



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



## Mémoire

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

Spécialité : Génie Mécanique Energétique

Présente Par :

TRABELSI Mustapha

et

SALHI Zakaria

## Thème

Etude expérimentale et numérique des  
performances de ventilation naturelle d'un capteur  
à vent

*Soutenu publiquement le : 18/06/2022*

*Devant le jury composé de :*

DOKKAR Boubekour	Professeur	Université Kasdi Merbah Ouargla	président
BELAHYA Hocine	MCB	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur
SAIFI Nadia	MCA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Promoteur

*Année universitaire : 2022/2023*

# *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.

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

Monsieur Hocine BELAHYA, Maître de conférences à l'université de Kasdi Merbah Ouargla d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous avons le plaisir d'exprimer nos sincères remerciements à M. DJARRAH Djalal, Maître de conférences à l'université de Kasdi Merbah Ouargla pour ses efforts et sa contribution efficace et nécessaire à la réalisation de cette étude.

Enfin, nous tenons à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chères parents << ma mère et mon père >> qui  
m'ont bien élevés, aidés Soutenus et encouragés durant toutes  
ces années d'étude.*

*A mes très chers frères pour Leurs précieuses aides et leurs  
merveilleux conseils.*

*A toute la famille <<TRABELSI>> chacun par son nom.*

*A mes amis durant mes années d'étude qui m'ont beaucoup  
encouragé.*

*A tous mes professeurs que j'ai connus durant mes études.*

*A tous ceux que j'aime et que je leur souhaite la réussite pour  
toute la vie.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chères parents << ma mère et mon père >> qui  
m'ont bien élevés, aidés Soutenus et encouragés durant toutes  
ces années d'étude.*

*A mes très chers frères pour Leurs précieuses aides et leurs  
merveilleux conseils.*

*A toute la famille <<SALHI>> chacun par son nom.*

*A mes amis durant mes années d'étude qui m'ont beaucoup  
encouragé.*

*A tous mes professeurs que j'ai connus durant mes études.*

*A tous ceux que j'aime et que je leur souhaite la réussite pour  
toute la vie.*

# **Experimental and Numerical Study of Natural Ventilation Performance of a Wind Sensor**

## **Abstract:**

In the context of climate change, it is necessary to find ways to cool buildings using natural and passive techniques. The windcatcher is a traditional device for natural ventilation capable of reducing energy consumption in buildings and improving indoor air quality. In this work, the performance of the windcatcher system in a room is studied, considering the natural convection due to temperature differential in the room and the forced convection by wind entering the windcatcher. The traditional windcatcher is also tested with several modifications to the outlet design. The goal is to provide a model that enhances performance and avoids compromises in the design of traditional windcatchers. An experimental model incorporating a windcatcher into a single-piece building was also

**Keywords:** Wind sensor; Natural ventilation; Experimental model; CFDs; Wind turbine ; Passive cooling.

## **Etude expérimentale et numérique des performances de ventilation naturelle d'un capteur à vent**

### **Résumé :**

Cette étude se concentre sur l'utilisation du capteur à vent, un dispositif traditionnel de ventilation naturelle, dans le contexte du réchauffement climatique. Le capteur à vent a le potentiel de réduire la consommation d'énergie des bâtiments et d'améliorer la qualité de l'air intérieur. Les chercheurs examinent les performances de ce système dans une chambre, en prenant en compte les mécanismes de convection naturelle causés par les différences de température dans la pièce, ainsi que la convection forcée due au vent qui entre dans le capteur. Ils testent également un modèle traditionnel de capteur à vent avec diverses modifications apportées à la conception de la sortie d'air. L'objectif est de proposer un modèle qui optimise les performances et évite les compromis lors de la conception de capteurs à vent traditionnels. De plus, les chercheurs ont étudié un modèle expérimental intégrant un capteur à vent dans un bâtiment monobloc. Enfin, la modélisation CFD (Dynamique des Fluides Numérique) sera utilisée pour calculer le débit d'air aspiré par le capteur à vent en fonction des différentes modifications apportées à la sortie d'air.

**Mots clés :** Capteur à vent ; Ventilation naturelle ; Modèle expérimental ; CFD ; Éolienne ; Refroidissement passif.

## دراسة عملية وعددية لأداء التهوية الطبيعية لمجمع الرياح

### الخلاصة :

تركز هذه الدراسة على استخدام مجمع الرياح، وهو جهاز تهوية طبيعي تقليدي، في سياق ظاهرة الاحتباس الحراري. يتمتع مستشعر الرياح بالقدرة على تقليل استهلاك الطاقة في المبنى وتحسين جودة الهواء الداخلي. ويقوم الباحثون بدراسة أداء هذا النظام في الغرفة، مع الأخذ في الاعتبار آليات الحمل الحراري الطبيعي الناتج عن اختلافات درجات الحرارة في الغرفة، وكذلك الحمل الحراري القسري بسبب دخول الرياح إلى المستشعر. كما أنهم يختبرون نموذجًا تقليديًا لمستشعر الرياح مع تعديلات مختلفة على تصميم منفذ الهواء. الهدف هو توفير نموذج يعمل على تحسين الأداء وتجنب التنازلات عند تصميم أجهزة استشعار الرياح التقليدية. بالإضافة إلى ذلك، درس الباحثون نموذجًا تجريبيًا يدمج مستشعر الرياح في مبنى مكون من كتلة واحدة. أخيرًا، سيتم استخدام نمذجة CFD (ديناميكيات الموائع الحسابية) لحساب معدل تدفق الهواء الذي يمتصه مستشعر الرياح بناءً على التعديلات المختلفة التي تم إجراؤها على مخرج الهواء.

**الكلمات المفتاحية:** مستشعر الرياح؛ تهوية طبيعية؛ نموذج تجريبي العقود مقابل الفروقات؛ توربينات الرياح التبريد السلبي.

# Sommaire

<i>Remerciements</i> .....	IV
<i>Dédicace</i> .....	V
<i>Abstract</i> .....	
VII	
<i>Sommaire</i> .....	IX
Liste des figures .....	IV
Liste des tableaux.....	VII
Nomenclature:.....	VIII
Introduction Générale.....	1
1. Introduction.....	3
2. Ventilation naturelle.....	4
3.1. Concept de tour à vent : .....	4
3.2. Histoire de la tour à vent .....	6
3.3. Principe du fonctionnement de la tour à vent.....	6
3.4. Composants d'un capteur de vent .....	7
3.4.1. Entrées d'air : .....	8
3.4.2. Cheminée : .....	8
3.4.3. Sortie d'air : .....	8
3.4.4. Dispositif de capture du vent : .....	8
3.4.5. Grilles de ventilation : .....	8
3.5. Facteurs influençant les performances de ventilation de la tour à vent : .....	8
3.5.1. Section de tour à vent : .....	9
3.5.2. Hauteur de tour à vent : .....	9
3.5.3. Conception de toit de la tour à vent : .....	10
3.5.4. Cloisons et ouvertures intérieures : .....	11
3.6. Types de tour à vent : .....	13
3.6.1. Tour à vent traditionnel : .....	13
3.6.2. Tour à vent Modernes : .....	15
3.6.3. Tour à vent unilatéral .....	16
3.6.4. Tour à vent à deux faces .....	17
4. Les avantages et inconvénients d'une ventilation naturelle .....	18

5.Conclusion .....	18
1. Introduction.....	21
2. Etude expérimental : .....	21
2.2 Tour à vent :.....	21
2.1. Description de la cellule : .....	22
2.2 Isolation de cellule .....	23
2.3. Localisation géographique de la zone d'étude :.....	24
2.4. Appareillages de mesures : .....	26
2.4.1. Mesure des températures :.....	27
2.4.2.Mesure de la vitesse de l'air :.....	29
3.5.Emplacement des capteurs: .....	29
4. Etude numérique :.....	30
4.1. Modèle physique : .....	30
4.2. Hypothèses considérées :.....	31
4.4. Les conditions aux limites :.....	31
4.5. Les Équations régissantes :.....	32
4.5.1. Équation de continuité :.....	32
4.5.2. Équation de conservation de quantité de mouvement : .....	33
4.5.3. Equation de L'énergie Cinétique Turbulente :.....	33
4.5.4.Modèle de la turbulence .....	34
4.6.Simulation de la dynamique des fluides numérique (CFD) :.....	35
4.7.Adaptation du maillage: .....	35
5. Conclusion : .....	37
1.Introduction.....	39
1.2. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux : .....	39
1.3.Analyse et interprétation des résultats numérique : .....	43
1.3.1. Validation .....	44
1.3.2.Champ dynamique.....	44
1.3.3.Profils de vitesse à l'intérieur de la cellule :.....	47
2.Conclusion : .....	50
Conclusion Générale .....	52
Bibliographie.....	46



## Liste des figures

Figure I.1 : Différents tours à vent traditionnels au Moyen-Orient : .....	5
Figure I.2 : Principe de fonctionnement de la tour à vent pendant la journée et la nuit. ....	7
Figure I.3 : Schéma d'un tour à vent avec des configurations de toit plat, incliné et incurvé..	11
Figure I.4 : Différentes sections transversales et pales internes (cloisons) dans les tours à vent traditionnels. ....	12
Figure I.5 : Vue de dessus des modèles d'écoulement autour et à l'intérieur de tour à vent à deux côtés à différents angles du vent (a), la direction du vent est indiquée par une flèche....	13
Figure I.6 : Différents composants de tour à vent traditionnel.....	14
Figure I.7: Différents types de tours à vent traditionnels .....	15
Figure I.8 : Tour à vent dans les bâtiments contemporains.....	16
Figure I. 9 : Plan de capteur de vent à une face. ....	16
Figure I. 10 :Plan de capteur de vent à deux faces.....	17
Figure I. 11 Tetragonal Wind-catcher. ....	17
Figure II.2: cellule d'essai. ....	23
Figure II.3: Matériaux d'isolation : (a) Contreplaqué en bois ; (b) Polystyrène.....	23
Figure II.4 : La direction de la vitesse du vent à Ouargla. ....	26
Figure II. 5 : composants de circuit électronique.....	27
Figure II. 6 : schéma synoptique de système.....	29
Figure II.7: Anémomètre a affichage numérique.....	29
Figure II.8 : L'emplacement des captures de vitesse.....	30
Figure II.9. Modèle physique. ....	31
Figure II.10 : conditions aux limites. ....	32
Figure II.11: Maillage du modèle. ....	36
Figure III.1 : Variation de la vitesse de l'air à l'entrée et au milieu de la tour à vent en fonction de temps. ....	40
Figure III.2 : Variation de la vitesse de l'air à l'entrée et à la sortie du système. ....	41
Figure III.3 : Variation de la température dans le tour à vent. ....	42
Figure III.4: Variation de la température à l'entrée de la toure à vent et dans la cellule. ....	43

Figure III.5: Évolution de résidu.....	44
Figure III.6: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation (13h00).....	44
Figure III.7: Champ dynamique pour $V_e= 0.5$ m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan ZY. ....	45
Figure III.8: Champ dynamique pour $V_e= 1.5$ m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan ZY. ....	46
Figure III.9: Champ dynamique pour $V_e= 1.23$ m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan ZY. ....	47
Figure III. 10 : Profils de vitesse à l'intérieur de la cellule au plan médian-horizontale : (a) $V=0.5$ m/s ; (b) $V=1.5$ m/s ; (c) $V=1.25$ m/s. ....	48
Figure III. 11 : Profils de vitesse à l'intérieur de la cellule au plan médian-vertical : (a) $V=0.5$ m/s ; (b) $V=1.5$ m/s ; (c) $V=1.25$ m/s. ....	50

## Liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques thermiques des parois de la cellule .....	24
Tableau II.2: Caractéristiques des isolants .....	24
Tableau II.3 : Les Caractéristiques Climatiques à Ouargla 2019.....	25
Tableau II.4: constantes de ce modèle k epsilon.....	34
Tableau II.5. : Différence de débit massique entrant et sortant de tour à vent et sortie cellule et le nombre des itérations.....	36

## 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 Prandtl turbulent pour l'équation de vitesse de dissipation d'énergie	<b>–</b>
<b>α<sub>k</sub></b>	Nombre de Prandtl turbulent pour l'équation d'énergie Kinect turbulente	<b>–</b>
<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>
<b>μ<sub>t</sub></b>	Viscosité dynamique turbulente du fluide	<b>[Kg/m. s]</b>

$\nu$	Viscosité cinématique	$[\text{m}^2/\text{s}]$
$\rho$	La masse volumique	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$\lambda$	La conductivité thermique	$[\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}]$
$\varepsilon$	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente	$[\text{m}^2/\text{s}^3]$

### **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

# ***Introduction Générale***

# Introduction Générale

Le sud de l'Algérie est classé comme une zone aride et désertique qui se caractérise par une longue période d'inconfort. Pour pallier cet inconfort thermique pendant la saison estivale, les systèmes de ventilation et de climatisation sont largement utilisés, ce qui entraîne une consommation d'énergie électrique de 40% dans le secteur du bâtiment [2]. Ce pourcentage augmente aussi en raison de l'urbanisation et de la croissance démographique. L'utilisation de l'énergie de cette manière contribue à augmenter les émissions de gaz à effet de serre et la consommation énergétique. Les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent principalement de la combustion des combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon).

Le recours à des ressources locales, naturelles et renouvelables telles que l'énergie solaire, l'énergie géothermique et la ventilation naturelle semblent être indispensables. Il existe plusieurs techniques et systèmes de rafraîchissement comme l'échangeur de chaleur air sol, la cheminée solaire, la tour à vent, les toitures et les façades végétalisées...etc.

La ventilation naturelle permet de réduire la consommation d'énergie et les polluants environnementaux indésirables et crée un confort thermique acceptable. La tour à vent ou le capteur du vent est une conception traditionnelle qui est utilisée depuis des siècles pour fournir aux bâtiments une ventilation naturelle sous le climat chaud et sec.

L'objectif de ce travail est d'étudier les performances de la ventilation par un système d'une tour à vent intégré dans une cellule sous des conditions d'environnement réel. Nous proposons deux méthodes pour cette étude, l'une expérimentale et l'autre numérique, en utilisant le code de calcul ANSYS 2023.

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 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 phénomene 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.

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



**Chapitre I : Tour à vent et la**  
**ventilation naturelle**

## 1. Introduction :

Dans les régions arides et semi-arides, la consommation d'énergie des bâtiments connaît une croissance exponentielle, surtout pendant les périodes estivales [1..]. Par conséquent, il est devenu essentiel de recourir aux énergies renouvelables qui sont respectueuses de l'environnement et inépuisables. Ce chapitre aborde les principes généraux du refroidissement passif. Nous examinons plus particulièrement le système de tour à vent qui permet de maintenir le refroidissement et la ventilation naturelle dans les bâtiments en utilisant le flux d'air créé par le vent et la différence de température.

## 2. Ventilation naturelle

Contrairement à une ventilation mécanique, la ventilation naturelle consiste à faire entrer de l'air frais depuis l'extérieur et à rejeter l'air vicié uniquement par effet de convection pour renouveler le volume d'air d'une pièce.

Apparu dans les années 1930, ce principe de ventilation équipe encore aujourd'hui nombre d'anciennes maisons. Auparavant, la ventilation d'une maison était simplement assurée par la mauvaise étanchéité à l'air des joints de portes et fenêtres... Un procédé inefficace (et quelque peu dangereux pour la santé), remplacé afin de faciliter le passage et le renouvellement de l'air intérieur.

Toutefois, pour renouveler correctement le volume d'air, ce principe de ventilation n'est pas des plus performant et atteint vite ses limites. Au chapitre des inconvénients, citons la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur qui varie d'une saison à l'autre favorisant plus ou moins le principe de la convection, un débit d'air en provenance de l'extérieur naturellement non constant... des points qui ont conduit à l'abandon de ce mode de ventilation au profit des actuels dispositifs de ventilation mécanique.

## 3. Tour à vent

### 3.1. Concept de tour à vent :

Avant l'invention des systèmes de refroidissement mécanique, l'homme utilisait les ressources naturelles de manière innovante pour assurer la ventilation et le confort thermique dans les climats chauds, un exemple d'une telle technique est la tour à vent [2]. La tour à vent est définie comme une tour conçue et installée sur le toit d'un bâtiment pour « capter » le vent.

## Chapitre I : Tour à vent et la ventilation naturelle

---

Ils sont également placés à des altitudes plus élevées et ils dirigent l'air vers l'environnement interne du bâtiment. Il est connu sous le nom "Tour à vent".

Les tours à vent en tant que caractéristiques architecturales spectaculaires démontrent l'harmonie de l'environnement créé par l'homme avec la nature ; en d'autres termes, ils sont ingénieusement adaptés aux conditions climatiques locales.

Les tours à vent étaient non seulement d'une décoration saisissante, mais également très fonctionnels. Ils ont joué un rôle important sur l'efficacité de la ventilation et du refroidissement des espaces de vie, du sous-sol des bâtiments résidentiels, des citernes d'eau, des salles de prières des mosquées et des pavillons des jardins. Ils sont ventilés de façon naturelle, sans utiliser d'énergie.

Dans les pays du Moyen-Orient, la tour à vent est appelée avec différents noms tels que "Badgir" en Iran, "Malqaf" en Egypte , "Barjeel" (provenant du mot persan Badgir) en Irak et dans le Golfe [2,4 ] « Bating » en Syrie, et « Mungh » ou « Hawadani » en langue locale de la province du Sindh au Pakistan [5] Figure (I.12).



Figure I.1 : Différents tours à vent traditionnels au Moyen-Orient

### 3.2. Histoire de la tour à vent

Étant donné que les capteurs de vent sont situés au point le plus élevé d'un bâtiment, ils sont particulièrement susceptibles de se détériorer et de se dégrader. Alors que les capteurs de vent les plus anciens d'Iran ne datent que du 14<sup>ème</sup> siècle, il y a des références aux capteurs de vent dans les écrits du poète persan du 5<sup>ème</sup> siècle Nasir Khusraw.

Il y a un différend en cours entre l'Iran et l'Égypte sur l'origine du capteur de vent. Des peintures datant d'environ 1300 av. J.-C. découvertes près de Louxor d'aujourd'hui représentent deux structures triangulaires au sommet de la résidence royale du pharaon Nebamun, laissant croire aux archéologues égyptiens que le premier capteur de vent a été développé en Égypte. Pendant ce temps, les ruines d'un temple du feu persan datant de 4000 avant JC présentent de nombreuses structures en forme de cheminée, dont certaines n'ont aucune trace de cendres, ce qui a conduit les architectes iraniens à postuler que les capteurs de vent sont originaires d'Iran.

Selon le Dr Abdel Moniem El-Shorbagy, professeur adjoint d'architecture et de design à l'Université Effat de Djeddah, en Arabie saoudite, des capteurs de vent trouvés dans tout le Moyen-Orient, au Pakistan et en Inde, comme le capteur de vent à quatre côtés du palais abbasside du 8<sup>ème</sup> siècle d'Ukhaidir en Irak, montrent l'impact de l'architecture persane traditionnelle sur ces régions. Une théorie suggère que les capteurs de vent ont été adoptés et se sont répandus dans ces régions après la conquête arabe de l'Iran au 7<sup>ème</sup> siècle.

### 3.3. Principe du fonctionnement de la tour à vent

Le principe de fonctionnement du système de ventilation naturelle de tour à vent est basé sur la ventilation entraînée par le vent et l'effet de cheminée (flottabilité).

Pendant la journée, par le mouvement du vent extérieur au niveau du toit, une pression positive sur le côté au vent de la structure et en même temps, une pression négative sur le côté sous le vent est produite.

Cette différence de pression est largement suffisante pour fournir de l'air frais à l'espace intérieur et extraire l'air chaud.

Pendant la nuit, en l'absence de mouvement d'air ou dans des conditions du vent faible, le dispositif de tour à vent fonctionne avec l'utilisation de la flottabilité naturelle des forces

## Chapitre I : Tour à vent et la ventilation naturelle

---

thermiques, il est créé par le gradient de température entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment (Figure I.13).

Lorsque la température de l'air ambiant est considérablement inférieure à la température intérieure, la différence de pression et de gradient de densité de l'air interne et externe conduit une augmentation de densité d'air, cela provoque son expulsion du côté sous le vent de la tour à vent et en même temps l'air frais descendant à travers le côté du vent du système.

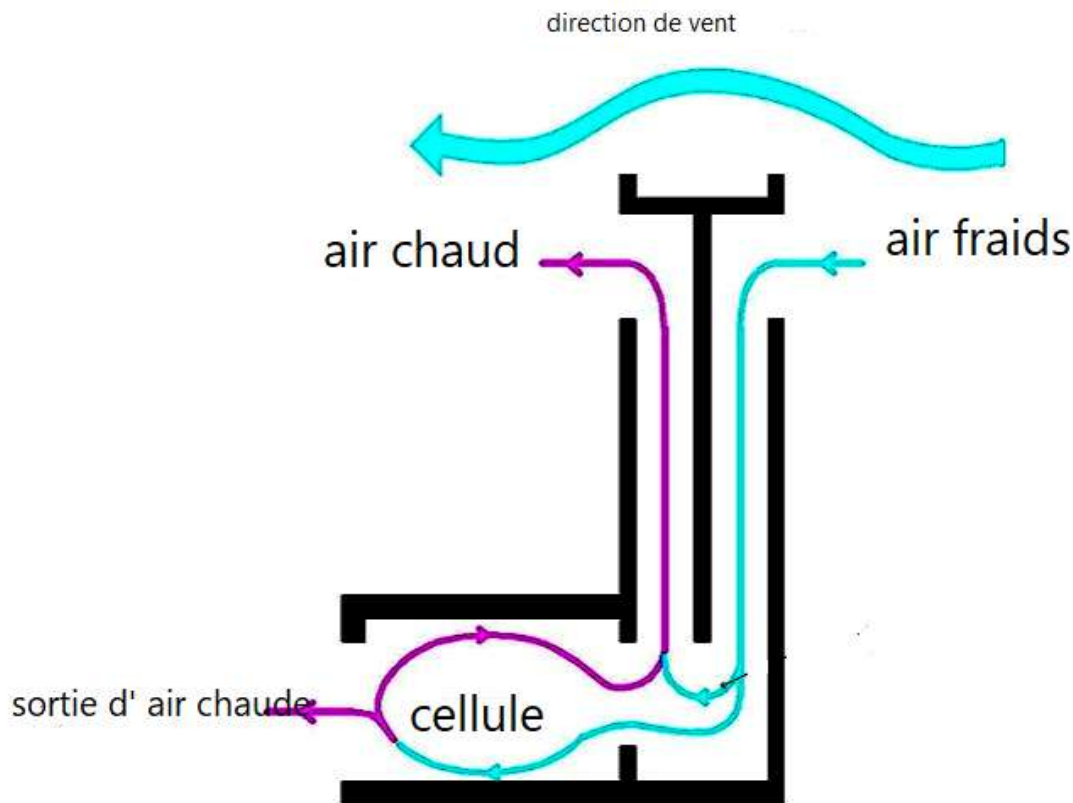


Figure I.2 : Principe de fonctionnement de la tour à vent pendant la journée et la nuit.

[3].

### 3.4.Composants d'un capteur de vent

Une tour à vent, également connue sous le nom de tour éolienne, est une structure spécifiquement conçue pour capturer et exploiter l'énergie éolienne afin de favoriser la ventilation et la circulation de l'air dans un bâtiment. les principaux composants d'une tour à vent sont :

#### 3.4.1Tour :

## Chapitre I : Tour à vent et la ventilation naturelle

---

C'est la structure principale de la tour à vent, généralement de forme verticale. Elle peut être construite en différents matériaux tels que le béton, le métal ou même le verre.

### 3.4.1 Entrées d'air :

Les entrées d'air sont des ouvertures situées à la base de la tour à vent qui permettent à l'air extérieur de pénétrer à l'intérieur de la tour. Elles peuvent être ajustables pour réguler le débit d'air en fonction des besoins.

### 3.4.2 Cheminée :

À l'intérieur de la tour, il y a une cheminée qui s'étend verticalement depuis la base jusqu'à la sortie en haut de la tour. La cheminée crée un conduit pour la circulation de l'air.

### 3.4.3. Sortie d'air :

La sortie d'air est située au sommet de la tour à vent et permet à l'air vicié ou chaud de s'échapper à l'extérieur. Elle peut être équipée de volets ou d'autres dispositifs pour réguler le débit d'air sortant.

### 3.4.4. Dispositif de capture du vent :

Certains types de tours à vent sont équipés de dispositifs de capture du vent, tels que des événements ou des turbines. Ces dispositifs exploitent l'énergie du vent pour créer une différence de pression qui entraîne l'aspiration de l'air à travers la tour.

### 3.4.5. Grilles de ventilation :

À l'intérieur de la tour, des grilles de ventilation peuvent être installées à différents niveaux pour permettre la circulation de l'air entre les étages ou les pièces du bâtiment.

Il convient de noter que les composants spécifiques d'une tour à vent peuvent varier en fonction du concept et du design particuliers de chaque projet. Certains systèmes plus avancés peuvent également inclure des dispositifs de récupération de chaleur ou d'autres technologies pour optimiser l'efficacité énergétique et la performance de la ventilation.

## 3.5. Facteurs influençant les performances de ventilation de la tour à vent :

Cette section examinera les études récentes portant sur divers facteurs liés à la géométrie et aux paramètres de conception de tour à vent, qui affectent les performances de ventilation. La hauteur et la section du canal d'air, l'orientation des ouvertures de tour à vent concernant les vents dominants et leur nombre, la forme du toit de tour à vent et son orientation, le placement de la tour par rapport au bâtiment ainsi que l'épaisseur et la disposition des murs sont des paramètres de conception géométriques déterminants.

Ces facteurs seront passés en revue dans les sections suivantes :

### 3.5.1. Section de tour à vent :

Les quadrilatères et les polygones réguliers sont les formes les plus courantes de tours à vent traditionnels que l'on peut voir dans les différentes parties du Moyen-Orient. La section transversale de tour à vent est généralement rectangulaire, cependant, certains sont circulaires, hexagonaux et octogonaux [6,7]. De plus, le carré et la circulaire sont des sections transversales typiques parmi les tours à vent commerciaux.

Gage et Graham [8] ont comparé, expérimentalement, les performances de ventilation de deux conceptions contemporaines de tours à vent avec des sections transversales carrées (à quatre côtés) et hexagonales à différentes vitesses et directions du vent. Un modèle à l'échelle 1:10 des deux configurations de tours à vent a été connecté à une salle d'essai située sous la soufflerie. Les résultats obtenus ont montré qu'une performance de ventilation plus fiable et cohérente a été observée pour la tour à vent à section hexagonale dans les zones à angle du vent variable. Cependant, la tour à vent à quatre côtés est bien fonctionnée à l'angle d'incidence de l'air de 45° dans les conditions du vent dominantes.

Elmualim et Awbi [9] ont étudié l'effet de deux sections transversales (carrée et circulaire) sur les performances de tour à vent à différentes vitesses et directions du vent. L'étude menée à bien mesure à l'échelle du débit d'air volumétrique, de la distribution des coefficients de pression et de la vitesse du vent interne obtenu par les systèmes de tours à vent contemporains. Les résultats obtenus ont montré que la vitesse et la direction du vent dominant étaient les principaux facteurs affectant le fonctionnement de la ventilation des deux types de tours à vent. Il a également été constaté qu'à la même vitesse du vent externe, l'efficacité d'un tour à vent à quatre côtés à section circulaire était inférieure à celle d'un capteur carré. L'auteur a conclu que c'était une conséquence des arêtes vives de tour à vent carré, qui créait une large zone de séparation du flux avec un gradient de pression plus élevé à travers l'appareil.

De plus, Maneshi et al. [8] ont effectué l'analyse numérique pour comparer les performances de ventilation des tours à vent modernes à quatre côtés avec des sections carrées et circulaires à deux directions du vent de 0° et 45°. De même, il a été constaté que la tour à vent à section carrée était plus efficace à un angle d'incidence d'air de 45°.

### 3.5.2. Hauteur de tour à vent :

La hauteur de tour à vent a un effet significatif sur le taux de ventilation, car les tours à vent plus grands auront un vent plus fort qui le traversera et, par conséquent, un débit d'air

d'alimentation plus élevé. Cependant ce n'est pas le cas pour toutes les conditions car le champ d'écoulement au sommet des bâtiments est très compliqué. Par exemple, lorsque les ouvertures des tours à vent sont placées dans des zones de recirculation, cela se traduit par une réduction considérable des performances du système. Les tours à vent traditionnels sont généralement plus grands que les capteurs contemporains, en particulier dans les régions chaudes et arides où il y a moins de vents porteurs de poussière à des altitudes plus élevées [9–10]. De plus, les tours à vent doivent être surélevés pour pouvoir exploiter suffisamment du vent dans les zones urbaines denses. Cependant, les coûts de construction et d'entretien, les limitations de planification et les aspects esthétiques doivent être soigneusement pris en compte lors de la conception de tours plus hautes [11].

Ghadiri et al. [12] ont utilisé un outil CFD pour évaluer les performances de ventilation de la tour à vent traditionnel dans la région chaude et sèche de Yazd, en Iran. Le modèle de tour à vent carré 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 modèles de température à l'intérieur du bâtiment. L'objectif principal de l'étude était de déterminer la hauteur optimale pour les tours à vent traditionnels avec une section transversale en forme de H. Les résultats des calculs ont démontré que les performances de ventilation de tour à vent étaient considérablement affectées par la hauteur de la tour. L'étude a conclu que la hauteur optimale des tours à vent traditionnels de la ville de Yazd était de 6 m.

### 3.5.3. Conception de toit de la tour à vent :

Les modèles de flux d'air autour de tour à vent sont influencés par la forme et la taille de son toit [13]. Les toits plats sont le type le plus courant dans la conception traditionnelle et moderne des tours à vent.

xDeh-ghan et al. [14] ont évalué expérimentalement et analytiquement l'effet de différentes géométries de toit (plat, incliné et incurvé) sur les performances de ventilation naturelle d'une tour à vent unilatéral à différentes vitesses et directions du vent (figure I.17). L'étude a mené des essais en soufflerie à l'échelle et des mesures des coefficients de pression autour de toutes les surfaces de tour à vent et du débit d'air induit. Des modèles analytiques ont également été développés pour valider la précision des mesures expérimentales, et une corrélation souhaitée entre les résultats a été obtenue. Il a été constaté qu'à un angle d'incidence du vent élevé, la tour à vent à toit incliné présentait le différentiel de coefficient de pression le plus élevé entre les surfaces intérieures et l'environnement extérieur. Les résultats obtenus ont



indiqué qu'à un angle du vent de 0, la tour à vent à toit incurvé a démontré de meilleures performances car il était capable de fournir un débit d'air plus élevé que les tours à vent à toit plat et incliné de 10 % et 4,5 % respectivement.

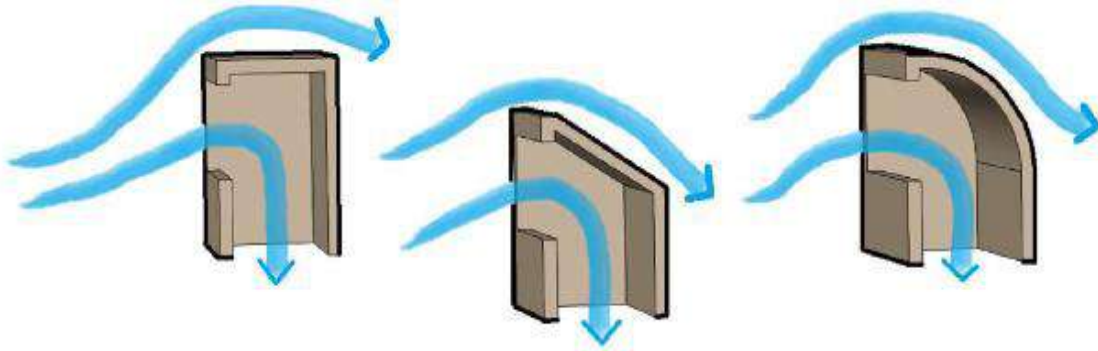


Figure I.3 : Schéma d'un tour à vent avec des configurations de toit plat, incliné et incurvé. [15].

### 3.5.4. Cloisons et ouvertures intérieures :

Le nombre de cloisons internes, ainsi que la taille et la position des ouvertures de tour à vent, ont des effets significatifs sur ses performances de ventilation.

Des cloisons internes séparent la tour en canaux plus petits pour réduire la sensibilité aux différentes directions du vent et augmenter la résistance structurelle de tour à vent.

Une grande variété de cloisons internes peut être trouvée dans les tours à vent traditionnels (figure I.18) tandis que la conception des tours à vent modernes est plus simple (principalement en forme de X ou à quatre côtés).

Les ouvertures d'entrée de tour à vent sont principalement configurées en fonction de l'orientation de la direction du vent dominant. La topographie, l'emplacement et le débit d'air

## Chapitre I : Tour à vent et la ventilation naturelle

---

requis sont des facteurs déterminants sur la taille des ouvertures et le nombre de cloisons internes [16,17].

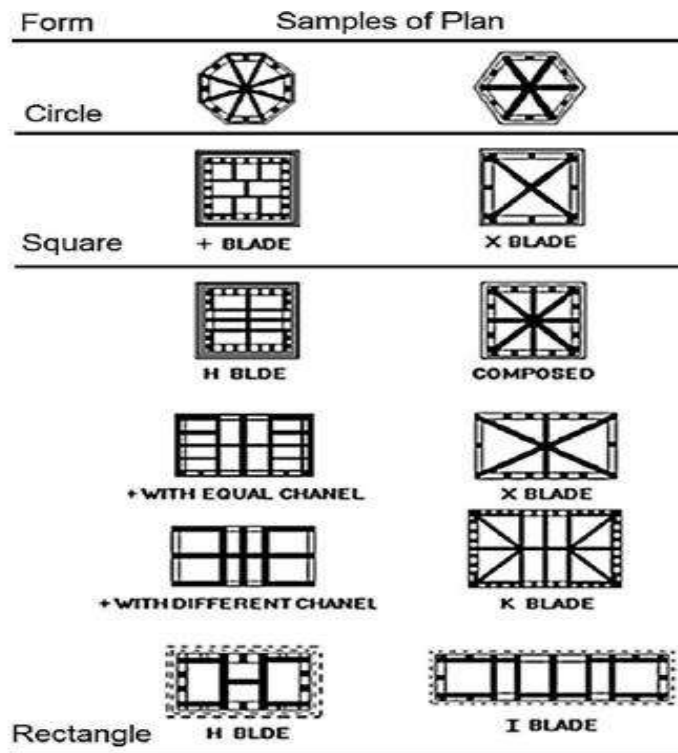


Figure I.4 : Différentes sections transversales et pales internes (cloisons) dans les tours à vent traditionnels. [18]

L'angle de transition et les performances de ventilation d'un tour à vent à deux côtés dans différentes conditions du vent ont été étudiés dans [19].

La visualisation de la fumée a été utilisée pour étudier la distribution du débit dans la tour à vent. L'étude a révélé que l'angle de transition de l'ouverture au vent et la fenêtre étaient aux angles du vent de  $55^\circ$  et  $39^\circ$ .

Le taux de ventilation le plus élevé a été observé à un angle du vent de  $90^\circ$  et la tour à vent est fonctionnée comme une cheminée pour un angle du vent supérieur à  $55^\circ$ . La figure (I.19) représente la vue de dessus de la distribution du débit visualisée à l'intérieur et autour de tour à vent à deux côtés.

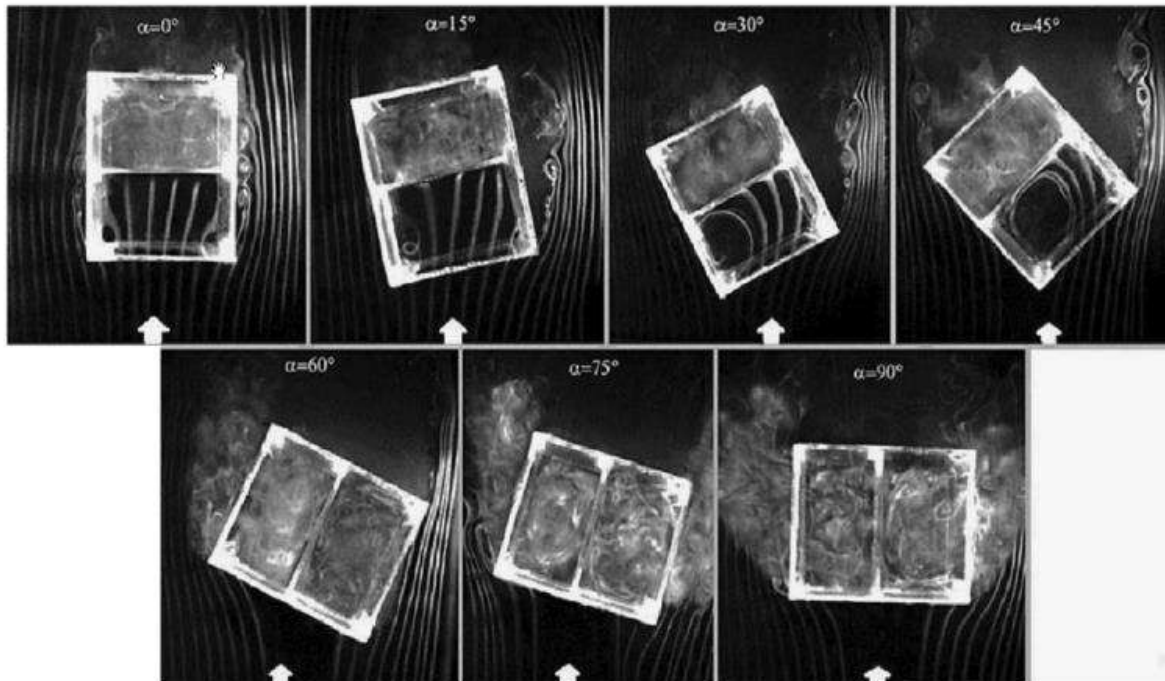


Figure I.5 : Vue de dessus des modèles d'écoulement autour et à l'intérieur de tour à vent à deux côtés à différents angles du vent ( $\alpha$ ), la direction du vent est indiquée par une flèche. [20]

### 3.6. Types de tour à vent :

Les tours à vent sont classés en deux groupes principaux : les tours à vent traditionnels et les tours à vent modernes.

#### 3.6.1. Tour à vent traditionnel :

Les tours à vents conventionnels se composent de différentes parties, y compris les ouvertures, le toit, la tête, le canal et les cloisons internes Figure (I.14). Généralement, le premier type est classé en cinq groupes comprenant un, deux, quatre, six et huit côtés comme ainsi que des tours à vent cylindriques en fonction du nombre de leurs côtés (faces) qui contiennent des ouvertures. [21, 22, 23]

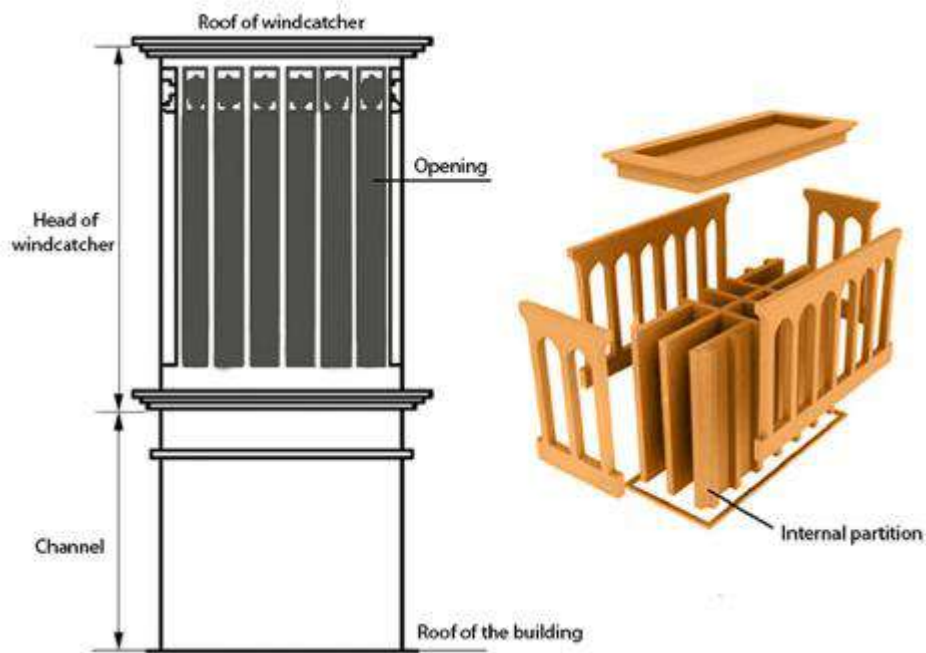


Figure I.6 : Différents composants de tour à vent traditionnel. [24,25]

Les tours à vent unilatéraux captent le vent de l'ouverture supérieure et le canalisent à l'intérieur, puis l'air sort d'une autre ouverture d'un bâtiment.

Ils étaient généralement utilisés dans les zones où l'air souffle dans une direction spécifique. La tour à vent à deux côtés a deux ouvertures sur deux côtés opposés de sorte qu'une ouverture est utilisée comme entrée pour l'air frais et un autre extrait l'air chaud [18,26].

De plus, dans les zones où il n'y a pas de direction spécifique pour le vent, des tours à vent à quatre côtés peuvent être fréquemment vus car leur conception dépend principalement de la capture du vent dominant dans toutes les directions [27].

Les tours à vent à six et huit côtés (avec des sections transversales hexagonales et octogonales) ont été rarement vus dans les bâtiments résidentiels alors qu'ils sont fréquemment construits au-dessus des citernes d'eau, en particulier dans les régions chaudes et arides de l'Iran [28].

Une tour à vent cylindrique peut être considérée comme la dernière génération de tours à vent traditionnels [29].

L'application des tours à vent cylindriques est limitée et quelques exemples de ce type peuvent être trouvés en Iran et à Dubaï [30, 31]. La Figure (I.15) montre tous les types de tours à vent traditionnels.

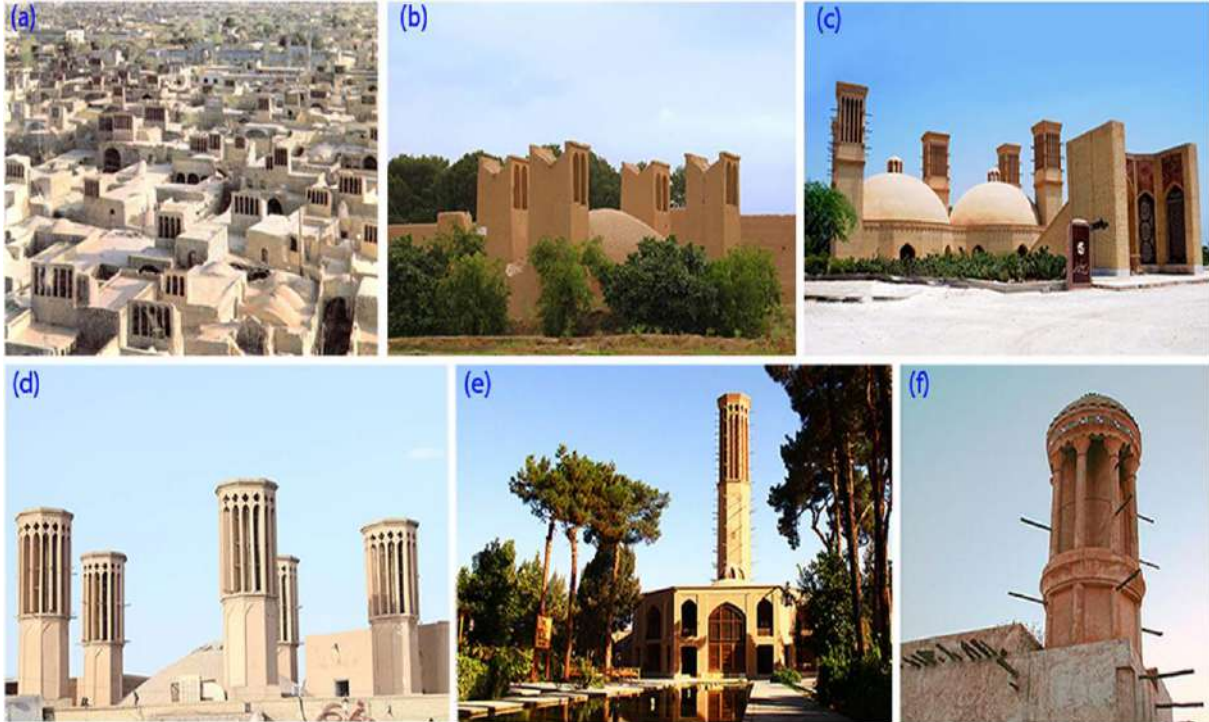


Figure I.7: Différents types de tours à vent traditionnels : ( a) tours à vent unilatéraux à Meybod, Iran [32] ; (b) tours à vent à deux côtés de la citerne d'eau du jardin de Dowlat-Abad, Yazd, Iran [33] ; (c) des tours à vent à quatre côtés de la citerne d'eau de l'île de Kish, en Iran [34] ; (d) tours à vent à six côtés à Yazd, Iran [35]; (e) tour à vent à huit côtés dans le jardin de Dowlat-Abad, Yazd, Iran [36] ; (f) tour à vent cylindrique à Dubaï [37]) .

### 3.6.2. Tour à vent Modernes :

Les architectes et ingénieurs contemporains ont adapté les tours à vent de l'architecture vernaculaire du Moyen-Orient [38]. Les tours à vent modernes ont été développés pour tirer parti des avantages des tours à vent traditionnels et éliminer leurs limites pour les adopter avec des principes et des technologies de construction avancée [39]. L'utilisation des tours à vent est maintenant répandue, en particulier pour les espaces intérieurs à fort nombre d'occupants tels que les écoles et les immeubles de bureaux [40]. Par exemple, plus de 7000 tours à vent ont été installés dans les bâtiments publics britanniques au cours des 15 dernières années [17]. En outre, d'autres exemples de tours à vent modernes dans différentes parties du monde sont illustrés à la figure (I.16).

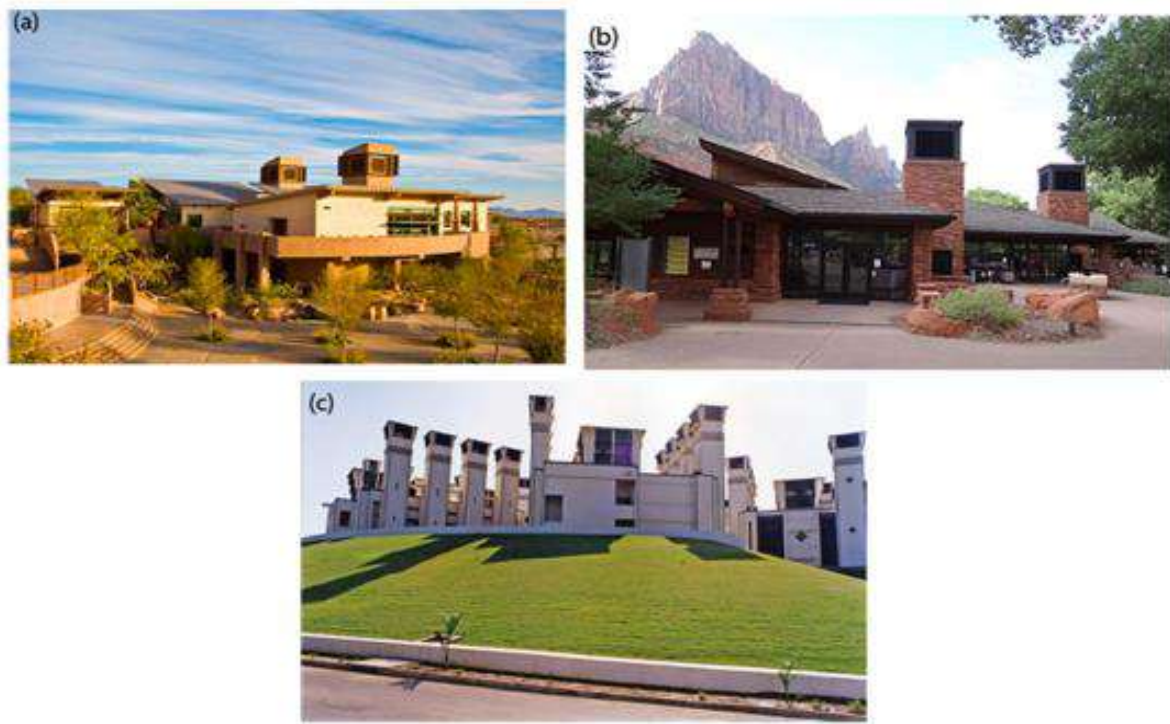


Figure I.8 : Tour à vent dans les bâtiments contemporains [40, 41,16].

### 3.6.3. Tour à vent unilatéral

Les attrape-vent à une face sont les plus simples. Ils sont petits et sont construits sur une ouverture sur le toit. Le visage est vers la brise agréable et le vent froid et les autres côtés sont fermés (voir fig. 2).



Figure I. 9 : Plan de capteur de vent à une face.

\*

### 3.6.3. Tour à vent à deux faces

Le deuxième type est constitué d'attrape-vent à deux faces. Les ouvertures, dans ce type, sont à deux côtés opposés et matérialisées par des fenêtres longues et étroites. On le trouve à Sirjan et à peine à Kerman (voir fig. 3).

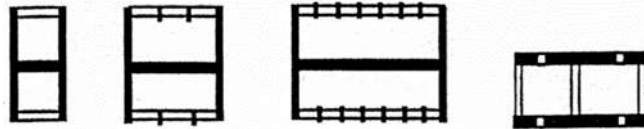


Figure I. 10 :Plan de capteur de vent à deux faces.

### 3.6.4. Tour à vent à trois et à quatre faces

Le type du capteur du vent tétragonal (voir fig. 4). La conception de ce genre est plus complète que celles des autres. À l'intérieur, les canaux sont constitués de petites rangées de briques ou de plâtre divisées en plusieurs parties. Dans certains cas, au fond il y a une grande et belle piscine pour diminuer la température et absorber la poussière, et donc fournir une condition gracieuse pour les colons. Dans les endroits ayant accès à Qantas, la conception pourrait bénéficier. Ce type a été principalement construit à Yazd, Kerman, Boushehr, etc.



Figure I. 11 Tétragonal Wind-catcher.

### 4. Les avantages et inconvénients d'une ventilation naturelle

Grâce à la ventilation naturelle vous bénéficiez de nombreux avantages :

- Aucune consommation d'énergie,
- Aucune nuisance sonore : ce système est totalement silencieux en comparaison des systèmes de ventilation mécanique,
- Très peu d'entretien : un nettoyage simple à l'eau savonneuse des entrées d'air et grilles d'extraction environ tous les 6 mois,
- Vous préservez l'environnement et votre porte-monnaie car vous réalisez des économies à l'installation et à l'usage.

En revanche, le système de ventilation naturelle possède aussi des inconvénients. Le premier : vous êtes tributaire de la météo ! En effet, ce mode de ventilation dépend entièrement des conditions climatiques. Le vent et le tirage thermique n'offrent généralement pas un renouvellement d'air maîtrisé ni suffisant toute l'année, notamment en été (la température extérieure doit être inférieure à celle au sein du logement pour que le tirage s'effectue). Durant la période estivale, vous risquez ainsi plus d'humidité et de condensation tandis qu'en hiver vous risquez une sur-ventilation et donc une déperdition thermique.

De plus, ce système de ventilation ne garantit pas une bonne qualité de l'air intérieur car le renouvellement de l'air peut être perturbé par l'ouverture des fenêtres et, à l'inverse de la VMC, il ne prend pas en compte l'occupation des locaux. Autres inconvénients : l'installation d'une ventilation naturelle n'est pas possible dans tous les appartements et les ouvertures.

### 5. Conclusion

Les tours à vent offrent des moyens efficaces et durables de favoriser la circulation de l'air et la ventilation dans les bâtiments. Leur utilisation peut contribuer à améliorer la qualité de l'air intérieur, à réduire la consommation d'énergie et à promouvoir une approche respectueuse de l'environnement en exploitant les ressources naturelles. Toutefois, il est important de prendre en compte les conditions



## **Chapitre I : Tour à vent et la ventilation naturelle**

---

spécifiques et les contraintes environnementales lors de la conception et de l'implémentation de ces systèmes pour assurer leur efficacité optimale.

**Chapitre II : Modélisations et  
*optimisation des systèmes*  
*passif***

### 1. Introduction

Les dispositifs passifs, tels que la cheminée solaire, l'échangeur air-sol et la tour à vent, sont des éléments qui peuvent être intégrés dans la conception des bâtiments afin de générer de la ventilation, du chauffage ou du refroidissement sans recourir à un système de ventilation mécanique [42-43].

Dans ce chapitre, on présente le système du capteur à vent intégrée dans une cellule d'essai. Nous avons d'abord effectué une étude expérimentale afin de déterminer le comportement du flux d'air à la fois dans la tour à vent et à l'intérieur de la cellule. Cette étude a impliqué la mesure des paramètres physiques à plusieurs points clés.

Les mesures ont été réalisées pour obtenir des données sur la vitesse de l'air, la température, en différents emplacements de la tour à vent et de la cellule. Ces mesures nous ont permis d'analyser et de comprendre comment le flux d'air se déplace et se comporte à l'intérieur du système.

En collectant ces données expérimentales, nous avons pu obtenir des informations précieuses sur les schémas d'écoulement, les zones de recirculation, les variations de vitesse, et d'autres caractéristiques importantes du flux d'air dans la tour à vent et la cellule. Ces informations ont ensuite été utilisées pour valider nos simulations numériques et pour améliorer notre compréhension du fonctionnement du système de capteur à vent. On a réalisé une simulation numérique tridimensionnelle en utilisant le logiciel Fluent version 6.3.16. Les équations régissant le phénomène ont été résolues par la méthode des volumes finis, en utilisant le modèle k- $\epsilon$  pour la modélisation de l'écoulement turbulent.

### 2. Etude expérimental :

#### 2.2 Tour à vent :

Le modèle expérimental de la tour à vent est constitué d'une section rectangulaire qui est divisée en deux canaux égaux par une paroi verticale interne. Les dimensions de la tour à vent sont les suivantes : hauteur de 2,2 m, longueur de 0,9 m et largeur de 0,4 m (Figure II.1). La tour possède un toit incurvé qui facilite l'entrée et la sortie de l'air des deux côtés. Cette conception à double entrée permet de capter le vent, quel que soit sa direction. De plus, la tour est équipée d'une sortie latérale située en bas, mesurant 0,9 m de long sur 0,1 m de large.

Le modèle a été construit en bois afin d'être léger, facile à installer et à intégrer dans la cellule d'essai. Le choix du bois s'explique également par sa propriété d'isolation thermique, ce qui permet de limiter l'augmentation de la température de l'air à l'intérieur, même lorsque la température ambiante augmente tout au long de la journée.



Figure II.1: Tour à vent.

### 2.1. Description de la cellule :

La surface de la cellule étudiée est de 1 mètre carré, avec une hauteur de 80 cm (Figure II.2). Les dimensions de la cellule ont été déterminées en se basant sur celles d'une chambre à l'intérieur d'un bâtiment, mais elles ont été réduites à une échelle de  $\frac{1}{4}$  d'une chambre standard. Cette échelle a été choisie avec soin afin de confirmer ou d'infirmer les hypothèses avancées pour atteindre notre objectif.

L'investigation a été réalisée dans une cellule qui a été utilisée comme échantillon pour l'expérimentation. La cellule est équipée d'une petite fenêtre d'une surface de  $20,17 \text{ cm}^2$  et d'une petite porte d'une surface de  $47,5 \text{ cm}$  sur  $29 \text{ cm}^2$ .

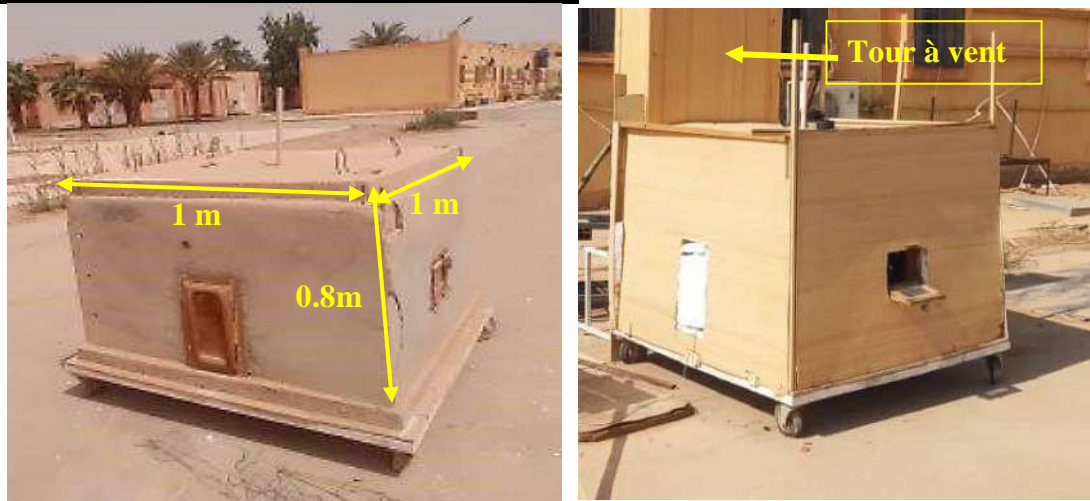


Figure II.2: cellule d'essai.

### 2.2 Isolation de cellule

L'un des principaux avantages de l'isolation thermique est qu'elle permet de réduire la dépendance aux systèmes mécaniques et électriques pour maintenir le confort à l'intérieur du bâtiment. Cela se traduit par une économie d'énergie et une préservation des ressources naturelles associées.

Les parois extérieures de la cellule étaient protégées par une couche isolante de polystyrène d'une épaisseur de 4 cm. Cette couche isolante a pour fonction de minimiser les transferts de chaleur à travers les parois, réduisant ainsi les pertes de chaleur et les gains de chaleur.



Figure II.3: Matériaux d'isolation : (a) Contreplaqué en bois ; (b) Polystyrène.

## Chapitre II : Modélisations et optimisation des systèmes passif

Par-dessus la couche isolante de polystyrène, les parois étaient recouvertes d'un contreplaqué en bois d'une épaisseur de 3 mm. Ce revêtement en bois offre non seulement une protection supplémentaire, mais il ajoute également une esthétique chaleureuse à la cellule.

En combinant la couche isolante de polystyrène avec le contreplaqué en bois, on obtient une enveloppe extérieure solide et bien isolée, ce qui contribue à maintenir le confort thermique à l'intérieur de la cellule tout en réduisant la température de l'air intérieur.

Tableau II.1 : Caractéristiques thermiques des parois de la cellule [44].

Parois	Matériau	Épaisseur (cm)	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K)
Revêtement intérieur et extérieur	Induit ciment	1.5	1.4
Mur	Brique creuse	10	0.48
Dalle	Béton armé	7	2.4

Tableau II.2: Caractéristiques des isolants [45]

Isolant	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.°C)	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Polystyrène	0.035	35
Contreplaqué en bois	0.09	450

### 2.3. Localisation géographique de la zone d'étude :

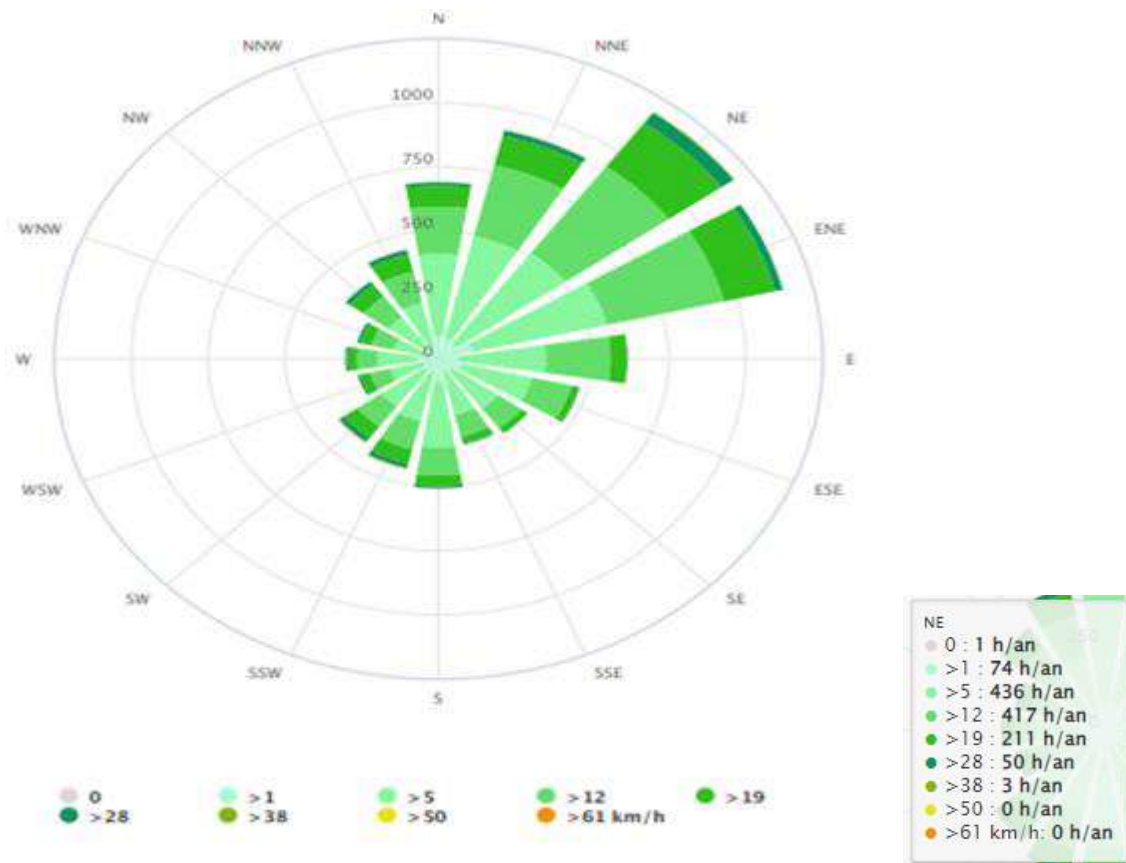
Effectivement, la ville de Ouargla est située approximativement à 32 °N de latitude et 5 °E de longitude, dans la région sud-est de l'Algérie. Elle se trouve à une altitude d'environ 135 m au-dessus du niveau de la mer. Ouargla se trouve dans une zone désertique, ce qui signifie que son climat est généralement aride et chaud. Les températures estivales peuvent atteindre des niveaux très élevés, tandis que les hivers peuvent être relativement doux en comparaison. Les précipitations sont rares et les précipitations annuelles sont généralement faibles. Les caractéristiques climatiques sont présentées dans le Tableau (II.3).

## Chapitre II : Modélisations et optimisation des systèmes passif

Tableau II.3 : Les Caractéristiques Climatiques à Ouargla 2019.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Vitesse Moyenne Du Vent (m/s) [52]</b>	3.8	3.9	4.1	4.4	4.5	4.5	4.2	3.9	3.9	3.7	3.6	3.6
<b>Température Ambiante Moyenne (°C) [53]</b>	10.8	12	16.9	23.2	26.7	35.3	37.4	36.9	31.8	17.2	16.2	13.8

La rose des vents pour Ouargla montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée au Figure (II.4). Exemple SO : Le vent souffle du sud-ouest (SO) au nord-est (NE) [49]. Le vent vient le plus souvent de l'est pendant 6,3 mois, du 21 avril au 29 octobre, avec un pourcentage maximal de 61 % le 21 juillet. Le vent vient le plus souvent du nord pendant 5,7 mois, du 29 octobre au 21 avril, avec un pourcentage maximal de 37 % le 1 janvier. [50]



### 3.4. Appareillages de mesures :

Dans cette étude expérimentale, des tests ont été réalisés au laboratoire VPRS de l'université Kasdi Merbah-Ouargla afin de collecter des données de mesure pour le modèle de simulation. L'objectif était d'évaluer l'efficacité du système de ventilation passive. Les expériences ont été menées pendant une période de climat tempéré avec un ciel dégagé. Les mesures ont été prises entre 8h00 et 18h00 avec un intervalle de temps de 30 minutes.

Plusieurs paramètres physiques de l'air et du système de ventilation ont été mesurés. Cela inclut la vitesse et la température de l'air. Ces mesures permettent d'obtenir des données précises sur les conditions environnementales et les performances du système de ventilation passive. En recueillant ces données expérimentales, il est possible d'alimenter le modèle de simulation avec des valeurs réelles pour valider sa précision et son adéquation par rapport aux conditions réelles. Cela permet également de fournir des informations utiles sur l'efficacité du système de ventilation passive dans le contexte spécifique de la région de Ouargla.



### 3.4.1. Mesure des températures :

- **Système Arduino :**

Dans le cadre de cette étude expérimentale, un système de mesure de la température en ligne a été mis en place. Ce système utilise le capteur DHT22 pour mesurer la température et la carte WiFi ESP8266WiFi pour se connecter à Internet et envoyer les données de mesure à la plateforme Thingspeak.

Le capteur DHT22 est un capteur de température et d'humidité relativement précis et fiable. Il est utilisé pour collecter les données de température dans un emplacement spécifique de l'étude.

La carte WiFi ESP8266WiFi est utilisée pour établir une connexion Internet. Elle permet de vérifier la connexion à Internet et d'envoyer les données de mesure collectées par le capteur DHT22 à la plateforme Thingspeak. Thingspeak est une plateforme en ligne qui permet de stocker, analyser et visualiser les données en temps réel.

Grâce à cette configuration, les mesures de température sont envoyées à Thingspeak en temps réel, ce qui permet d'accéder aux lectures à distance via Internet. Les données peuvent être analysées, traitées et visualisées sur la plateforme Thingspeak, offrant ainsi une meilleure compréhension des variations de température dans l'environnement étudié.

Cette technologie de mesure en ligne offre de nombreux avantages, notamment la possibilité de suivre les données en temps réel, d'effectuer des analyses approfondies et de faciliter le partage des résultats avec d'autres chercheurs ou parties prenantes.

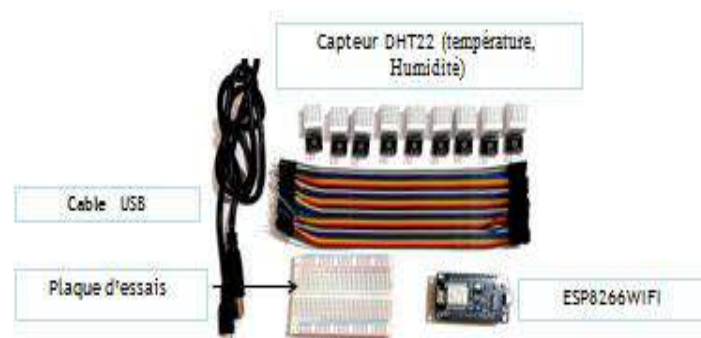


Figure II. 5 : composants de circuit électronique.

## Chapitre II : Modélisations et optimisation des systèmes passif

---

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

- a. Connecter le capteur DHT22 à la carte ESP8266WiFi : Assurez-vous de connecter correctement les broches de sortie du capteur (par exemple, la broche de données) aux broches appropriées de la carte ESP8266WiFi.
- b. Installer la bibliothèque DHT22 : Si vous utilisez l'IDE Arduino, vous pouvez installer la bibliothèque DHT22 en suivant les étapes suivantes :
  - ✓ Ouvrez l'IDE Arduino.
  - ✓ Cliquez sur "Croquis" dans la barre de menu, puis sur "Inclure une bibliothèque" et enfin sur "Gérer les bibliothèques".
  - ✓ Recherchez la bibliothèque "DHT22" et cliquez sur "Installer".
- c. Programmer ESP8266WiFi pour se connecter à Internet et établir une connexion avec Thingspeak :
  - ✓ Utilisez le langage de programmation approprié pour programmer la carte ESP8266WiFi (par exemple, le langage C++ avec l'IDE Arduino).
  - ✓ Assurez-vous d'ajouter les bibliothèques nécessaires, telles que la bibliothèque ESP8266WiFi et la bibliothèque Thingspeak.
  - ✓ Programmez la carte ESP8266WiFi pour se connecter à votre réseau WiFi en fournissant les informations d'identification appropriées.
  - ✓ Établissez une connexion avec la plateforme Thingspeak en utilisant les paramètres d'API nécessaires.
- d. Programmez ESP8266WiFi pour lire les valeurs du capteur DHT22 et les envoyer à Thingspeak :
  - ✓ Utilisez les fonctions de la bibliothèque DHT22 pour lire les valeurs de température et d'humidité à partir du capteur.
  - ✓ Utilisez les fonctions de la bibliothèque Thingspeak pour envoyer les valeurs lues à la plateforme Thingspeak en utilisant les paramètres d'API appropriés.
- e. Analyser et visualiser les données dans Thingspeak :
  - ✓ Une fois les données envoyées à Thingspeak, vous pouvez les analyser et les visualiser sur la plateforme.

## Chapitre II : Modélisations et optimisation des systèmes passif

---

- ✓ Explorez les fonctionnalités de Thingspeak pour créer des graphiques, des tableaux de bord et des analyses basées sur les données de température collectées.

Ces étapes constituent une base pour réaliser ce projet. Assurez-vous de consulter la documentation et les ressources spécifiques à votre matériel et à votre environnement de programmation pour obtenir des instructions détaillées et des exemples de code.

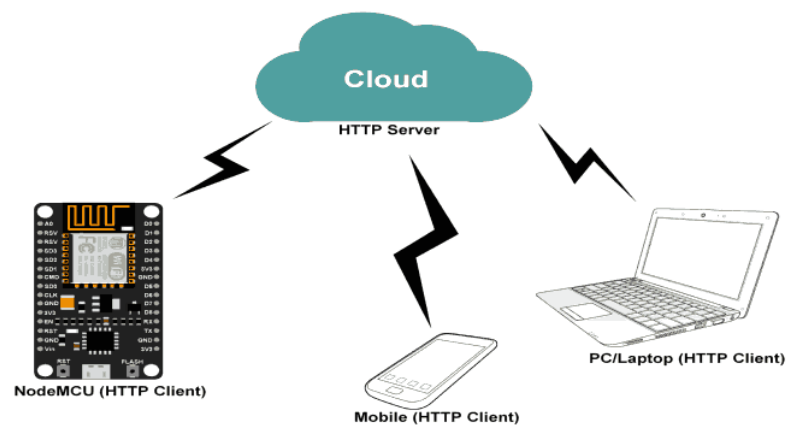


Figure II. 6 : schéma synoptique de système.

### 3.4. Mesure de la vitesse de l'air :

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



Figure II.7: Anémomètre à affichage numérique.

### 3.5. Emplacement des capteurs:

Pour étudier le comportement du flux d'air, nous avons placé les capteurs de vitesse et de température de l'air à différents endroits stratégiques du prototype. Il s'agit notamment de

capteurs de vitesse d'air à l'entrée et à la sortie du système de ventilation, ainsi qu'à différents endroits de la ruche. En plaçant les capteurs à des endroits clés, nous avons pu obtenir des mesures de la vitesse et de la température de l'air dans différentes phases du flux, ce qui nous a permis de comprendre comment l'air se déplaçait dans le prototype.

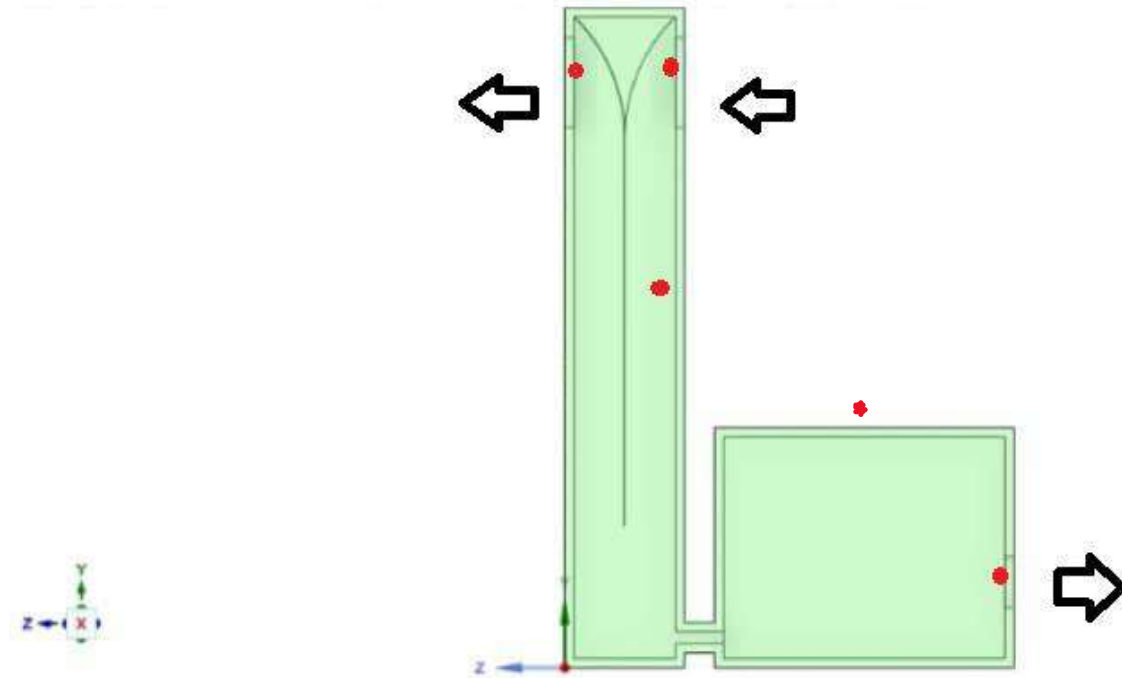


Figure II.8 : L'emplacement des captures de vitesse.

- : L'emplacement des captures de Vitesse

## 4. Etude numérique :

### 4.1. Modèle physique :

Le fonctionnement de la tour à vent peut être expliqué par le principe de différence de pression générée par le vent lorsqu'il rencontre un obstacle. Lorsque le vent souffle sur l'ouverture de la tour à vent, il crée une pression positive à l'extérieur, tandis qu'à l'intérieur de la tour, une pression négative se forme. Cette différence de pression entraîne un flux d'air de la zone de pression positive vers la zone de pression négative, ce qui favorise la ventilation.

Plus précisément, l'ouverture de la tour à vent agit comme un point d'entrée où l'air extérieur est aspiré à l'intérieur du bâtiment. En raison de la pression positive à l'extérieur, l'air est poussé à travers cette ouverture et pénètre dans la tour. En même temps, l'air intérieur, avec une pression plus basse, est poussé vers la sortie de la tour à vent, créant ainsi un mouvement d'air continu à l'intérieur de la tour.

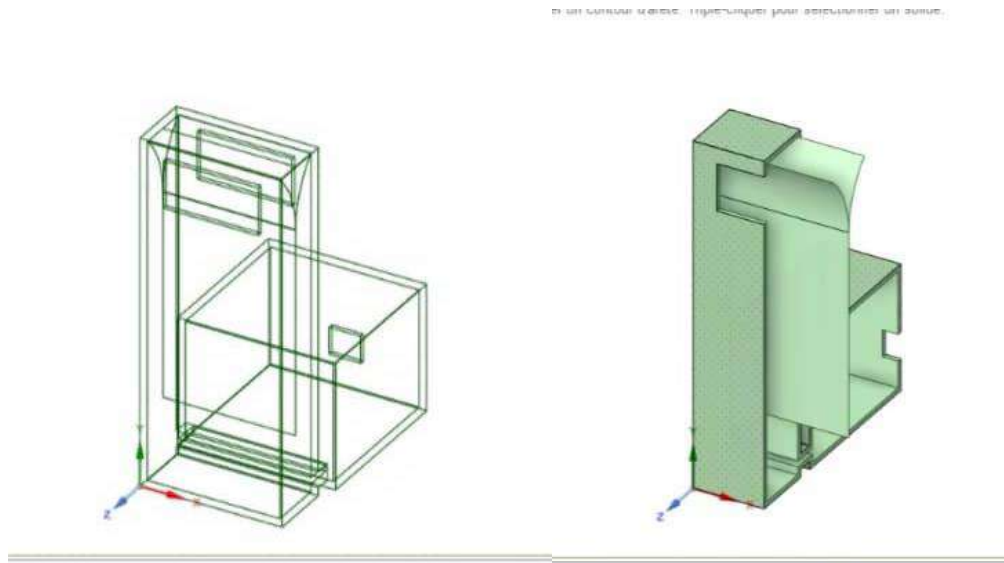


Figure II.9. Modèle physique.

### 4.2. Hypothèses considérées :

Dans ce travail, plusieurs hypothèses ont été faites pour simplifier la modélisation et les calculs liés à l'écoulement de l'air. Voici les principales hypothèses utilisées :

- Écoulement turbulent : L'écoulement de l'air à travers la tour à vent est considéré comme turbulent.
- Le fluide est newtonien et incompressible.
- Température de l'air à l'entrée : Il est supposé que la température de l'air à l'entrée du canal d'écoulement soit égale à la température ambiante.

### 4.3. Les conditions aux limites :

Effectivement, les conditions aux limites sont essentielles pour résoudre correctement un problème mathématique lié à l'écoulement de l'air dans la tour à vent. Elles sont appliquées à la frontière externe du domaine d'étude et définissent les conditions physiques ou les contraintes imposées à cet endroit. Les conditions aux limites permettent de spécifier les valeurs de certaines variables telles que la température, la vitesse de l'air, la pression, etc., ou de décrire le comportement de l'écoulement à la frontière. Dans le cas de notre étude, on a choisi les conditions aux limite suivantes :

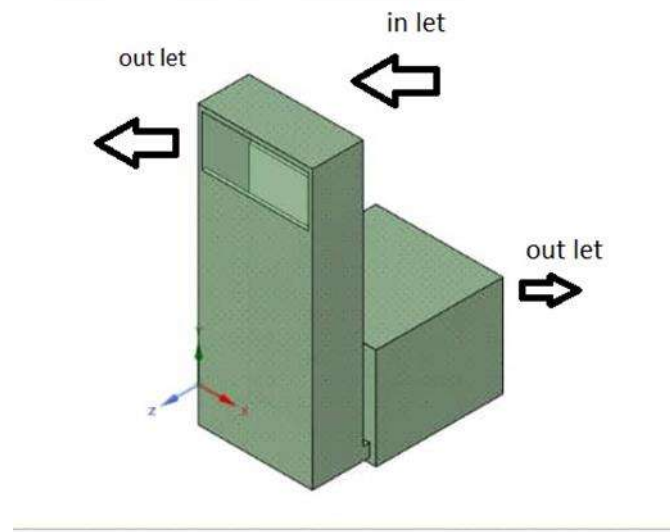


Figure II.10 :toutes les conditions aux limites.

Dans le cadre de cette étude, les conditions aux limites à l'entrée et à la sortie du système sont de type Dirichlet. Cela signifie que la valeur de la vitesse du vent est spécifiée à l'entrée du système, tandis que la pression atmosphérique est spécifiée à la sortie du système.

Concernant les parois extérieures de la tour à vent, elles sont considérées comme adiabatiques. Cela signifie qu'il n'y a pas d'échange de chaleur à travers les parois extérieures, c'est-à-dire que la température de la paroi reste constante et égale à la température ambiante.

Ces conditions aux limites permettent de définir le comportement de l'écoulement de l'air à l'intérieur du modèle étudié et de résoudre mathématiquement les équations de conservation de manière appropriée.

### 4.5. Les Équations régissantes :

#### 4.5.1. Équation de continuité :

En mécanique des fluides, L'équation de continuité est d'intérêt très général puisqu'elle traduit le principe de conservation de la masse au sein d'un écoulement

$$\partial\rho + \nabla \cdot (\rho\vec{V}) = 0 \quad (\text{II.1})$$

Où  $\rho$  est la densité,  $t$  est le temps et  $\vec{V}$  fait référence à la vectrice vitesse du fluide.

On a (aucune variation dans le temps des différentes grandeurs caractérisant l'écoulement et le fluide), alors on a :

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{II.2})$$

### 4.5.2. Équation de conservation de quantité de mouvement :

Le bilan de la quantité de mouvement pour un fluide incompressible avec une viscosité constante conduit à l'équation de Navier Stokes, qui est la suivante :

L'accélération = force de pression + force de viscosité + force de poids + force de contraintes de turbulence

$$\partial \vec{V} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \mu \nabla^2 \vec{V} + \vec{g} - \frac{1}{\rho} \nabla \tau t \quad (\text{II.3})$$

Où  $p$  représente la pression,  $g$  est le vecteur de l'accélération gravitationnelle,  $\mu$  représente la viscosité dynamique moléculaire et  $\tau t$  la divergence des contraintes de turbulence qui explique les contraintes auxiliaires résultant des fluctuations de vitesse.

### 4.5.3. Equation de L'énergie Cinétique Turbulente :

$$\underbrace{\rho u_i \frac{\partial k}{\partial x_i}}_{\text{Convection}} = \underbrace{\mu_t \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}}_{\text{Génération}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} \left( (\mu_t / \sigma_k) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right)}_{\text{Diffusion}} - \underbrace{\rho \varepsilon}_{\text{Destruction}} \quad (\text{II.4})$$

Convection

Génération

Diffusion

Destruction

### 4.5.4 Équation du taux de dissipation :

$$(\text{II.5}) \underbrace{\rho u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}}_{\text{Convection}} = \underbrace{c_{1\varepsilon} \left( \frac{\varepsilon}{k} \right) \mu_t \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}}_{\text{Génération}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} \left( (\mu_t / \sigma_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right)}_{\text{Diffusion}} - \underbrace{c_{2\varepsilon} \rho \left( \frac{\varepsilon^2}{k} \right)}_{\text{Destruction}}$$

Convection

Génération

Diffusion

Destruction

Les valeurs  $c_{1\varepsilon}$ ,  $c_{2\varepsilon}$ ,  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\varepsilon$  sont des constantes.

### 4.5.5. Modèle de la turbulence :

L'écoulement turbulent est défini comme l'état d'un fluide, d'un liquide ou d'un gaz dans lequel la vitesse provoque des fluctuations aléatoires en tout point, entraînant des tourbillons dont la taille et la position varient continuellement. Les écoulements turbulents se caractérisent par leur apparence très désordonnée, leur comportement imprévisible (c'est-à-dire le chaos) et la présence d'un grand nombre d'échelles spatiales et temporelles interférentes. Le comportement complexe de la turbulence est principalement étudié à travers les statistiques. Il a été montré que les équations de Navier-Stokes s'appliquent à l'écoulement turbulent rencontré dans le bouclier thermique [52].

- Spalart-Allmaras (1 équations)
- K-epsilon (2 équations)
- K-Omega (2 équations)
- Reynolds Stress (5 équations)

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

Équation de l'énergie cinétique turbulente K :

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

Équation du taux de dissipation d'énergie :

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

- $G_k$  : indique la source d'énergie cinétique turbulente attribuée à gradient de vitesse moyenne ;
- $G_b$  : La source d'énergie cinétique turbulente causée par la force de flottabilité ;
- $\alpha_k$  et  $\alpha_\epsilon$  : sont les coefficients de turbulents. Nombre de Prandtl avec  $C_{1\epsilon}$ ,  $C_{2\epsilon}$  et  $C_{3\epsilon}$  représentant les constantes du modèle empirique. [53]

- Tableau II.4: constantes de ce modèle k epsilon

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



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

Dans cette étude, la simulation numérique a été réalisée à l'aide du logiciel ANSYS 2016. Les équations de Navier-Stokes avec moyenne de Reynolds (RANS) ont été utilisées pour modéliser l'écoulement d'air à l'intérieur de la tour à vent. Le modèle de turbulence k- $\epsilon$  (standard) a été choisi pour représenter les effets turbulents de l'écoulement. Ce modèle est largement utilisé dans les simulations de turbulence et permet de prédire les caractéristiques de l'écoulement turbulent de manière relativement précise. L'algorithme de couplage vitesse-pression, connu sous le nom de méthode simple (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations), a été utilisé pour résoudre les équations liées à la pression. Pour l'approximation spatiale, un schéma de type vent ascendant du premier ordre a été utilisé. Ce schéma discretise les termes de transport de manière précise en utilisant une combinaison de différences finies centrées et décentrées.

#### 5.1. Adaptation du maillage:

L'adaptation de maillage est une technique utilisée pour améliorer la précision et l'efficacité des simulations numériques en ajustant le maillage en fonction des caractéristiques de l'écoulement ou des résultats préliminaires.

Dans le contexte de l'étude de la tour à vent, l'adaptation de maillage peut être utilisée pour affiner le maillage dans les régions où l'écoulement est complexe ou présente des gradients élevés. Cela permet de mieux capturer les phénomènes locaux et d'obtenir des résultats plus précis.

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 structurel fin sera utilisé. Pour obtenir des résultats précis pour cette modélisation en teste l'effet du maillage aux résultats dans 4 cas en varie dans chaque cas la taille des éléments (1.5,1.25 ,1 et 0.75 cm) les résultats résumaient dans le tableau et la courbe ci-dessous.

## Chapitre II : Modélisations et optimisation des systèmes passif

Tableau II.5. : Différence de débit massique entrant et sortant de tour à vent et sortie cellule et le nombre des itérations.

Taille de maillage	Différence entre débit massique de l'air entrant et sortant	Nombre de d itérations
1.5	$1.032598 \cdot 10^{-5}$	145
1.25	$3.083535 \cdot 10^{-6}$	164
1	$2.54315 \cdot 10^{-6}$	181
0.75	$4.442947 \cdot 10^{-6}$	198

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 1cm

Le choix du maillage est une étape cruciale dans une simulation numérique. Dans notre cas, on a choisi un maillage irrégulier de 1 cm de taille de maillage, avec un raffinement au niveau des parois.

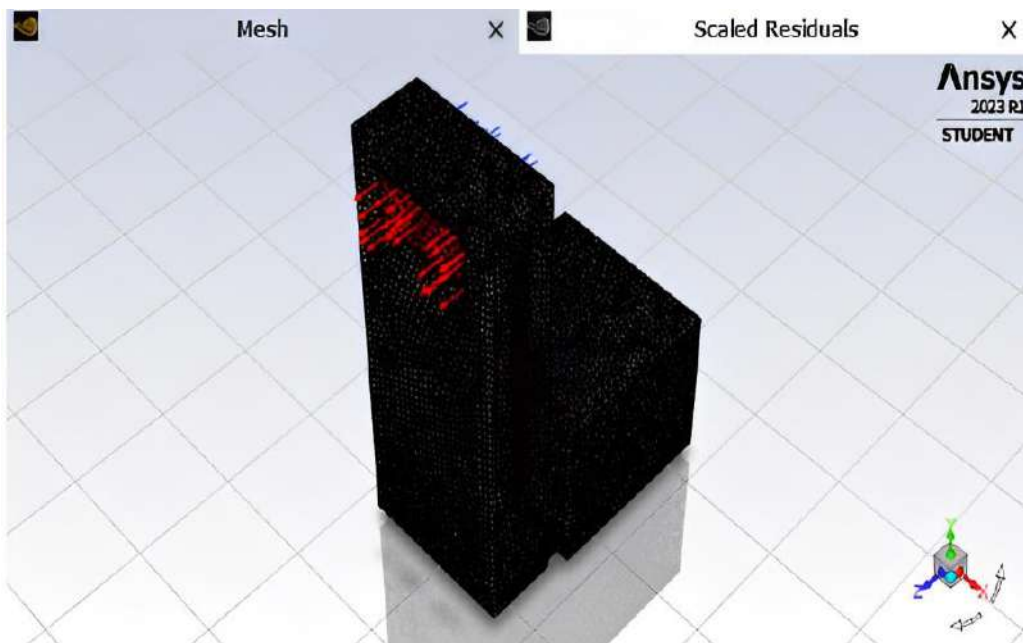


Figure II.11: Maillage du modèle.

### **6. Conclusion :**

Effectivement, l'utilisation de la modélisation et de la simulation CFD (Computational Fluid Dynamics) présente plusieurs avantages par rapport aux méthodes expérimentales traditionnelles pour évaluer les performances d'un système. La modélisation et la simulation CFD permettent de réduire les coûts associés aux expérimentations physiques, tels que l'achat d'équipements, la réalisation de prototypes et les tests en conditions réelles. Cela permet d'économiser du temps et des ressources financières. De plus, la modélisation et la simulation CFD offrent une flexibilité et une adaptabilité accrues. On peut facilement modifier les paramètres du système ou les conditions environnementales pour évaluer différents scénarios et étudier leur impact sur les performances. Cela permet de réaliser des analyses paramétriques et d'optimiser le système de manière plus efficace. Les résultats et les modèles expérimentaux devraient permettre de valider les résultats de la simulation dans le système étudié, en particulier dans la section du tour à vent, afin d'obtenir une plus grande fiabilité dans les résultats de la simulation.

**Chapitre III : Résultats et**  
***discussions***

### 1. Introduction

Dans les régions chaudes et arides, la consommation d'électricité nécessaire pour faire fonctionner les systèmes de climatisation afin d'assurer le confort des personnes dans les zones urbaines est très élevée. Dans ces régions, l'utilisation de tours à vent conventionnelles est une technique traditionnelle bien connue pour assurer le confort. Les tours à vent permettent de maintenir une ventilation naturelle dans les espaces de vie en exploitant les effets du vent et de la poussée d'Archimède.

Ce chapitre présente les résultats d'une étude expérimentale et de simulations numériques sur l'écoulement de l'air à l'intérieur d'une tour à vent intégrée dans une cellule d'essai. Une étude expérimentale comprenant un modèle réduit a été réalisée, suivie d'une analyse par la dynamique des fluides numérique (CFD) afin d'évaluer la capacité de refroidissement et de ventilation de la tour à vent. Dans un premier temps, les résultats de l'étude expérimentale du système sont présentés, puis ces résultats sont validés à l'aide de simulations numériques en les comparant aux données expérimentales. Les résultats expérimentaux de la tour à vent sont analysés dans les conditions climatiques de la région d'Ouargla. Les calculs numériques sont effectués à l'aide du logiciel ANSYS version 6.3.26. Les équations de base sont résolues en utilisant la méthode des volumes finis pour l'écoulement turbulent, basée sur le modèle k- $\epsilon$ .

### 2. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux :

La figure III.1 illustre l'évolution de la vitesse de l'air à l'intérieur de la tour à vent en fonction du temps. Le premier emplacement correspond à l'entrée de la tour à vent, tandis que le deuxième emplacement se situe au milieu à une distance de 50 cm de l'entrée, près de la paroi intérieure opposée. Les mesures ont été prises le 20 mai 2023.

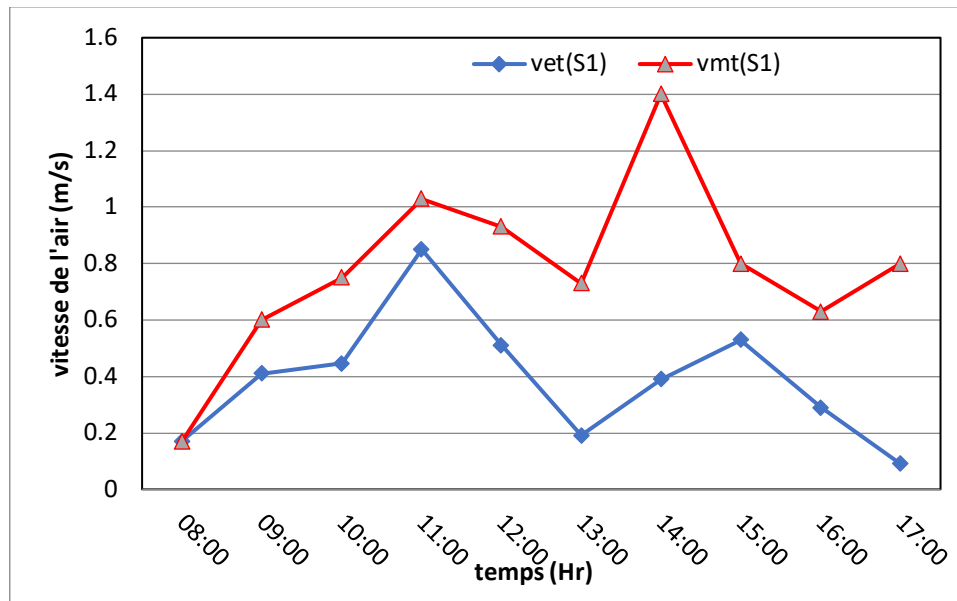


Figure III.1 : Variation de la vitesse de l'air à l'entrée et au milieu de la tour à vent en fonction de temps.

La figure (III.1) illustre les variations de vitesse à l'entrée de la tour ainsi qu'à une profondeur de 50 cm par rapport à l'entrée, près de la paroi intérieure de la tour. On peut observer que la vitesse du flux d'air principal augmente à proximité de la paroi intérieure par rapport aux valeurs de vitesse à l'entrée. Lorsque l'air pénètre dans la tour à vent, la configuration de la tour permet de créer des turbulences et des zones de pression différentes à l'intérieur. Cela explique les variations de vitesse du vent à différents endroits à l'intérieur. À 11h00, lorsque la vitesse de l'air à l'entrée atteignait sa valeur maximale de 0.85 m/s, elle était de 1.03 m/s à l'intérieur et près du mur. On observe que la vitesse à l'entrée de la tour présente parfois de grands changements. Ces variations sont principalement attribuables aux conditions climatiques changeantes, telles que l'éclairement solaire et la vitesse du vent. Ces facteurs externes influencent directement la vitesse de l'air à l'entrée de la tour et peuvent entraîner des fluctuations significatives.

La Figure (III.2) présente les variations de vitesse à trois endroits différents du système étudiée en fonction du temps. Les emplacements concernés sont l'entrée et la sortie de la tour, et au niveau de la fenêtre.

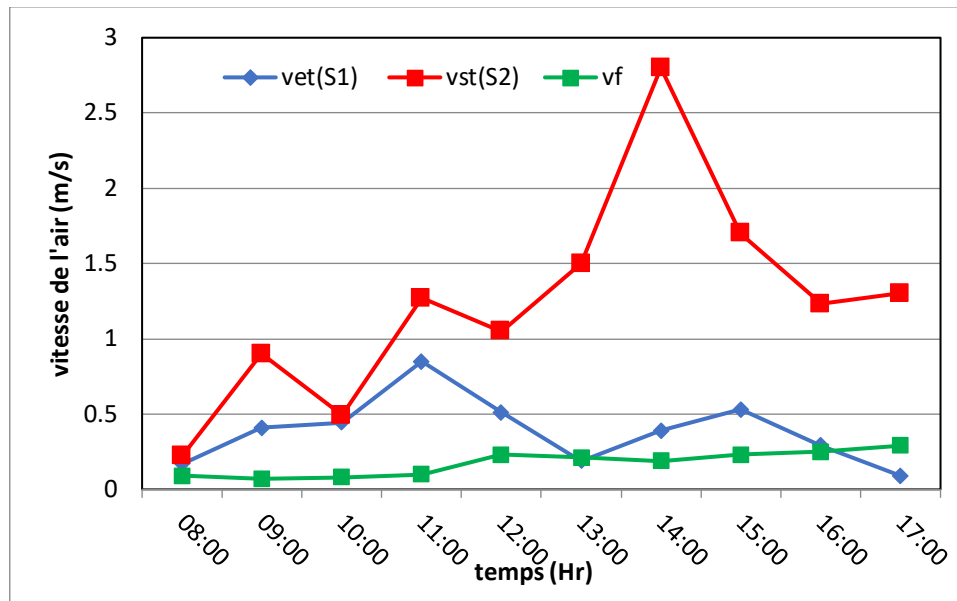


Figure III.2 : Variation de la vitesse de l'air à l'entrée et à la sortie du système.

Des variations de la vitesse de l'air sont constatées, notamment lorsqu'une augmentation significative de la vitesse de l'air est observée à la sortie de la tour. Cette augmentation est due à une différence de pression entre le flux d'air ascendant à l'intérieur du conduit, ce qui entraîne simultanément une accélération de la vitesse de l'air et une diminution de la pression. La plus grande différence de vitesse a été enregistrée à 11h00, atteignant 1.26 m/s. La valeur mesurée à 14h00 a été exclue car l'effet de la vitesse du vent extérieur a influencé sur la vitesse enregistrée à la sortie de la tour.

La présence d'une fenêtre dans le mur opposé à la sortie de la tour à vent a un impact sur la vitesse et la distribution de l'air à l'intérieur de la cellule d'essai. Les mesures indiquent que la vitesse de l'air est faible au niveau de la fenêtre en raison de son emplacement dans le mur. Il est clair que la taille et l'emplacement des ouvertures permettent de contrôler le taux de ventilation. De plus, la surface de la fenêtre joue un rôle dans la quantité d'air entrant dans la cellule d'essai.

La figure III.3 représente la variation des différentes températures de l'air à l'intérieur de la tour à vent.

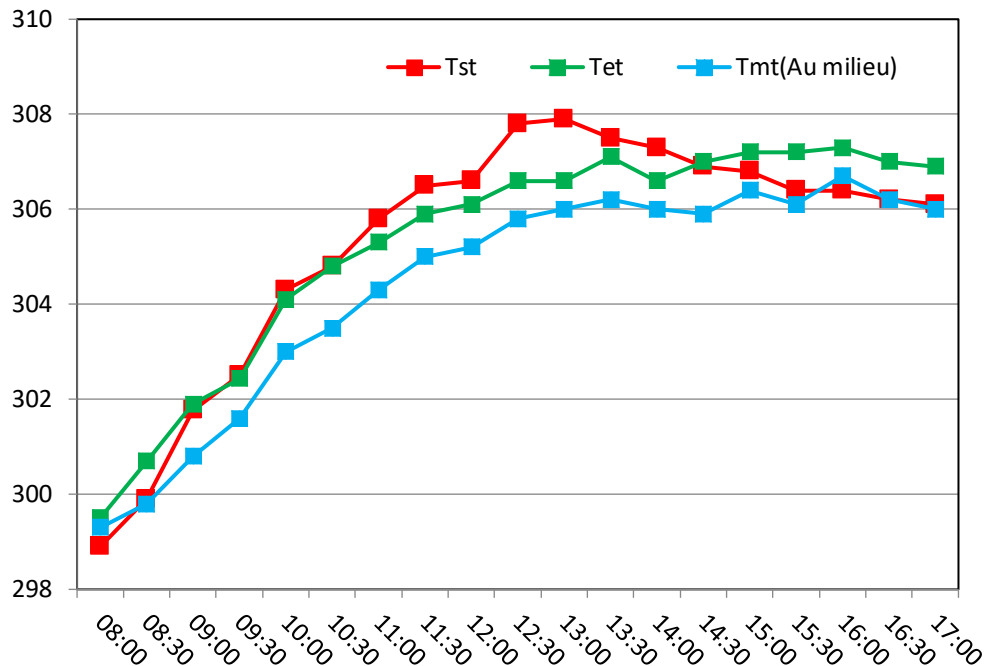


Figure III.3 : Variation de la température dans le tour à vent.

Lorsque la température de l'air extérieur était comprise entre 299.5 K et 306.9 K. La température à l'intérieur de la tour est passée de 307K à 13h00, puis est revenue à 306 K vers 17h00. La variation de la température de l'air à l'intérieur de la cellule d'essai est varée entre 299.3 k et 306 K, et elle est restée inférieure de 1.8°C à la température de l'air extérieur, ce qui est dû à l'isolation de toutes les parois de la cellule.

La figure III.4 représente la variation des différentes températures de l'air à l'intérieur de la Cellule et à l'entrée de la tour à vent.

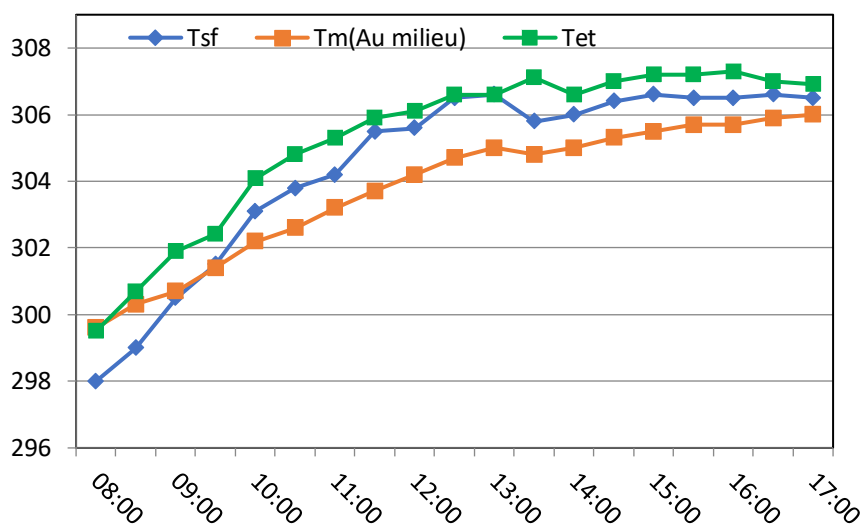




Figure III.4: Variation de la température à l'entrée de la toure à vent et dans la cellule.

À 12h30, la température près de la fenêtre a atteint 306.6 K en raison des conditions extérieures. Malgré le fait que la fenêtre de la cellule soit ouverte et située sur le mur sud, dans une zone dépourvue d'ombre, la température à l'intérieur de la cellule était plus basse que la température extérieure. Cela peut s'expliquer par la présence d'une isolation dans les murs extérieurs et le plafond, qui favorise une dissipation rapide de la chaleur solaire, limitant ainsi l'élévation de la température à l'intérieur de la cellule.

### 3. Analyse et interprétation des résultats numérique :

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

La courbe des résidus est un outil important pour évaluer la convergence des solutions dans la partie numérique. Elle permet de vérifier si les résidus diminuent de manière satisfaisante et d'identifier les problèmes potentiels de convergence.

Pour évaluer la convergence de la solution, il est considéré que la solution numérique est convergente lorsque les résidus des différentes quantités physiques deviennent inférieurs à  $10^{-5}$  pour toutes les équations. Cette condition indique que les calculs numériques sont suffisamment précis et que la solution obtenue est proche de la solution exacte.

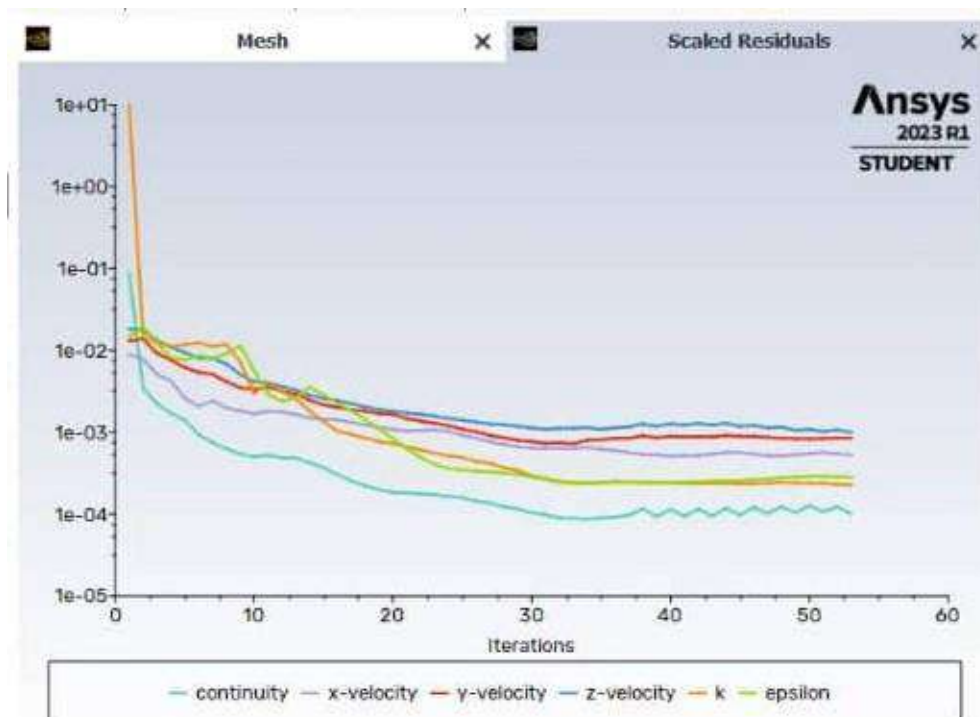


Figure III.5: Évolution de résidu.

### 3.2.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.6) illustre les points qui ont été sélectionnés dans le système pour effectuer la validation.

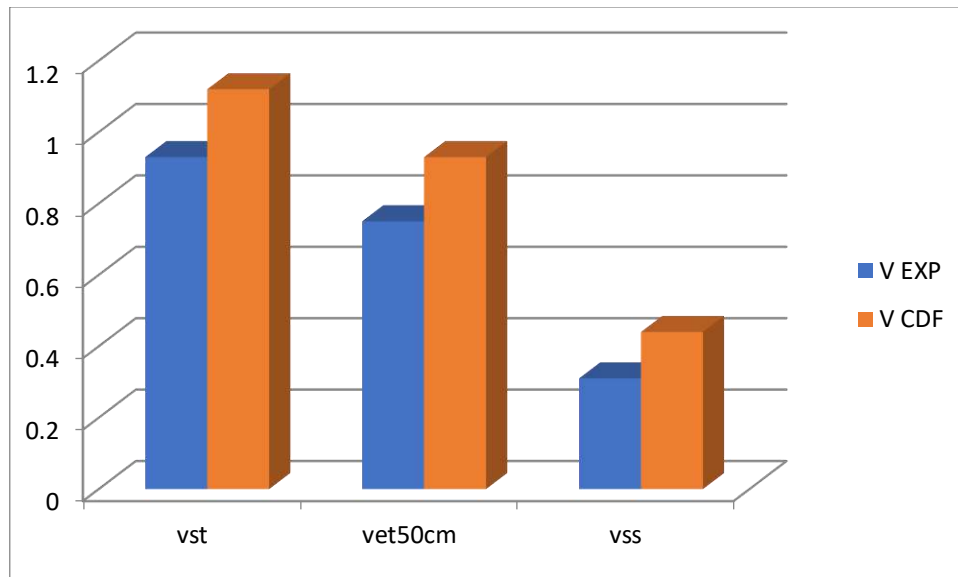


Figure III.6: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation (13h00).

On constate également qu'il existe un écart entre les deux résultats, compris entre 16% et 20%. Cette différence est due à des conditions climatiques irrégulières, telles que le rayonnement solaire ou la vitesse du vent.

### 3.3.Champ dynamique

Les figures (III.7: (a) ;(b) et (c)) représentent les champs de vitesses dans le modèle étudié pour  $V= 0.5$  m/s à l'entrée de la tour à vent. L'air entre par la surface d'entrée de la tour à vent, s'écoule et se répartit à différents niveaux à l'intérieur de la cellule. Les flux d'air à l'intérieur du système ont été évalués avec une fenêtre ouverte.

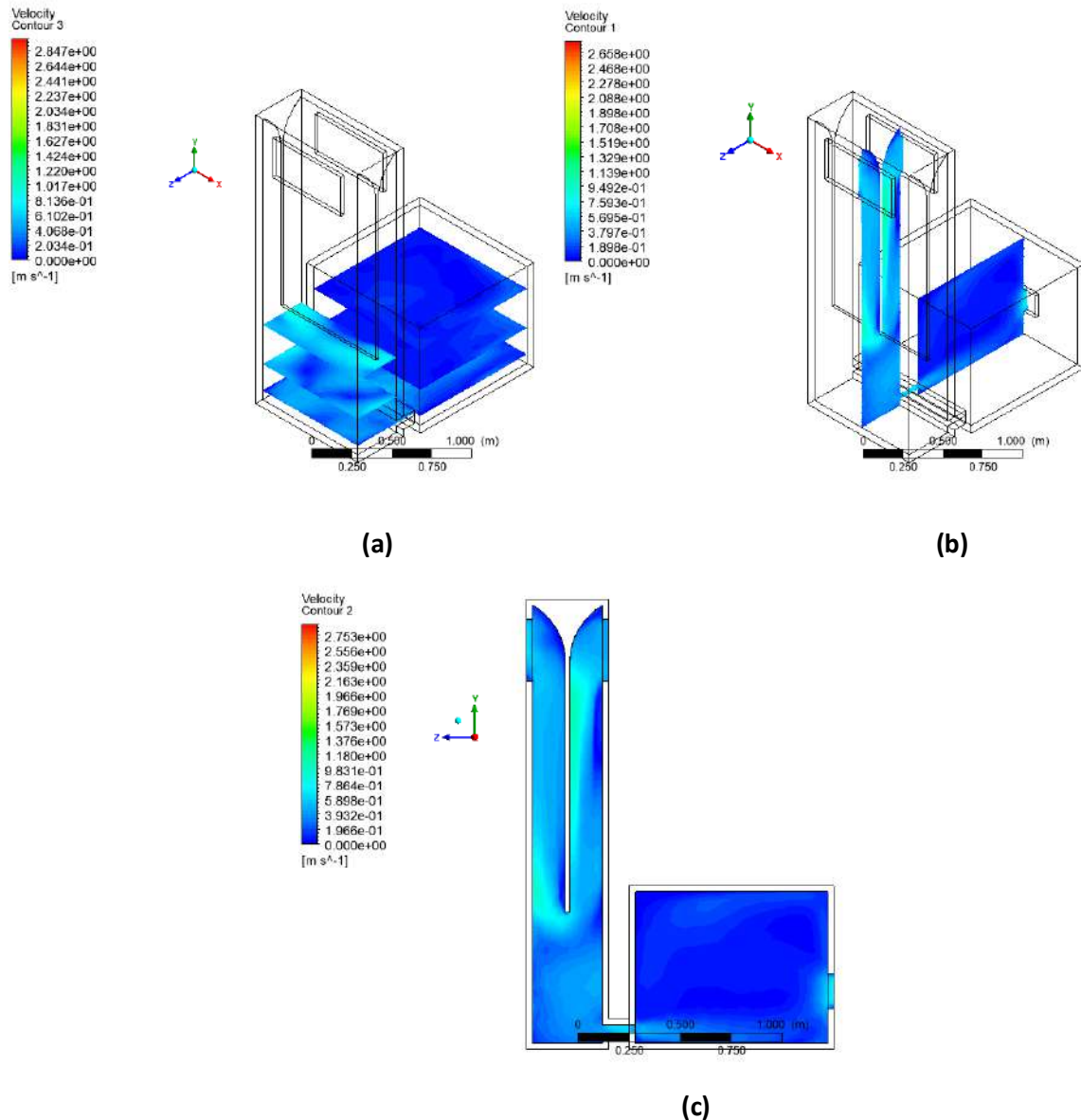


Figure III.7: Champ dynamique pour  $V_e = 0.5 \text{ m/s}$  : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan ZY.

Le mouvement de l'air s'effectue verticalement à travers la sortie de la tour, puis est partiellement dévié vers le haut dans la deuxième section du conduit de la tour. À l'intérieur de la cellule, le flux d'air se déplace continuellement à une vitesse réduite.

La vitesse de l'air atteint son maximum à  $1,42 \text{ m/s}$  et son minimum à  $0,13 \text{ m/s}$  dans la tour. À l'intérieur de la cellule, on observe une zone de recirculation avec une vitesse d'air relativement faible située au milieu, dans la partie la plus éloignée, avec une vitesse comprise entre  $0 \text{ m/s}$  et  $0,4 \text{ m/s}$ .

## Chapitre III : Résultats et discussions

La figure (III.8) illustre le champ dynamique dans le modèle étudié pour  $V= 0.5$  m/s à l'entrée de la tour à vent.

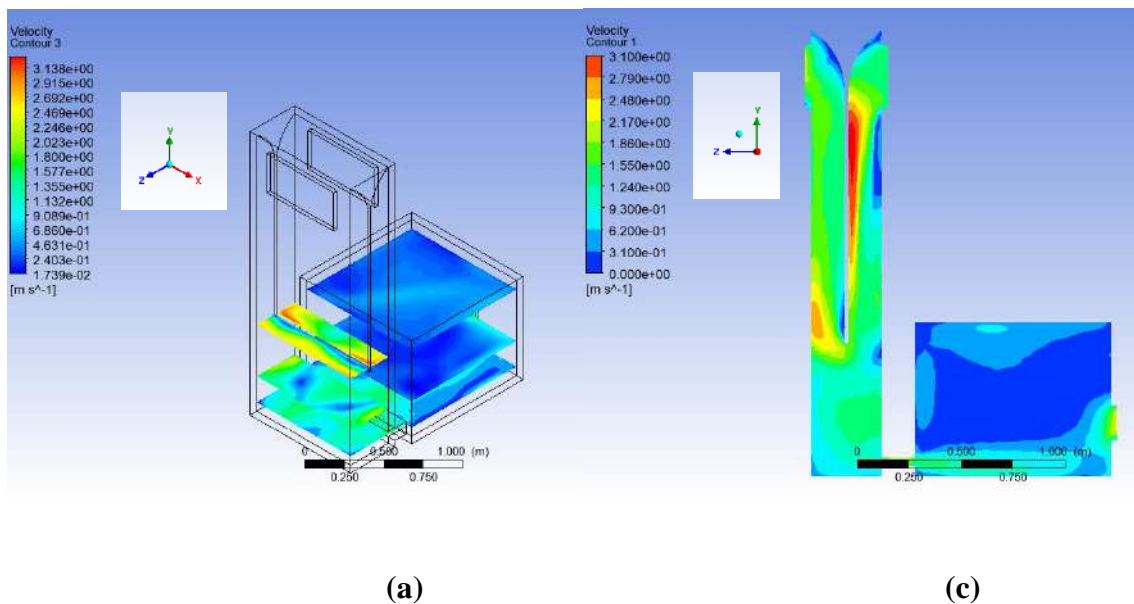


Figure III.8: Champ dynamique pour  $V_e= 1.5$  m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan ZY.

L'évolution de la vitesse, comme le montre les figures (III.7: (a) ;(b) et (c)), indique que les vitesses sont plus élevées près de la section du mur opposée à la sortie de la tour à vent, où la vitesse augmente et atteint une valeur maximale de 3,08 m/s. l'air est réparti à l'intérieur de la tour avec des valeurs différentes, avant de diminuer et d'augmenter à nouveau. Le flux principal entre dans la cellule d'essai avec un système semi-laminaire alors que le système est turbulent à l'intérieur de la tour. La conception montre une bonne circulation de l'air dans la cellule. Ce flux principal s'étend à la plupart des parties de la cellule et forme des cellules circulaires, l'une dans la partie inférieure et les autres à la partie gauche et la partie supérieur de la cellule. Lorsque l'on analyse les résultats du capteur de vent installé sur la cellule, on constate que le courant principal divise l'air en deux trajectoires différentes. Le premier trajet correspond à un courant d'air à grande vitesse qui se déplace parallèlement à la surface de la Terre. L'air circulant dans le deuxième canal de la tour se dirige vers la sortie à une vitesse de 1.84 m/s, tandis que l'autre partie se dirige vers la fenêtre.

La figure (III.9) présent les champs de vitesses dans le modèle étudié pour  $V= 1.23$  m/s à l'entrée de la tour à vent.

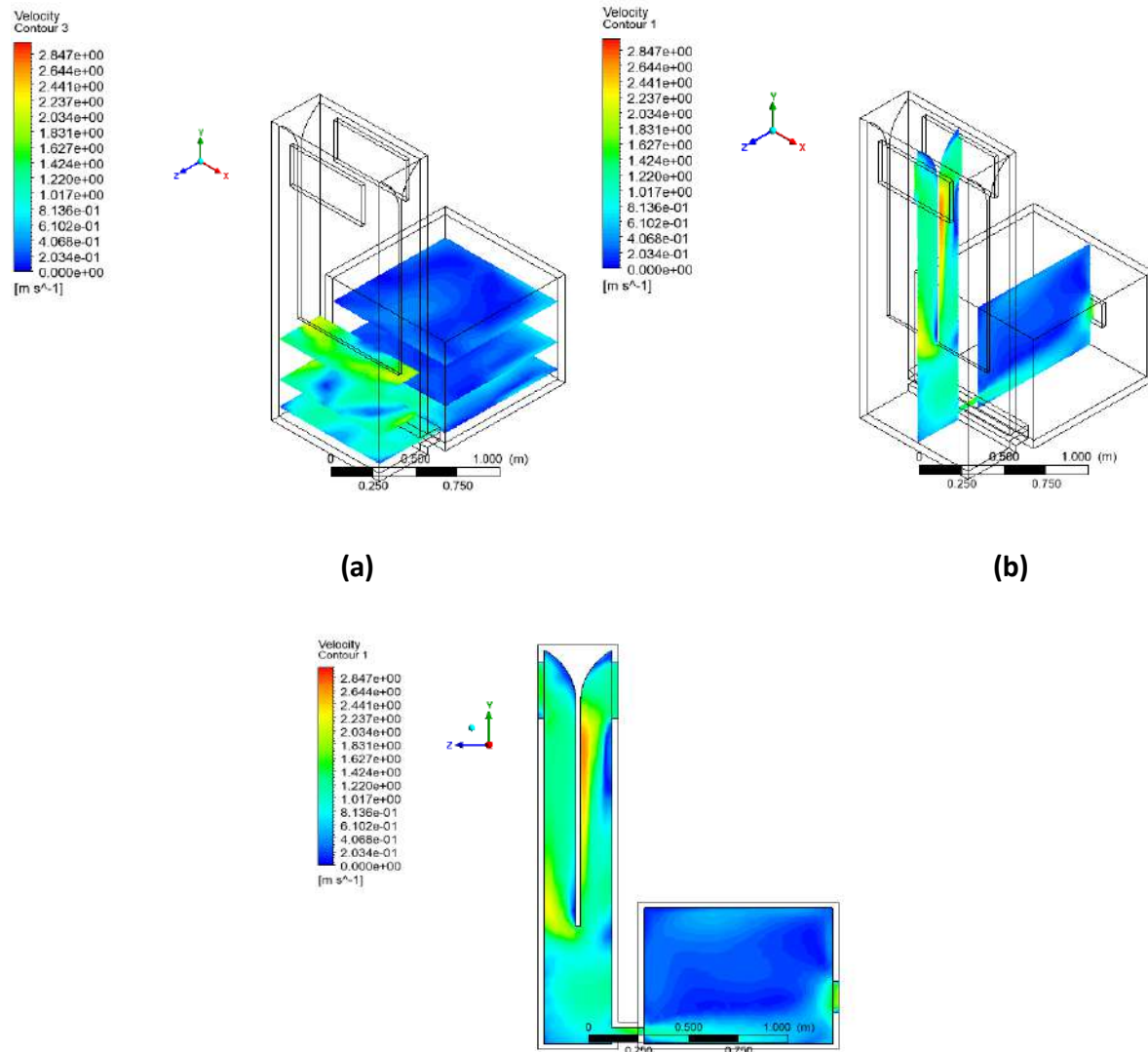
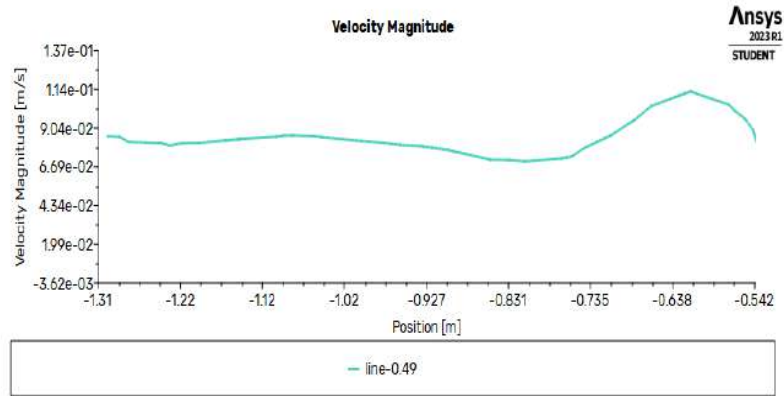


Figure III.9: Champ dynamique pour  $V_e = 1.23$  m/s : (a) à différents plans XZ ; (b) à différents plans XY ; (c) au plan ZY.

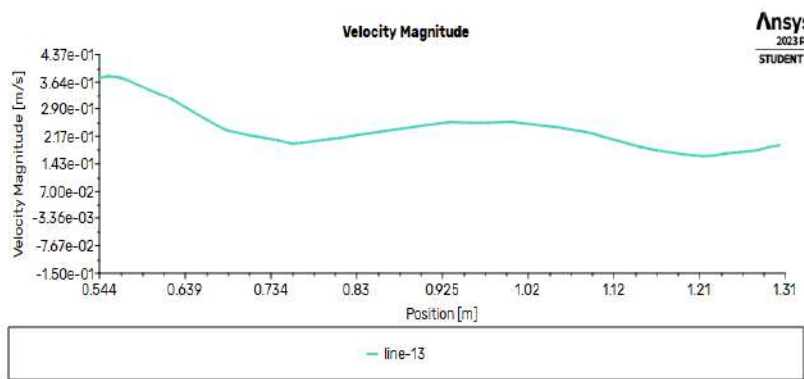
Les résultats indiquent que les flux d'air dans le capteur à vent sont très différents dans les cas de  $V = 1.5$  m/s et  $V = 1.23$  m/s. En fait, la distribution de l'air au sein de la cellule, bien que les deux vitesses soient proches. Dans les figures (III.13: (a) ;(b) et (c)), on remarque que la vitesse augmente en dessous de la tour, où elle atteint 2.02 m/s, et qu'elle est plus élevée dans la partie supérieure au niveau de la paroi opposée à la sortie de la tour, où elle atteint 2.79 m/s et moins élevée dans la partie inférieure de la tour à vent.

### 3.4. Profils de vitesse à l'intérieur de la cellule :

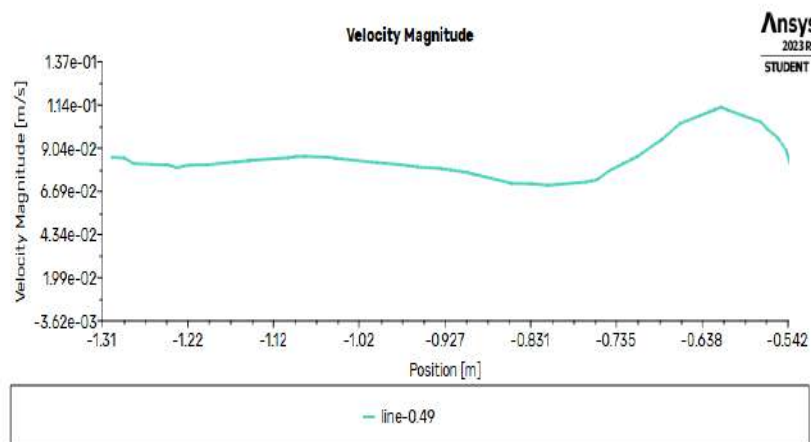
Dans la figure 10, la vitesse de l'air le long de la ligne verticale à l'intérieur de la cellule est comparée pour différentes valeurs de vitesse.



(a)



(b)



(c)

Figure III. 10 : Profils de vitesse à l'intérieur de la cellule au plan médian-horizontale :  
(a)  $V=0.5$  m/s ; (b)  $V=1.5$  m/s ; (c)  $V=1.25$  m/s.

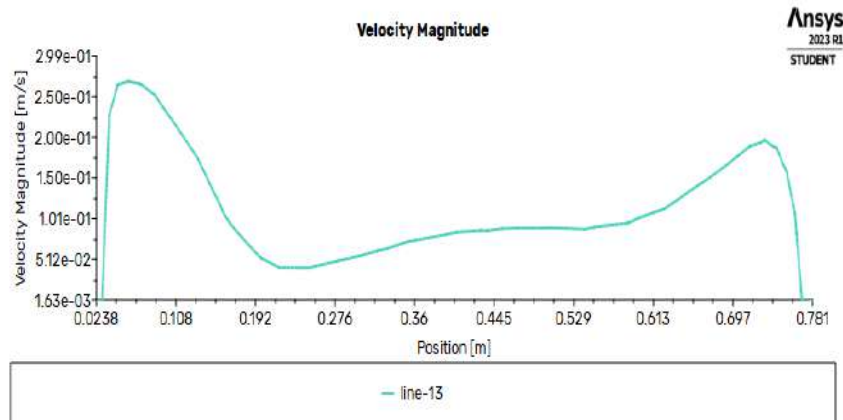
## Chapitre III : Résultats et discussions

---

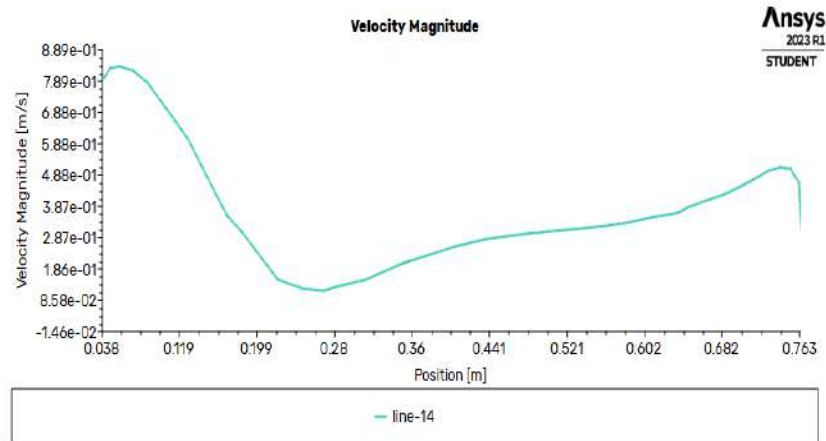
Les résultats montrent que les courbes de variation de la vitesse à l'intérieur de la cellule correspondent à celles obtenues lorsque la vitesse à l'entrée est égale à 0.5 m/s et 1.23 m/s et qu'elle atteint une valeur maximale égale à 0.98 m/s et 0.15 m/s, respectivement. Il existe des différences dans les profils de vitesse au milieu de la cellule lorsque la fenêtre est ouverte, avec une valeur plus importante dans la section proche de la fenêtre. Selon la forme, le profil d'écoulement au milieu de la cellule varie avec une vitesse à l'entrée de la tour égale à 1.5 m/s. Où la vitesse n'a pas changé dans le plan horizontal et elle est restée presque constante avec une valeur moyenne égale à 0.44 m/s. Ceci est dû à la vitesse plus élevée du courant d'air dans le niveau inférieur de la cellule.

Cette valeur représente la vitesse de l'air entrant par la section de sortie de la tour et circulant dans la partie inférieure, nous remarquons que l'air change de direction et se dirige vers la fenêtre à une vitesse de 0.3 m/s au niveau du plan médian-horizontale.

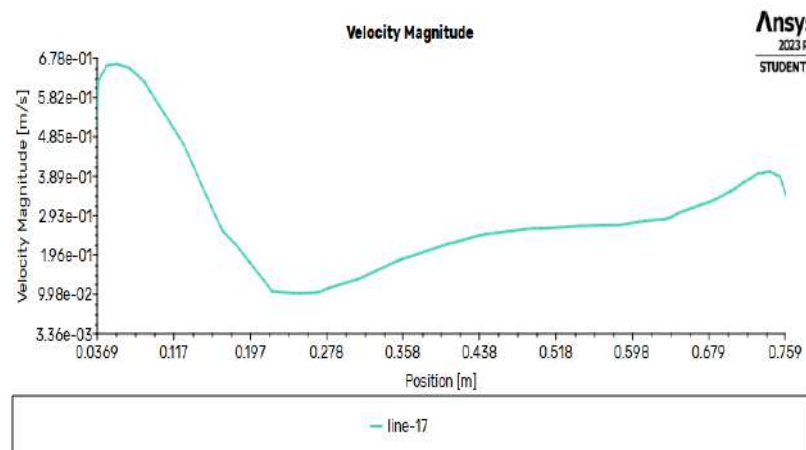
La figure III.11 illustre la variation de la vitesse le long de l'axe (y) au milieu de la cellule en fonction de la position le long de l'axe (x) pour différentes valeurs de vitesse.



(a)



(b)



(c)

Figure III. 11 : Profils de vitesse à l'intérieur de la cellule au plan médian-vertical : (a)  $V=0.5$  m/s ; (b)  $V=1.5$  m/s ; (c)  $V=1.25$  m/s.

Les courbes montrent que la vitesse diminue fortement dans la section proche de la sortie de la tour, ce qui donne une valeur comprise entre 0,03 m/s et 0,5 m/s, puis augmente progressivement jusqu'à ce qu'elle arrive à la fenêtre. Cette tendance principale est due aux forces de flottabilité générées par la différence de température ambiante et de température à l'intérieur de la cellule.

### 4. Conclusion :

Le système de rafraîchissement passif est une conception qui vise à garantir le confort thermique d'un bâtiment. Dans ce chapitre, nous avons examiné le système de tour à vent à différentes vitesses d'entrée d'air. Nous avons également réalisé un test de validation des



### Chapitre III : Résultats et discussions

---

résultats de la simulation numérique pour le même modèle, en comparant ces résultats avec les résultats expérimentaux.

Les flux de courant à l'intérieur de la tour à vent et la flottabilité sont les forces motrices de la ventilation des brise-vent. Le flux dans le capteur de vent est uniquement entraîné par la poussée d'Archimède. Lorsque la vitesse du vent est faible, la distribution de l'air à l'intérieur de la cellule est très acceptable. L'effet de flottabilité est évident car il existe un chemin pour le flux d'air extérieur autre que la tour à vent lui-même.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion Générale

La demande d'utilisation des techniques de ventilation naturelle s'est multipliée avec le développement de la construction de bâtiments économes en énergie. La technique de ventilation naturelle utilise la flottabilité et les forces du vent pour générer un flux d'air à l'intérieur des bâtiments. Une ventilation efficace permet de respirer convenablement, d'évacuer les polluants et d'assurer le conditionnement thermique. Une ventilation efficace peut être obtenue grâce à un environnement approprié et à l'architecture du bâtiment. En plus de ces facteurs, l'ensoleillement, la situation géographique et la vitesse des vents influencent également l'efficacité de la ventilation naturelle. Les méthodes de ventilation naturelle utilisent l'effet de cheminée pour conduire l'air et sont respectueuses de l'environnement..

L'objectif de cette étude est de décrire la distribution de l'écoulement dans un modèle de tour à vent qui a été combiné avec une cellule expérimentale. Dans des conditions météorologiques réelles. Des lignes d'écoulement ont été générées à partir des données de vitesse mesurées, telles que l'entrée, la tige de la tour et le raccordement à la cellule qui fait partie du système étudié, ainsi que dans deux autres sections de la cellule. Les informations obtenues permettent de déterminer les flux tourbillonnaires dans la cellule. Nous avons mené deux types d'études : une étude expérimentale en utilisant un banc d'essai, et une étude par simulation à l'aide d'un code de calcul.

D'après les résultats obtenus, les principaux écoulements après l'entrée de l'air dans la tour sont similaires, avec une augmentation de la vitesse dans la tige de la tour.

Lorsque l'air pénètre dans la cellule d'essai, le flux d'air prend plus de hauteur et se propage différemment en fonction de la vitesse à l'entrée de la tour. Par ailleurs, les résultats des mesures montrent une recirculation des cellules d'écoulement présentes dans la tour et la cellule d'essai, à l'exception d'une différence qui affecte le flux principal, une augmentation de la vitesse de l'air étant observée dans la section de sortie de la tour.

Les profils de vitesse obtenus à partir de l'étude numérique révèlent des schémas d'écoulement distincts en fonction de la répartition du flux d'air à l'intérieur de la tour à vent. Le flux entre à une vitesse constante, mais cette vitesse augmente dans la paroi opposée juste après avoir franchi la section d'entrée. Cette tendance se maintient jusqu'à l'extrémité de la tour. À l'intérieur de la cellule d'essai, le flux d'air présente une grande cellule de recirculation avec une faible intensité dans les parties inférieures, tandis que des flux plus rapides descendent de la mi-hauteur à la base.

Pour les travaux futurs, nous formulons les recommandations suivantes :

1. Effectuer une étude numérique approfondie pour évaluer l'impact des dimensions de la tour à vent sur le flux d'air à l'intérieur de la tour. Cela permettra de mieux comprendre les variations de vitesse et de pression en fonction des différentes tailles de la tour.
2. Explorer la combinaison de la tour à vent avec un système de refroidissement et de conditionnement d'air. Une étude détaillée devrait être menée pour évaluer les avantages potentiels et les synergies entre ces deux systèmes, afin d'optimiser l'efficacité énergétique et le confort thermique du bâtiment.
3. Réaliser une étude technique et économique approfondie du système de rafraîchissement passif.

# *Bibliographie*

- [2]- Zendejboudi A, Zendejboudi A, Hashemi R. An Investigate on the Performance of One-Sided and Four-Sided Windcatchers in the Southwest of IRAN. *Int J U- EServ Sci Technol* 2014;73–84, (<http://www.earticle.net/Article.aspx?sn=231n=2831>), [accessed 30.12.14].
- [1..]- Bahadori MN, Dehghani-sanij A. *Wind Towers: architecture, Climate and Sustainability*. Springer; 2014.
- [3]- Mostafaeipour A, Bardel B, Mohammadi K, Sedaghat A, Dinpashoh Y. Economic evaluation for cooling and ventilation of medicine storage warehouses utilizing wind catchers. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;38:12–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.087>.
- [4] 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.
- [5]- A. Niktash, B.P. Huynh, A comparison of two computational methods (RANS and LES) in analysing of ventilation flow through a room fitted with a two- sided windcatcher for free flow condition. ICCM2015, 14-17th July, Auckland, NZ, 2015, p. 1–8.
- [8]- Iyengar K. *Sustainable architectural Design: an overview*. Taylor & Francis; 2015
- [9]- Solaripedia n.d. Available from: [http://www.solaripedia.com/13/205/2086/wind\\_tower\\_dubai\\_bastakiyya\\_with\\_minaret.html](http://www.solaripedia.com/13/205/2086/wind_tower_dubai_bastakiyya_with_minaret.html)
- [10]- Hughes BR, Calautit JK, Ghani SA. The development of commercial wind towers for natural ventilation: a review. *Appl Energy* 2012;92:606–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.066>.
- [11]- Mahmoudi M. *Wind catcher: the symbol of iranian architecture*. Tehran: Yazda; 2007
- [12]- Dehghani-sanij AR, Soltani M, Raahemifar K. A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;42:182–95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.018>.
- [13]- M.M. Masrouf, M. Abbasi, H.M. Hallaj, Study of windcatchers : the mass flow rate and inlet air to the building in traditional windcatchers, *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 6 (2012) 159–165.

## Bibliographie

---

- [14]- Hughes BR, Ghani S aaA. Investigation of a windvent passive ventilation device against current fresh air supply recommendations. *Energy Build* 2008;40:1651–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.024>.
- [15]- M. Afshin, A. Sohankar, M.D. Manshadi, M.K. Esfeh, An experimental study on the evaluation of natural ventilation performance of a two-sided wind- catcher for various wind angles, *Renewable Energy* 85 (2016) 1068–1078, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.036>.
- [16]- Southwest United States, Springdale & Zion National Park n.d. Available from: <  
{<http://www.mightymac.org/southwest/>}> [accessed 08.04.15].
- [17]- Monodraught. Available from: {[http://www.monodraught.com/documents/downloads/download\\_313.pdf](http://www.monodraught.com/documents/downloads/download_313.pdf)}[accessed 23.02.15]; 2011
- [18]- B.R. Hughes, J.K. Calautit, S.A. Ghani, The development of commercial wind towers for natural ventilation: a review, *Appl. Energy* 92 (2012) 606–627, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.066>
- [19]- M. Maneshi, A. Rezaei-Bazkiaei, A.S. Weber, G.F. Dargush, A Numerical Investigation of Impact of 17Architectural and Climatic Parameters of Windcatcher Systems on Induced. Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE), 9-15 November. Texas, USA. 1-15: 2012. doi:10.1115/IMECE2012-87139.
- [20]- M.R. Fanood, The role of four key structures in the creation and survival of cultural landscapes in the desert environment of Iran, *Journal of Architectural Conservation* (2014) 1–13, <https://doi.org/10.1080/13556207.2014.985490>.
- [21]- A. Mostafaeipour, B. Bardel, K. Mohammadi, A. Sedaghat, Y. Dinpashoh, Economic evaluation for cooling and ventilation of medicine storage warehouses utilizing wind catchers, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 38 (2014) 12–19, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.087>.
- [22]- M.H. Ghadiri, N.L.N. Ibrahim, M. Dehnavi, The effect of tower height in square plan wind catcher on its thermal behavior, *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 5 (2011) 381–385.
- [23]- L.C. Haw, O. Saadatian, M.Y. Sulaiman, S. Mat, K. Sopian, Empirical study of a wind-induced natural ventilation tower under hot and humid climatic conditions, *Energy Build.* 52 (2012) 28–38, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.016>.

## Bibliographie

---

- [24]- A.A.A. Dehghan, M.K. Esfeh, M.D. Manshadi, Natural ventilation characteristics of one-sided wind catchers: experimental and analytical evaluation, *Energy Build.* 61 (2013) 366–377, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.048>.
- [25]- M.M. Masrour, M. Abbasi, H.M. Hallaj, Study of windcatchers : the mass flow rate and inlet air to the building in traditional windcatchers, *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 6 (2012) 159–165.
- [26]- A.A. Elmualim, H.B. Awbi, Wind tunnel and CFD investigation of the performance of “windcatcher” ventilation systems, *Int. J. Vent.* 1 (2002) 53–64.
- [27]- Foruzanmehr A. The wind-catcher: users' perception of a vernacular passive cooling system. *Arch Sci Rev* 2012;55:250–8. <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2012.722070>
- [28]- M.N. Bahadori, A. Dehghani-sanij, *Wind Towers: Architecture, Climate and Sustainability*, Springer, 2014
- [29]- A. Niktash, B.P. Huynh, A comparison of two computational methods (RANS and LES) in analysing of ventilation flow through a room fitted with a two- sided windcatcher for free flow condition. ICCM2015, 14-17th July, Auckland, NZ, 2015, p. 1–8.
- [30]- S. Gage, J. Graham, Static split duct roof ventilators, *Build. Res. Inf.* 28 (2000) 37–41, <https://doi.org/10.1080/09613210050073698>
- [31] Jafarian, S. M., Jaafarian, S. M., Haseli, P., & Taheri, M. (2010). Performance analysis of a passive cooling system using underground channel (Naghb). *Energy and Buildings*, 42(5), 559-562.
- [32]- Elmualim AA. Evaluating the performance of windcatchers for natural ventilation. The University of Reading; 2003
- [33]Zendehboudi A, Zendehboudi A, Hashemi R. An Investigate on the Performance of One-Sided and Four-Sided Windcatchers in the Southwest of IRAN. *Int J U- EServ Sci Technol* 2014;73–84, (<http://www.earticle.net/Article.aspx?sn=231n=2831>), [accessed 30.12.14]
- [34]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.
- [35] Harris, D. and N. Helwig, Solar chimney and building ventilation. *Applied energy*, 2007. 84(2): p. 135-146.



## **Bibliographie**

---

- [36] A. Lemtenneche, T. Bouguennour; étude expérimentale des transferts thermiques dans un local muni d'un isolant à base végétale , Mémoire de MASTER, université kasdi merbah ouargla, 2017.
- [37] recovery wheel for mild-cold climates: CFD and experimental analysis. *Renewable Energy*, 2020. 160: p. 465-482.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] Moosavi, L., et al., New design for solar chimney with integrated windcatcher for space cooling and ventilation. *Building and Environment*, 2020. 181: p. 106785.

## Bibliographie

---

[48]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.

[49]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.

[50]<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>.

[51]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.

[52] Etude paramétrique des échanges convectifs turbulents dans les configurations d'intérêt pratique.

[53]- sabrin korichi et al, performance analysis of horizontal ground source heat pump for building cooling in arid saharan climate: thermal-economic modeling and optimization on trnsys, renewable energy environmental sustainability.2021

