figure I.21 : Tour a vent contenue persiennes et diffuseurs.....	23
Figure I.22 : Types de toit de la tour a vent .....	24
Figure I.23 : Nouvelle type de la tour avec tete rotative. ....	24
Figure I.24 : Les tour a vent commerciaux.....	25
Figure I.25 : Tour a vent avec panneau evaporatif .....	26
Figure. I.26 : Tour a vent avec ventilateur axial.....	26
Figure I.27 : Zonage climatique de l'algerie adapte aux besoins de la réglementation Thermique dans le bâtiment .....	28

Figure I.28 : Evaluation de température dans période de 2010 a 2021 .....	29
Figure I.29 : Variation de vitesse dans 2019 .....	29

## Chapitre II : Etude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle

Figure II.1: Descriptions de la cellule. ....	32
Figure II. 2 :Les etapes de realisation de la cheminee.....	33
Figure II.3 : La cheminee solaire.....	34
Figure II.4 : La tour a vent.....	34
Figure II .5: Les principe etapes de realisation de la tour a vent et dimension . ....	35
Figure II.6: Pyranometre a affichage numerique.....	36
Figure II.7 : Thermometre a affichage numerique. ....	37
Figure II.8 : Anémomètre a affichage numérique . ....	37
Figure II.9: L'emplacement des captures de vitesse et temperature.....	37
Figure II.10: Modele physique. ....	38
Figure II.11: Les conditions aux limites.....	45
Figure II.12 : L analyse de sensibilite du maillage pour le modele par l'etude de vitesse de l'air a l'entree de la cheminee.....	46
Figure II.13 : Analyse de sensibilite du maillage pour le modele: (a) vitesse de l'air a .....	47
Figure II.14: Maillage avec taille des elements 1cm du modele .....	47
Figure II.15: Organigramme du calcule .....	47

## Chapitre III : Résultats et discussion

Figure III.1 : Variation horaire du rayonnement solaire globale (11/05/2022).....	51
Figure III.2 : Variation de la temperature de l'absorbeur et le vitrage en fonction de temps. .	52
Figure III.3 : Variation de la vitesse a l'entree et a la sortie de la cheminee.....	53
Figure III.4 : La vitesse a l'entree de la tour a vent.....	53
Figure III.5 : Vitesse proche du mur interieur de la tour a vent. ....	54
Figure III.6 : Courbe de convergence .....	55
Figure III.7 : Les points de mesure pour faire la validation. ....	56
Figure III.8: Comparaison entre les resultats experimentaux et de simulation (9 :00) .....	56
Figure III.9: Comparaison entre les resultats experimentaux et de simulation (13 :00) .....	57
Figure III.11 : Variation de la vitesse a l'entree de la cellule.....	59
Figure III.12 : Variation de la vitesse dans la cellule au plan median- horizontal .....	60
Figure III.13 : Variation de la vitesse a l'entree de la cellule au plan median-vertical.....	60
Figure III.14 : La vitesse a l'entree de la cheminee solaire.....	61

Figure III.15 : La vitesse a la sortie de la cheminee solaire .....	61
Figure III.16: Cinq configurations du notre modele avec differentes dispositions du systeme de tour a vent et de la cheminee solaire.....	63
Figure III.17 : Champ des vitesses dans la section transversale (configuration 2) .....	64
Figure III.18 : Champ des vitesses dans la section transversale (configuration 3) .....	64
Figure III.19 : Champ des vitesses dans la section transversale (configuration 4) .....	65
Figure III.20 : Champ des vitesses dans la section transversale (configuration 5) .....	65
Figure III.21: Variation de vitesse dans la cellule au plan median-horizontal .....	67
Figure III.22: Variation de vitesse dans la cellule au plan median-vertical. ....	68
Figure III.23: Le flux d'ecoulement (lignes de courant) configuration 1. ....	69
Figure III.24 : Le flux d'ecoulement (lignes de courant) configuration 2. ....	69
Figure III.26: Le flux d'ecoulement (lignes de courant) configuration 4. ....	70
Figure III.25 : Le flux d'ecoulement (lignes de courant) configuration 3. ....	70
Figure III.27 : Le flux d'ecoulement (lignes de courant) configuration 5. ....	71
Figure III 28 : Champ dynamique dans la configuration 4 pour different valeur de vitesse....	72

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Résumé des travaux d'analyse de la cheminee solaire .....	17
Tableau. I.2 : Résumé des travaux d'analyse de tour a vent. ....	27
Tableau II.1 : Aracteristique physique des materiaux utilises.....	36
Tableau II.2 : Constantes de ce modele k epsilon .....	40
Tableau II. 3 : Difference de debit massique entrant et sortant de la cheminee et le nombre des iterations. ....	46
Tableau II.3: Les parametres physiques de l'air.....	50
Tableau III.1 :Les residus pour les differentes equations.....	54
Tableau III.3: Effet de la vitesse sur le taux de renouvellement d'air.....	73

*Introduction  
générale*

## Introduction générale

Le secteur du bâtiment absorbe 40% de la consommation d'énergie en Algérie [1], et ce pourcentage augmente en raison de l'urbanisation et de la croissance démographique. Les deux tiers de cette énergie sont consommés par le chauffage, la climatisation et la ventilation, l'utilisation de l'énergie de cette façon contribue à augmenter les émissions de gaz à effet de serre.

Aujourd'hui, la possibilité d'utiliser la ventilation naturelle dans les bâtiments est considérée comme un facteur important à prendre en compte dans les bâtiments. La priorité est d'améliorer la qualité de l'espace en fonction des paramètres climatiques et environnementaux et de réduire la consommation énergétique dans les bâtiments. De nos jours, la consommation d'énergie et le phénomène du chauffage climatique sont considérés comme des défis majeurs en raison de leur impact important sur la nature et l'environnement. Les systèmes de ventilation représentent la plus grande proportion en termes de consommation d'énergie, par rapport aux autres éléments de consommation d'énergie dans le bâtiment, la plus grande proportion

L'utilisation de la ventilation naturelle est la clé pour réduire les difficultés liées à l'utilisation de l'énergie [2]. Les systèmes de ventilation passive peuvent réduire considérablement l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments et minimiser les conséquences désastreuses de la consommation d'énergie et de la réduction de la production de carbone [3], la ventilation naturelle ne marche pas de manière optimale en raison de l'intensité élevée et de la surface limitée des ouvertures dans les bâtiments et de la densité de l'habitat, qui empêchent le vent de se déplacer librement, de sorte que l'air de refroidissement par convection diminue [4].

Il est possible d'utiliser certains des potentiels des conditions contextuelles telles que les vents forts et la chaleur solaire comme force motrice de l'air pour maximiser les performances de la ventilation naturelle. Le système de tour à vent et le système d'une cheminée solaire sont largement utilisés dans les régions semi arides pour améliorer la ventilation naturelle des bâtiments. 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 les performances de la ventilation par un système d'une tour à vent couplée avec une cheminée solaire dans un environnement réel. Nous



proposons deux méthodes pour cette étude, l'une expérimentale et l'autre numérique, en utilisant le code de calcul ANSYS 2021 version R1.

Nous avons divisé notre travail en trois chapitres.

Le premier chapitre permet de démontrer l'importance de la ventilation naturelle pour améliorer le confort et diminuer la consommation d'énergie. On présente un aperçu général sur les derniers développements des systèmes de ventilation et leur fonction, ainsi que la définition de la ventilation naturelle et ses types. Les concepts de tour à vent et de cheminée solaire sont décrits comme un moyen important pour fournir une ventilation naturelle aux bâtiments.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale et la simulation numérique du comportement dynamique d'un écoulement d'air à travers une cellule munie d'une cheminée solaire et une tour à vent. En donnant une description du dispositif à étudier et les appareils de mesures employées. La formulation mathématique, la physique du problème, les conditions aux limites et la méthode de résolution sont présentées dans ce chapitre

Le chapitre trois est constitué d'une discussion sur les résultats expérimentaux obtenus et leur comparaison avec les résultats de simulation numérique tridimensionnelle. Pour déterminer le modèle de ventilation naturelle adapté au bâtiment dans les conditions climatiques de la région d'Ouargla, nous avons défini cinq configurations différentes.

Une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus au cours de ce travail et une présentation des perspectives envisagées

*Chapitre I : Généralité  
sur la ventilation*

### 1-introduction :

Avec près de 40 % des consommations en énergie finale le bâtiment reste aujourd'hui le secteur le plus énergivore en Algérie, plus des deux tiers de cette énergie sont utilisés pour le chauffage, la climatisation [1]. Ces deux derniers contribuent à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, qui vont encore augmenter en raison de l'urbanisation et de la croissance démographique. La ventilation naturelle dans les bâtiments peut créer un environnement intérieur confortable et sain, et économiser l'énergie utilisée dans les systèmes de ventilation mécanique. Ce chapitre traite la notion de ventilation naturelle et ses types. Nous allons également présenter quelques généralités sur le système de cheminée solaire et le système des tours à vent.

### 2-la ventilation

La ventilation vient du mot latin (ventus) qui signifie le mouvement de l'air. Généralement définie comme un apport d'air extérieur à l'intérieur du bâtiment permettant le mouvement de l'air et le remplacement de l'air vicié stagnant par de l'air frais extérieur. La ventilation est l'air utilisé pour fournir une qualité d'air intérieur acceptable en remplaçant l'air intérieur humide et vicié par un air frais ou provenant de l'extérieur [5, 6]. L'air de ventilation est nécessaire pour diluer les odeurs et limiter la concentration de dioxyde de carbone et de polluants en suspension dans l'air tels que les particules respirables en suspension. La ventilation naturelle est une stratégie passive, sans moyens mécaniques, de maintenir un environnement intérieur confortable.

Dans ces environnements, le renouvellement de l'air est un critère essentiel, les systèmes de ventilation doivent répondre à des critères de confort thermique, de propreté, de durabilité environnementale et d'efficacité énergétique.

Nous pouvons obtenir une bonne ventilation d'une façon très simple, soit par des dispositifs spéciaux (ventilation), en ouvrant des portes ou des fenêtres, laisser le courant d'air rafraîchir l'air intérieur. Ces différentes formes n'ont pas toutes la même efficacité.

### 2.1-L'importance de renouvellement d'air

Il est nécessaire de renouveler l'air intérieur par ventilation. Que ce soit pour chasser l'air vicié, évacuer les polluants ou encore pour réguler l'humidité. Théoriquement, une rénovation de l'air de  $3,6 \text{ m}^3 / \text{h}$  par une surface de plancher permet d'assurer une qualité de l'air acceptable dans la pratique. [7]

### 2.2-Fonctions de la Ventilation

Les systèmes de ventilation doivent répondre aux exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie, La ventilation remplit trois fonctions principales

- La ventilation a un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur, empêchant essentiellement l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables à l'intérieur du bâtiment.
- La ventilation a une fonction d'entretien et sert à éviter ou éliminer la condensation de la vapeur d'eau sur les murs, elle permet d'atteindre cet objectif de durabilité du bâtiment en remplaçant l'air humide par de l'air moins humide. Cette fonction est étroitement liée à la ventilation hygiénique.
- Pour obtenir un confort d'été en favorisant les échanges thermiques convectifs et L'augmentation des échanges d'air augmente les échanges avec l'air extérieur et rafraîchit le bâtiment lorsque la température de l'air extérieur est inférieure à celle de l'air intérieur L'air doit être limité lorsque les températures s'inversent.

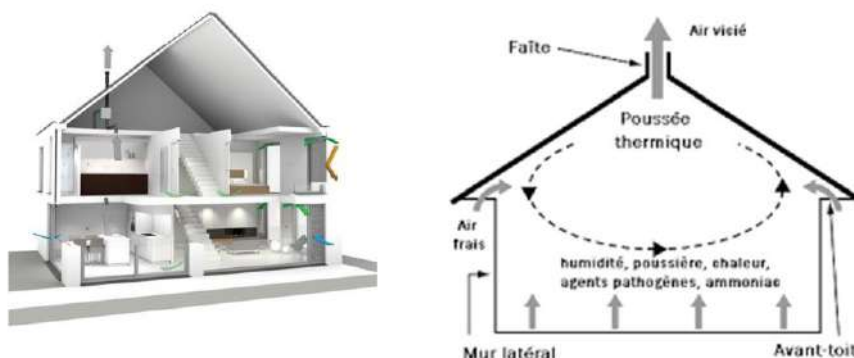


Figure I.1 : Système de ventilation

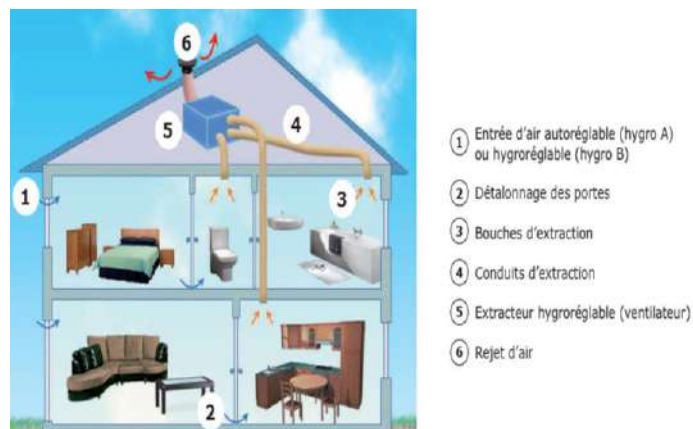
### 2.3-Les types de ventilation

Il existe plusieurs façons de ventiler les bâtiments et de renouveler l'air intérieur. On peut diviser la ventilation en deux types

#### 2.3.1-Ventilation Mécanique

La ventilation active est une ventilation mécanique, telle que celle fournie par les ventilateurs extracteurs, les systèmes de ventilation de tout le bâtiment et le système de traitement d'air (CTA) et ces systèmes sont alimentés à l'électricité ; plus le nombre de composants est grand, plus que le système consomme d'énergie. Il existe plusieurs types de ventilation mécanique généralement classés sous deux catégories :

- La ventilation simple flux
- La ventilation double flux[7]



**Figure I.2 : Ventilation mécanique**

#### 2.3.2 Ventilation naturelle

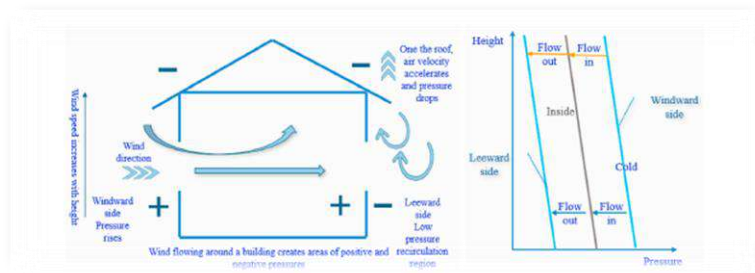
La ventilation naturelle est utilisée en approche bioclimatique pour procurer l'air frais nécessaire aux occupants pour leur santé et contrôler la température pour leur confort. Les bouches d'aération sont utilisées pour contrôler et diriger la circulation de l'air dans ce système. Ce type de système passif régule la température de l'air, aspiré tout en expulsant l'air vicié. La ventilation naturelle et l'infiltration d'un bâtiment sont déterminées par la différence de pression à travers la structure du bâtiment entre l'intérieur et l'extérieur ; Cette différence de pression est le résultat de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur qui entraîne une différence de densité de l'air.



**Figure I.3 :** principe de circulation de l'air dans un habitant

### 2.3.2.1-L'effet de vent

Sous l'effet du vent extérieur, la distribution de la pression statique au vent augmente, ce qui donne lieu à une région à pression positive ou élevée. Des tourbillons peuvent se produire du côté sous le vent, ce qui forme une région à basse pression ou négative. Sous l'effet du gradient de pression, l'air est entraîné du domaine à pression positive vers la région à pression négative.



**Figure I.4 :** L'effet de vent dans habitant[8].

### 2.3.2.2-L'effet du tirage thermique

Dans ce cas la ventilation est par flottaison d'air, se produit en raison des variations de densité dues aux variations de température et de hauteur entre le milieu intérieur et le milieu extérieur ou entre des zones déterminées à l'intérieur d'un bâtiment ; ces variations entraînent des différences de densité de l'air et donc du gradient de pression de ces zones. Quand l'air intérieur est plus chaud que l'air extérieur, il va entrer par les ouvertures situées en bas du bâtiment et sortir par les ouvertures situées en haut du bâtiment [8].

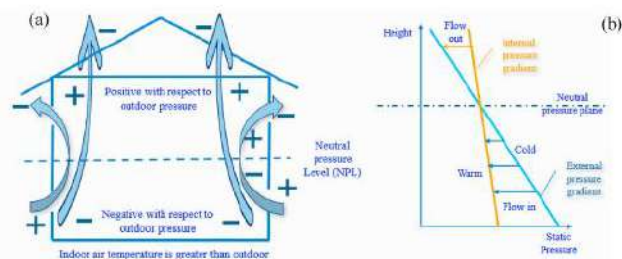


Figure I.5 : Effet de tirage thermique dans un habitant[8].

### 2.3.2.3 Effet combiné entre le vent et tirage thermique

En réalité, ces deux moteurs de ventilation agissent simultanément et peuvent avoir des effets complémentaires ou opposés. On considère qu'au-delà de 3 m/s, l'action du vent devient alors dominante sur les autres forces motrices des systèmes de ventilation.

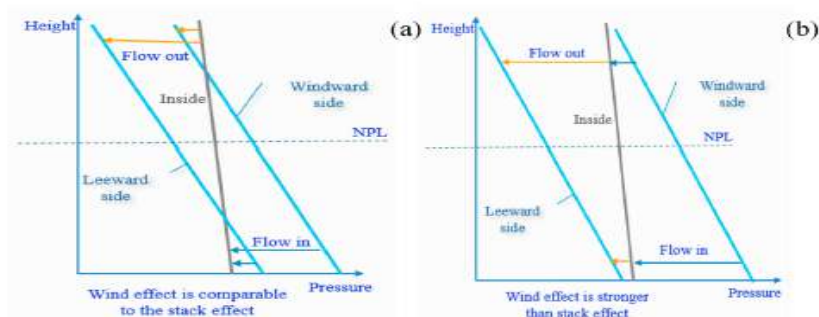


Figure I.6 : Effet combiné entre le vent et tirage thermique dans un habitant[8].

### 2.3.2.4 Types de ventilation naturelle

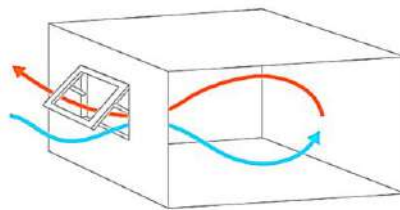
#### a. Ventilation par l'ouverture en façade

Une "stratégie de ventilation" fait référence à la manière dont l'air est introduit dans un bâtiment et à la manière dont il en est extrait. Comme pour les habitations de faible hauteur, les différentes stratégies utilisées pour ventiler les habitations de grande hauteur peuvent être classées en grandes catégories selon le nombre de l'ouverture dans les façades [9].

#### b. Ventilation d'un seul côté mono exposé

La ventilation sur un seul côté exposé est le cas dans lequel il n'y a qu'un seul côté une seule façade de l'espace ventilé tandis que l'autre côté est partitionné où l'air frais entre dans la

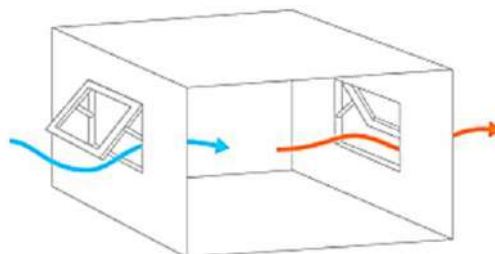
chambre par l'ouverture du même côté que celui par lequel il est évacué. Cette stratégie permet de ventiler efficacement l'espace si la profondeur de la Chambre est au maximum de 2,5 fois sa hauteur. La force motrice de la ventilation unilatérale est le vent qui coïncide avec la différence de température entre les entrées d'air basses et les sorties d'air hautes. L'effet de flottabilité peut également favoriser la ventilation unilatérale si les ouvertures de ventilation sont situées à des hauteurs différentes [9].



**Figure I.7 :** Ventilation d'un seul côté mono exposé dans habitant.

### c. Ventilation transversale

La ventilation transversale est basée sur la circulation de l'air entre les deux côtés de son enveloppe en raison des différences de pression entre les ouvertures des deux côtés (l'air se déplace du côté au vent vers le côté sous le vent). Pour une ventilation transversale efficace, la profondeur de la chambre ne doit pas dépasser cinq fois sa hauteur. L'effet de flottaison peut également favoriser l'efficacité de la ventilation transversale lorsque les chambres font face à un grand espace ouvert. [9]



**Figure I.8 :** ventilation transversale sur deux côté exposé dans habitant.

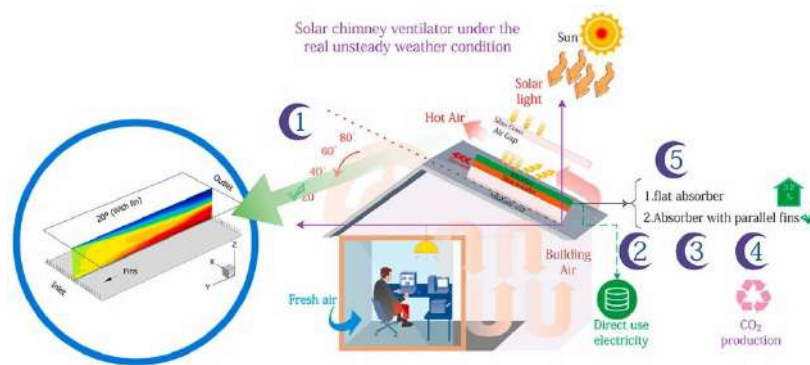


### 2.4. Ventilation assistée par l'énergie renouvelable

Les constructeurs ont conçu de nombreux systèmes pour améliorer la ventilation naturelle grâce à l'utilisation de certains types d'énergie renouvelable. Nous reconnaissons deux types d'énergie : le solaire (la cheminée solaire) et l'éolien (la tour à vent) et leur rôle dans la ventilation.

#### 2.4.1. La cheminée solaire

En raison de leurs avantages potentiels en termes de coût d'exploitation, de besoins énergétiques et d'émissions de dioxyde de carbone, les cheminées solaires suscitent un grand intérêt pour la réduction des gains de chaleur et le refroidissement ou le chauffage naturel des structures commerciales et résidentielles. Les cheminées solaires peuvent être installées sur les murs et les toits de bâtiments civils pratiques. Les cheminées solaires sont toujours utilisées dans des conceptions intégrées pour améliorer les performances de ventilation naturelle et fournir un meilleur confort thermique intérieur. Les cheminées solaires peuvent également être utilisées en conjonction avec des systèmes de refroidissement naturel pour améliorer le refroidissement à l'intérieur des bâtiments.[10]



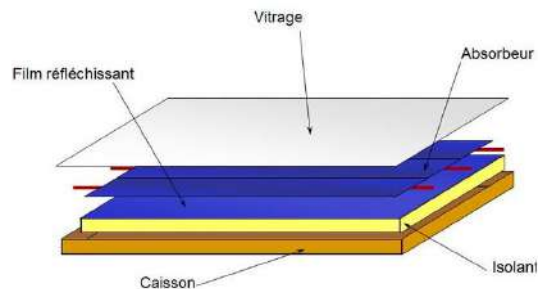
**Figure I.9** : ventilation par l'utilisation de la cheminée solaire dans un habitant[11]

#### 2.4.1.1. Principaux éléments de la cheminée solaire :

La Cheminée solaire est un capteur solaire se compose d'une conduite de base avec une paroi de capteur appelé absorbeur d'un côté et vitre de l'autre côté. Le rayonnement solaire chauffe la cheminée et l'air qu'elle contient pendant la journée, ce qui provoque un courant d'air ascendant dans la cheminée. L'air induit produit par la cheminée peut être utilisé

pour ventiler, refroidir et chauffer des structures naturellement. Les principes composant dans la cheminée sont :

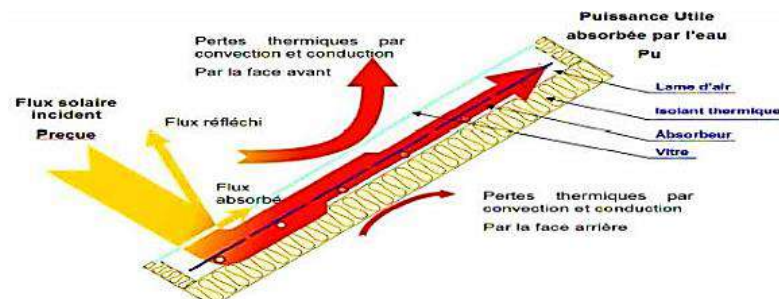
- La surface transparente (la vitre).
- L'absorbeur.
- L'isolation thermique de la cheminée.
- Le cadre extérieur



**FigureI.10** : Principaux éléments de la cheminée solaire.

### 2.4.1.2. Principe de fonctionnement

Le rayonnement solaire incident atteint la surface du verre, une partie de ce rayonnement solaire traverse le verre est absorbée par la surface d'absorbeur, celui-ci émet à son tour un rayonnement infrarouge (chaleur) à l'intérieur de la cheminée. Cette énergie va créer une différence de température entre l'absorbeur et la vitre. L'air pénètre dans la cheminée, chauffé par l'énergie solaire, sa densité diminue. L'air chaud est évacué par l'ouverture supérieure et remplacé par l'air froid de l'ouverture inférieure.



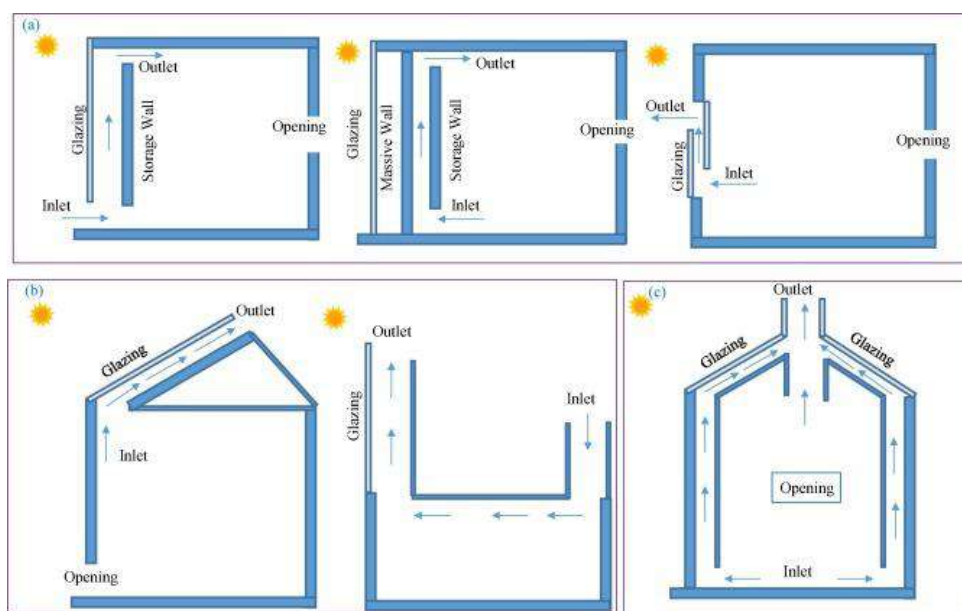
**FigureI.11** : Bilan énergétique dans une Cheminée solaire.

La différence de pression est la fonction de la hauteur effective de l'effet de cheminée et de la différence de densité d'air extérieur et d'air intérieur (la densité de l'air est directement proportionnelle à la température).

### 2.4.1.3. Type de la cheminée dans les habitats

Une cheminée solaire est une méthode d'amélioration de la ventilation naturelle des bâtiments qui utilise l'énergie solaire passive. La poussée thermique, qui est générée par la différence de densité de l'air sous le gradient de température entre la pièce intérieure et la cavité de la cheminée, est le principal mécanisme d'entraînement du flux d'air dans la cavité de la cheminée, ce qui illustre les cheminées solaires habituellement utilisées dans les bâtiments. On peut remarquer qu'il existe trois types [12]:

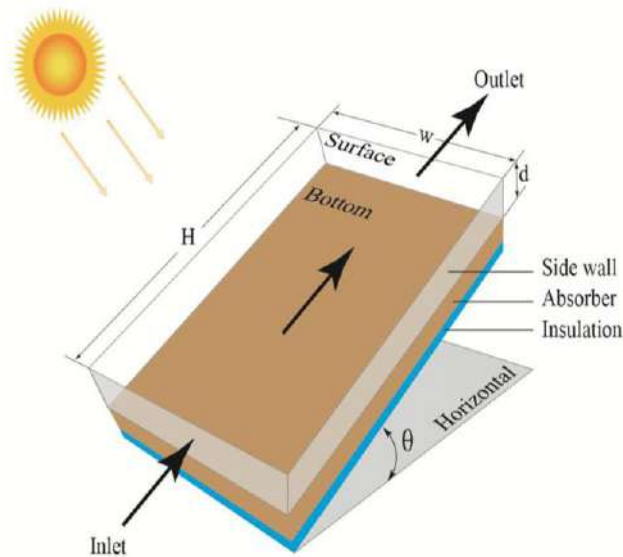
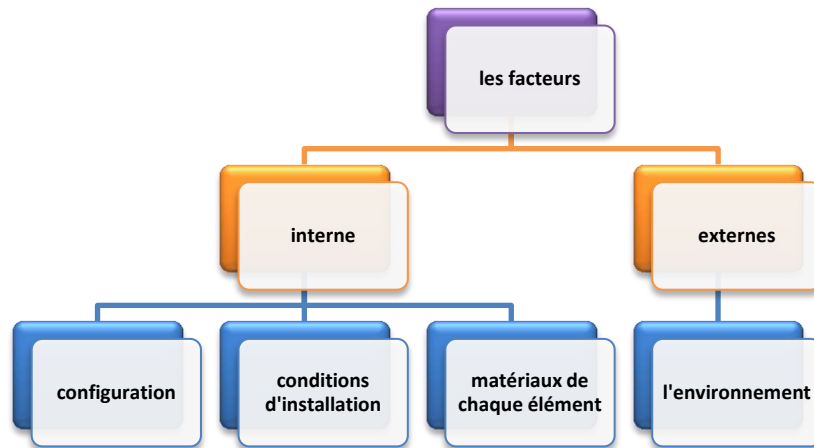
1. Cheminée solaire avec parois Trombe
2. Toits de cheminées solaires
3. Combinaisons de cheminées solaires



**Figure I.12 :** 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)[13].

### 2.4.1.4- Les facteurs qui affectent le comportement d'une cheminée solaire :

La performance des cheminées solaires est affectée par des facteurs externes et internes. La dimension et le type de matériaux utilisés dans la cheminée solaire sont classés comme des facteurs internes, le rayonnement solaire, le vent extérieur et les conditions de température sur le site sont des exemples de variables externes qui constituent les conditions environnementales [4].

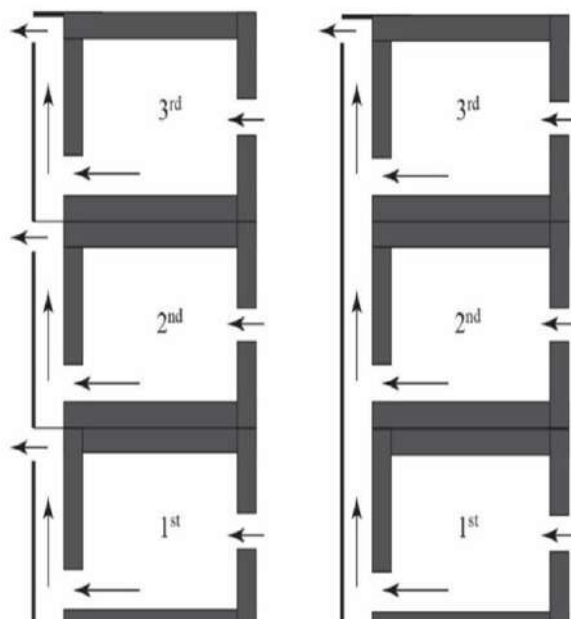


**Figure I.13 :** Les principaux facteurs d'influence sur la cheminée solaire[14].

### a. Configuration

- **La Hauteur**

La hauteur de la cheminée solaire est déterminée par la distance verticale de la cavité de la cheminée. Il est clair qu'une hauteur plus élevée permet d'obtenir un meilleur rendement. Plusieurs raisons peuvent être expliquées . La première est due à la différence de pression accrue par la cavité de la cheminée, ce qui entraîne une augmentation du taux de ventilation [15]. L'augmentation du gain de chaleur est une autre raison. Un double flux de ventilation a été observé expérimentalement lorsque la hauteur de la cheminée est doublée .[16] Une étude numérique de Lee et Strand [17]. indique que le débit d'air augmente d'environ 73 % lorsque la hauteur du mur passe de 3,5 m à 9,5 m avec un espace de cavité de 0,3 m.



**Figure I.14** Deux configurations de cheminées pour un bâtiment à plusieurs étages : (a) cheminée solaire séparée ; et (b) cheminée solaire combinée [18].

- **La cavité**

La cavité, aussi appelée largeur de la cheminée ou profondeur du passage, L'espace de cavité, également appelée largeur de cheminée ou profondeur de canal, est l'épaisseur de la conduite de toit ou la distance entre le mur intérieur et le vitrage extérieur. La performance des deux types de cheminées solaires est considérablement influencée par l'espace entre les cavités. Le débit d'air dans la cavité n'augmente pas toujours avec un écart de cavité plus important. Par exemple, une étude numérique [17].a indiqué que lorsque la largeur de la cavité passe de 0,15 à 0,75 m, le débit d'air diminue de 1,9 à 4,7 %. Ce phénomène est dû à la présence d'un flux inverse. Comme le chauffage de l'air dans la cavité dépend de la convection, l'air adjacent à la paroi chaude a plus de chances d'être chauffé.

- **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 un toit avec cheminée solaire, les surfaces d'entrée et de sortie sont égales à la surface de la section transversale horizontale de la cavité, cela est dû à la forme de caisson de ces dispositifs d'essai, constitués de deux groupes de panneaux parallèles [19-21] Dans ces conditions, l'influence de la surface de l'entrée et de la sortie sur les performances peut être partiellement reflétée par l'espace de la cavité. Les effets des surfaces d'entrée et de sortie sur les performances dépendent également d'autres facteurs.

Une étude numérique [22] a montré que pour une géométrie de cheminée donnée, le débit d'air peut être augmenté par une cavité de cheminée plus élevée, seulement si la section transversale est inférieure à une valeur critique. Cela s'explique par le fait que l'aire de la section transversale a un effet important sur le transfert thermique convectif transitoire et/ou turbulent dans une cheminée.

- **Rapport hauteur/espace**

Le rapport hauteur/espace fait en général état du rapport entre la hauteur de la cavité et l'espace pour les murs des cheminées solaires, qui est le rapport entre la longueur de la cavité et la lame d'air de la cheminée solaire installée sur le toit. Le rapport optimal est 10 entre la hauteur de la cavité et l'espace pour la plupart des cas. Le rapport optimal dépend également d'autres facteurs, tels que la vitesse de l'air, le matériau de la cavité, l'angle d'inclinaison et l'isolation thermique. Certaines études affirment qu'il n'existe pas de ratio optimal pour certaines configurations de cheminée. Le rapport sur la ventilation a été étudié par Mathur et

al. [23] Avec neuf combinaisons différentes de la hauteur de l'absorbeur et de la largeur de la lame d'air pour une cheminée solaire à échelle réduite. Il était connu que le débit d'air augmente avec un rapport plus élevé.

### **b. Influences des conditions d'installation**

- **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 la cheminée solaire de toit doit être assemblée avec le toit, l'angle d'inclinaison dépend beaucoup de celui du toit. L'angle d'inclinaison pour une cheminée solaire de type paroi est de  $90^\circ$ . La majorité des études précédentes ont obtenu un angle d'inclinaison optimal de  $45^\circ$  [16, 19, 21, 24-26]. Ce qui peut s'expliquer par la perte de pression la plus faible. L'angle optimal doit être considéré avec un équilibre entre la pression de la cheminée et le transfert de chaleur par convection. Pour cette raison, pour une cheminée solaire à un endroit spécifique, l'angle d'inclinaison optimal est plus élevé que l'angle recevant le rayonnement solaire maximal.

- **Les absorbeurs solaires**

Le but de l'absorbeur solaire est de gagner autant de chaleur que possible à partir du rayonnement solaire. Par conséquent, une conception favorisant le gain de chaleur peut améliorer les performances, comme l'augmentation de la surface de la plaque du capteur et l'utilisation de matériaux à haute absorptivité et à faible conductivité thermique.

### **c. Influences des usages matériels**

- **Type de vitrage**

Les propriétés de transmissivité, de réflectivité et d'absorptivité sont importantes pour les performances d'une cheminée solaire, la transmissivité jouant un rôle plus important que les deux autres. Bien que le double vitrage présente des avantages, il semble être un bon choix pour le chauffage en hiver, mais pas pour la climatisation en été, en raison de son coût. Lorsque le double vitrage a été appliqué au mur de Trombe en été, les débits d'air ont augmenté de 10-17% [27].

- **Matériaux de l'absorbeur solaire**

Le matériau de l'absorbeur solaire est très important pour les performances de la cheminée solaire. L'absorptivité et l'émissivité sont des deux propriétés importantes, l'absorptivité semblant être plus importante que l'émissivité. Plusieurs mesures peuvent améliorer les performances lors de la conception d'une cheminée solaire, telles que la couche de stockage thermique et la plaque absorbante avec une surface polie noire

- **Isolation thermique**

L'isolation thermique du mur creux est importante pour améliorer les performances de la cheminée solaire. Une épaisseur de paroi isolante de 5 cm est suggérée en tenant compte du coût, car elle n'entraîne pas de baisse significative des performances par rapport à une paroi isolante de plus de 10 cm d'épaisseur. L'isolation thermique est relativement plus importante que de nombreux autres facteurs. Par exemple, une étude expérimentale [28] a indiqué que la diminution de la résistance du transfert de chaleur dans la cavité joue un rôle plus important dans l'amélioration de l'efficacité thermique, en comparaison avec quatre autres paramètres tels que les propriétés optiques de la couverture du vitrage, la hauteur de la couche d'air immobile, l'émissivité de la surface de la plaque d'absorption, etc, l'émissivité de la surface de la plaque absorbante et la résistance conductrice de la plaque arrière. Il s'ensuit que les conceptions de réglage de la couche d'air immobile et l'amélioration de la transmittance de la couverture du vitrage. Plusieurs tentatives ont été négligées, telles que l'augmentation de la conductivité thermique de la plaque arrière ou la réduction de l'émittance de la plaque absorbante.

### **d. Influences de l'environnement**

Le rayonnement solaire, le vent extérieur et d'autres conditions environnementales ont tous un impact sur les cheminées solaires. Le rayonnement solaire, le vent extérieur et d'autres conditions environnementales ont tous un impact sur les cheminées solaires. Selon les principes de la cheminée solaire, un rayonnement solaire élevé peut sans aucun doute améliorer ses performances, et le débit volumétrique présente une fonction de puissance 0,5 avec le rayonnement solaire. Des mesures doivent être prises lors de la création d'une cheminée solaire pour capter autant de rayonnement solaire que possible. Bien que le vent extérieur ait un impact majeur sur les performances, la conception d'une cheminée solaire peut se faire sans tenir compte du vent extérieur en raison de son caractère aléatoire. D'autres facteurs climatiques, comme l'emplacement et l'orientation du bâtiment, jouent un rôle dans la



conception d'une cheminée solaire. En ce qui concerne le rayonnement solaire, l'idée de conception est la même : absorber autant de chaleur que possible.

### 2.4.1.5. Analyse bibliographique et synthèse des connaissances approprié a la cheminée solaire :

Un résumé des travaux d'analyse de cheminée solaire dans les bâtiments résidentiels et non résidentiels est présenté dans le tableau suivant

**Tableau I .1 : Résumé des travaux d'analyse de la cheminée solaire**

Facteur	Résultats	Réf
<b>La Hauteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sur la base des conditions de l'étude, l'efficacité maximale de la cheminée solaire est de 38%, en particulier pour un flux de chaleur de 800 W/m<sup>2</sup> et une hauteur de cheminée solaire de 2,0 mètres.</li> </ul>	[29]
<b>Angle D'inclinaison</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les résultats expérimentaux montrent également que l'angle d'inclinaison optimal pour la ventilation naturelle est de 45°.</li> <li>Les résultats du modèle numérique ont montré que l'angle d'inclinaison optimal de la cheminée était de 60° pour obtenir le taux de ventilation maximal. À cet angle d'inclinaison, le taux de ventilation était environ 20 % plus élevé qu'à 45°.</li> </ul>	[26] [30]
<b>Rapport Entre L'espace Et La Hauteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les résultats expérimentaux montrent que le rapport optimal entre l'espace et la hauteur qui maximise le débit d'air dans la cheminée se situe autour du rapport espace/hauteur de 0,5.</li> </ul>	[31]
<b>La Cavité D'aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les résultats expérimentaux et numérique montrent que La vitesse maximale de l'air pour une intensité de rayonnement à un espace d'air de 50 mm d'épaisseur.</li> <li>On a déterminé expérimentalement qu'une grande lame d'air et une couleur noire induisaient le taux de ventilation le plus élevé,</li> </ul>	[30] [32]
<b>Les zones d'entrée et de sortie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'augmentation du débit massique dans les cheminées solaires est régie par 3 fonctions indépendantes liées individuellement à la hauteur, à la profondeur du canal et à la surface d'entrée et sortie</li> </ul>	[33]
<b>L'absorbeur Solaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cette étude tester trois types de capteurs solaires, notamment des absorbeurs plats, à rainures en V et à chevrons. L'absorbeur à chevrons s'est avéré avoir les meilleures performances, atteignant jusqu'à 20 % d'amélioration du rendement thermique.</li> </ul>	[34]
<b>Le vitrage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La transmissivité du vitrage est importante pour une cheminée solaire, et qu'une valeur élevée peut augmenter la température de sortie et également les performances. L'influence de la transmissivité du vitrage de la cheminée sur l'augmentation de la température est plus évidente que celle de la réflectivité et de l'absorptivité.</li> <li>le double vitrage montre son avantage en améliorant les performances</li> </ul>	[24] [35]
<b>L'isolation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La diminution de la résistance au transfert de chaleur dans la cavité joue le rôle le plus important dans l'amélioration de l'efficacité thermique,</li> <li>une épaisseur de 5 cm de paroi isolante est suffisante et qu'aucune amélioration évidente ne peut être observée avec une épaisseur supérieure à 10 cm</li> </ul>	[28, 36]
<b>L'enivrement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rayonnement solaire : L'énergie du rayonnement solaire est capable d'entraîner l'air à l'intérieur de la cavité de la cheminée. Elle peut apporter un mouvement d'air adéquat sous l'effet du rayonnement solaire.</li> <li>les conditions climatiques pertinentes lors de la conception de la cheminée solaire , et d'autres facteurs doivent également être pris en compte, notamment l'orientation du bâtiment, son emplacement, le climat, la taille de la pièce et</li> </ul>	[37] [17, 38]

### 2.4.2 Tour à vent :

La tour à vent est un élément architectural installé sur le toit d'une habitation en forme de tour qui permet d'apporter de l'air frais venant de l'extérieur. Les tours peuvent être classées en trois groupes : les tours vernaculaires, les tours modernes ou commerciaux et les tours modernes. Bien que les tours à vents soient utiles, les changements d'architecture et de style de vie nécessitent des tours à vent modernes avec de nouveaux concepts. Les nouveaux tours à vent doivent correspondre à la nouvelle architecture sous tous ses aspects et doivent être plus contrôlables et plus flexibles.



Figure I .15 : Exemples des tours à vent dans le monde [39].

#### 2.4.2.1. Principe d'écoulement :

Le fonctionnement d'un système de ventilation naturelle repose principalement sur la ventilation par le vent et l'effet de cheminée (flottabilité). Pendant la journée, le mouvement du vent extérieur au niveau de la toiture crée une pression positive sur le côté de la structure exposé aux vents, et une pression négative sur le côté opposé. Cette différence de pression est plus importante et suffisante pour fournir de l'air frais aux espaces intérieurs, en évacuant en même temps l'air chaud et pollué. La nuit, lorsqu'il n'y a pas de mouvement d'air ou bien un faible courant d'air, le dispositif de la tour à vent fonctionne comme une cheminée, en utilisant la flottabilité des forces thermiques [39].

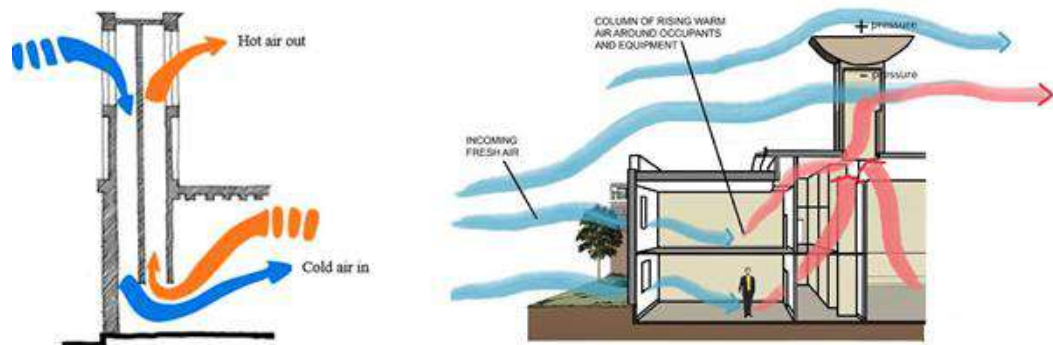


Figure I.16 : principe de fonctionnement du tour a deux faces [40, 41].

### 2.4.2.2. Les types de tour à vent:

Les Tours de vent sont classés en deux groupes principaux : les tours de vent traditionnels et les capteurs de vent modernes. Les tours de vent traditionnels sont constitués de différents composants, notamment les ouvertures, le toit, la tête, le canal et les cloisons internes. Les tours à vent peuvent être classées selon les formes, les tailles, le nombre d'ouvertures, la section transversale et le cloisonnement intérieur des tours [42].

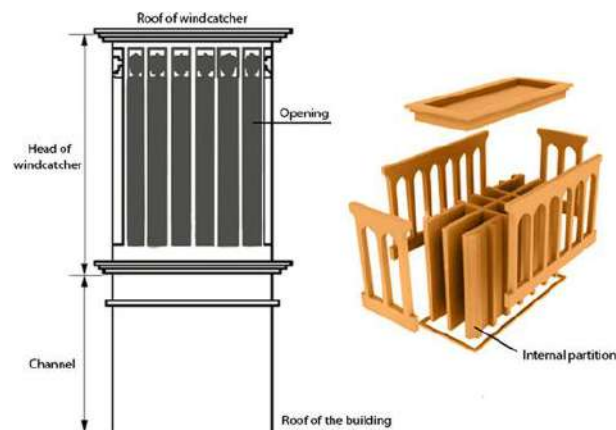


Figure I.17 : principe composant d'un tour à vent [39].

#### a. Nombre d'ouvertures :

Le nombre d'ouvertures est l'un des éléments les plus importants qui influent sur l'efficacité des tours à vent. Le nombre d'ouvertures détermine les caractéristiques des différents types de tours à vent. Par conséquent, chaque type est capable de fonctionner dans un endroit spécifique avec des conditions climatiques particulières. D'autre part, plus le

nombre d'ouvertures est élevé dans une tour, plus l'influence des angles du vent sur le flux d'entrée est faible [40].

- **Tour à vent à face unilatéral**

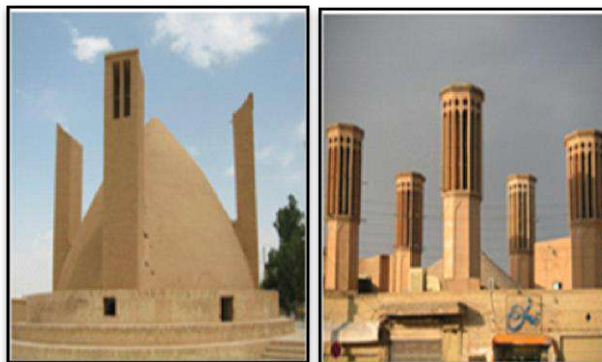
Dans les régions où le vent ne souffle que dans une seule direction, on utilise des tours à vent unilatérales. Celle-ci ne comporte qu'une seule conduite ou canal, l'installation des conduites se fait en face des vents pour amener l'air directement. L'avantage des tours à vent unilatérales est qu'elles sont plus résistantes aux turbulences que les autres types de tours à vent, Les parties évacuées, comme les fenêtres et les portes, sont nécessaires car cet air doit quitter le bâtiment [42, 43].

- **Tour à deux côtés**

Ce type de tour à vent a été divisé en deux parties à l'aide d'une paroi en briques. Ils sont souvent appelés par leur direction, comme le capteur de vent sud-nord. Les tours à vent à deux côtés sont plus petites que celles à un seul côté. Les guichets doubles sont parfois appelés guichets à deux côtés. Des lattes de brique sont utilisées pour les diviser en deux moitiés différentes. Dans ce type de tour éolienne, l'air entre d'un côté, ventile de la pièce et sort de l'autre côté [42, 43].

- **Tour à quatre six et Huit côtés**

Le rôle de l'utilisation d'un grand nombre d'ouvertures dans la tour à vent est de capturer la plus grande quantité d'air possible. Dans ces types de tours, le côté exposé au vent est généralement plus grand que les autres côtés, ce qui permet de capter la plus grande quantité de vent. Habituellement, ces tours à vent sont utilisées pour d'autres fonctions, comme le stockage de l'eau [42, 43].



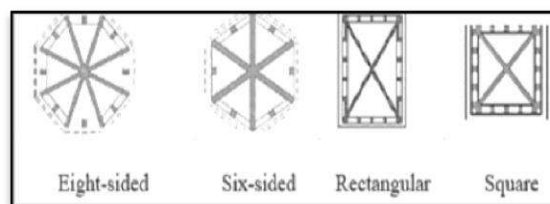
**Figure I.18** : deux type de tour à vent a face Unilatéral et multi-faces[44]

### b. Section transversale :

Les tours à vent sont classées en fonction de leur section transversale. Les tours à vent circulaires sont plus difficiles à fabriquer que les tours à section carrée, rectangulaire, ou même tétraédrique et hexaédrique. Par conséquent, les tours cylindriques étaient moins utilisées que les autres. Cependant, les tours cylindriques sont construites avec les propriétés aérodynamiques du vent en tête, ce qui les rend très efficaces [19].

En général, les tours à vent sont classées en cinq groupes principaux en fonction de leur section transversale :

- ✓ Tour à vent cylindrique
- ✓ Tour à vents carrés
- ✓ Tour à vents rectangulaires
- ✓ Tour à vents hexaédriques
- ✓ Tour à vents tétraédrique

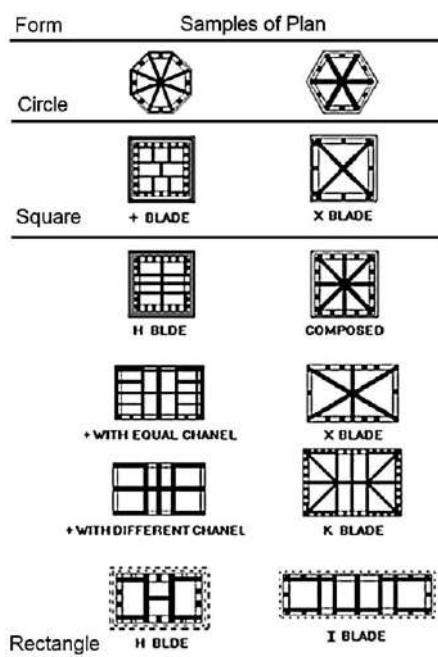


**FigureI.19** : Types de la tour en fonction de la section transversale[45].

### c. Position des pales

Les pales intérieures jouent un rôle important pour augmenter l'efficacité des tours à vent. Elles divisent la section transversale des tours en des parties plus petites, ce qui permet de créer une vitesse d'écoulement de l'air et des turbulences. "L'effet Bernaulli" est un principe physique indiquant que le flux d'air augmente lorsqu'il traverse une petite partie. En d'autres termes, plus il y a de partitions dans la tour, plus le flux d'air peut être capturé. Par conséquent, les tours éoliennes avec différentes formes de division ont des caractéristiques bien précises. Les partitions sont appelées des pales, et elles existent dans une variété de formes et de tailles, notamment la pale positive (+), la pale négative (x), la pale horizontale (H), la pale verticale (I) et d'autres [3;20;37].

Le nombre de cloisons intérieures a un impact considérable sur les performances de ventilation. Les cloisons intérieures séparent la tour des vents de plus petite taille, ce qui réduit la sensibilité aux variations de la direction du vent et améliore la résistance structurelle de la tour. Les tours modernes ont une conception plus simple (le plus souvent en forme de X ou à quatre côtés). Les entrées de la tour sont généralement construites en fonction de la direction principale du vent [42].



**Figure. I.20** : Types de la tour en fonction de la position des pales[46].

### 2.4.2.3. Facteurs ayant un impact sur les performances des tours à vent

Des variables externes et internes peuvent avoir un impact sur les performances de la tour. Les conditions climatiques, la situation géographique, le temps et d'autres facteurs qui proviennent de l'extérieur de la tour à vent (séparé), le nombre d'ouvertures, les cloisons intérieures et d'autres paramètres..[4, 40]

#### a. La hauteur de la tour

La hauteur d'une tour à vent a un impact significatif sur son efficacité ; plus la tour est haute, plus la quantité de vent captée est importante, plus la capacité à réduire la pollution atmosphérique et la poussière entrant dans la structure est grande. Les tours à vent ont une hauteur comprise entre 5 et 34 mètres ; cependant, lorsqu'elles sont placées dans des zones urbaines, des questions supplémentaires telles que la faisabilité économique, l'esthétique et la structure du bâtiment doivent être considérées [4, 40].

### b. Persiennes et diffuseurs

Les tours à vent modernes sont composées de persiennes, de grilles réglables et de diffuseurs pour s'adapter à la température de l'espace et pour gérer le flux d'air. Les grilles des tours commerciales sont conçues pour faire circuler l'air extérieur dans l'espace habitable tout en évitant les précipitations et autres éléments de la structure. L'utilisation de grilles peut également modifier l'efficacité de la tour par l'augmentation du nombre de grilles et par l'ajout d'un écran de grille. L'angle de pente doit également être pris en compte lors de l'installation de grilles dans la tour. Pour de meilleurs résultats, l'angle de pente des grilles doit être compris entre 35 et 45 degrés [4, 40, 42].

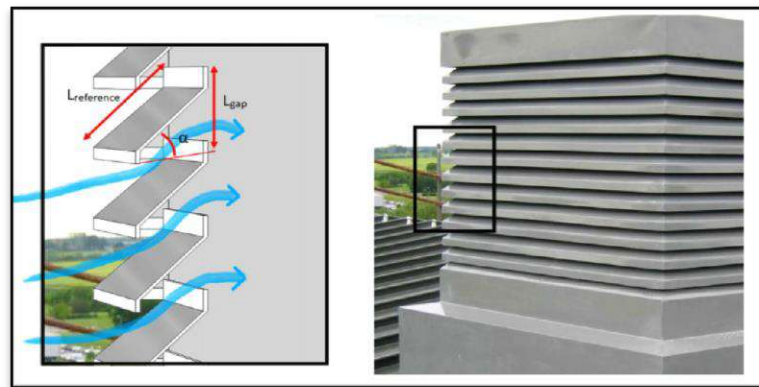
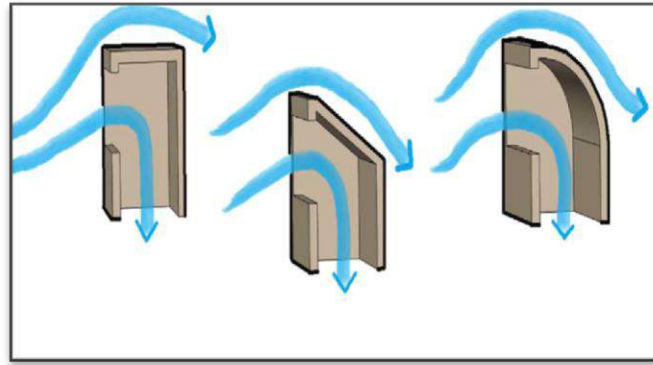


Figure I.21 : Tour à Vent Contenue Persiennes Et Diffuseurs[45].

### c. Conception du toit de Tour à vent

La conception et la taille du toit de la tour à vent ont un impact sur les flux d'air qui l'entourent. Les toits plats sont les plus utilisés dans les conceptions traditionnelles et modernes des tours. Les Tours à toit incliné ont montré que la plus grande différence de coefficient de pression entre les surfaces intérieures et l'environnement extérieur était obtenue à un angle de vent plus élevé. Les résultats ont montré que lorsque l'angle d'incidence du vent était nul, la tour à toit incurvé était plus performante que les tours à toit plat et à toit incliné, de 10 % et 4,5 % respectivement. Il a également été constaté que la tour à toit incliné était moins sensible aux changements d'angle de vent en fonction du nombre d'ouvertures. [40, 47]



**Figure I.22 :** Types de toit de la tour à vent [40].

### 2.4.2.4 Tour à vent modern

#### a. Tour à vent à tête rotative

Les tours sont constituées d'un élément permanent ancré dans la dalle de béton et de deux pièces mobiles (1) et (2). (2). Une partie mobile « girouette » (2), qui peut faire face à la direction opposée du vent, quel que soit l'angle, un vitrage (3) est placé au pied de la tourelle pour transmettre la lumière aux structures qui bénéficient d'un ensoleillement accru et favorisant ainsi un écoulement d'air sous entracte par cheminée solaire quelques-unes des principales caractéristiques de ce type de coupe-vent :[33, 42, 48]

- Utilisation d'un matériau quelque peu transparent pour le passage du jour.
- Sa moitié supérieure est ronde et tourne.
- Leur nombre est déterminé par la température et le taux de ventilation requis.



**Figure I.23 :** Nouvelle type de la tour avec tête rotative[48].



### b. Tour à vents commerciaux

Les Tours à vents commerciaux peuvent avoir une section carrée ou circulaire, la section carrée soit plus fréquente. Ce style de tour comporte des contrevents qui empêchent la pluie et la neige de pénétrer à l'intérieur. Il contient des lames pour diviser les canaux et séparer les composants. Par conséquent, les canaux avec des ouvertures au vent apportent de l'air frais dans les pièces intérieures, tandis que les canaux avec des ouvertures sous le vent aspirent l'air intérieur à l'extérieur. Les tours à vent à tirage unique sont équipés de clapets qui s'ouvrent et se ferment automatiquement en fonction de la quantité de CO<sub>2</sub> générée.[42, 49]

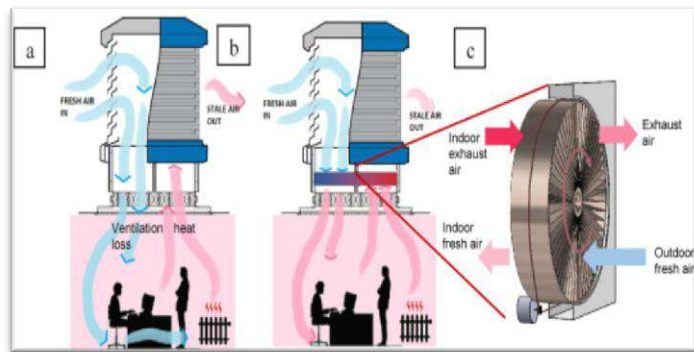
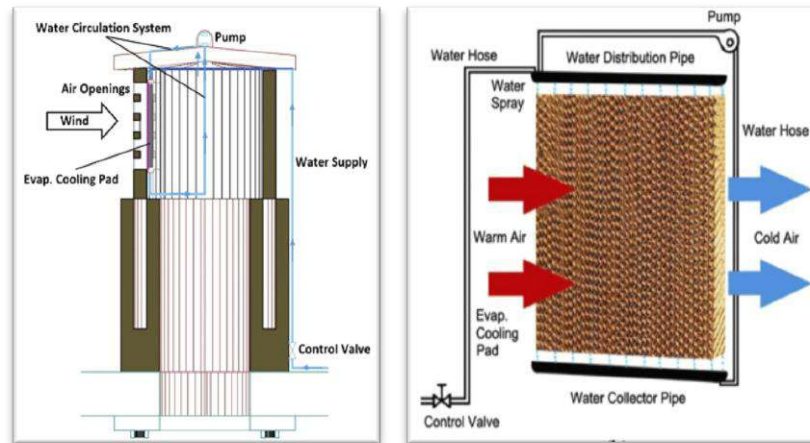


Figure I.24 : Les Tour à vent commerciaux[50]

### c. Tour à vent avec panneau évaporatif

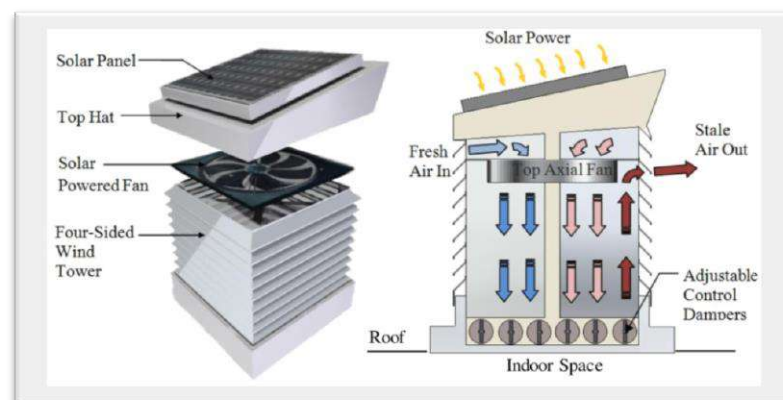
Le refroidissement par évaporation est une méthode qui peut être utilisée pour abaisser la température de l'air intérieur. Les refroidisseurs par évaporation sont couramment utilisés dans les structures historiques du Moyen-Orient pour augmenter la ventilation et les performances thermiques des tours à vent. en plus la possibilité d'abaisser la température, le refroidisseur par évaporation présente l'avantage supplémentaire de pouvoir filtrer la poussière et les substances polluantes et d'être plus rentable et plus écologique que le refroidissement mécanique [4].



**Figure I.25 :** Tour à vent avec panneau évaporatif [51]

### d-Tour à vent avec ventilateur axial

L'une des meilleures façons d'améliorer les tours à vent est d'aider le soleil et l'énergie solaire en collant un panneau solaire au sommet des tours à vent. Il peut récupérer l'énergie du soleil et l'économiser. Le ventilateur du tour à vent, qui se nourrit de l'énergie solaire, démarre les jours ensoleillés lorsque le vent tombe. Par le clapet d'humidification, nous pouvons contrôler l'humidité et en augmentant l'humidité, nous pouvons réduire la température. Par temps normal, il fonctionne comme les coupe-vent habituels, mais en cas de soleil et de températures élevées, le ventilateur doit se mettre en marche, puis la partie de contrôle du clapet doit observer l'humidité.



**Figure. I.26** Tour à vent avec ventilateur axial.

2.4.2.5. Analyse bibliographique et synthèse des connaissances approprié à la tour à vent:

Tableau. I.2 : Résumé des travaux d'analyse de tour à vent.

Facteur	Résumer	Réf
<p>Sections Transversal</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'étude consiste en une analyse numérique visant à comparer les performances de ventilation des tours à vent modernes à quatre côtés, de section carrée et circulaire, pour deux directions de vent de 0° et 45°. De même, il a été constaté que le coupe-vent à section carrée était plus efficace à un angle d'entrée d'air de 45°.</li> <li>Cette étude porte sur l'investigation des flux de ventilation dans une salle d'essai avec un tour à vent unilatéral en utilisant des tests expérimentaux. Il a été observé qu'une diminution du débit d'air avec une augmentation de l'angle d'incidence de l'air en raison des tourbillons dans le canal</li> </ul>	<p>[52] [53]</p>
<p>La Hauteur</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cette étude a utilisé CFD pour évaluer la performance de la ventilation par des tours à vent traditionnelle dans la région chaude et sèche. Le modèle carrée à quatre côtés avec différentes hauteurs de 3,5 à 10,5 m a été simulé pour étudier son influence sur la vitesse de l'air et les patrons de température à l'intérieur du bâtiment. Les résultats du calcul ont démontré que la hauteur optimale pour les éoliennes traditionnelles était de 6 m.</li> </ul>	<p>[54]</p>
<p>Numéro D'ouverture</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cette étude a porté sur un tour à vent avec une section transversale cylindriques et différents nombres d'ouvertures (2, 4, 6 et 12 sections) et sur la comparaison de leur efficacité dans des conditions expérimentales. Les résultats de cette expérience indiquent qu'une tour à vent à deux côtés avait la meilleure performance. D'autre part, plus le nombre d'ouvertures est important, moins les angles du vent ont d'effets sur le débit entrant..</li> </ul>	<p>[55]</p>
<p>Formes de toit</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cette étude est une évaluation expérimentale et analytique de l'effet de différentes géométries de toit (plat, incliné et incurvé) sur la performance de ventilation naturelle d'un tour à vent unilatéral à différentes vitesses et directions de vent. Il a été constaté qu'à un angle d'incidence du vent élevé, le tour à vent à toit incliné présentait le coefficient de pression différentiel le plus élevé entre les surfaces intérieures et l'environnement extérieur, mais qu'à un angle de vent de 0, le capteur de vent à toit incurvé présentait de meilleures performances.</li> <li>Dans cette étude, une distribution plus uniforme du flux d'air dans le tour à vent à toit incurvé a été observée par rapport au toit incliné.</li> </ul>	<p>[56] [57]</p>
<p>Les Diffuseur</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'étude porte sur l'évaluation de l'effet de différents angles de persiennes externes sur les performances d'une tour à vent moderne en utilisant la CFD. Le travail consiste en la modélisation d'une tour à vent carré à quatre côtés</li> </ul>	<p>[58]</p>

avec des angles de persiennes variant de 10 à 45. Il a été constaté qu'à une vitesse de vent de 4,5 m/s, l'angle optimal des persiennes était de 35, ce qui permet de fournir la vitesse d'air maximale dans l'espace occupé. La comparaison des résultats de 35 avec ceux de la persienne standard de 45 a montré que le niveau de ventilation interne a été augmenté de 45 % et que le bord de fuite de la persienne a été réduit de 20 %.

Tour de vent et cheminée solaire

- Cette étude a proposé un prototype de bâtiment à deux étages avec une cheminée solaire et a rapporté ses performances thermiques et de ventilation. Un canal du tour à vent a été fixé à une cheminée solaire conventionnelle afin de fournir des conditions de refroidissement et de ventilation stables dans tout l'espace occupé. La cheminée solaire couplée à un tour à vent et à un système de pulvérisation d'eau peut fournir des conditions thermiques et de circulation d'air raisonnables pour les deux étages sans avoir besoin de la force du vent. L'arrangement est capable de réduire une température moyenne de 5,2 °C et de générer environ 9 l/h de ACH pendant une journée pour l'espace occupé, ainsi que d'économiser 75% du refroidissement total et 90% de l'énergie requise pour la ventilation pendant le temps de travail en plein été. [59]

### 3. Climat de la zone d'étude :

La figure (I.27) présente la carte représentant le zonage climatique adapté aux besoins de la réglementation thermique dans le bâtiment :

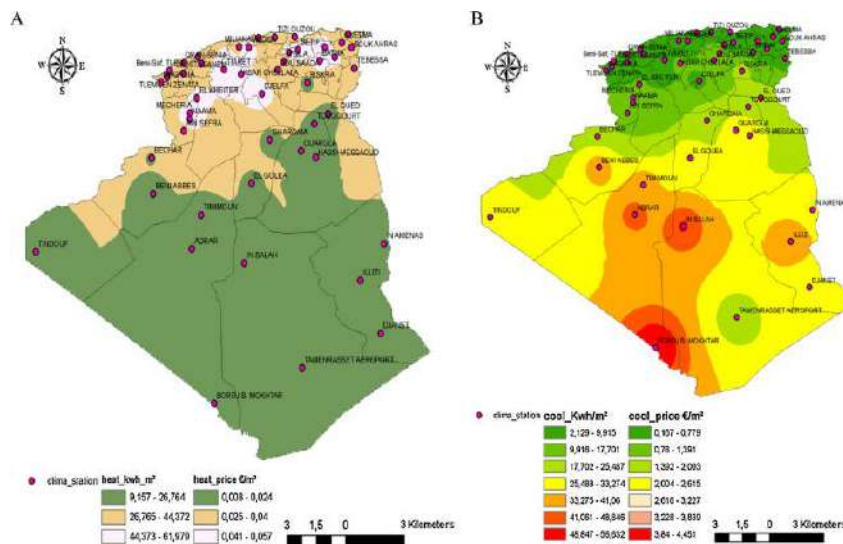
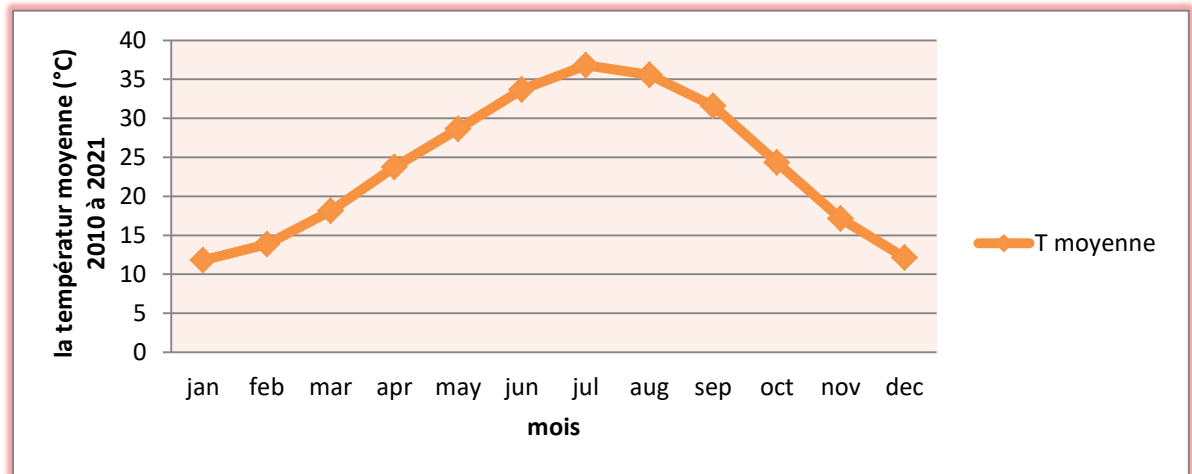


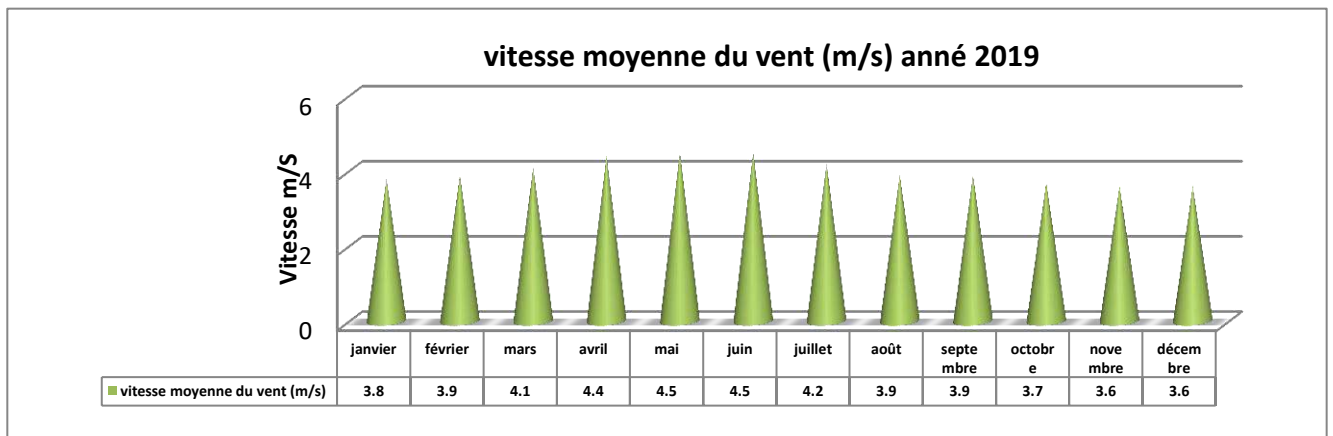
Figure. I.27 : Zonage climatique de l'Algérie adapté aux besoins de la réglementation thermique dans le bâtiment [60].

La région de Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème.[61]



**Figure. I.28 :** Evaluation de température dans période 2010 à 2021.[62]

La figure (II.28) présente la variation de la température moyenne dans 10 ans précédents, on observe que la température moyenne mensuelle enregistrée au mois le plus chaud (juillet) est de 36.8°C. Alors que celle du mois le plus froid (janvier) est de 11.8°C. Le vent peut être observé à toute époque d'année 2019 (figure I. 22), avec une vitesse pouvant atteindre 4 m/s.



**Figure I.29 :** variation de vitesse dans 2019[62].

L'humidité relative enregistre des taux tournant de 25 à 61 %. Alors que l'évaporation est très importante pouvant aller jusqu'au 484 mm[61]

### 4. Conclusion :

L'application de la ventilation naturelle est préférable aux stratégies de ventilation mécanique en raison des effets néfastes des systèmes de ventilation mécanique sur l'environnement, la santé humaine et la consommation d'énergie excessive de la ventilation mécanique. Il existe de nombreuses techniques de ventilation naturelle qui peuvent être utilisés, parmi ces différentes techniques, on distingue la tour à vent et la cheminée solaire .on présente les principaux avantages de ces techniques de ventilation naturelle. Premièrement, il bénéficie à la fois de l'effet du vent et de l'effet de cheminée dans le même système. Deuxièmement, dans la structure de ce système, l'entrée et la sortie sont installées dans le même dispositif.

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

### 1. Introduction :

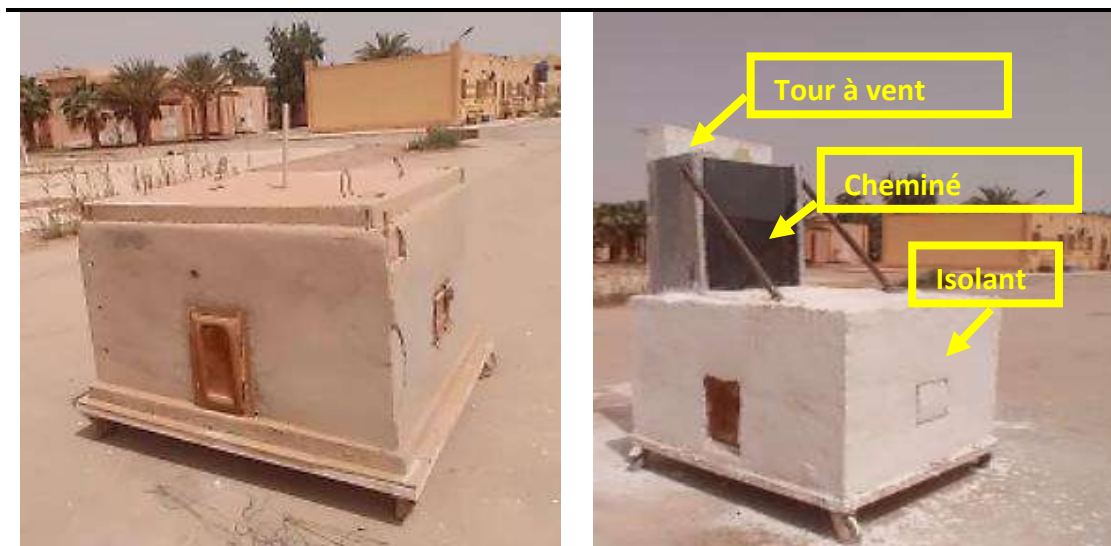
Les systèmes de ventilation représentent l'une des exigences les plus importantes dans la conception et la construction des bâtiments. La Ventilation et le déplacement de l'air dans un bâtiment peut se faire grâce à des systèmes naturels (passif) ou mécanique (actif). En raison des développements technologiques et de l'accès facile aux ressources en combustibles fossiles, la climatisation des bâtiments est assurée par des dispositifs de climatisation mécaniques ou électriques. En raison les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergie liés à l'augmentation du nombre d'habitants, la ventilation naturelle a été reconsidérée par de nombreux chercheurs et concepteurs de bâtiments. Il est nécessaire d'utiliser des systèmes passifs et efficaces pour la ventilation. Dans notre étude, nous avons considéré la possibilité d'intégrer un tour de vent couplé avec une cheminée solaire dans une structure et sous le climat de Ouargla, cette région se caractérise par un climat semi- aride. Ces deux systèmes permettent d'augmenter les performances de l'aération dans les zones à faible vitesse de vent. On présente dans ce chapitre un aperçu sur le climat qui caractérise la wilaya d'Ouargla et une étude expérimentale basée sur la mesure des paramètres physiques à l'entrée et à la sortie des deux systèmes. Ainsi qu'une étude numérique, qui a été réalisée après l'obtention des résultats expérimentaux. Le calcul numérique est mené à l'aide de programme de simulation ANSYS 2021 version R1.

### 2. Partie expérimental

#### 2.1. Description des cellules :

La surface de cellule étudiée est de  $1 \text{ m}^2$  et la hauteur 80 cm. Les dimensions de la cellule ont été déterminées en adoptant les dimensions d'une chambre à l'intérieur d'un bâtiment, et elle a été réduite à une échelle de  $\frac{1}{4}$  d'une chambre simple. Cette échelle a été soigneusement sélectionnée dans le but de confirmer ou d'infirmer les hypothèses proposées pour atteindre notre objectif. L'investigation s'est déroulée dans une cellule, elle est mise comme échantillon pour l'expérimental (système de refroidissement passif avec l'isolation de la cellule[63]). Nous avons fixé quelques paramètres communs entre les différents échantillons tels que : l'orientation et le matériau de construction. La cellule a une petite fenêtre d'une surface de  $39.5 \times 24.5 \text{ cm}^2$  et une petite porte d'une surface de  $47.5 \times 29 \text{ cm}^2$ .





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

### **2.2. Description d'une cheminée solaire :**

Le prototype de la cheminée solaire est présenté dans la figure 5. Parmi les principaux composants de la cheminée solaire, on mentionne Un boîtier en tôle de fer, de dimensions 1x 92 m, ouvert sur le côté exposé au rayonnement solaire, et sur les côtés latéraux, on a réalisé des ouvertures pour l'entrée et la sortie de l'air. En plus une seule couverture transparente de verre d'épaisseur 4mm et une plaque absorbante mince en acier galvanisé peinte en noir mat avec une épaisseur de 0,4 mm. Une plaque a également été placée mince en arrière sur l'isolant, elle est en acier galvanisé et d'une épaisseur de 0.4 mm. La hauteur entre la couverture transparente et la plaque absorbante est : 10 mm, L'isolation arrière est assurée par deux plaques en polystyrène, l'une a une épaisseur de 40 mm et l'autre de 20 mm.

#### **2.2.1. Différentes étapes de constructions de la cheminée**

##### **2.2.1.1. Le cadre de la cheminée**

La fonction principale du cadre est de recevoir tous les éléments dans la cheminée (absorbeur, vitrage, isolation) et assurant bonne fixation à la dalle et très longue durée de vie, en utilisant une plaque métallique en acier galvaniser pour la forme générale du cadre, Pour faire le cadre de la cheminée, il vous faudra disposer d'un large de 1 m d'acier d'une épaisseur de 0,5 mm. Par un sciage nous tronçonner les tronçons mettre en forme selon les dimensions montre la figure, ces tronçons seront tôlier par un appareille figure sous des formes, et en fine assemblée par méthode de soudage électrique.



**Figure II. 2 :** Les étapes de réalisation de la cheminée.

### 2.2.1.2. Peindre et assemblage de vitrage et l'isolation thermique

Pour améliorer l'efficacité de la cheminée en appliquant sur l'absorbeur une peinture noire, après cette étape, on fixe l'isolant et le verre sur le cadre.



**Figure II.3 :** La cheminée solaire.

### 2.2.2. Description d'une tour à vent

L'étude expérimentale a été réalisée à l'aide d'une tour à vent et d'une cheminée solaire qui ils sont préparés pour tester les dispositifs de ventilation naturelle. Cette tour à vent comporte une section d'essai dont la hauteur, la largeur et la longueur sont respectivement de 200,15 et 90 cm. Le prototype de tour à vent utilisé dans notre étude est de forme parallélépipédique. Les murs sont constitués d'un mur intérieur et extérieur en bois d'épaisseur 2 mm, entre lesquels se trouve une couche d'isolation (polystyrène) d'épaisseur (Figure 2). La tour à vent de dimensions  $2 \times 0,9 \text{ m}^2$ , Ouvert sur le côté haut (section d'entrée d'air) orienté vers l'est ( $200 \times 800 \text{ mm}^2$ ), et sur le côté bas (section de sortie d'air) sur dimension  $100 \times 80 \text{ mm}^2$ , qui il est relié à une cellule. L'épaisseur de lame d'air à l'intérieur de tour à vent est de 100 mm



**Figure II.4 :** La tour à vent.

### 2.2.2.1. Différentes étapes de constructions de la tour à vent

Pour la réalisation du cadre d'une tour à vent, Nous aurons besoin de 4 mètres de bois d'une section de 40 mm x 160 mm. On a coupé les sections et on les a usinées aux dimensions indiquées sur la figure, ensuite on a utilisé ces sections pour faire les côtés du cadre de la tour. Une couche de 4 cm d'épaisseur en polystyrène est appliquée sur les murs extérieurs de la tour à vent. Cette couche était recouverte des plaques en bois de 2cm d'épaisseur. Puis , on ajoute couche mince de plâtre.

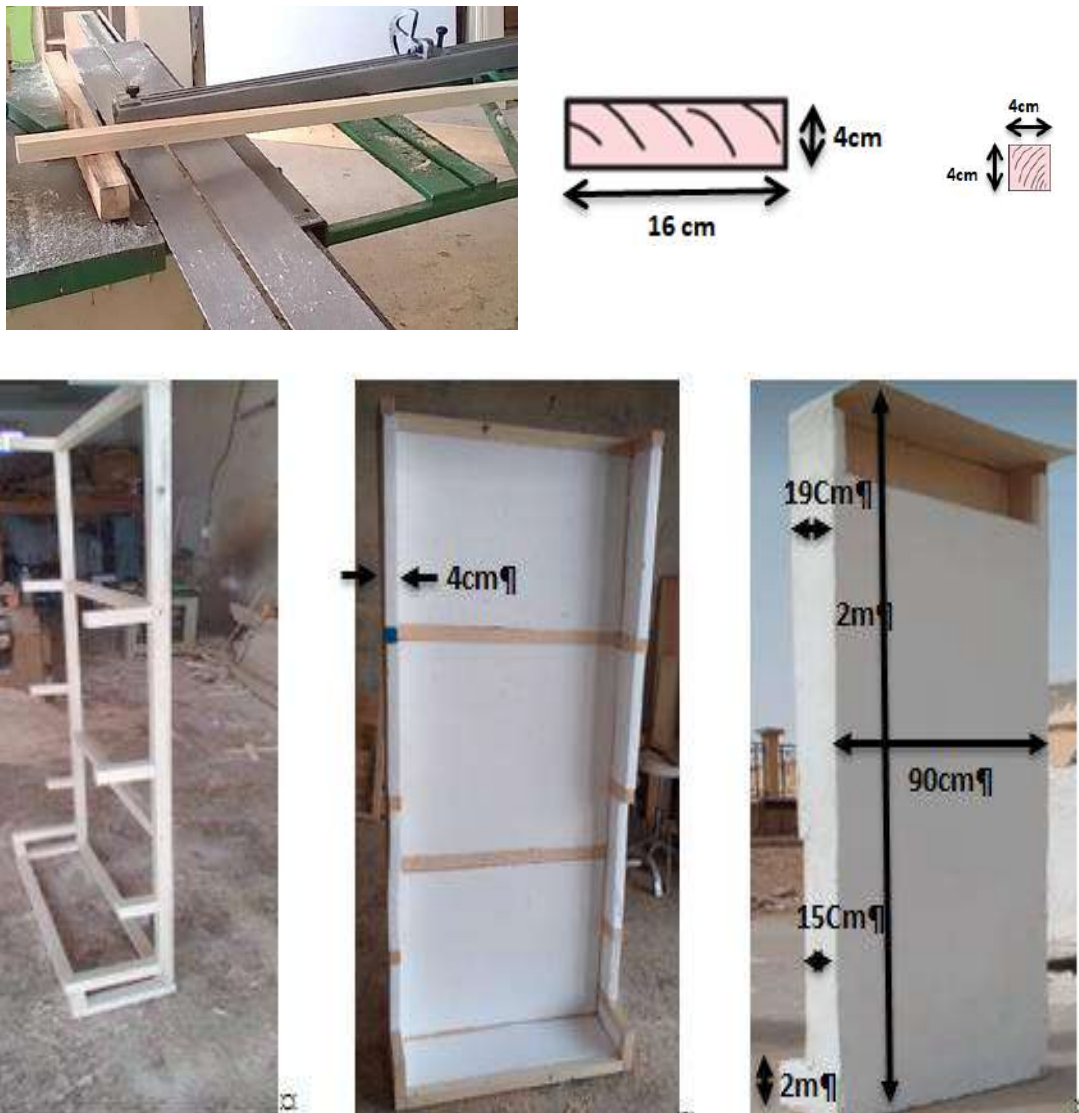


Figure II .5: Les principes étapes de réalisation de la tour à vent et dimension.

### 2.2.3. Caractéristique physique des matériaux utilisés :

Tableau II.1 : Caractéristique physique des matériaux utilisés.

Composant	Caractéristique physique	
<b>Vitrage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matière : vitre transportant</li> <li>Epaisseur <math>e = 4</math> mm</li> <li>Densité <math>\rho = 2515</math> kg /m<sup>3</sup></li> <li>Chaleur massique <math>C_p = 720</math> J/kg. K</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coefficient d'absorption <math>\alpha=0.06</math></li> <li>Emissivité du verre <math>\epsilon = 0.90</math></li> <li>Coefficient de transmission <math>\tau = 0.85</math></li> <li>Conductivité thermique <math>\lambda= 1.05</math> W/m. °C</li> </ul>
<b>L'absorbeur et le cadre de la cheminée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matière : Acier (galvanisé)</li> <li>Conductivité <math>52</math> W/m °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chaleur massique <math>0,727</math> kJ/kg °C</li> <li>Masse volumique <math>7900</math> kg/m<sup>3</sup></li> </ul>
<b>L'isolation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matière : Polystyrène</li> <li>Conductivité thermique : <math>0,035</math> W/m°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masse volumique <math>35</math> kg/m<sup>3</sup></li> <li>Température Maximale d'utilisation <math>85</math> °C</li> </ul>
<b>Coffre de la tour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matière : bois</li> <li>Epaisseur : <math>2</math>mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conductivité thermique : <math>0.26</math>W/m°C</li> <li>Masse volumique : <math>850</math>kg/m<sup>3</sup></li> </ul>

### 2.2.4 Appareillages de mesures

Dans cette étude expérimentale nous avons fait des tests pour fournir des données de mesure pour le modèle de simulation. Les mesures ont été effectuées au laboratoire VPRS à l'université Kasdi Merbah-Ouargla. Afin d'estimer l'efficacité du système de ventilation passive les expériences ont été réalisées durant une période de climat tempéré avec un ciel clair, et les mesures sont prises entre 8h et 16h avec un pas de temps est égale une heure. Alors nous mesurent les paramètres physiques de l'air et le système de la ventilation, telle que la température, la vitesse de vent et le rayonnement solaire...etc.

#### 2.2.4.1. Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement global reçu sur le plan de la cheminée est exprimé en W/m<sup>2</sup> et déterminé à l'aide d'un pyranomètre, et ceci durant la journée de l'expérience. Les résultats obtenus sont affichés sur l'appareil à affichage numérique



Figure II.6: Pyranomètre a affichage numérique.

### 2.2.4.2. Mesure des températures

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples du type K figure ci-dessous



Figure II.7 : Thermomètre à affichage numérique.

### 2.2.4.3. Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique

La vitesse et le débit volumique de l'air à l'entrée et à la sortie du mon system sont mesurés à l'aide d'un anémomètre à fil chaud connecté à un appareil de marque avec une précision.



Figure II.8: Anémomètre à affichage numérique

### 2.2.5. 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 ont été contrôlées à un intervalle d'une heure. La figure montre la disposition des capteurs pour les différents cas.

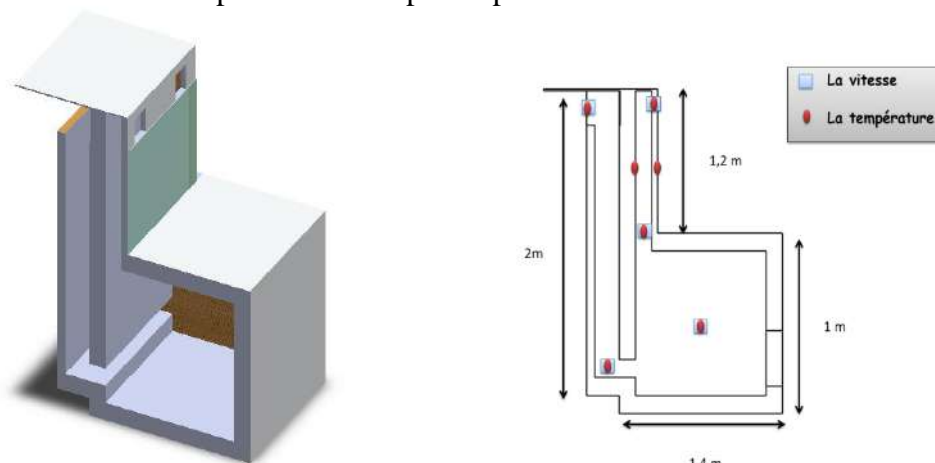


Figure II.9: L'emplacement des captures de vitesse et température

### 3. partie numérique

#### 3.1. Le modèle physique

La ventilation dans ce prototype est assurée par une cheminée solaire couplée avec une tour à vent, les deux systèmes sont séparés par un isolant en polystyrène et une couche d'air. Le rayonnement solaire passe à travers la paroi vitrée de la cheminée, réchauffant ainsi l'air à l'intérieur de la cheminée et provoquant le phénomène de l'effet de cheminée. L'air frais est introduit par l'ouverture d'entrée située en haut du tour à vent, ce qui permet de ventiler l'air à l'intérieur de la cellule avant d'être évacué par la sortie située en haut de la cheminée.

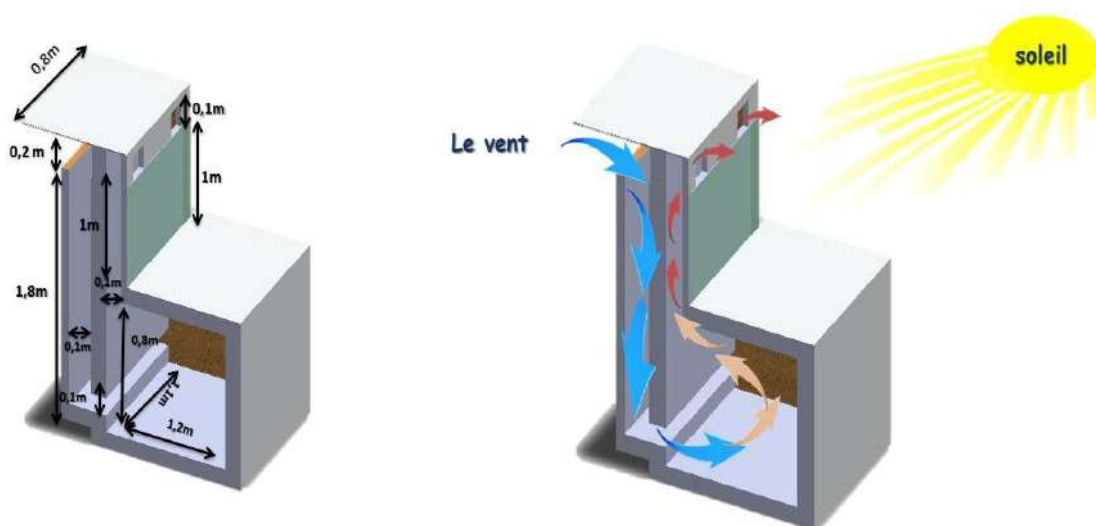


Figure II.10. Modèle physique.

#### 3.2. Les hypothèses simplificatrices

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

- L'écoulement est tridimensionnel.
- L'écoulement permanent.
- L'écoulement de l'air est turbulent.
- Le fluide est newtonien et incompressible.
- L'absorbeur et le verre sont toujours parallèles.

- La température de l'air à l'entrée du tour à vent d'écoulement est égale à la température ambiante

### 3.3. Les équations régissantes :

#### 3.3.1. Equation de continuité

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

#### 3.3.2. Equation de conservation de quantité de mouvement

Suivant (ox) :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left[ -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{eff} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \right] \quad (3.2)$$

Suivant (oy) :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left[ -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{eff} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \right] \quad (3.3)$$

Suivant (oz) :

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \left[ -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu_{eff} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right] \quad (3.4)$$

Où u, v et w sont les composantes de la vitesse dans les directions x, y et z, p est la pression,  $\rho$  est la masse volumique,  $\mu_{eff}$  viscosité dynamique effective

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

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = (\alpha + \alpha_t) \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.5)$$

Où u, v et w sont les composantes de la vitesse dans les directions x, y et z, T signifie la température  $\mu$  la viscosité dynamique,  $\alpha$  la diffusivité thermique et  $Pr_t$  est le nombre de Prandtl turbulent.



Avec  $\alpha_t = \frac{\nu_t}{Pr_t}$  étant la diffusivité thermique de tourbillon et  $\nu_t$  c'est la viscosité cinématique de tourbillon  $\nu_t = \mu_t/\rho$  [64]

### 3.3.4. Equation de l'énergie cinétique turbulente

#### 3.3.4.1. Équation de l'énergie cinétique turbulente (K)

$$\nabla(\rho K u) = \nabla[\alpha_k \mu_{eff} \nabla K] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (3.6)$$

#### 2.3.4.2-Équation du taux de dissipation d'énergie ( $\varepsilon$ )

$$\nabla(\rho \varepsilon u) = \nabla[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \nabla K] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{K} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (3.7)$$

Où  $G_k$  indique source d'énergie cinétique turbulente attribuée à gradient de vitesse moyenne,  $G_b$  est la source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité,  $\alpha_k$  et  $\alpha_\varepsilon$  sont les coefficients de turbulents. Nombre de Prandtl avec  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$  et  $C_{3\varepsilon}$  représentant les constantes du modèle empirique. [65]

En diverses constantes de ce modèle sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.2 :** constantes de ce modèle k epsilon

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

### 3.3.5. L'approximation de Boussinesq :

Pour de nombreux flux de convection naturelle, vous pouvez obtenir une convergence plus rapide avec le modèle Boussinesq que vous pouvez obtenir en configurant le problème avec la densité du fluide en fonction de la température. Ce modèle traite la densité comme une valeur constante dans toutes les équations résolues, à l'exception du terme de flottabilité dans l'équation de momentum :

$$(\rho - \rho_0)g \approx -\rho_0(1 - \beta\Delta T)g \quad (3.8)$$

Où  $\rho_0$  the (constante) densité du flux est,  $T_0$  est la température de fonctionnement, et  $\beta$  est le coefficient de dilatation thermique. L'équation est obtenue en utilisant l'approximation de Boussinesq.

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta \Delta T) \quad (3.9)$$

Pour éliminer  $\rho$  du terme de flottabilité. Cette approximation est exacte tant que les changements de densité réelle sont faibles ; plus précisément, l'approximation de Boussinesq est valide lorsque : [65]

$$\beta(T - T_0) \ll 1 \quad (3.10)$$

### 3.3.6. Les nombres adimensionnels :

Les résultats expérimentaux sont souvent exprimés en termes de nombres adimensionnels, afin de permettre une application plus générale que celles pour lesquelles les résultats sont obtenus. Les nombres adimensionnels permettent donc une validation des résultats par rapport aux travaux antérieurs. Quelques nombres adimensionnels sont présentés dans ce qui suit :

#### 3.3.6.1. Le nombre de Reynolds :

Le nombre de Reynolds  $Re$  est le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité, dans un écoulement considéré. Il caractérise la nature de l'écoulement (laminaire, turbulent...).

Il est défini comme suit :

$$Re = \rho V L / \mu \quad (3.11)$$

#### 3.3.6.2. Nombre de Rayleigh :

Le nombre de Rayleigh  $Ra$  est le paramètre de contrôle de la convection thermique. Plus le nombre de Rayleigh est grand, plus la convection est intense. Le nombre de Rayleigh peut s'interpréter comme une mesure de l'importance du mécanisme responsable de l'instabilité du fluide (la poussée d'Archimède) par rapport aux mécanismes de freinage (la diffusivité thermique et la viscosité). Il est également possible de voir le nombre de Rayleigh comme la différence de température. Le nombre de Rayleigh est donné par la relation :

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 Pr}{\nu^2} \quad (3.12)$$

Pour  $Ra < 109$  : écoulement est laminaire,  $Ra > 109$  : écoulement est Turbulent.

### 3.3.6.3. Nombre de Grashof :

Le nombre de Grashof compare les forces d'Archimède (ou forces de flottabilité) aux forces visqueuses qui s'exercent sur un élément de fluide dont la température diffère de celle du milieu environnant.

$$Gr = \frac{\rho^2 g \beta \Delta T L}{\mu^2} \quad (3.13)$$

### 3.3.6.4. Le nombre de Prandtl :

Le nombre de Prandtl  $Pr$  est le rapport de la viscosité cinématique  $\mu / \rho$  à la diffusivité thermique  $\alpha = \lambda / \rho C_p$ . Il caractérise les propriétés thermiques du fluide, en mettant en rapport la distribution de vitesses (gouvernée par la viscosité cinématique) et la distribution de températures (gouvernée par la diffusivité thermique), on le définit par :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad (3.14)$$

$C_p$  : Capacité calorifique massique (J/Kg. K) [66]

### 3.3. Méthode de résolution numérique :

La forme finale du modèle mathématique est un système d'équation aux dérivées partielles non linéaires. Par conséquent elles ne peuvent être résolues analytiquement. Des méthodes numériques sont donc employées pour représenter le problème continu de façon discrète. Comme par exemple les approximations par la méthode des différences finies, par la méthode des éléments finis, par volumes finis et par des méthodes spectrales. La méthode des volumes finis, sans doute la plus employée actuellement, est caractérisée par son avantage de satisfaire la conservation de masse, de quantité de mouvement et de l'énergie. Elle consiste à diviser le domaine de calcul en plusieurs volumes élémentaires ou chaque volume élémentaire entoure un nœud. [67]

### 3.4. Les modèles de turbulence :

Il existe différents niveaux de modèles, se distinguent par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème : on cite ainsi le modèle de turbulence à zéro, une ou deux équations. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à deux équations et plus particulièrement le modèle de turbulence k-ε standard qui est le plus répandu. [68] Trois modèles de turbulence sont disponibles dans le code Fluent :

- Le modèle k-ε standard.
- Le modèle RSM.
- Le modèle RNG k-ε.

#### 3.4.1. Modèle k-ε :

Dans cette étude on a utilisé le modèle k-ε standard. Il est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation ε. Dans le modèle k-ε la viscosité turbulente est exprimée en fonction de k et ε par la formule suivante : [69]

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.15)$$

### 3.5. Génération du maillage :

L'étape initiale d'une simulation CFD est la génération de maillage et la définition des cellules sur lesquelles. Les variables de flux sont calculées dans tout le domaine de calcul. La plupart des codes CFD commerciaux modernes peuvent fonctionner avec un maillage structuré ou non structuré.

#### 3.5.1. Maillage structurée :

Une maille structurale est constituée de cellules planaires à bord de fourrure en deux dimensions ou de cellules volumétriques à six faces en trois dimensions, l'avantage de ce type de maille est que les points d'une cellule élémentaire peuvent être facilement traités par des indices doubles (i,j) en deux dimensions ou trois indices (i,j,k) en trois dimensions qui permet une gestion facile des données. Toutefois, les inconvénients de l'adoption d'un tel maillage, en particulier pour les géométries complexes, sont l'augmentation de l'asymétrie de la grille qui peut mener à des solutions non physiques [70]

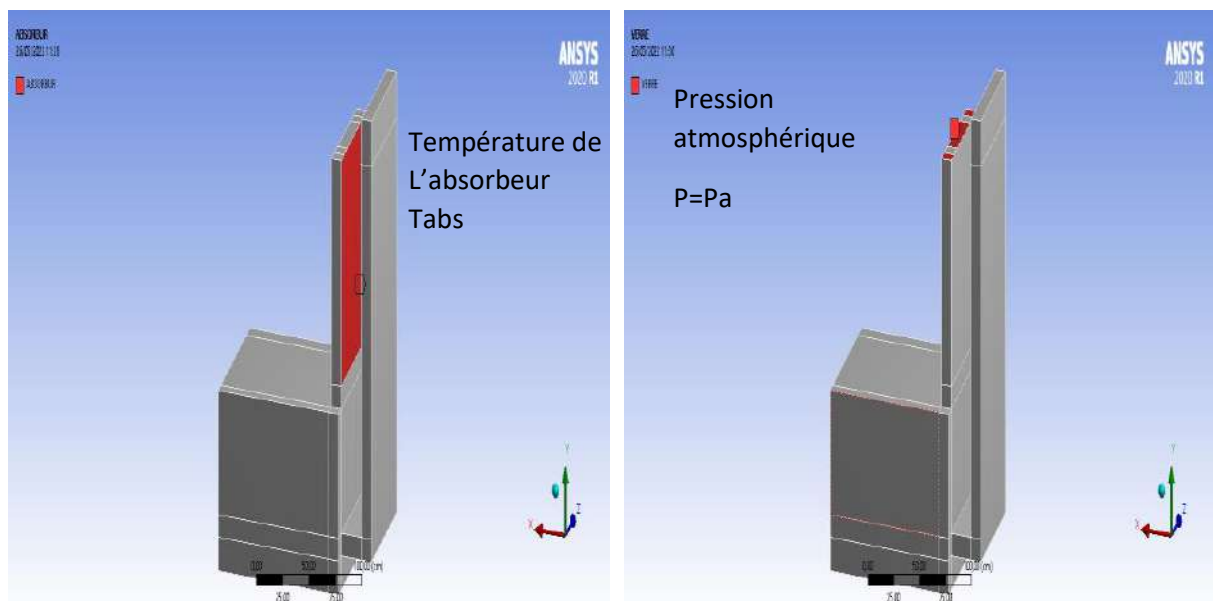
### 3.5.2. Maillage non structuré :

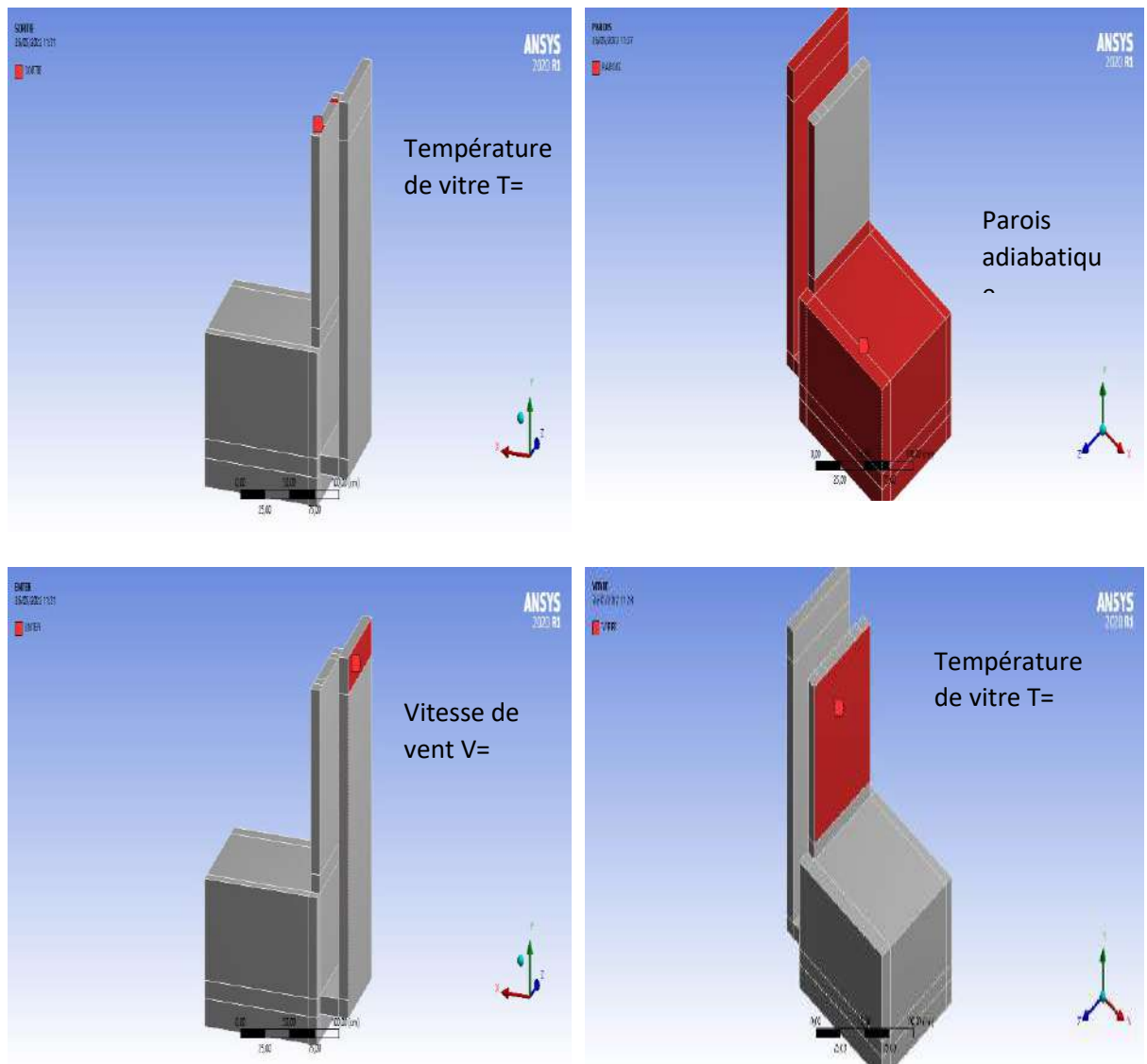
Un maillage non structuré se compose de cellules de formes diverses, mais généralement de triangles ou de quadrilatères en 2D et les tétraèdres ou hexaèdres en 3D. Il permet une géométrie hybride plus complexe avec des volumes tétraédriques, asymétriques et courbes, réalisant ainsi une modélisation 3D plus réaliste du problème à résoudre. Les points d'une cellule élémentaire pour ce type de grille ne peuvent généralement pas être simplement traités par des indices doubles en deux dimensions ou des indices triples en trois dimensions, ce qui conduit à des algorithmes de solution plus complexes pour résoudre les variables de champ de flux. Cela peut entraîner une augmentation du temps de calcul nécessaire pour obtenir une solution [70]

### 3.6. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites sont les conditions imposées à la frontière externe du domaine étudié. Elles sont nécessaires pour que le problème mathématique soit correctement traité. Les conditions aux limites sont données sous trois formes (entrée, sortie, paroi).

- L'entrée du système est la même que l'entrée de la tour à vent. La condition est fixée et elle est du type Dirichlet. Alors la condition à l'entrée est égale la vitesse de vent.
- La cheminée solaire comporte trois conditions : l'absorbeur, la vitre et la sortie. Sur les parois solides, les conditions sont du type Dirichlet. Pour le champ thermique, une température constante sur la vitre et l'absorbeur doit être fixée. La sortie de la cheminée solaire est égale la pression atmosphérique.
- Les autres parois sont considérées adiabatiques.





**Figure II.11:** Les conditions aux limites.

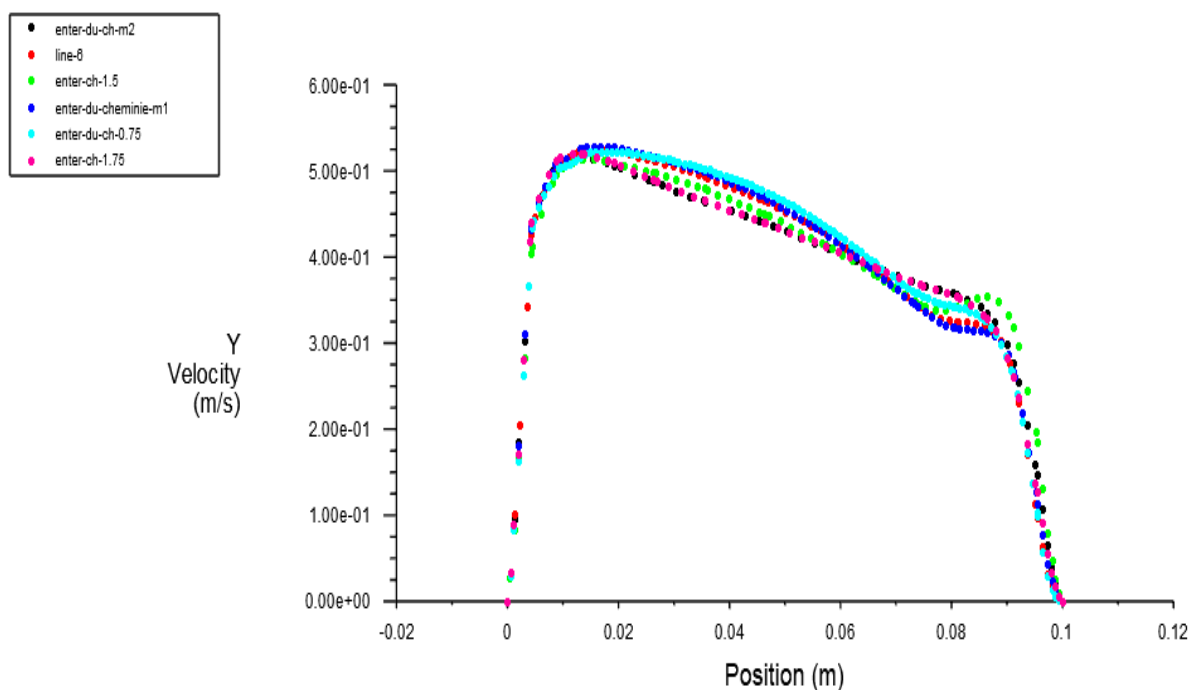
### 3.7. Choix du maillage :

Dans tous les problèmes des méthodes numériques, le maillage a une influence directe sur les résultats, Il est important que le maillage soit resserré dans toutes les zones où les variables présentent des forts gradients. Le modèle CFD ayant la même géométrie et les mêmes dimensions que le modèle expérimental sera simulé dans lequel un maillage structural fin sera utilisé. Pour obtenir des résultats précis pour cette modélisation en teste l'effet du maillage aux résultats dans 6 cas en varie dans chaque cas la taille des éléments (2, 1.75, 1.,1.25 ,1 et 0.75 cm) les résultats résumaient dans le tableau et la courbe ci-dessous.

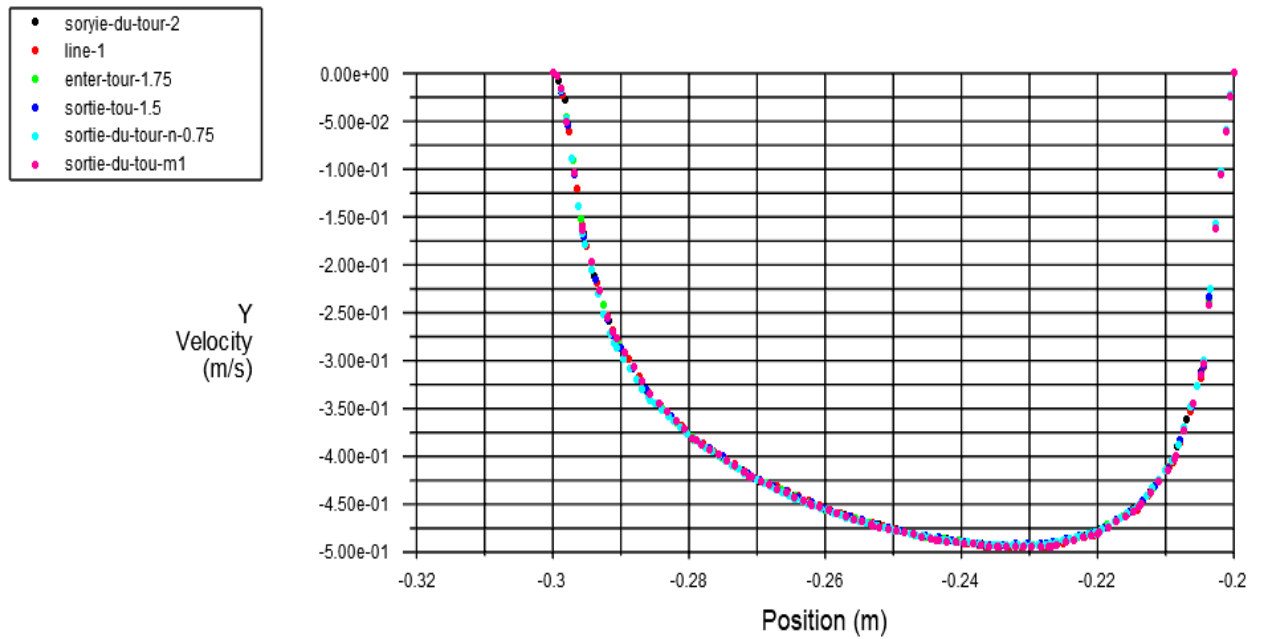
**Tableau II. 3 : Différence de débit massique entrant et sortant de la cheminée et le nombre des itérations.**

Taille du maillage	Différence relative de débit massique de l'air entrant et sortant	Nombre d'itérations
2	$1.64932 \cdot 10^{-6}$	155
1.75	$6.82780710^{-7}$	170
1.5	$4.569274 \cdot 10^{-6}$	132
1.25	$1.083535 \cdot 10^{-6}$	165
1	$2.54315 \cdot 10^{-7}$	180
0.75	$4.442947 \cdot 10^{-7}$	195

On choisit le maillage qui permet d'obtenir un écart plus faible entre le débit massique entrant et sortant du système avec un nombre minimum d'itérations. On observe que les valeurs des vitesses dans les dernières tailles des éléments sont les mêmes avec une différence du nombre d'itérations et dans ce cas la taille optimale est de 1 cm.

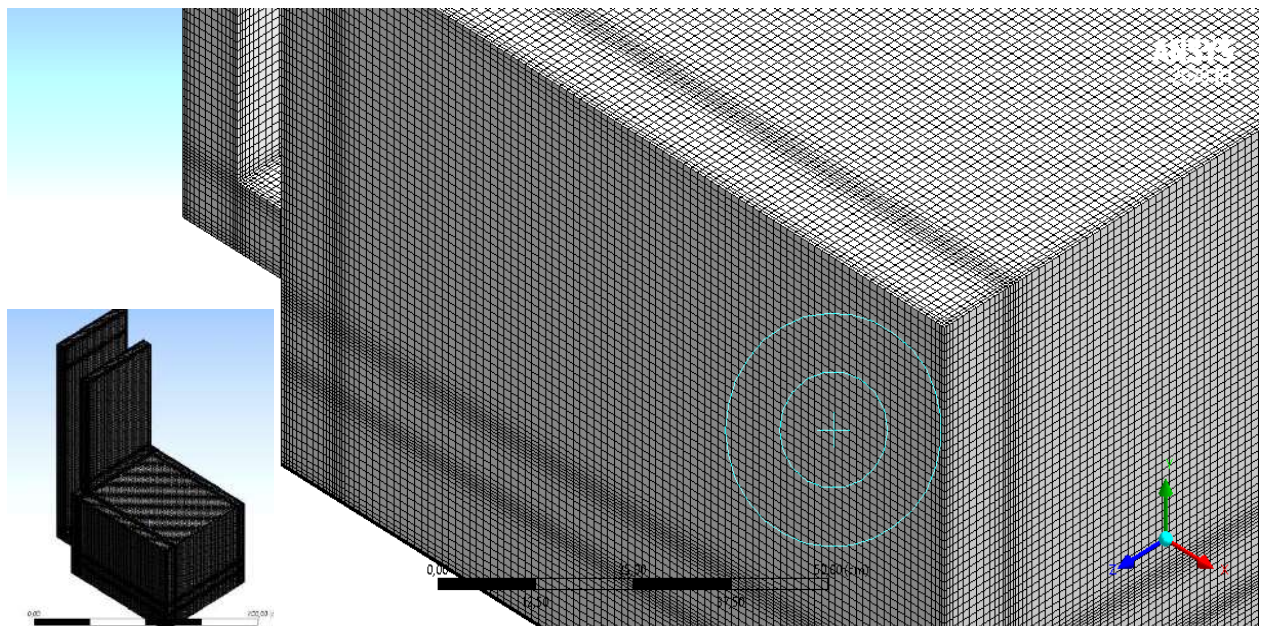


**Figure II.12 :** Analyse de sensibilité du maillage pour le modèle par l'étude de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée.



**Figure II.13 :** Analyse de sensibilité du maillage pour le modèle: (a) vitesse de l'air à l'entrée de tour de vents.

On constate que les résultats de simulation obtenus par les maillages fins et moyens sont presque identiques. Pour assurer une meilleure résolution dans les zones des deux systèmes un maillage dense sera utilisé pour les zones proches aux parois et les zones à fort gradient. (figure II.14)



**Figure II.14:** Maillage avec taille des éléments 1cm du modèle



### 3.8. Code CFD :

Le calcul numérique est mené à l'aide de programme de simulation ANSYS 2021 version R1 appliqué à Reynolds-Average Navier-Stokes stable (RANS). Le modèle de turbulence k- $\epsilon$  (standard) a été utilisé dans un domaine tridimensionnel. Les équations régissant sont résolues par la méthode des volumes finis pour un écoulement turbulent basé sur le modèle k- $\epsilon$ . la méthode est combinée avec l'algorithme de couplage vitesse-pression pour les équations liées à la pression (SIMPLE) avec une approximation par le schéma Upwind première ordre.

### 3.9. Schémas de discrétisation :

Sous "Fluent", les variables stockées au centre de la cellule doivent être interpolées sur les faces du volume de contrôle. Il est possible de choisir entre plusieurs schémas de discrétisation pour les conditions de convections et les équations régissant. Dans notre étude, nous avons choisi la discrétisation avec le schéma Upwind de premier ordre, ce qui permet de trouver une meilleure convergence.

La solution passe par la définition des vitesses sur une grille décalée et l'emploi d'algorithmes tels que "SIMPLE" pour résoudre ce lien ou couplage entre la pression et la vitesse.

### 3.10. Taux de changement d'air :

Le taux de changement d'air par heure, ACPH abrégé ou ACH, ou taux de changement d'air est une mesure du volume d'air ajouté ou retiré d'un espace (normalement une pièce ou une maison) divisé par le volume de l'espace [71] Si l'air dans l'espace est uniforme ou parfaitement mélangé, les changements d'air par heure sont une mesure du nombre de fois que l'air dans un espace défini est remplacé.

Dans de nombreux arrangements de distribution d'air, l'air n'est ni uniforme ni parfaitement mélangé. Le pourcentage réel d'air d'une enceinte qui est échangé au cours d'une période dépend du débit d'air de l'enceinte et des méthodes utilisées pour la ventiler. La quantité réelle d'air changé dans un scénario de ventilation bien mélangée sera de 63,2 % après 1 heure et 1 ACH. Pour atteindre la pression d'équilibre, la quantité d'air qui quitte l'espace et entre dans l'espace doit être la même [72].

$$ACH = \frac{3600Q}{V} \quad (3.16)$$

- **ACH**: Nombre de changements d'air par heure (des valeurs plus élevées correspondent à une meilleure ventilation).
- **Q**: Débit volumétrique d'air en mètres cubes par seconde.
- **V**: Volume d'espace en mètres cubes.

### 3.11. Organigramme de calcul

L'organigramme de notre modèle est présenté ci-dessous

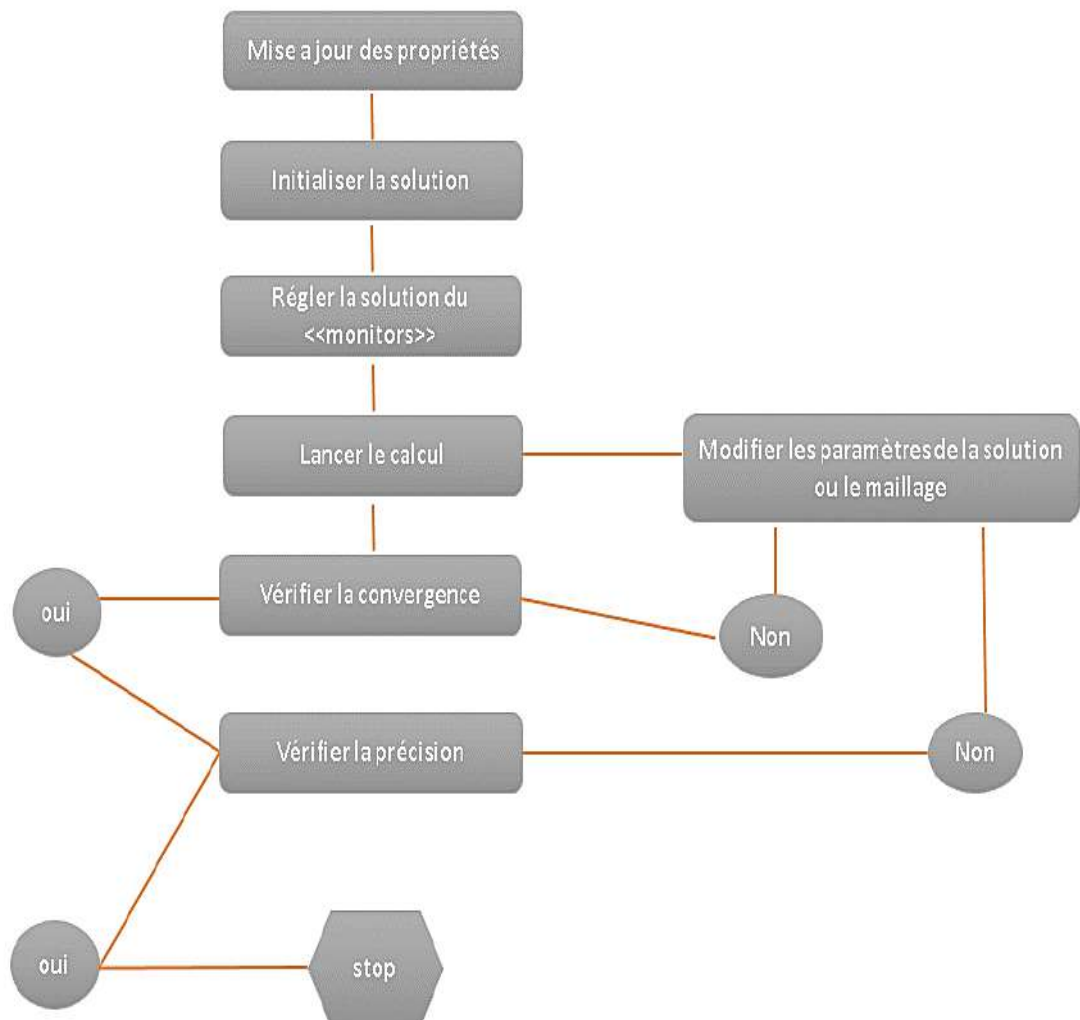


Figure II.15: Organigramme de calcul

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

Tableau II.3: Les paramètres physiques de l'air

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

## 4. Conclusion

En utilisant les résultats expérimentaux et les modèles comme base de validation des résultats, la modélisation et la simulation CFD permettent d'évaluer les performances et d'autres paramètres physiques à un coût inférieur à celui des méthodes expérimentales.

Dans le cas d'une ventilation naturelle, la modélisation CFD est appliquée pour étudier ses principales performances et les spécifications ou modifications qui les affectent. Dans ce chapitre, nous avons fourni un modèle physique qui sera utilisé pour valider les résultats et nous avons créé le modèle géométrique et son maillage qui seront inclus dans le domaine de calcul pour les simulations. Nous avons également décrit le code CFD, les propriétés de l'air et les équations qui gouvernent les étapes utilisées pour le lancement des simulations. Le capteur à vent intégré à la cheminée solaire pour la ventilation naturelle était le modèle principal dans les tests expérimentaux et les tests CFD. Les résultats de la simulation et les tentatives de modification pour améliorer les performances seront discutés dans le prochain chapitre

*Chapitre III :*  
*Résultats et discussion*

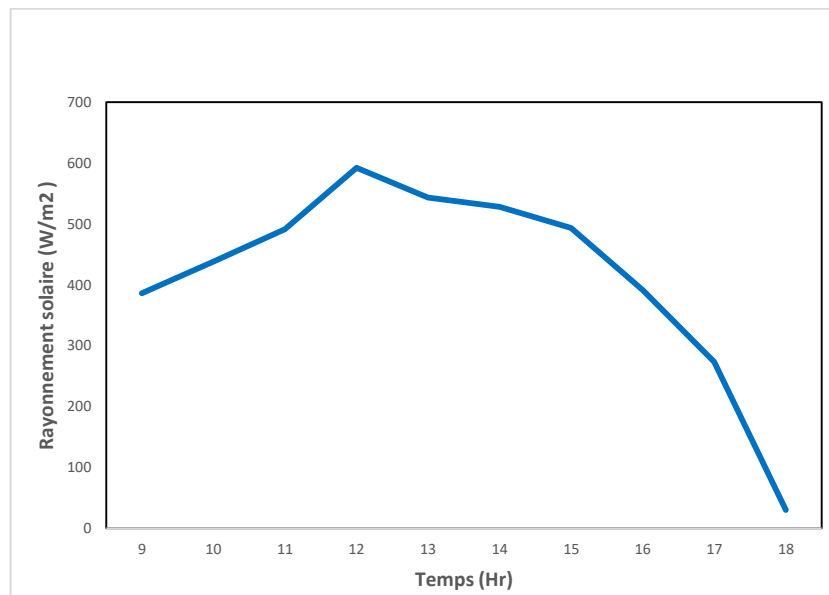
### 1. Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les résultats de l'étude expérimentale et de la simulation d'un système de tour à vent couplée à une cheminée solaire, les deux systèmes sont intégrés à une cellule dans la ville de Ouargla (Algérie). Nous rappelons que notre objectif est d'étudier l'effet des conditions climatiques et la position de chaque système sur l'écoulement dans la cellule. Pour vérifier la précision et la validité du modèle physique qu'il est proposé dans notre travail, on va comparer les résultats obtenus à partir du modèle CFD avec les résultats expérimentaux. La comparaison entre les différentes configurations du modèle proposé, est faite par la détermination de la distribution de vitesse. Pour vérifier l'efficacité des deux systèmes à créer une ventilation naturelle intérieure, et enfin calculer le coefficient de renouvellement d'air ACH.

### 2. Etude expérimentale :

#### 2.1. Variation du rayonnement global :

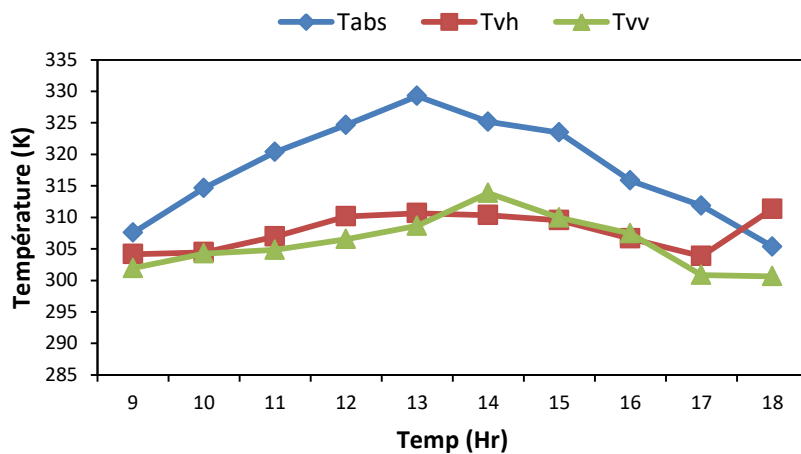
La figure (III.1) présente la variation du rayonnement global en fonction du temps correspondant à une journée claire (11/05/2022), elle a une forme gaussienne dont la valeur maximale de rayonnement est de  $592 \text{ W/m}^2$  à 12h :30 et une valeur minimale de  $30 \text{ W/m}^2$  à 18h:00 lors du début des mesures.



**Figure III.1 :** Variation horaire du rayonnement solaire globale (11/05/2022)

#### 2.2. L'évolution des différentes températures d'absorbeur et de vitre :

La figure III.2 représente la variation des différentes températures ( $T_{abs}$ ,  $T_{vh}$  et  $T_{vv}$  de la cheminée), et tous sont en fonction du temps et correspondent à la journée du 11/05/2022. La courbe obtenue montre que la température de l'absorbeur est supérieure à celle de vitre. Elle est importante au niveau de l'absorbeur de la cheminée solaire. On observe une augmentation de cette température pendant la durée de 09h00 à 13h00, pour laquelle la valeur maximale de la température de l'absorbeur ( $T_{abs}$ ) est égale à 329.1 K à 13h00,



**Figure III.2 :** Variation de la température de l'absorbeur et le vitrage en fonction de temps.

On peut voir facilement que le rayonnement a une influence importante sur la température de l'absorbeur puisqu'il reçoit la majorité du flux solaire incident ce qui provoque l'augmentation de sa température. Par contre, en après-midi, on observe une réduction progressive de la température de l'absorbeur ainsi que la température de vitre. La température de la vitre verticale ( $T_{vh}$ ) augmente avec un taux d'augmentation égale à 4,41%, elle atteint de 310.5 °C à 14h00. Dans la plupart du temps, la température de la vitre horizontale est presque la même que celle de la vitre verticale.

#### 2.3. Vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée

On remarque d'après la figure (III.3) que la vitesse à la sortie de la cheminée augmente avec l'augmentation de rayonnement et l'augmentation de la vitesse à l'entrée de la cheminée. L'énergie absorbée fait monter la température de l'absorbeur, la plus grande quantité de cette énergie est consommée par l'air à l'intérieur de la cheminée. La vitesse maximale est très proche de la paroi chaude (absorbeur) Cela est dû au fort gradient de température sur l'absorbeur qui provoque à son tour le phénomène de la convection naturelle.

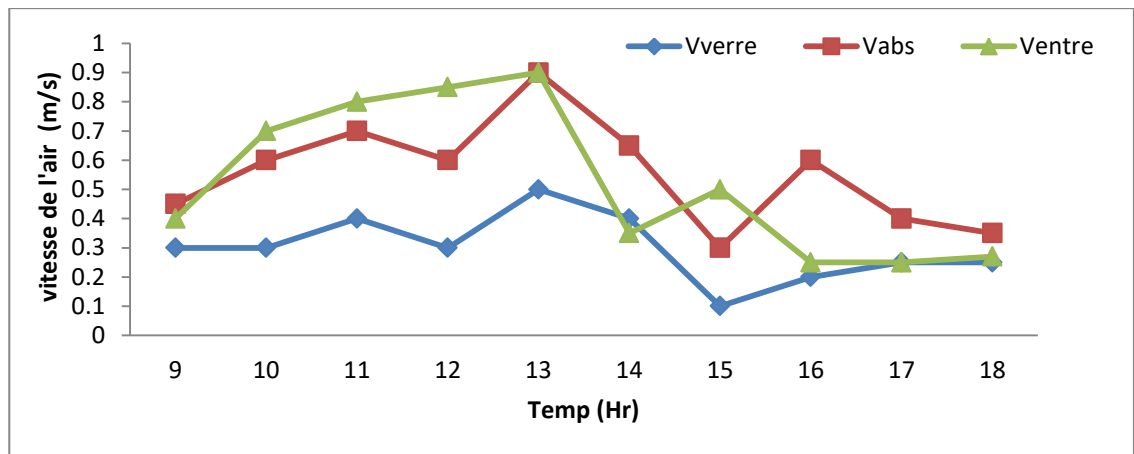


Figure III.3 : Variation de la vitesse à l'entrée et à la sortie de la cheminée.

#### 2.4. Vitesse à l'entrée et proche du mur intérieur de la tour à vent

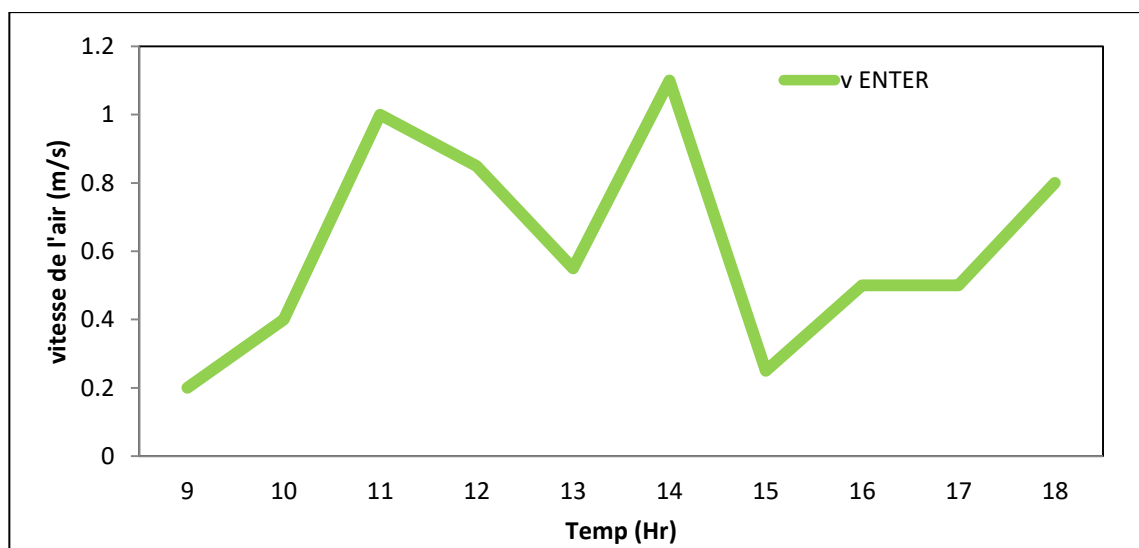
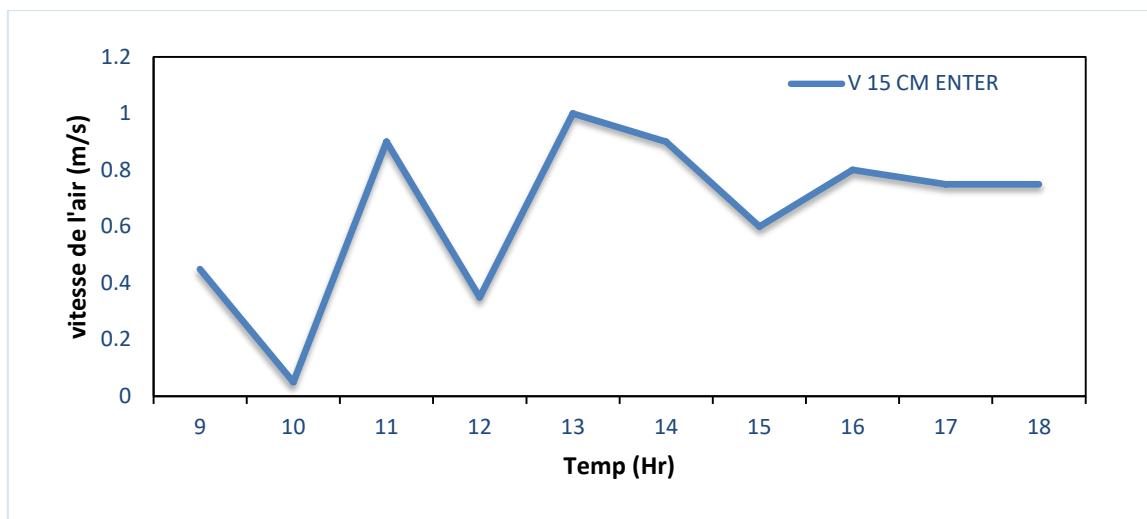


Figure III.4 : La vitesse à l'entrée de la tour à vent

La figure (II.4) présente la variation de la vitesse à l'entrée de la tour à vent en fonction du temps. On observe que parfois un grand changement de la vitesse à l'entrée de la tour, ce changement est dû à la variation des conditions climatiques, tels que l'éclairement solaire et la vitesse du vent.



**Figure III.5 :** Vitesse proche du mur intérieur de la tour à vent.

La Figure (III.5) présente la variation de la vitesse proche du mur intérieur de la tour à vent, après une profondeur de 10 cm par rapport à l'entrée de la tour. On remarque que le courant d'air principal augmente sa vitesse de deux fois sur la partie proche de la paroi intérieure de la tour par rapport les valeurs de vitesse à l'entrée. Par conséquent, le courant d'air se déplace en direction du bas de la tour jusqu'à ce qu'il soit forcé de se tourner dans la direction horizontale à l'extrémité de la tour.

### 3. Simulation numérique

Dans cette partie, une simulation numérique est effectuée pour une cellule isolée à une seule zone, La cellule est équipée d'une cheminée solaire et tour à vent. Par conséquent, ce travail présente une évaluation de l'impact du choix de l'emplacement d'installation des deux systèmes sur les performances de ventilation d'une cellule isolée. Plusieurs configurations ont été proposées pour obtenir une meilleure ventilation.

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

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

Equation	Quantité du mouvement selon x	Quantité du mouvement selon y	Equation de continuité	Equation de l'énergie	k	epsilon
Résidu	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$



### 3.2. Courbe de convergence

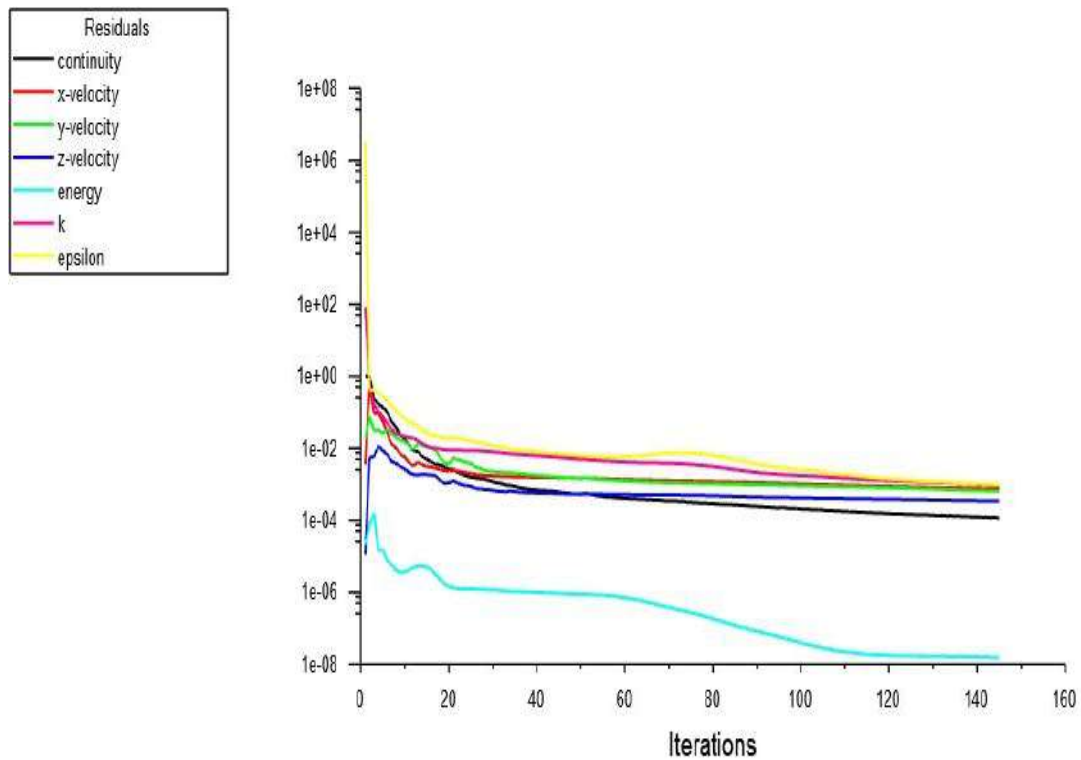


Figure III.6 : courbe de convergence

### 3.4. Validation

La première étape consiste à valider notre modèle de simulation numérique, en comparant entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques. La figure (III.7) illustre les points qui ont été sélectionnés dans le système pour effectuer la validation.

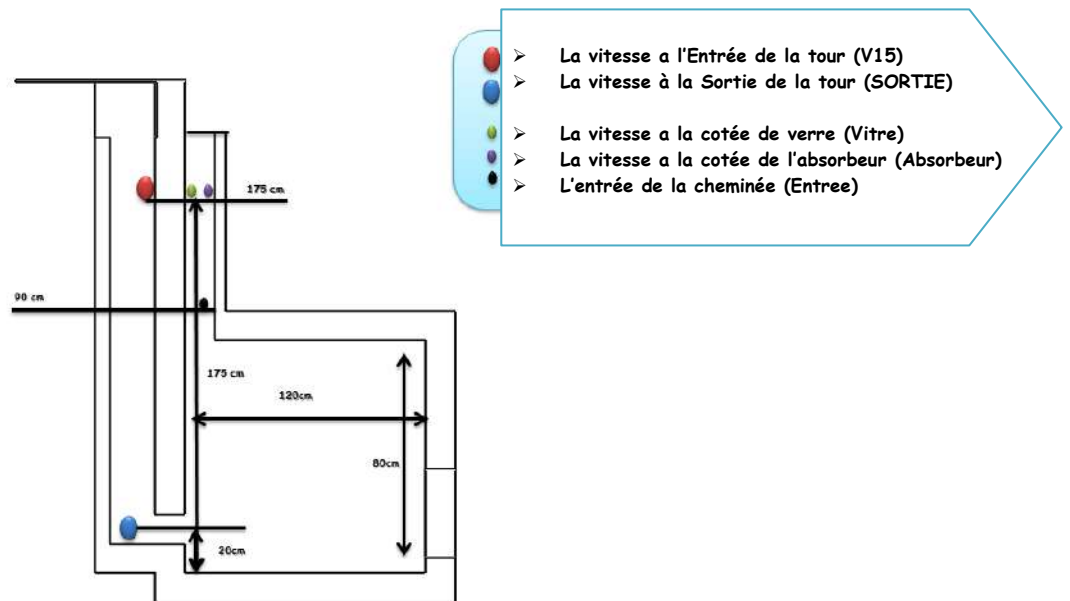


Figure III.7 : les points de mesure pour faire la validation.

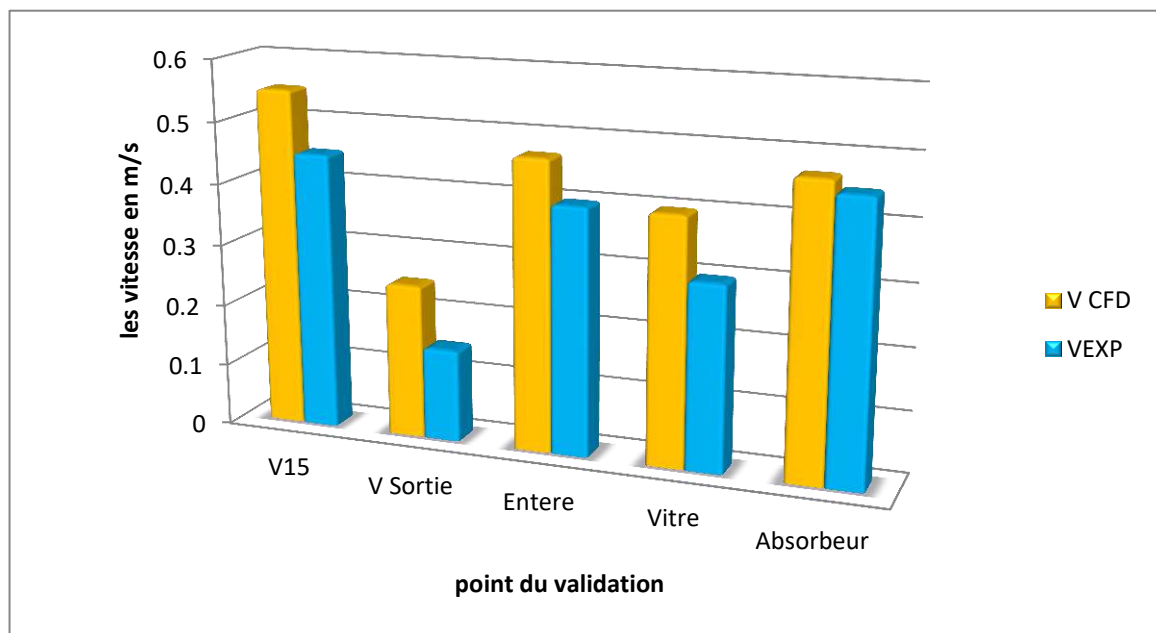
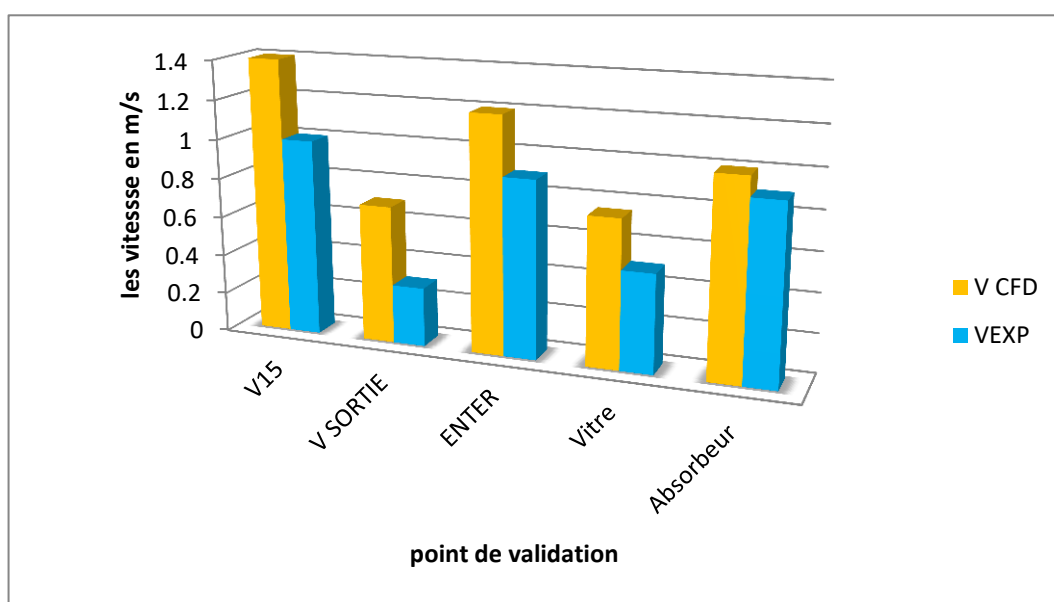


Figure III.8: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation (9 :00)

Pour obtenir les résultats de la simulation, on a choisi les différents changements de température (ambiante, absorbante, verre et air à l'intérieur de la cheminée) et des vitesses de vent correspondantes pour la journée du 11/05/2022.

On observe que le pourcentage moyen d'erreur était de 4 %, l'erreur la plus élevée a été constatée sur le point proche de la vitre ( $V_{\text{vitre}}$ ) et le point à l' sortie de la tour ( $V_s$ ), l'erreur atteint une valeur de 40 %,



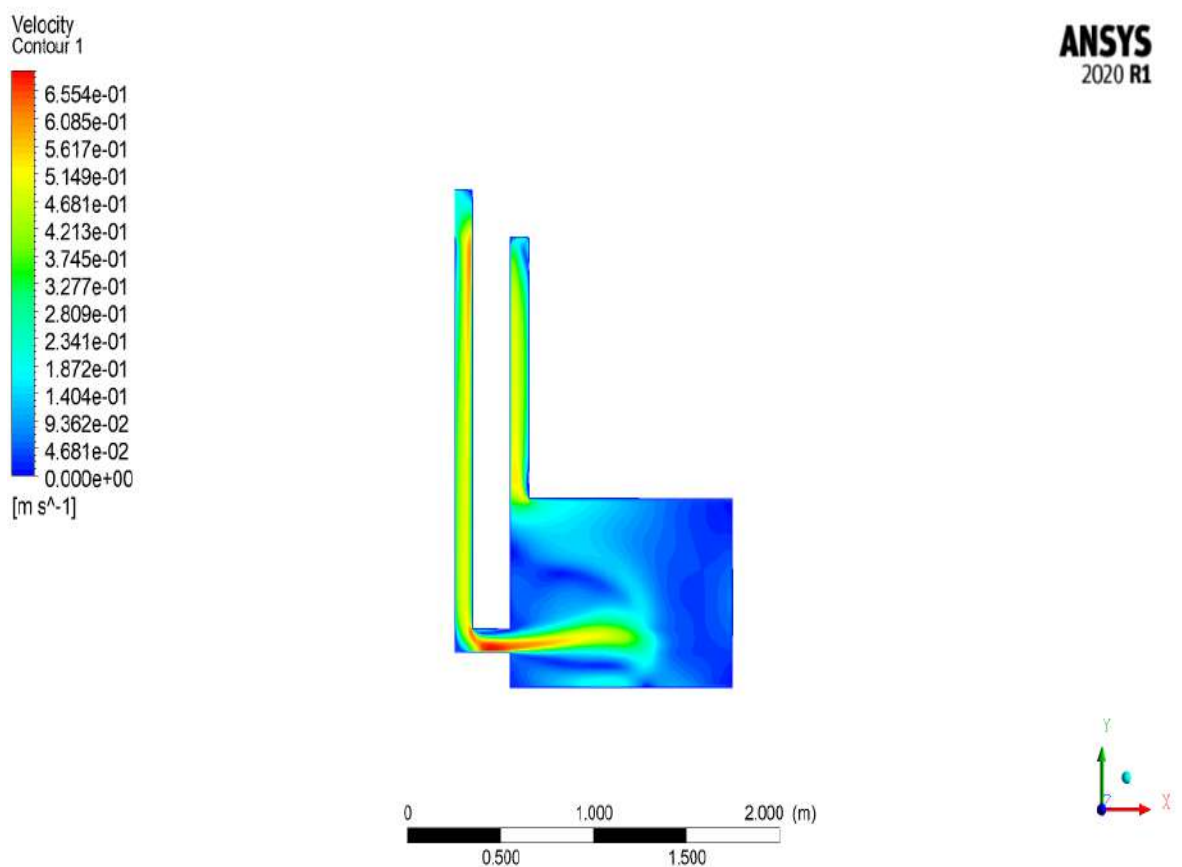
**Figure III.9:** Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation (13 :00)

La Figure III.9 présente la comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation pendant la journée du 11/05/2022. On trouve que le pourcentage moyen d'erreur était de 10 %, l'erreur la plus élevée a été constatée sur le point proche de la vitre ( $V_{\text{vitre}}$ ) et le point à la sortie de la tour ( $V_s$ ), l'erreur atteint une valeur de 50 %.

### 3.5. Évaluation des résultats dans la cellule

#### 3.5.1 Champs dynamique

La figure (III.8) représente les champs de vitesse dans notre modèle, L'air entre à travers la surface d'entrée de la tour de vent, circule dans la cellule et sort finalement par la surface de sortie de la cheminée solaire.



**Figure III.10** : champ des vitesses dans la configuration 1.

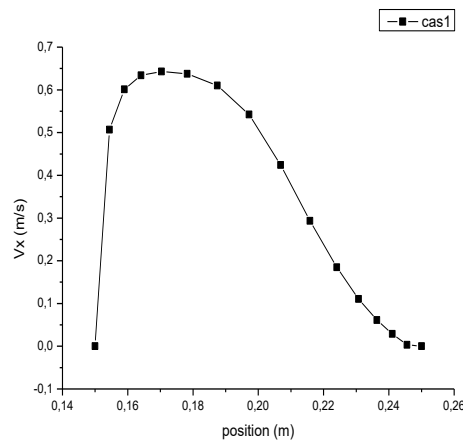
On observe que lorsque le flux d'air principal forcé se déplace vers le bas, Les principaux courants sont similaires et après l'entrée de l'air dans la tour, la vitesse augmentant dans la zone proximale de la paroi adjacente à la tour. La vitesse atteint une valeur de 0.5 m/s. Le courant principal entre dans la pièce en régime quasi laminaire et en sortit en régime turbulent. Une vitesse plus élevée est constatée sur la région supérieure et plus lente de 0.1

m/s sur la section inférieure de la sortie de tour à vent. Ce courant principal s'étend sur une grande partie de la hauteur de la chambre et forme deux cellules de circulation une sur la section supérieure de la chambre et l'autre sur la zone moyenne et à gauche de la cellule, une partie de l'air circulant va vers le haut et sort à travers la cheminée solaire, le flux principal d'air se déplace vers le haut parallèlement à la paroi chaude de la cheminée solaire avec des vitesses de 0.4 à 0.5 m s<sup>-1</sup>.

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

##### 3.5.2.1. Profils de vitesse à la sortie de la tour à vent :

La figure III.11 présente la variation de la vitesse à la sortie ou à l'entrée de la cellule. Elle est déterminée selon la position verticale de la surface.

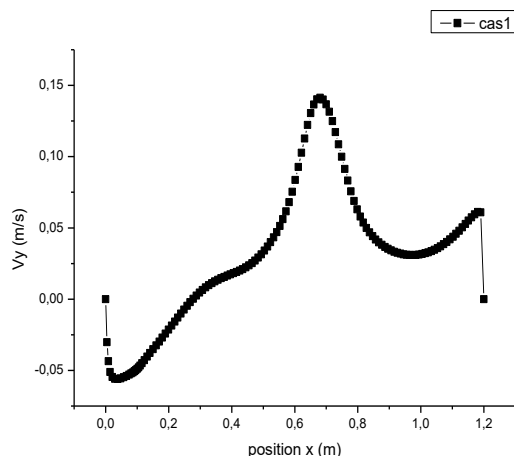


**Figure III.11 :** Variation de la vitesse à l'entrée de la cellule.

On peut constater que la vitesse est plus élevée dans la zone supérieure et plus faible dans la zone inférieure de la sortie de la tour à vent. Cette diminution est due à la grande vitesse de l'écoulement de l'air dans la zone adjacente au mur droit de la tour. La différence de température entre l'air à l'intérieur de la tour et l'air à l'extérieur entraîne une augmentation du nombre de Rayleigh qui provoque une diminution de l'épaisseur des couches limites, une diminution de l'épaisseur et une accélération du jet rampant.

##### 2.5.2.2. Au plan médian- horizontal :

La figure III.12 indique la variation de vitesse dans l'axe (y) au niveau du milieu de la cellule en fonction de la position selon l'axe (x)

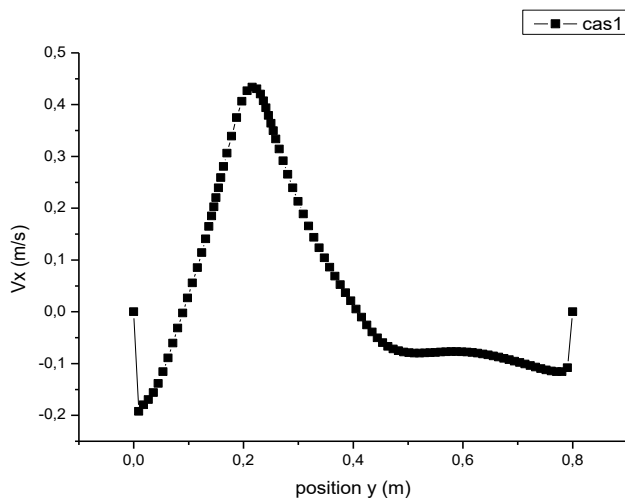


**Figure III.12 :** Variation de la vitesse dans la cellule au plan médian- horizontal

On observe que la vitesse prend des faibles valeurs à 0.15 puis augment jusqu'à 0.15 m/s dans un intervalle  $x=0.7$  qu'il est lié au centre de la chambre. Cette valeur représente la vitesse de l'air qui entre par la section de sortie de la tour à vent et circule dans le plan horizontal de la cellule. Dans la partie à droite de la cellule, on remarque que l'air change sa direction et va vers la section d'entrée de la cheminée.

#### 2.5.2.3. Au plan médian-vertical

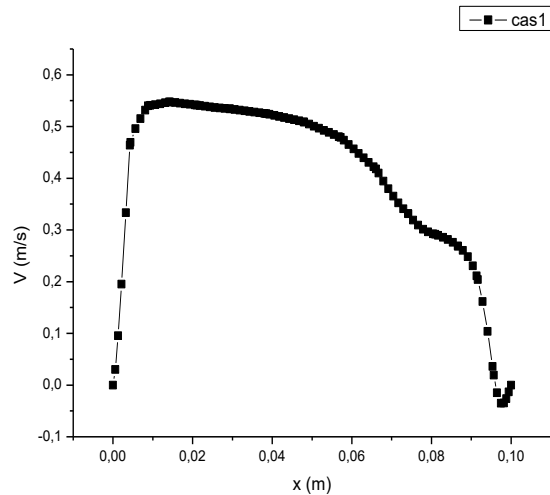
La figure (III.13) représente la variation de vitesse au plan médian-vertical de la cellule. La courbe montre que la vitesse augmente jusqu'à la valeur de 0.45 m/s et puis décroît. Les valeurs de vitesse les plus élevées se trouvent dans la zone proche de la section d'entrée de la cheminée solaire.



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

La circulation principale de l'air se faisant depuis la section de sortie de la tour à vent vers la cheminée solaire. Cette direction principale est due aux forces de flottabilité créées dans la cheminée solaire.

#### 3.5.2.4. Profils de vitesse à l'entrée de la cheminée solaire :

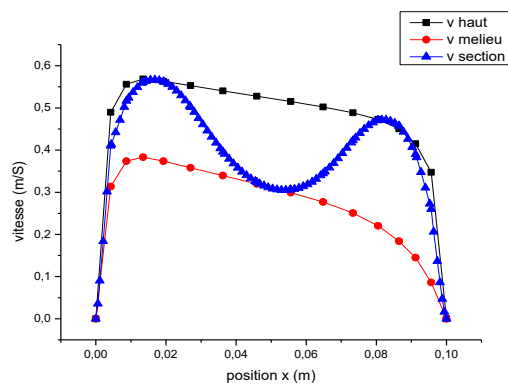


**Figure III.14 :** La vitesse à l'entrée de la cheminée solaire

On observe que la valeur maximale de la vitesse atteint une valeur de 0,56m/s. le profil de vitesse est presque aplati le long de la section d'entrée de la cheminée. Cela est provoqué par la nature de l'écoulement qui est en régime turbulent. Les vitesses de l'écoulement s'annulent sur les parois en raison de l'effet d'adhésion.

#### 3.5.2.5. Profils de vitesse à la sortie de la cheminée solaire :

La figure (III.15) représente la variation de la vitesse dans trois positions au sein de la partie supérieure de cheminée solaire (au milieu, loin de l'orifice d'air, au niveau de l'orifice).



**Figure III.15 :** La vitesse à la sortie de la cheminée solaire

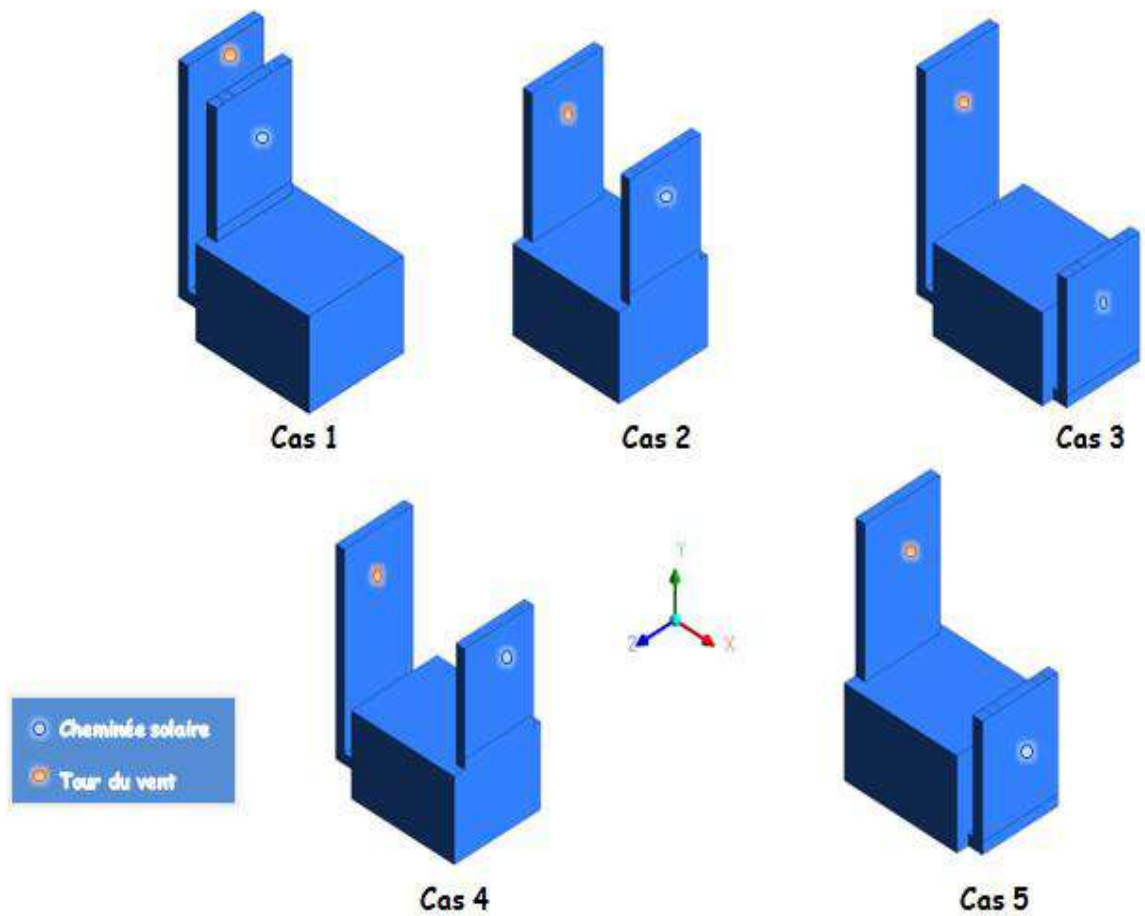
On remarque que la vitesse maximale se situe très proche de la paroi chaude (absorbeur). Ceci est dû au fort gradient de température sur cette paroi, qui provoque le phénomène de convection naturelle. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues au niveau de l'orifice d'air, où la vitesse a atteint la valeur maximale de 0.6 m/s. Les valeurs les plus faibles pour la vitesse se situent dans la zone loin de l'orifice d'air.

#### **3.6. L'effet du changement de localisation de la cheminée solaire et de la tour à vent**

Nous avons effectué des simulations numériques des cas que nous proposons pour la conception du système de ventilation passive.

- Configuration 1 : La cheminée solaire et la tour à vent sont installées du côté Est de la cellule.
- Configuration 2 : la modification est dans la position de la tour et de la cheminée. Pour éviter l'effet de perte de charge dans la partie sortant de la tour à vent et assurer une longue circulation de l'air au niveau de la chambre, on a proposé d'annuler le coude situé avant la surface de sortie de la tour. Tout en maintenant la tour sur le côté Est, on déplace la cheminée vers le côté Ouest.
- Configuration 3 : On a gardé la position de la tour à vent comme indiquée sur la première configuration. La position de la cheminée solaire a été changée pour devenir comme un mur Trombe sur le côté ouest.
- Configuration 4 : ce cas est très similaire à la première configuration, seul le changement de cheminée a été effectué sur le côté ouest.
- Configuration 5 : ce cas est très similaire à la deuxième configuration, seul le changement de cheminée était effectuée sur le côté dans ce cas est considéré comme un mur trombe installé sur le côté.





**Figure III.16:** Cinq configurations du notre modèle avec différentes dispositions du système de tour à vent et de la cheminée solaire.

### 3.6.1. Champs dynamique dans différent configuration :

Les résultats des simulations sont analysés au moyen de vecteurs de vitesse pour décrire le comportement de circulation de l'air à l'intérieur de la tour à vent, la cheminée solaire et à l'intérieur de la cellule. Les figures (III.17, III.18, III.19 et III.20) présentent le champ dynamique des configurations (2, 3, 4, 5) respectivement.

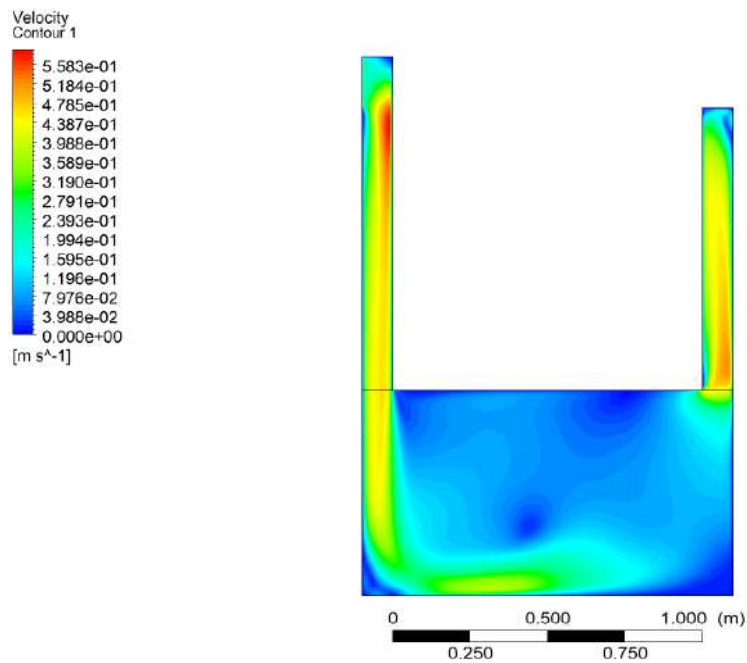


Figure III.17 : champ des vitesses dans la section transversale (Configuration 2)

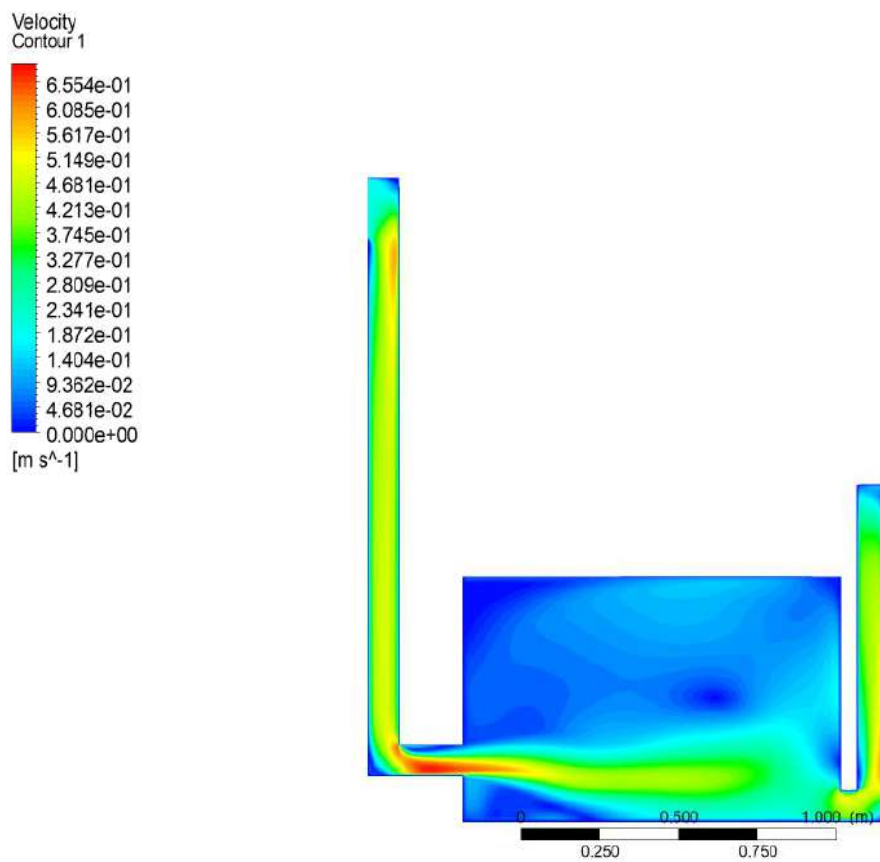


Figure III.18 : champ des vitesses dans la section transversale (Configuration 3)

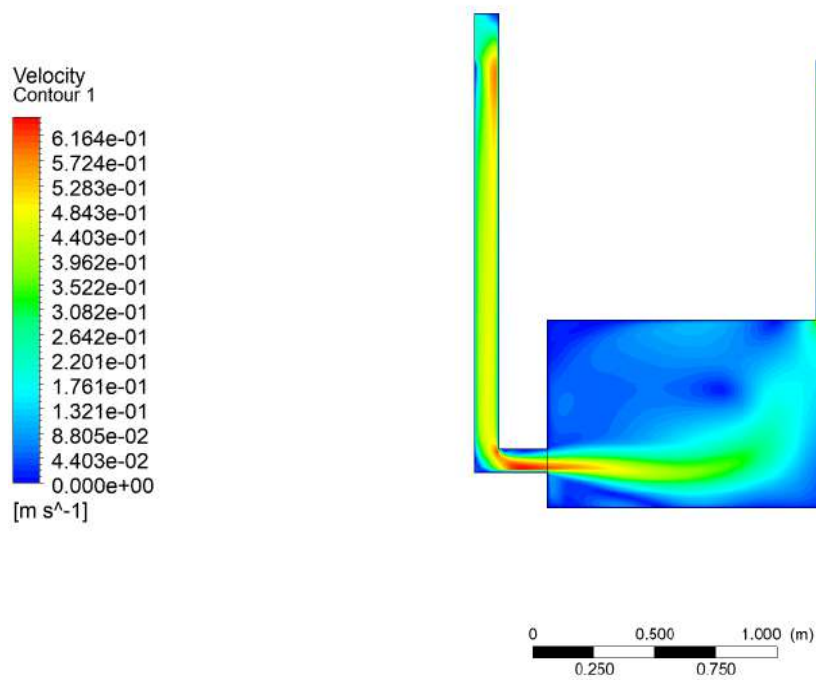


Figure III.19 : champ des vitesses dans la section transversale (Configuration 4)

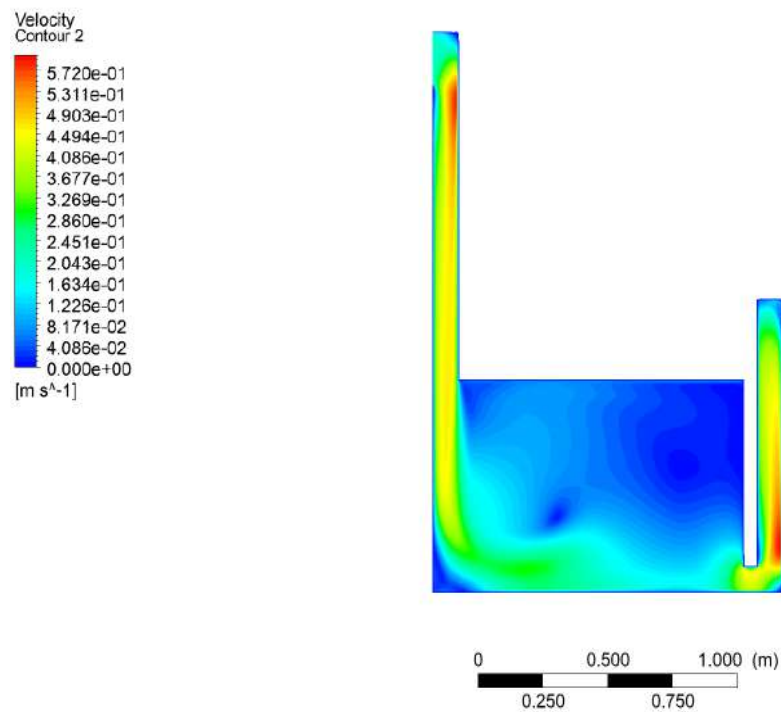


Figure III.20 : champ des vitesses dans la section transversale (Configuration 5)

Les résultats pour le cas de base sont présentés sur la figure (III.19) où l'on observe que la vitesse du courant d'air est augmentée de trois fois sur la section de la sortie de la cheminée solaire par rapport aux conditions d'entrée.

Par conséquent, l'air principal se déplace vers le bas à travers la section de la sortie de la tour à vent jusqu'à ce qu'il soit forcé de tourner dans la direction verticale vers la section d'entrée de la cheminée. Une fois à l'intérieur de la cellule, le flux d'air continue de se déplacer avec une vitesse faible. Le courant principal donne l'endroit à deux trajectoires d'air en fonction de chaque configuration : le premier est un flux à grande vitesse qui se déplace parallèlement à la surface totale du sol. Ce qui est observé dans les configurations 3, 4 et 5. Dans la configuration 4, ce courant d'air attaché au sol change sa trajectoire vers le haut lorsqu'il s'approche de la sortie.

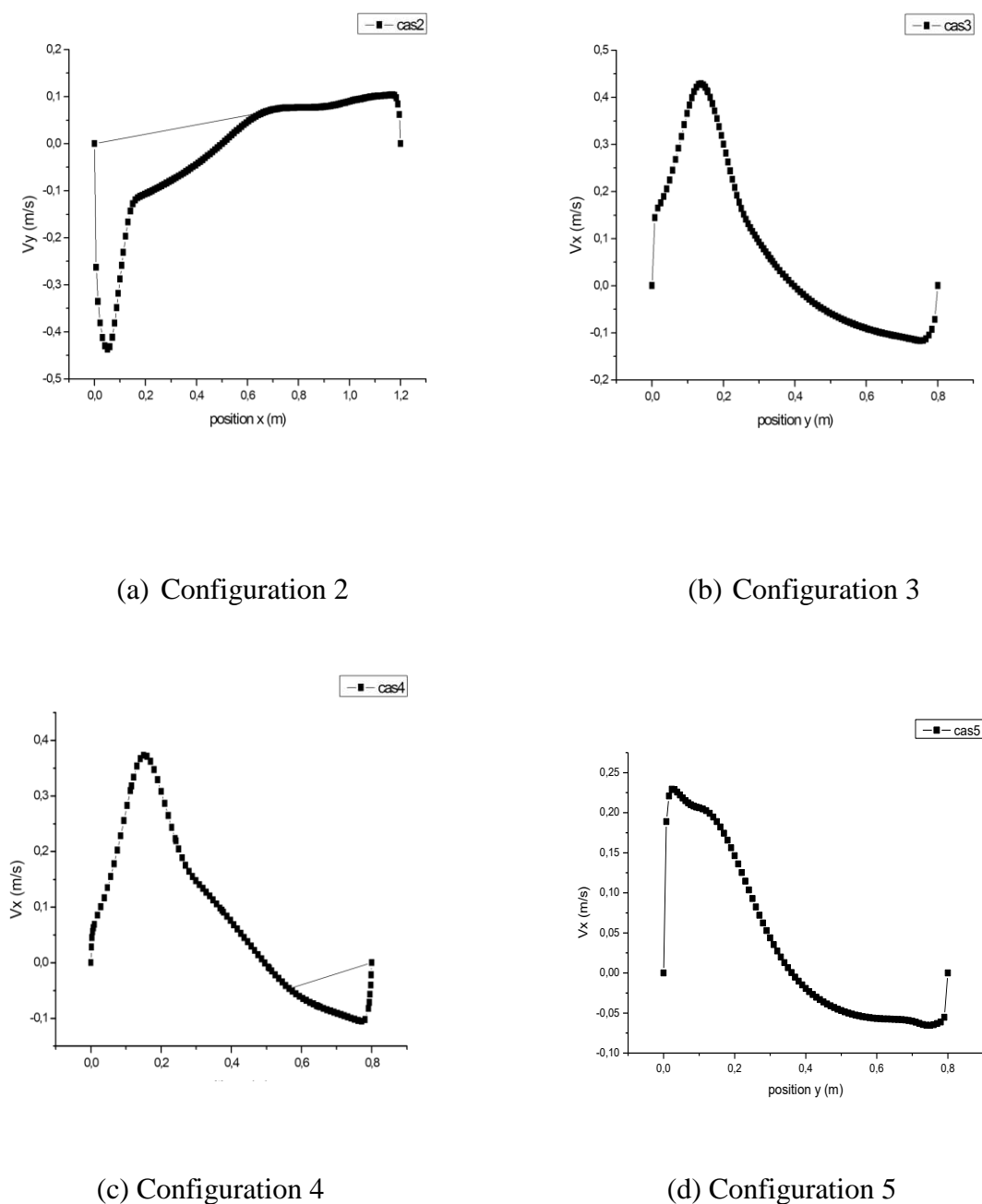
Le second courant principal remonte et n'est pas parallèle au plafond de la pièce. Ce flux d'air à grande vitesse change également de direction près de la sortie. Cette deuxième trajectoire caractérise la solution des configurations 1, 2 et 4. Il convient de dire que ces deux trajectoires principales créent des cellules d'écoulement secondaires.

La taille de ces régions de recirculation du flux varie d'une trajectoire de flux à l'autre, mais les deux sont observées dans la région centrale de la pièce. Cependant, la distribution du flux dans la configuration 5, ne peut pas assurer le renouvellement d'air dans tout le volume de la cellule, même si le courant de grande vitesse est observé près du sol de la cellule. Dans le cas de la configuration 4, le flux d'air à grande vitesse est distribué bien dans tout le volume de la cellule et avec une bonne valeur de vitesse.

D'après cette analyse, les configurations 3 et 4 représentent des options possibles pour l'utilisation de l'installation des deux systèmes.

#### **3.6.2. La variation de vitesse au plan médian-horizontale**

Les figures ((III.12) et (III.21, (a), (b), (c) (d)) montrent les profils de vitesse le long de la pièce pour meilleure description de la magnitude et de la direction du courant principal.



**Figure III.21:** Variation de vitesse dans la cellule au plan médian-horizontale

La zone médiane du courant principal se déplace à une vitesse comprise entre 0.2 et 0.6 m/s. En comparant avec la vitesse d'entrée de la tour pour chaque configuration, le courant principal à l'intérieur de la cellule se déplace plus lentement, ce qui est un effet de diminution brusque située entre les extrémités de la pièce intérieure.

3.6.3. La variation de vitesse au plan médian-verticales

La figure ((III.13) et III.22, (a), (b), (c) (d)) montrent les profils de vitesse selon la hauteur de la pièce pour meilleure description de la magnitude et de la direction du courant principal.

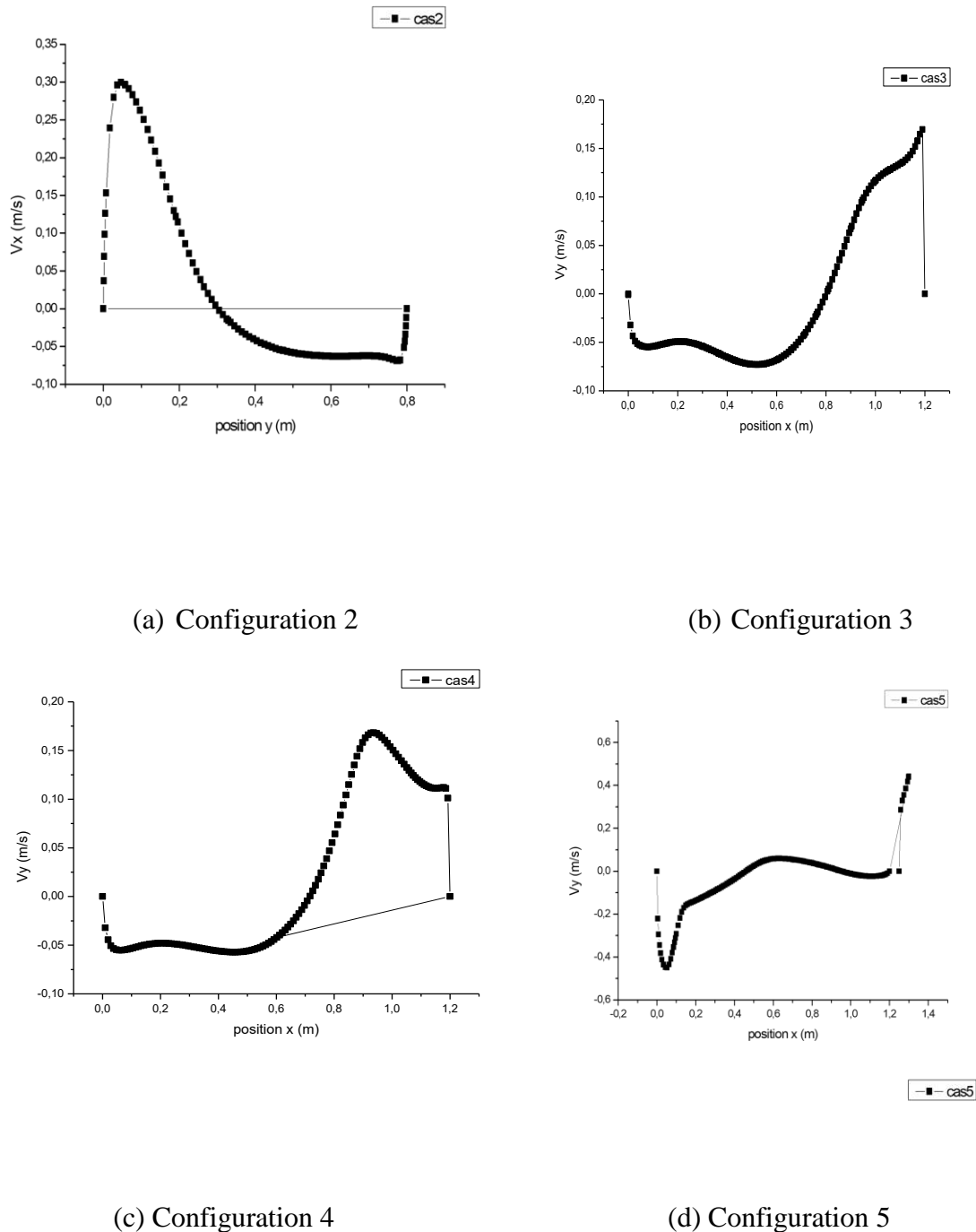


Figure III.22: Variation de vitesse dans la cellule au plan médian-vertical.

### Chapitre III: Résultats et discussions

L'analyse de la vitesse permet de connaître les effets dynamiques de la vitesse d'air à l'intérieur de la cellule. Avec une vitesse maximale située au bas de la hauteur de la cellule pour les configurations 1 et 2. Pour une position plus élevée, la vitesse augmente en raison de la recirculation du flux avec un déplacement d'air vers la section de la sortie dans les configurations 4 et 3. Une partie du courant principal frappe le toit, ce qui produit un mouvement de recirculation de l'air à l'intérieur de la cellule.

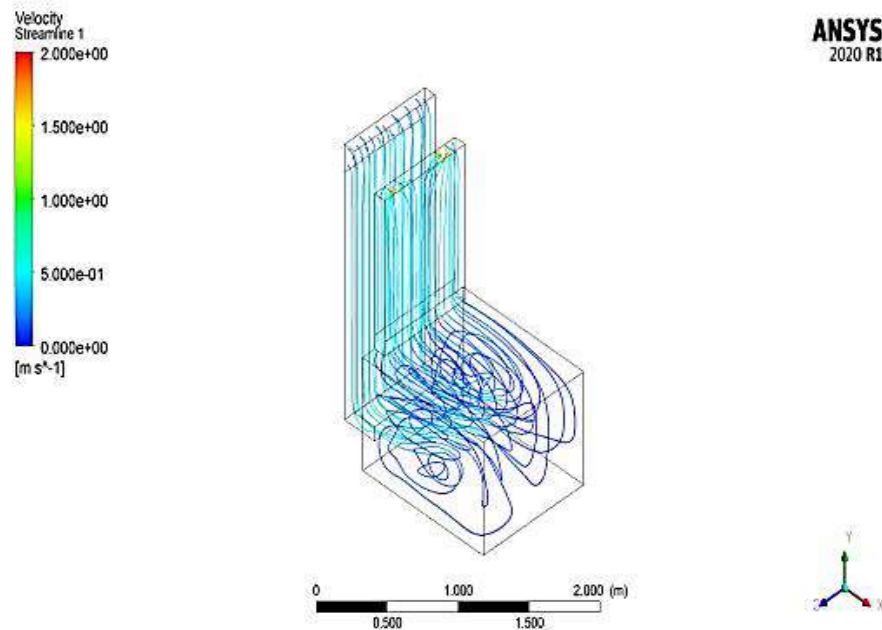


Figure. III.23: Le flux d'écoulement (lignes de courant)

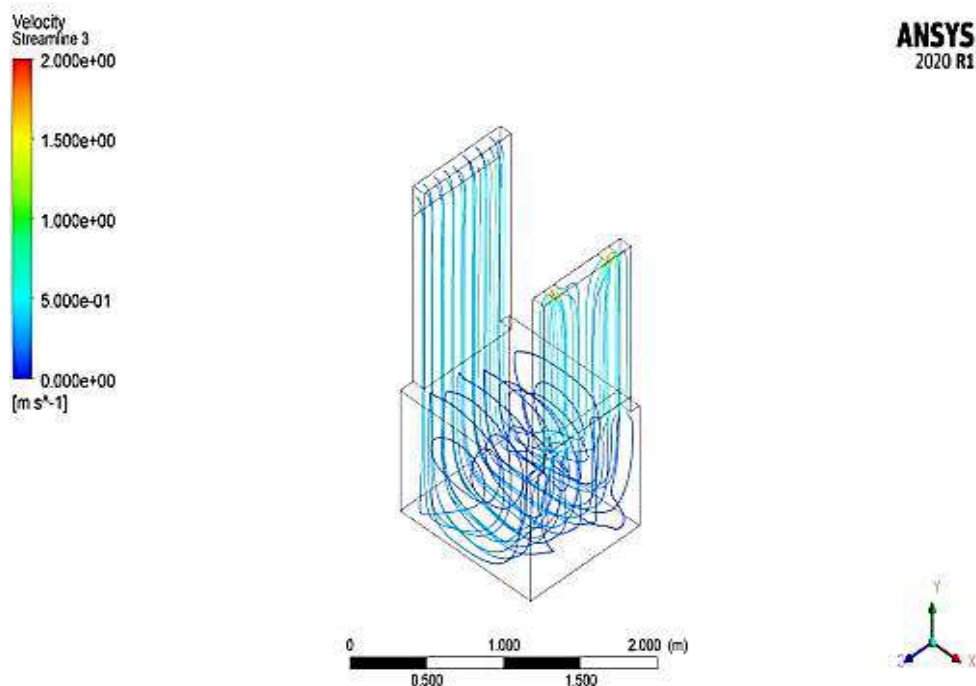


Figure III.24 : Le flux d'écoulement (lignes de courant) Configuration 2.

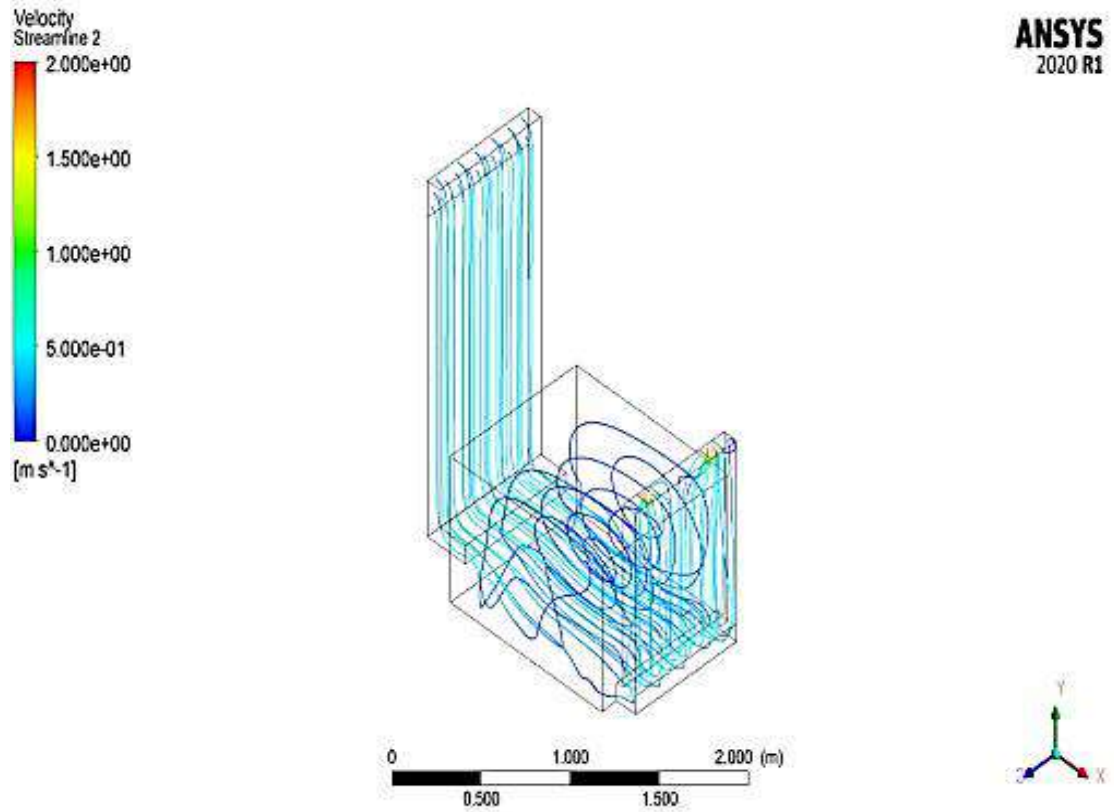


Figure III.25 : Le flux d'écoulement (lignes de courant) Configuration 3.

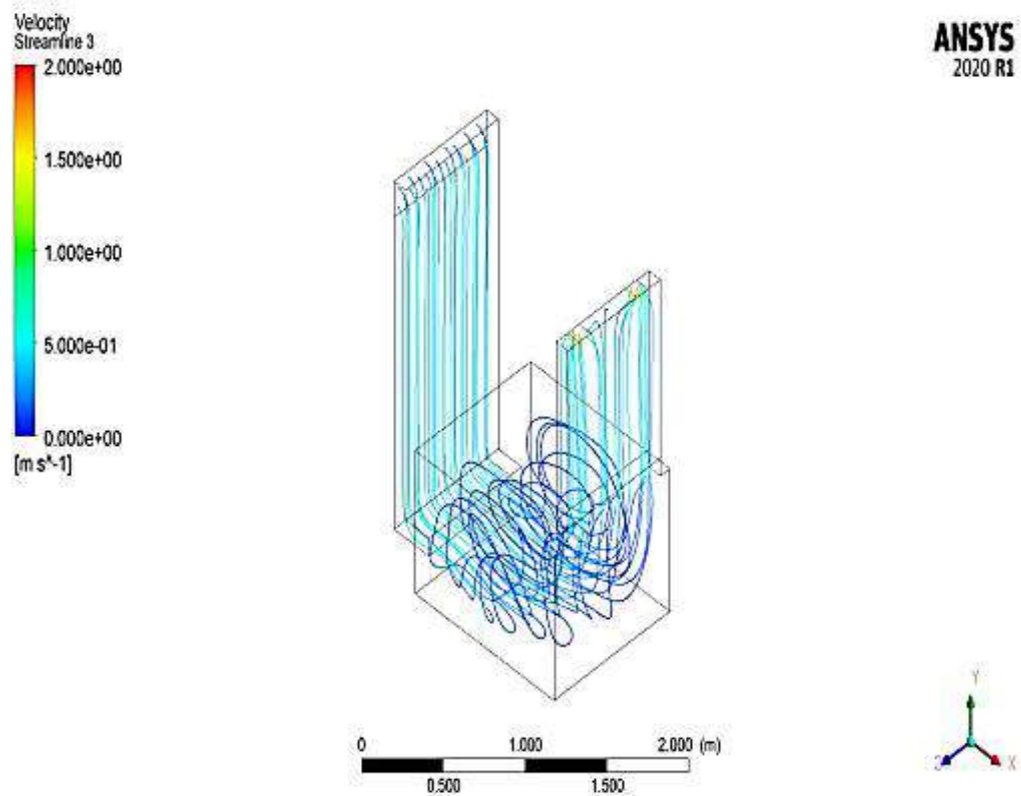
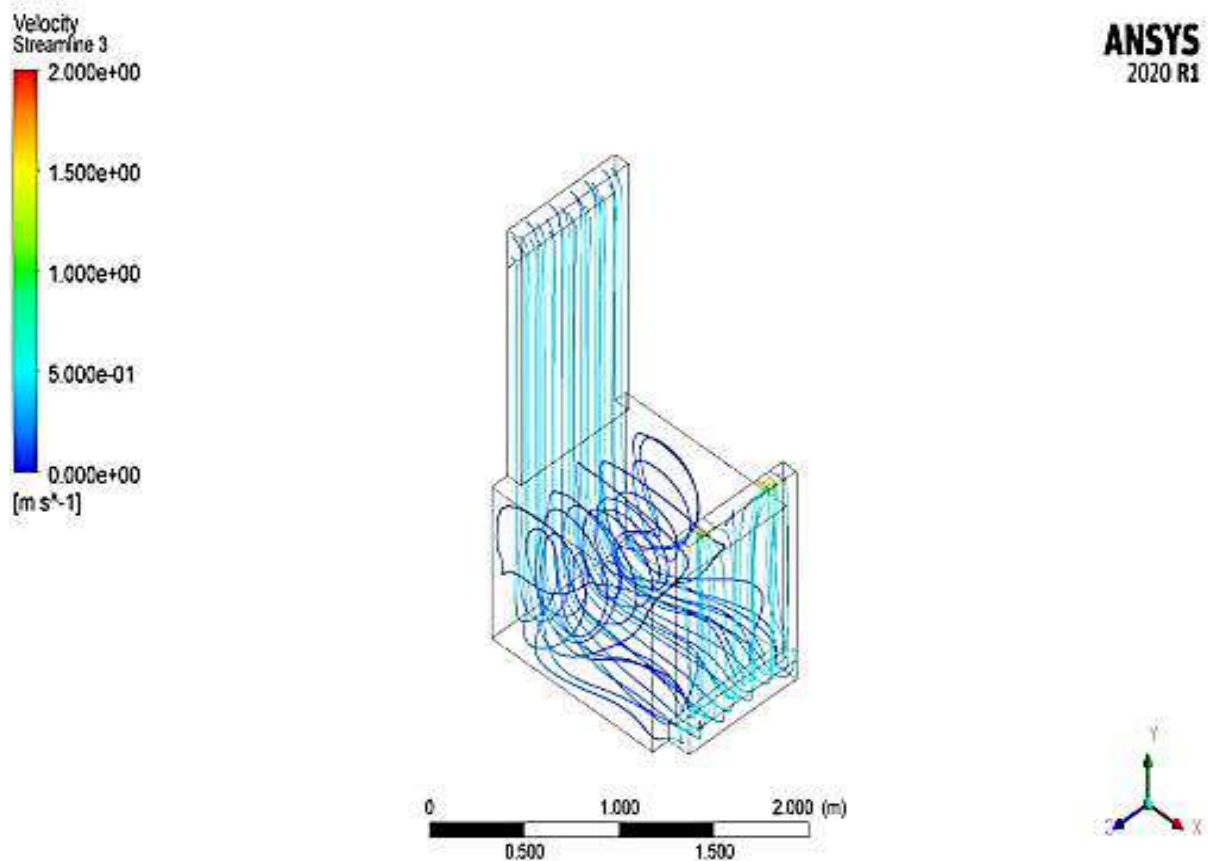


Figure III.26: Le flux d'écoulement (lignes de courant) Configuration 4.





**Figure III.27** : Le flux d'écoulement (lignes de courant) Configuration 5.

La figure (II.21) présente le flux d'écoulement (lignes de courant). Il est clair que l'air entrant descend vers le bas de la cellule pour toutes les configurations. L'air entrant passe par la tour à vent, atteint le toit sous l'effet de la force de flottaison et sort par la cheminée solaire. Les configurations 4 présentent des lignes de courant de vitesse plus convenable, pour faire l'aération. L'air entrant dans la cellule se heurte avec le mouvement de l'air provoqué par la convection naturelle dans la lame d'air de la cheminée. Par exemple, dans les Configurations 2 et 4, l'air entrant est horizontal, alors que dans les autres Configurations, l'air entrant descend et atteint le fond de la cellule.

Sur la base de l'emplacement du courant d'air dans la cellule, le courant principal, représenté dans la configuration 4, donne le meilleur résultat. En effet, la configuration 4 est la seule à produire une distribution d'air qui améliore la distribution d'air frais, à une distance convenable dans la pièce et avec une vitesse qui double presque son amplitude par rapport à la condition d'entrée.

3.6.4. Champ dynamique dans la configuration 4 pour différent valeur de vitesse

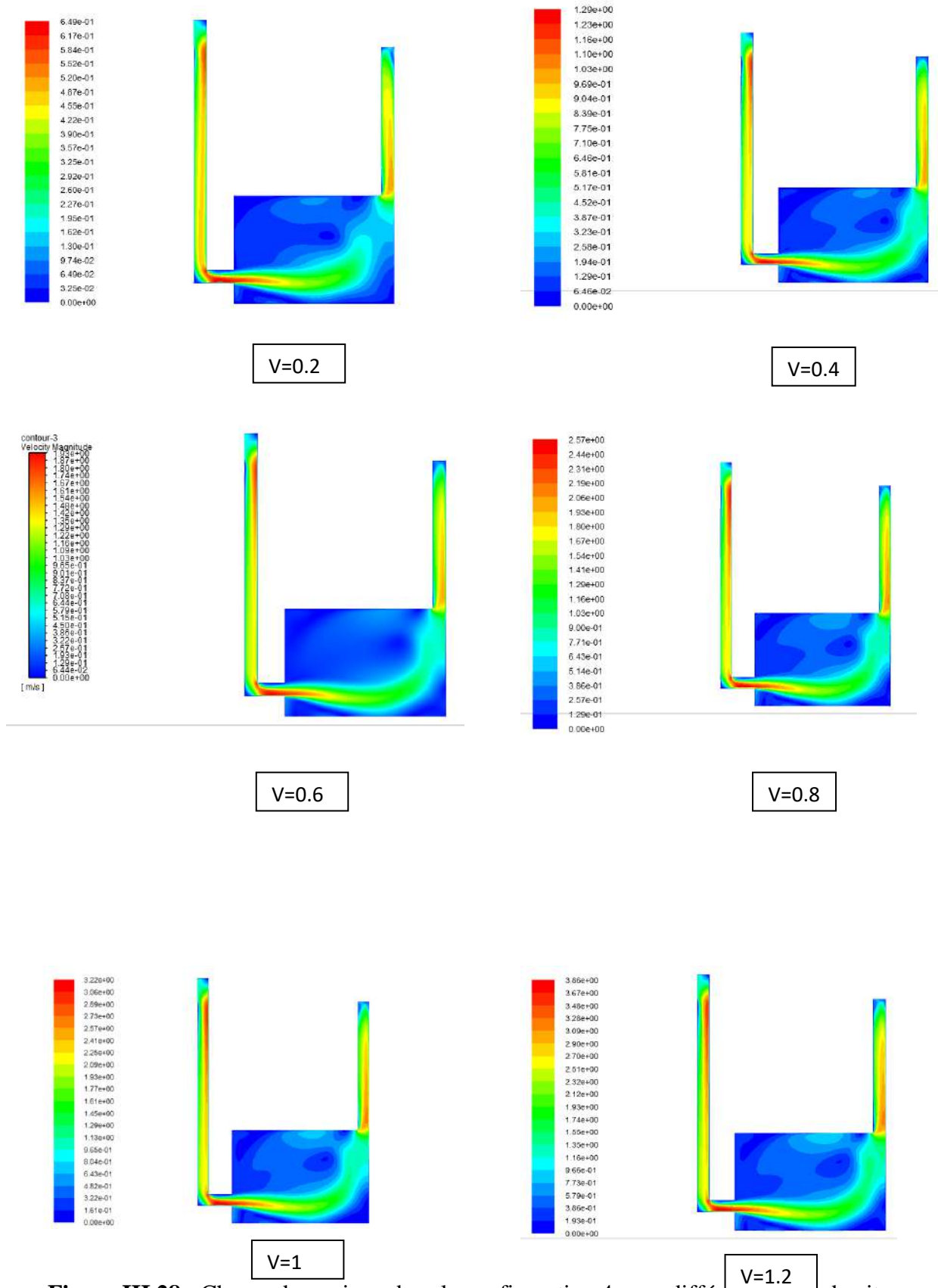


Figure III 28 : Champ dynamique dans la configuration 4 pour différent valeur de vitesse

La figure (III.28) montre la relation entre les différentes vitesses du vent extérieur et les performances des deux systèmes en termes de distribution du flux d'air interne. Dans la configuration 4, une partie de l'air entre dans la tour à vent et sorte après avoir été distribué à l'intérieur de la pièce par la cheminée solaire. La vitesse de l'air à travers le diffuseur était de 0,2 m/s. Dans la cellule, on observe une zone de recirculation avec une vitesse d'air relativement faible sur le côté supérieur loin de l'entrée de la cheminée, où la vitesse varie de 0 m/s à 0.15 m/s. La taille de la région de recirculation de l'air augmente avec la vitesse d'entrée de la tour à vent. Le flux d'air dans la cellule est caractérisé par une grande zone de recirculation dans les parties inférieures avec des courants plus rapides, la vitesse du flux d'air variait de 1.30 m/s à 1.95 m/s. Une bonne circulation de l'air est obtenue dans le logement lorsque la valeur de la vitesse à l'entrée de la tour est élevée.

#### 3.6.5. Evolution d'ACH :

**Tableau III.3:** Effet de la vitesse sur le taux de renouvellement d'air

Les Vitesse	Débit massique sortant (kg/s)	Nombre ACH (1/h)	Débit Volumique (m <sup>3</sup> /S)
V=0.2	0.0348061	4.26662621	0.0319997
V=0.4	0.0696133	8.53339708	0.06400048
V=0.6	0.1044212	12.8002452	0.09600184
V=0.8	0.1392273	17.0668751	0.12800156
V=1	0.1740432	21.3347063	0.1600103
V=1.2	0.2088423	25.6004781	0.19200359

Selon le renouvellement d'air et la distribution d'air dans n'importe quelle zone de la cellule, nous calculons le nombre d'ACH dans différents états de vitesse (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2 m/s). Le taux de renouvellement d'air ACH et les débits volumiques d'air sortant de la cheminée sont présentés dans le tableau suivant :

L'augmentation de la vitesse entraîne une augmentation de débit volumique de l'air dans la cellule, par conséquent, une amélioration significative du taux d'ACH. La valeur minimale d'ACH nécessaire en général est de 4 et la valeur maximale de 30 [73]. Les résultats obtenus et présentés dans le tableau sont acceptables.

#### 4. Conclusion

Le système de rafraîchissement passif est une conception qui permet d'assurer le confort thermique d'un bâtiment. Dans ce chapitre, nous avons essayé d'étudier les différentes configurations du système passif. Un test de validation des résultats de la simulation numérique pour le même modèle a été effectué, notamment en comparant ces résultats avec les résultats expérimentaux.

Notre étude permet de comparer la distribution du flux d'air à l'intérieur d'une cellule avec cinq configurations afin de créer une meilleure qualité de l'air intérieur. La distribution de l'air intérieur la plus favorable a été obtenue dans la configuration 4, où la valeur du débit volumique à la sortie de la cheminée était de  $0.192 \text{ m}^3/\text{s}$ , et où le coefficient de renouvellement d'air ACH a été atteint  $25,6 \text{ 1/h}$ . La vitesse du vent a un impact significatif sur l'amélioration de la ventilation naturelle, plus la vitesse du vent est élevée, plus la valeur de ACH est importante.

# *Conclusion Générale*

### Conclusion générale :

La ventilation naturelle peut remplacer les systèmes de ventilation mécanique. Elle présente un impact considérable, car elle permet de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer l'environnement intérieur des bâtiments. Cependant, il existe certaines limites, notamment la possibilité de créer des conditions thermiques et de ventilation favorables dans les climats rigoureux. Pour améliorer l'efficacité de la ventilation naturelle, l'énergie solaire a été exploitée de plusieurs manières. Les cheminées solaires sont des dispositifs qui permettent d'utiliser l'énergie solaire dans les bâtiments pour assurer une ventilation naturelle stable. Un éolien peut améliorer le taux de ventilation solaire en introduisant de l'air frais. Les tours à vent sont utilisées pour assurer la ventilation naturelle des bâtiments résidentiels dans les climats chauds arides et semi-arides.

L'objectif principal de ce travail est d'examiner les performances d'une tour à vent couplée avec une cheminée solaire et la distribution du flux d'air dans la cellule.

Pour l'étude expérimentale, le prototype proposé est une cellule munie d'une tour à vent à un seul côté sur la façade est, ainsi que d'une cheminée solaire installée sur la toiture. Les résultats expérimentaux sont comparés aux résultats de la simulation numérique tridimensionnelle qui a été réalisée à l'aide du programme ANSYS 2021 version R1

Après avoir présenté et discuté tous les résultats obtenus, on peut constater que la performance de la ventilation est influencée par l'intensité de rayonnement solaire sur la surface de la cheminée solaire et par la vitesse de l'air à la section d'entrée de la tour à vent.

Dans notre étude, la conception optimale du modèle a été déterminée sous l'influence des conditions climatiques de la ville de Ouargla. Les résultats ont montré que les deux systèmes sont efficaces pour créer une ventilation naturelle.

Le choix de la position de la cheminée solaire et de la tour à vent joue un rôle important pour obtenir la meilleure distribution de la vitesse d'air dans la chambre. Cinq configurations différentes ont été proposées pour le modèle étudié, la vitesse de l'air à l'entrée de la tour à vent est de 0,2 m/s, les résultats ont prouvé que la meilleure répartition du flux d'air était dans la quatrième configuration, où la valeur du débit massique est de 0,0348 kg/s et la valeur d'ACH est égale 4,26 1/h.

## Conclusion Générale

---

Le coefficient de renouvellement d'air ACH augmente en fonction de l'augmentation de la vitesse à la section d'entrée de la tour à vent. Ceci indique que les deux systèmes considérés sont efficaces.

En perspective, cette étude pourrait être approfondie par :

- Modifier la position de la cheminée d'horizontale à inclinée
- Utiliser un ventilateur et l'installer à l'entrée de la tour à vent afin d'améliorer les performances de ventilation et d'augmenter la valeur ACH
- Équiper la tour à vent avec un système de pulvérisation d'eau

# *Bibliographies*



### Bibliographies

1. Nasreddine Sakhri, Younes Menni, Houari Ameer, *Experimental investigation of the performance of earth-to-air heat exchangers in arid environments*, *Journal of Arid Environments*, Volume 180, 2020,
2. Hosseini, S.H., et al., *Evaluation of airflow and thermal comfort in buildings ventilated with wind catchers: Simulation of conditions in Yazd City, Iran. Energy for Sustainable Development*, 2016. 35: p. 7-24.
3. Jafari, S. and V. Kalantar, *Numerical simulation of natural ventilation with passive cooling by diagonal solar chimneys and windcatcher and water spray system in a hot and dry climate. Energy and BUILDINGS*, 2022. **256**: p. 111714.
4. Prima, Y. and S. Prima, *Wind catcher and solar chimney integrated as an alternative ventilation for urban dense settlements in tropical climate. International Journal of Architecture and Urbanism*, 2019. **3**(1): p. 51-68.
5. Muller, Chris. 2010. "ASHRAE Standard 62.1." *The IAQ Procedure and LEED 62.1(Indoor Environmental Quality):1–79*.
6. ASHRAE. 1992. "ASHRAE Handbook."
7. *Mémoire De Fin D'étude Master Académique Etude et simulation de ventilation d'un locale Saheb bilal et larab Nasr eddine, 2017/2018*
8. Zhang, H., et al., *A critical review of combined natural ventilation techniques in sustainable buildings. Renewable and sustainable energy reviews*, 2021. **141**: p. 110795.
9. Henry, A.W.R.S.C.E.D.S., *Natural Ventilation in High-Rise Office Buildings. CTBUH Technical Guide*.
10. Zhai, X., Z. Song, and R. Wang, *A review for the applications of solar chimneys in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011. **15**(8): p. 3757-3767.
11. Cao, Y., et al., *Single solar chimney technology as a natural free ventilator; energy-environmental case study for Hong Kong. Case Studies in Thermal Engineering*, 2021. **26**: p. 101173.
12. Shi, L., et al., *Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. **88**: p. 223-238.
13. Shi, L., et al., *Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. Renewable and sustainable energy reviews*, 2018. **88**.
14. Shi, L., et al., *Developing an empirical model for roof solar chimney based on experimental data from various test rigs. Building and Environment*, 2016. **110**.
15. Thirugnanasambandam, M., S. Iniyan, and R. Goic, *A review of solar thermal technologies. Renewable and sustainable energy reviews*, 2010. **14**(1): p. 312-322.
16. Spencer, S., *An experimental investigation of a solar chimney natural ventilation system*, 2001, Concordia University.
17. Lee, K.H. and R.K. Strand, *Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney. Energy and Buildings*, 2009. **41**(6): p. 615-621.
18. Punyasompun, S., et al., *Investigation on the application of solar chimney for multi-storey buildings. Renewable Energy*, 2009. **34**(12): p. 2545-2561.
19. Chen, Z.D., et al., *An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux. Building and Environment*, 2003. **38**(7): p. 893-906.
20. Sakonidou, E., et al., *Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow. Solar Energy*, 2008. **82**(1): p. 80-94.
21. Halldorsson, J., et al. *Experimental and theoretical studies of a solar chimney with uniform heat flux. in The 8th International Conference on Air Distribution in Rooms, Copenhagen, Denmark. 2002.*

22. Li, A., et al., *Heat transfer and natural ventilation airflow rates from single-sided heated solar chimney for buildings*. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2004. **3**(2): p. 233-238.
23. Mathur, J., et al., *Experimental investigations on solar chimney for room ventilation*. Solar Energy, 2006. **80**(8): p. 927-935.
24. Lee, D.-S., et al., *Experimental investigations on solar chimney for optimal heat collection to be utilized in organic Rankine cycle*. Applied energy, 2015. **154**: p. 651-662.
25. Mahdavinejad, M., M. Fakhari, and F. Alipoor, *The study on optimum tilt angle in solar chimney as a mechanical eco concept*. Frontiers of Engineering Mechanics Research, 2013. **2**(3): p. 71-80.
26. Zhai, X., Y. Dai, and R. Wang, *Experimental investigation on air heating and natural ventilation of a solar air collector*. Energy and Buildings, 2005. **37**(4): p. 373-381.
27. Gan, G., *A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings*. Energy and Buildings, 1998. **27**(1): p. 37-43.
28. Yang, M., et al., *Experimental analysis on thermal performance of a solar air collector with a single pass*. Building and Environment, 2012. **56**: p. 361-369.
29. Somsila, P., U. Teeboonma, and W. Seehanam. *Investigation of buoyancy air flow inside solar chimney using CFD technique*. in *Proceedings of the international conference on energy and sustainable development: issues and strategies (ESD 2010)*. 2010. IEEE.
30. Imran, A.A., J.M. Jalil, and S.T. Ahmed, *Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney*. Renewable Energy, 2015. **78**: p. 236-244.
31. Jing, H., Z. Chen, and A. Li, *Experimental study of the prediction of the ventilation flow rate through solar chimney with large gap-to-height ratios*. Building and Environment, 2015. **89**: p. 150-159.
32. Khedari, J., et al., *The modified Trombe wall: a simple ventilation means and an efficient insulating material*. International Journal of Ambient Energy, 1998. **19**(2): p. 104-110.
33. Ryan, D., *Experimental investigation of buoyancy driven natural convection for solar applications in building facades*, 2008, Glasgow Caledonian University.
34. El-Sawi, A., et al., *Application of folded sheet metal in flat bed solar air collectors*. Applied Thermal Engineering, 2010. **30**(8-9): p. 864-871.
35. Hatami, N. and M. Bahadorinejad, *Experimental determination of natural convection heat transfer coefficient in a vertical flat-plate solar air heater*. Solar Energy, 2008. **82**(10): p. 903-910.
36. Afonso, C. and A. Oliveira, *Solar chimneys: simulation and experiment*. Energy and Buildings, 2000. **32**(1): p. 71-79.
37. Seytier, C. and M.H. Naraghi, *Combined convective-radiative thermal analysis of an inclined rooftop solar chimney*. Journal of solar energy engineering, 2013. **135**(1): p. 011009.
38. Harris, D. and N. Helwig, *Solar chimney and building ventilation*. Applied energy, 2007. **84**(2): p. 135-146.
39. Jomehzadeh, F., et al., *A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment*. Renewable and sustainable energy reviews, 2017. **70**: p. 736-756.
40. Jomehzadeh, F., et al., *Natural ventilation by windcatcher (Badgir): A review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate*. Energy and Buildings, 2020. **226**: p. 110396.  
<https://surfiran.com/windcatcher-an-ancient-engineering-feat-that-harnessed-the-wind/>.
41. Sangdeh, P.K. and N. Nasrollahi, *Windcatchers and their applications in contemporary architecture*. Energy and Built Environment, 2022. **3**(1): p. 56-72.
42. Tavakolinia, F., *Wind-chimney (integrating the principles of a wind-catcher and a solar-chimney to provide natural ventilation)*. 2011.
43. Razavi, M., et al., *Comparing Meshless Local Petrov–Galerkin and Artificial Neural Networks Methods for Modeling Heat Transfer in Cisterns*. Renewable and sustainable energy reviews, 2015. **43**: p. 521-529.

45. Sangdeh, P.K. and N. Nasrollahi, *Windcatchers and their applications in contemporary architecture*. Energy and Built Environment, 2020.
46. Pirhayati, M., et al., *Ancient Iran, the Origin Land of Wind Catcher in the World*. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 2013. **5**: p. 433-439.
47. Dehghan, A., M.K. Esfeh, and M.D. Manshadi, *Natural ventilation characteristics of one-sided wind catchers: experimental and analytical evaluation*. Energy and Buildings, 2013. **61**: p. 366-377.
48. LAPRAY, K. and r.d.l.a.d.T. Lyon, *rapport experimental de la ventilation natural dans 6 opération*
  
49. Calautit, J.K., et al., *Development of a natural ventilation windcatcher with passive heat recovery wheel for mild-cold climates: CFD and experimental analysis*. Renewable Energy, 2020. **160**: p. 465-482.
50. Calautit, J.K., et al., *Numerical and experimental analysis of a natural ventilation windcatcher with passive heat recovery for mild-cold climates*. Energy Procedia, 2019. **158**: p. 3125-3130.
51. Soltani, M., et al., *Investigation of Airflow Patterns in a New Design of Wind Tower with a Wetted Surface*. Energies, 2018. **11**(5): p. 1100.
52. Maneshi, M.M., et al. *A numerical investigation of impact of architectural and climatic parameters of windcatcher systems on induced ventilation*. in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2012. American Society of Mechanical Engineers.
53. Montazeri, H. and R. Azizian, *Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher*. Building and Environment, 2008. **43**(12): p. 2193-2202.
54. Ghadiri, M.H., N.L.N. Ibrahim, and M. Dehnavi, *The effect of tower height in square plan wind catcher on its thermal behavior*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2011. **5**(9): p. 381-385.
55. Montazeri, H., *Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers*. Building and Environment, 2011. **46**(2): p. 370-378.
56. Dehghan, A.A., M. Esfeh, and M. Dehghan Manshadi, *Natural ventilation characteristics of one-sided wind catchers: Experimental and analytical evaluation*. Energy and Buildings, 2013. **61**.
57. Benkari, N., I. Fazil, and A. Husain, *Design and performance comparison of two patterns of wind-catcher for a semi-enclosed courtyard*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2017. **6**(5): p. 396-400.
58. Hughes, B. and S. Ghani, *A numerical investigation into the effect of Windvent louvre external angle on passive stack ventilation performance*. Building and Environment, 2010. **45**: p. 1025-1036.
59. Moosavi, L., et al., *New design for solar chimney with integrated windcatcher for space cooling and ventilation*. Building and Environment, 2020. **181**: p. 106785.
60. Ghedamsi, R., et al., *Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach*. Energy and Buildings, 2016. **121**: p. 309-317.
61. Zineb, A., *Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER Spécialité : Génie des procédés Option : Energétique et Procédés Université de ouargla :ÉTUDE DE COMPORTEMENT D'UNE CHEMINÉE SOLAIRE EN VUE DE L'ISOLATION THERMIQUE*. 05/05/2011.
62. <https://fr.weatherspark.com/y/148003/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Ouargla-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>.
63. Lemtenneche Abdallah, B.T., *etude expérimentale des transfer thermique dans un laical muni d'un isolant à base végétale, universté kasdi merbah ouargla Année universitaire : 2016/2017*.
64. *Etude paramétrique des échanges convectifs turbulents dans les configurations d'intérêt pratique*.

65. Niktasha, Amerriza. 2016. "Investigation into Two-Sided Windcatcher Used for Room Ventilation." University of Technology Sydney.
66. Saheb Bilal et Iarab Nasr Eddine, 2018, *Etude et simulation de ventilation d'un local*.
67. ABDOU AMEL, 2011, . *ETUDE NEMURIQUE D'UNE COUCHE LIMITE TURBULENTE AUTOUR D'UN PROFIL BIDIMENSIONNEL*
68. André Lallemand, *Dynamique des fluides réels, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique BE 8 157*.
69. *Documentation FLUENT 6.1.22 United States of America 2003*.
70. Tu, Jiyuan, Guan-Heng Yeoh, and Chaoqun Liu. 2013. *Computational Fluid Dynamics (Second Edition)*. Second Edition. edited by J. Tu, G.-H. Yeoh and C. Liu. Butterworth-Heinemann.
71. Babylon, David A., Terry M. Brennan, Randall L. Cooper, Roy R. Crawford, David C. Delaquila, S. Craig Drum Heller, Philip W. Fairey, Patricia M. Fritz, Stephen E. Gatz, Henry T. Goriest, Nicholas Hurst, Mark C. Jackson, David E. Jacobs, Jason T. Leroy, Joseph W. Lstiburek, Jeff R. Miller, Wayne E. Morris, Amy B. Musser, John P. Proctor, Paul H. Raymer, John S. Saunders, Max H. Sherman, Brian Toll, Eric D. Welling, Charles S. Barnaby, Walter T. Grondzik, and Jonathan Humble. 2019. "Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings." 2019.
72. Bearg, David W. 1993. *Indoor Air Quality and HVAC Systems*. CRC Press.
73. Naima Benkari, *Design and Performance Comparison of Two Patterns of Wind-catcher for a Semi-Enclosed Courtyard, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research Vol. 6, No. 5, (2017)*.

*Annexe*

### Annexe :

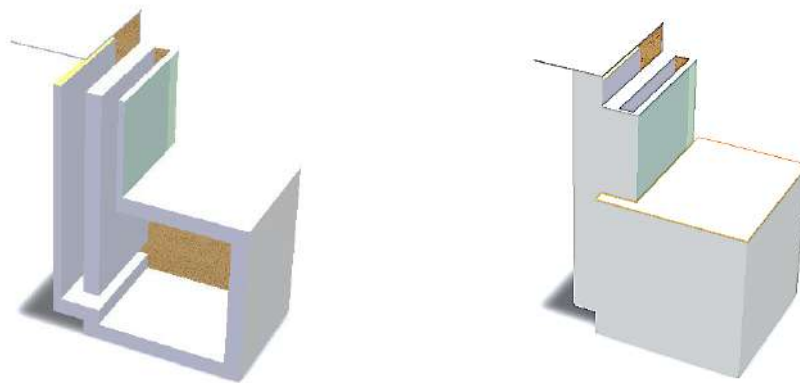
Pour réaliser le dispositif expérimental, nous avons rencontré plusieurs difficultés, notamment le choix de la position de la section de sortie de la cheminée solaire.

#### 1. Les positions

##### **Position 1** : La Cheminée solaire sans aucun chapeau.

---

Il y a des courants d'air extérieur contre l'air sortant de la cheminée solaire. Cela réduit l'efficacité du système étudié.

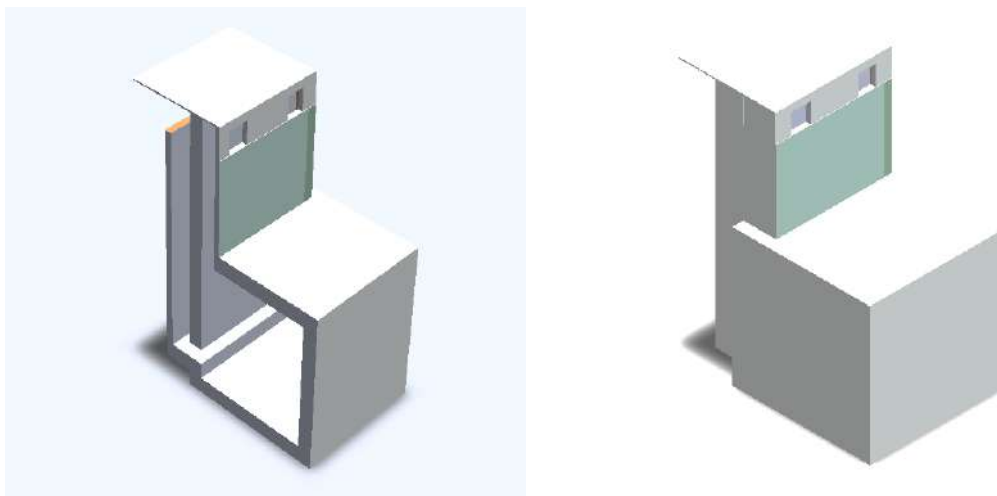


**Figure 1** : Position 1.

##### **Position 2** : Un chapeau en acier galvanisé

---

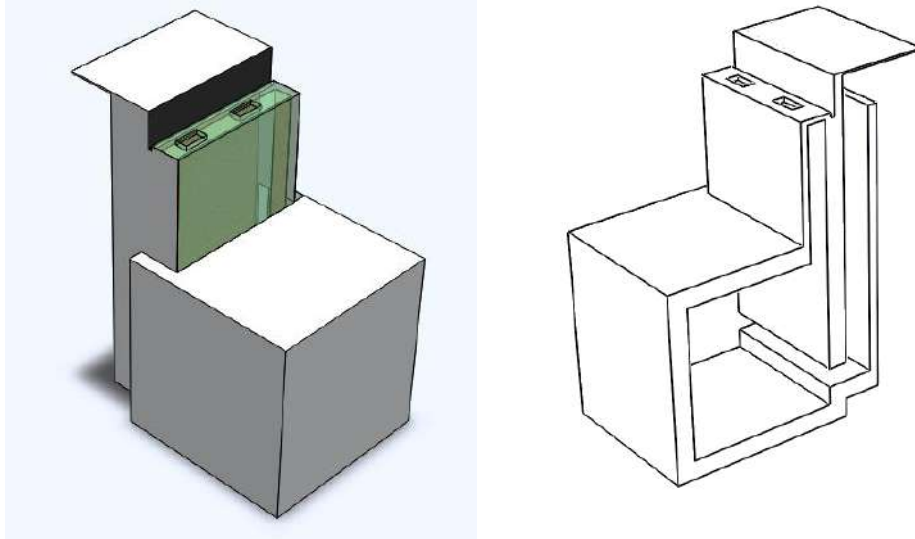
le chapeau a un impact sur la quantité de rayonnement solaire reçue par la cheminée solaire.



**Figure 2** : Position 2.

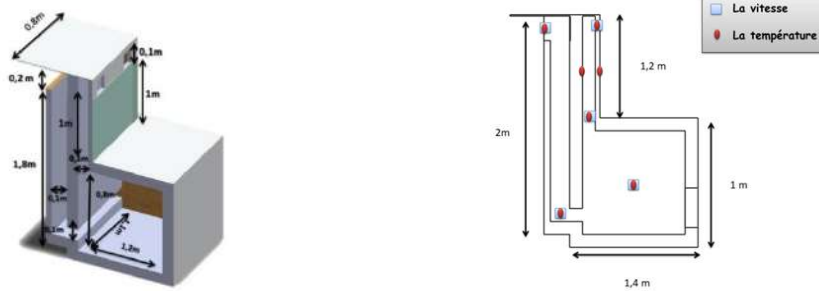
**Position 3 : Un Chapeau en verre**

Les positions des trous ont également été modifiés pour éviter l'entrée de courants d'air dans les mesures, cette forme a montré de meilleures performances que les autres formes.



**Figure 3 : Position 3.**

**2. les principes dimension dans la chambre et l'emplacement de capteur**



**Figure4 : Emplacement des captures et les Principe dimension**

## 3. Les tableaux classé son la ‘amélioration montre ci-dessus

Tableau 1 : résultats de première configuration

cheminée solaire						la tour				LE TEMP
température		entrée		sortie		entrée		sortie		
vitre	absorbur	Vi	Ti	Ve	Te	V1	T1	V2	T2	
18.6	22.1	0.8	18.5	0.55	19.5	0.2	19.5	0.35	18	7:45
21.2	22.7	0.25	18.6	0.6	20	0.35	17.7	0.2	19.5	8:00
23.6	27.5	0.8	20.5	0.6	21.5	0.5	19.3	0.2	21.5	9:00
29.5	36.8	0.95	21.5	0.65	22	0.4	21	0.25	20.6	10:00
35.3	54.2	0.86	27.2	0.7	27.6	0.9	23	0.25	22.6	11:00
35.7	55.5	1.25	25.5	1	26.9	0.5	23.5	0.3	23.9	12:00
36.7	62.1	0.6	33	1	31	0.7	25.9	0.33	27.3	13:00
33.4	54.8	0.86	29.4	1.05	33	0.84	26.3	0.3	27.5	14:00

Tableau 2 : résultat de la deuxième configuration

RAYONNEMENT	LA TOUR						LA cheminée solaire						temp		
	SORTI		ENTREE				SORTIE				ENTREE			ABS	VE
	T	V	T	V	T16	V16	T	V	T	V	T	V			
330	26.4	0.05	25.6	0.4	26	0.8	27	27	0.6	0.7	26.3	0.4	36.5	29.4	9
							26.5	26.5	0.6	0.7					
410	28.6	0	28.6	0.4	27	0.75	32	32	0.86	0.8	30.5	0.45	40.2	30.2	10
							29.5	29.5	0.86	0.8					
510	27.8	0.06	27.7	0.5	27.7	0.8	33	32	0.2	0.2	32.6	0.5	54	34	11
							35.6	35.6	0.2	0.2					
537	30	0.27	30.1	0.1	29.7	0.2	32.2	30	1.3	0.8	32.5	0.75	59.2	33.5	12
							33.9	32.4	0.7	0.8					
564	31.9	0.15	30.7	0.4	29.7	0.2	32.2	32.1	0.4	0.4	32.2	0.3	61	35	13
							3	32.1	0.4	0.4					
491	32.3	0	32	0	31	0.2	35	34.7	0.5	1.6	39.1	0.2	57.8	37	14
							32.4	36	1.3	0.5					
419	33.2	0.5	32.1	0.15	32.1	0.35	35.3	34.7	0.8	0.7	35.3	0.4	50.6	34.2	15
							36.5	36.5	0.05	0					
332	30.6	0	30.2	0.11	30	0.29	32.4	31.2	0.5	0.5	30.4	0.3	43.1	33.8	16
							31.4	31.5	0	0.5					
198	31.1	0.1	30.1	0.18	30.2	0.45	31	30.8	1.5	1.1	33.7	0.24	38.3	26.5	17
							31.1	31	0.95	0.85					
23	30.5	0.15	30.3	0.15	29.5	0.39	30.1	29.7	1.25	1.2	31.3	0.6	35	28.1	18
							30.5	30.1	0.7	0.8					



Tableau 3 : résultats pour la quatrième configuration

RADIATION	EXTERNAL		WIND TOWER						SOLARE CHIMNEY									TIME
	T	V	OUTLET		INLET				OUTLET				INLET		FIXE VALUES GLASS AND ABSORBING WALL			
			T	V	T	V	T	V	T	V	T	V	AB	VE2	VE1			
265	22,6	1,2	23,3	0,01	23,6	0,4	22,8	0,75	25,9	0,05	27,5	0,05	25,1	0,25	32,4	25,1	24,7	8
									26	0,15	27	0,15						
330	23,6	2	25	0,1	24,7	0,6	24,3	0,7	27,2	0,4	29	0,4	26	0,4	37,5	25,4	27	9
									26,8	0,2	27,5	0,2						
425	25,5	2,4	27,8	0,2	28,5	0,6	26,9	1,2	34,5	0,5	36	0,17	32	0,7	51,4	34,7	35,2	10
									36	0,2	30	0,25						
490	27,7	2,2	24,6	0,4	28,5	0,76	25	0,3	34,4	0,15	34	0,2	31	0,35	43,6	34	34,7	11
									35,5	0,25	34,5	0,3						
549	27,5	3	27	0,15	26,5	0,7	27,5	1,4	40	0,6	43	0,4	35	0,7	55,7	35,6	38,5	12
									38,5	0,2	41	0,25						
549	28	1,5	28,6	0,2	28,4	0,3	27,6	0,5	36,2	0,1	36	0,16	32	0,6	57,3	35,7	39,1	13
									35	0,2	35,5	0,2						
519	29	2	28,2	0,2	28	0,6	28,2	1	41	0,2	38	0,15	34	0,6	58	36,5	37,6	14
									38,5	0,35	37	0,35						
440	29,5	2,5	29	0,4	28,9	0,7	29,5	0,35	37,5	0,2	36,1	0,25	33,2	0,45	48,1	36	37,8	15
									37	0,45	37	0,5						
363	29,5	2,5	30	0,1	30,1	0,5	29,5	0,7	35,5	0,15	34,5	0,15	31,4	0,35	43	33,9	36,2	16
									36,5	0,35	35	0,4						
240	29	2,5	28,5	0,15	28,5	0,7	28,5	1,2	30,5	0,15	31,5	0,2	31	0,15	39,6	35,7	31,4	17
									31,5	0,4	32,5	0,3						
30	28,7	1,5	28,6	0,25	28,3	0,4	28,1	0,5	29,8	0,4	29,6	0,3	29,4	0,35	33,5	27,7	28,5	18
									29,1	0,15	29,4	0,15						

## Résumé :

Les secteurs de l'énergie sont responsables de la plupart des émissions de gaz à effet de serre dans le monde. Une quantité importante d'énergie est consommée par le secteur résidentiel dans les régions chaudes et semi-arides, ce qui montre bien l'importance de développer des technologies énergétiques durables pour ce secteur. L'objectif de notre travail est d'étudier le comportement et la performance dynamique d'une cheminée solaire couplée avec une tour du vent, Une étude expérimentale a été réalisée, basée sur la mesure de paramètres physiques à l'entrée et à la sortie des deux systèmes. Ainsi qu'une étude numérique qui a été menée après l'obtention des résultats expérimentaux. Le calcul numérique est effectué à l'aide du logiciel de simulation Ansys 2021 version R1. Le choix correct de la position d'installation des deux systèmes est capable d'améliorer la distribution du flux d'air à l'intérieur de la cellule, en plus du fait que l'augmentation de la vitesse à l'entrée de la tour à vent permet de générer le taux de renouvellement d'air (ACH) environ 25.6 1/h à une vitesse moyenne de 2,5 m/s.

**Mots clés :** Cheminée solaire ; Ventilation naturelle ; Etude expérimental ; Efficacité énergétique ; Refroidissement passif.

## ملخص:

قطاعات الطاقة هي المسؤولة عن معظم انبعاثات غازات الدفيئة في العالم. يستهلك القطاع السكني كمية كبيرة من الطاقة في المناطق الدافئة وشبه الجافة، مما يدل على أهمية تطوير تكنولوجيات الطاقة المستدامة لهذا القطاع. الهدف من عملنا هو دراسة السلوك والأداء الديناميكي لمدخنة شمسية مقترنة ببرج الرياح، وقد تم إجراء دراسة تجريبية بناءً على قياس كميات فيزيائية عند مدخل ومخرج النظامين. وكذلك تم إجراء دراسة عددية بعد الحصول على النتائج التجريبية. يتم الحساب العددي باستخدام برنامج المحاكاة Ansys 2021، الإصدار R1. إن الاختيار الصحيح لموضع التثبيت للنظامين قادر على تحسين توزيع تدفق الهواء داخل الخلية، بالإضافة إلى أن الزيادة في السرعة عند مدخل برج الرياح تجعل من الممكن توليد معدل تجديد الهواء (ACH) بحوالي 25.6 / 1 ساعة عند متوسط سرعة 2.5 م / ث.

**الكلمات الرئيسية:** مدخنة الشمسية؛ التهوية الطبيعية؛ التصميم التجريبي؛ CFD؛ كفاءة استخدام الطاقة؛ التبريد السلبي