

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



**FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
ET SCIENCES DE LA MATIERE**

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES

N° d'ordre :
N° de série :

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

**Spécialité : Génie des procédés
Option : Energétique et Procédés**

Présenté par:

AKCHICHE Zineb

Thème

**ÉTUDE DE COMPORTEMENT D'UNE CHEMINÉE
SOLAIRE EN VUE DE L'ISOLATION THERMIQUE**

Soutenu publiquement le : 05/05/2011

Devant le jury composé de :

Mr. Hamza Bouguettaia	Professeur	Université Kasdi Merbah Ouargla	Président
Mr. Noureddine Moumni	M. de conférence	Université de Biskra	Examineur
Mr. Abdelghani Boubekri	M. de conférence	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur
Mr. Noureddine Settou	Professeur	Université Kasdi Merbah Ouargla	Rapporteur
Mr. S. M. Iamine Bekkouche		CDER	invité
Mlle. Nadia Saifi		Université Kasdi Merbah Ouargla	invité

Année universitaire : 2010/2011

Remerciements

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

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance au directeur de mémoire Monsieur **Noureddine SETTOU** professeur et chercheur au Laboratoire VPRS à l'université de Ouargla pour son suivi, sa patience, sa disponibilité, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail, et en particulier :

Monsieur **Hamza BOUGUETTAIA**, professeur à l'université de Ouargla qui ma fait l'honneur de présider le jury.

Monsieur **Abdelghani BOUBEKRI**, maître de conférences à l'université d'Ouargla pour avoir accepté d'être examinateur de ce travail.

Monsieur **Noureddine MOUMMI**, maître de conférences à université de Biskra qui ma fait l'honneur d'examiner le mémoire.

Monsieur **S. M. Lamine BEKKOUCHE** qui a accepté d'être membre du jury de ce mémoire.

Mes vives remerciements vont également à Mademoiselle **Nadia SAIFI** maître assistante à l'université d'Ouargla, qui a accepté d'être membre du jury de ce mémoire et pour ses orientations, ses conseils et son aide tout le long de la réalisation de ce travail.

Je remercie vivement Monsieur **Belkhir NEGROU** maître assistant à l'université d'Ouargla, pour ses encouragements, ses conseils et son aide surtout dans la partie de la simulation.

Une attention particulière à Monsieur **Ahmed HOUTI**, le technicien du laboratoire de physique pour son aide durant la réalisation et l'installation du dispositif expérimental.

J'adresse mes vifs remerciements à tous mes enseignants, qu'ils ont contribué à ma formation, leur encouragement et leur aide.

Mes remerciements vont également à mes collègues de laboratoire de génie des procédés, à mes collègues de la faculté, et en particulier à **K. BOUZIANE, Y. MOKHBI**

Enfin je remercie mes amies: pour leur soutien moral et leur aide, ainsi que tous ce qui m'ont soutenu et aidé tout au long de cette étude.

Dédicace

A mes parents

A ma grande mère

A mon grand frère et sa femme

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

Je dédie ce travail

SOMMAIRE

<i>REMERCIEMENT</i>	<i>I</i>
<i>DEDICACES</i>	<i>II</i>
<i>SOMMAIRE</i>	<i>III</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>VII</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>X</i>
<i>NOMENCLATURE</i>	<i>XI</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>01</i>
Chapitre I. Le confort thermique et l'habitat	
1. Introduction	04
2. Habitat et les différents types de confort	04
2.1 Définition de confort	04
2.2. Le confort respiratoire	04
2.3. Le confort visuel	06
2.4. Le confort acoustique	06
2.5. Le confort thermique	07
2.5.1. Définition du confort thermique	08
2.5.2. Sensation et le confort	08
2.5.2.1. L'aspect physiologique : la thermorégulation	09
2.5.2.2. L'aspect physique : les échanges de chaleur	09
2.5.2.3. Le bilan thermique	10
2.5.2.4. L'aspect psychologique : sensation thermique	11
2.5.3 Les paramètres du confort thermique	11
2.5.3.1. Les températures	11
2.5.3.2. Humidité relative	12
2.5.3.3. Mouvement de l'air	13
2.5.4. Stratégies d'évaluation du confort thermique	14
2.5.4.1. Diagramme bioclimatique de Givoni	14
2.5.4.2. Indices de confort thermique	15
3. Données climatiques et le confort	15
3.1. Caractéristiques climatiques des zones arides et semi-arides	16
3.1.1. Climat aride	16
3.1.2. Climat semi-aride	16
3.2. Caractéristiques climatiques de l'Algérie	16
3.2.1. données géographiques	16
3.2.2. La classification climatique à partir des indices	17
3.2.3. Zones climatiques en Algérie	18
3.3. Climat de wilaya d'Ouargla	19
4. L'habitat traditionnel	21
4.1. Les matériaux de construction	21
4.2. Techniques d'adaptation sur le plan urbanistique	22
4.2.1. Choix du site d'implantation	22
4.2.2. Utilisation d'un tissu compact	23
4.3. Techniques d'adaptation sur le plan architectural	25
4.3.1. L'inertie de l'enveloppe	25
4.3.2. Les archétypes de l'habitation lourde	25
4.3.3. L'humidification des espaces	28
4.3.4. La végétation	28
4.3.5. Protection solaire	30

4.3.6. Les techniques du mouvement d'air	32
5. L'architecture solaire bioclimatique	34
5.1 les stratégies du confort	35
5.2. L'utilisation de la végétation et de l'eau	35
5.3. La conception climatique	36
5.3.1. Analyse de l'environnement	36
5.3.2. Compacité et orientation	37
5.3.3 Isolation thermique	37
5.3.4. Captage solaire	37
5.3.5. Stockage d'énergie	38
5.3.6. Ventilation	38
5.3.7. Lumière	38
5.3.8. Dispositifs de chauffage appropriés	38
6. Conclusion	39
<i>Chapitre II. La ventilation naturelle</i>	
1. Introduction	40
2. ventilation naturelle	40
2.1. Fonctions de la ventilation	40
2.2. Besoins de renouvellement de l'air	40
2.3. Les type de ventilation	41
2.3.1. La ventilation mécanique	41
2.3.1.1. La ventilation simple flux par extraction	41
2.3.1.2. La ventilation simple flux par soufflage	42
2.3.1.3. Le traitement d'air par centrale à mélanges air neuf /air repris :	43
2.3.2. La ventilation naturelle	43
2.3.2.1. La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres	45
2.3.2.2 La ventilation naturelle par conduits verticaux	45
2.3.2.3. Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire	46
2.3.3. La ventilation hybride	46
2.4. Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle	46
2.4.1. Le mur trombe	47
2.4.2. L a façade à double paroi	48
2.4.3. La cheminée solaire	49
2.5. Effet de cheminée	50
2.5.1. Principe d'écoulement	51
2.6. modes d'opérations d'une cheminée solaire	51
2.7. Types de cheminée solaire	52
2.7.1. Cheminée solaire verticale	52
2.7.2. Cheminée solaire inclinée	52
3. Echangeur air/sol (puits Canadian)	53
3.1 Définition	53
3.2 Les composants du puits canadien	54
3.3 Principaux paramètres de dimensionnement	54
3.3.1 Le débit d'air total	55
3.3.2 Le nombre et le diamètre des tubes	55
3.3.3 La vitesse de l'air dans les tubes	55
3.3.4 La longueur des tubes	55
3.3.5 La distance entre tubes	56
3.3.6 La profondeur d'enfouissement des tubes	56
3.3.7 La nature du sol et son taux d'humidité	56
3.4. Disposition des tubes	57

3.5 Emplacement du puits canadien	58
3.6 L'inertie du sol	58
3.7 Avantages de puits canadien	59
3.8 Inconvénients de puits canadien	59
4. Analyse bibliographique et synthèse des connaissances approprié a la cheminée solaire	59
4.1. Analyse de la cheminée solaire verticale	59
4.2. L'effet de l'inclinaison sur la cheminée solaire	63
4.3. Cheminée solaire associé à une autre technique de ventilation	65
5. conclusion	65

Chapitre III. Etude expérimentale et modélisation numérique

1. Introduction	67
2. Etude expérimentale	67
2.1. Description du dispositif expérimental	67
2.2. Les Constitutions d'Une Cheminée Solaire	67
2.2.1. La couverture transparente (vitre)	68
2.2.2. L'absorbeur	69
2.2.3. La lame d'air	69
2.2.4. L'isolation des parois	70
2.2.5. Le coffre ou le cadre	70
2.3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire	70
2.3.1. Bilan thermique de la cheminée solaire	71
2.3.2. Les différentes quantités du rayonnement dans la cheminée solaire	72
2.4. Appareillages de mesures	73
2.4.1. Mesure du rayonnement solaire	73
2.4.2. Mesures des températures	74
2.4.3. Mesure de la vitesse de l'air et le débit volumique	74
2.4.4. Mesure de la température ambiante	75
3. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux	76
3.1. Variation du rayonnement global	76
3.2. L'évolution des différentes températures et le rayonnement solaire	76
3.3. L'effet du rayonnement sur les températures d'absorbeur et de vitre	77
3.4. Etude comparative de l'épaisseur de la cheminée et de l'inclinaison	78

Chapitre IV. Modélisation numérique

1. Introduction	81
2. Description du problème	81
2.1. Les modèles physiques	81
2.1.1. Cheminée seule	81
2.1.2. Pièce munie d'une cheminée	82
2.2. Les hypothèses	82
2.3. Les équations régissant	83
2.3.1. Equation de continuité	83
2.3.2. Equations de conservation de quantité du mouvement	83
2.3.3. Equation de l'énergie	85
2.3.4. Approximation de boussinesq	85
2.4. Les modèles de turbulence	86
2.4.1 Modèle k- ϵ	87
2.5. Les conditions aux limites	88
2.6. Choix du maillage	89
2.7. Les expressions des paramètres physiques de l'air	91
2.8. Taux de renouvellement d'air	91

2.9. Organigramme de Calcul	92
3. Le dimensionnement d'échangeur air-sol	92
3.1. Echange thermique dans un tube enterré	92
3.2. Les nombres adimensionnels	93
4. Conclusion	95

Chapitre V. Résultats et discussions

1. Introduction	96
2. Résultats de la simulation	96
2. 1. La cheminée solaire	96
2.1.1. Contrôle de la solution (convergence)	96
2.1.2. Validation du premier modèle numérique	98
2.1.3. Comparaison des résultats numériques et expérimentaux	98
2.2. Influence de l'épaisseur de la lame d'air	101
2.2.1. Profils de vitesses à l'entrée de la cheminée	101
2.2.2. Profils de vitesses à la sortie de la cheminée	103
2.2.3. Champs dynamique	104
2.2.4. Champ thermique	105
3. Application de la cheminée sur la pièce	107
3.1. Introduction	107
3.2. Confrontation et validation	107
3.3. Evolution d'ACH	108
3.4. Températures et les vitesses à la sortie de la cheminée	109
3.5. Le champ thermique	110
3.6. Le champ de vitesse	113
3.7. Effet de diminution de température à l'entrée du système	116
3.7.1. Structure de l'écoulement	118
4. Introduction de l'échangeur air- sol	119
4.1. Effet de l'échangeur air-sol	119
4.2. Dimensionnement de l'échangeur air- sol	121
Conclusion générale	122
Bibliographie	125
Annexe	130

Liste des figures

Figure I.1:	Plage de confort sonore (en vert) et bruits courants	7
Figure I.2:	Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendent	8
Figure I.3 :	Interaction thermique entre le corps humain et son environnement	10
Figure I.4:	Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide	13
Figure I.5 :	Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen	13
Figure I.6:	Zones de confort thermique en fonction de la vitesse de l'air	14
Figure I.7:	Diagramme bioclimatique de Givoni	15
Figure I.8:	Zones arides et semi arides dans le monde	16
Figure I.9:	Coupe transversale Nord-Sud du relief	17
Figure I.10:	Classification du climat en Algérie	19
Figure I.11:	Interprétation des données climatiques de la région d'Ouargla (1997-2009)	20
Figure I.12:	Habitat construite entièrement en matériaux végétales	21
Figure I.13:	Habitat en tissage	22
Figure I.14:	Usage de matériaux locaux (la pierre) au Yémen	22
Figure I.15:	Un exemple de regroupement des maisons dans un creux de vallée à Ghardaïa	23
Figure I.16:	vue aérienne de ksar d'Ouargla	23
Figure I.17:	Vue des maisons serrées dans la ville de Ghardaïa	24
Figure I.18:	Exemple d'une ruelle à (a) ksar d'Ouargla, (b) ksar de Timimoune	24
Figure I.19:	Habitat troglodytique, Troglodytes Latéraux, Balcon de Ghoufi en Algérie	26
Figure I.20:	L'architecture troglodytique « Matmata» en Tunisie	26
Figure I.21:	L'architecture massive en climat tempéré à froid : exemple de la France	27
Figure I.22:	Vue des tours dans un hôtel en Italie construits récemment	28
Figure I.23:	Habitat dans la palmeraie de Béni-Izguen à Ghardaïa	29
Figure I.24:	Aménagement de bassin et végétation autour des maisons en pierre dans les montagnes de Haras au Yémen	29
Figure I.25:	Ombre et enduit blanc sur construction massive (Tunisie)	29
Figure I.26:	Détails de moucharabieh en Syrie	30
Figure I.27:	Trou isolé d'un bâtiment à Al Hajjarayn, Wadi dawan au Yémen	30
Figure I.28:	Vue d'une galerie à kasar d'Ouargla	31
Figure I.29:	Exemple de cheminée de ventilation traditionnelle (tour de vent) en Iran	32
Figure I.30:	Principe d'une tour à vent pour une maison d'habitation	32
Figure I.31:	Toiture en coupoles à Oued souf	33
Figure I.32:	Espace central (patio découvert)	34
Figure I.33:	Espace central : Ain Ed dar	34
Figure I.34:	Schéma de fonctionnement climatique d'un patio	34
Figure I.35:	la strategies du confort	35
Figure I.36:	Eau et plantation complète la conception de l'édifice	36
Figure I.37:	<i>Exemple d'analyse de site en fonction du climat</i>	37
Figure I.38:	Maison à St Jean de Védas (Hérault) - architecte Serge JAURÉ	39
Figure II.1:	Ventilation simple flux par extraction	42
Figure II.2:	Ventilation simple flux par insufflation	42
Figure II.3:	Représentation de la VMC double flux	43
Figure II.4:	Action du vent sur les bâtiments	44
Figure II.5:	Effet du tirage thermique dans les bâtiments	44
Figure II.6:	Effets combinés du vent et du tirage thermique	45
Figure II.7:	Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux	45
Figure II.8:	Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et	

	la ventilation normale.	46
Figure II.9:	Mur trombe	47
Figure II.10:	Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage	48
Figure II.11:	Façade double peau	48
Figure II.12:	Applications principales courantes de double façade pour la commande thermique (en plus de l'isolation)	49
Figure II.13:	Exemple de cheminée solaire intégré sur le Bâtiment.	50
Figure II.14:	Présentation d'une cheminée solaire à l'école Tanga	50
Figure II.15:	Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire	51
Figure II.16:	Types de cheminée solaire selon l'ouverture d'entrée, et leur position pour la ventilation naturelle	52
Figure II.17:	Installation d'une cheminée solaire inclinée	53
Figure II.18:	Schéma de principe d'un puits canadien.	54
Figure II.19:	Tube en méandre	57
Figure II.20:	Tube en boucle	57
Figure II.21:	faisceau de tubes	57
Figure II.22 :	Emplacement du puits	58
Figure III.1:	La cheminée solaire	68
Figure III.2:	Le rayonnement dans la cheminée solaire	71
Figure III.3:	Pyranomètre à affichage numérique	74
Figure III.4:	Thermocouple de type K	74
Figure III.5:	Testo425	75
Figure III.6:	hygromètre Testo608-H1	75
Figure III.7:	Variation de rayonnement en fonction du temps	76
Figure III.8:	Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps pour une journée claire.	77
Figure III.9:	Variation des températures du vitre et d'absorbeur en fonction de l'intensité de rayonnement ($\alpha=45^\circ$, $e=20\text{ cm}$).	78
Figure III.10:	Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de 30° sur le débit sortant.	79
Figure III.11:	Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de 45° sur le débit sortant.	79
Figure III.12:	Effet de l'inclinaison sur le débit sortant de la cheminée	80
Figure IV.1:	Géométrie de la cheminée solaire	81
Figure IV.2:	Schéma de la pièce	82
Figure IV.3:	Volume de contrôle bidimensionnel.	83
Figure IV.4:	Les conditions aux limites	88
Figure IV.5:	Maillage du premier modèle	90
Figure IV.6:	Maillage du deuxième modèle (la pièce avec une cheminée).	90
Figure V.1:	Evolution des résidus.	97
Figure V.2:	Variation du débit volumique en fonction du rayonnement solaire correspond à $\alpha=60^\circ$	97
Figure V.3:	Variations de débit volumique en fonction de l'inclinaison.	98
Figure V.4:	Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation ($\alpha=30^\circ$ et $e=20\text{ cm}$)	99
Figure V.5:	Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation ($\alpha=45^\circ$ et $e=10\text{ cm}$)	99
Figure V.6:	Débit volumique d'air en fonction de l'épaisseur de la veine d'air pour l'inclinaison de 30° et de rayonnement de 460 W/m^2	101
Figure V.7:	Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha = 45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e = 20\text{ cm}$	102

Figure V.8:	Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha = 45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e = 30\text{cm}$	102
Figure V.9:	Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha = 45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e=20\text{cm}$.	103
Figure V.10:	Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha = 45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e = 30\text{cm}$	103
Figure V.11:	Champ dynamique pour un angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e=30\text{cm}$	104
Figure V.12:	Champ dynamique pour angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e=20\text{ cm}$	104
Figure V.13:	Champ dynamique pour angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e=10\text{ cm}$	105
Figure V.14:	Champs thermique pour un angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et une épaisseur de lame d'air $e=30\text{cm}$	106
Figure V.15:	Champs thermique pour un angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e=20\text{cm}$	106
Figure V.16:	Champs thermique pour un angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et épaisseur de lame d'air $e=10\text{cm}$	106
Figure V.17:	Profils de température à la sortie de la cheminée.	109
Figure V.18:	Profils des vitesses à la sortie de la cheminée.	110
Figure V.19:	La zone de mi-hauteur	111
Figure V.20:	Profils de température à $Y= 0.5$	111
Figure V.21:	Champ thermique pour différents rayonnement solaire	113
Figure V.22:	Vitesses d'air à $Y= 0.5\text{ m}$.	114
Figure V.23:	Ecoulements pour différentes intensités de rayonnement solaire	115
Figure V.24:	Effet de la réduction de température à l'entrée de la pièce sur le débit sortant.	116
Figure V.25:	Lignes de courant pour différentes températures d'entrée.	118
Figure V.26:	Profils des vitesses de l'air à $Y= 0.5\text{ m}$.	119
Figure V.27:	Effet d'échangeur air- sol sur le champ thermique	120
Figure V.28:	Effet d'échangeur sur le champ dynamique	120

Liste des tableaux

Tableau I.1:	Facteurs et sources influant sur la qualité de l'air	5
Tableau I.2:	Exigences de confort thermique pour les types de lieux indiqués	12
Tableau I.3:	Indices de Martonne	17
Tableau II.1:	Débit hygiénique d'air neuf en m ³ /h	41
Tableau III.1 :	Caractéristiques de la vitre	68
Tableau III.2 :	Caractéristiques des différents matériaux utilisés pour L'absorbeur	69
Tableau III.3 :	Caractéristiques des différents isolants utilisés	70
Tableau IV.1 :	Différence de débit massique entrant et sortant de la cheminée et le nombre des itérations	89
Tableau IV.2 :	Paramètres physiques de l'air	91
Tableau V.1 :	Les résidus pour les différentes équations	96
Tableau V.2:	Ecart entre les résultats d'étude présente et numériques par Zoltan	98
Tableau V.3	Ecart entre les résultats expérimentaux et de simulation	100
Tableau V.4	Les données de l'expérience numérique	101
Tableau V.5	Vitesse à la sortie de la cheminée et la différence température correspond	107
Tableau V.6	Ecart entre les différents résultats	108
Tableau V.7	Effet du rayonnement sur le taux de renouvellement d'air	108
Tableau V.8	Longueur de conduite pour différents diamètres	121

NOMENCLATURE

Symboles	Grandeurs	Unités
H :	Hauteur de cheminée	m
T :	Température	K
P :	Pression	atm
D :	Diamètre	m
Q :	Débit volumique	m ³ /h
U :	Vitesse d'écoulement	m/s
ACH :	Air changé par heure	1/h
C _p :	Capacité calorifique massique	J/kg.K
I :	Intensité de rayonnement solaire	W/m ²
K :	Energie cinétique turbulente	
a :	Diffusivité thermique	m ² /s
R :	Résistance thermique	m ² .K/W
h :	Coefficient d'échange convectif	W/m ² . K
S :	Surface d'échange thermique	m ²
D :	Diamètre de conduite	m
R :	Rayon de conduite	m
L :	Longueur de conduite	m
<i>Lettres Grecques</i>		
β :	coefficient de dilatation thermique volumétrique de l'air	K ⁻¹
ρ :	Masse volumique	kg/m ³
μ :	viscosité dynamique	kg/s.m
ν :	Viscosité cinématique	m ² /s
φ :	Flux thermique	W
α :	Angle d'inclinaison	°
ε :	Dissipation d'énergie turbulente	
λ :	Conductivité thermique	W/m. K
<i>Nombres adimensionnels</i>		
Re :	Nombre de Reynolds	$\frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$
Pr :	Nombre de Prandtl	$\frac{C_p \cdot \mu}{\lambda}$
Nu :	Nombre de Nusselt	$\frac{hD}{\lambda}$
Ra :	Nombre de Rayleigh	$\frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 \cdot Pr}{\nu^2}$

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

L'apparition de la crise énergétique dans les années 70 illustre la fragilité des systèmes dépendant des énergies fossiles. Avec la raréfaction des ressources de ces énergies et leurs coûts qui prennent l'ascenseur, en plus des effets négatifs des émissions qui en résultent sur le réchauffement de la planète, on commence à prendre conscience des biens faits d'intégrer le climat dans le mode de construire et d'en faire un facteur important dans la recherche architecturale pour adapter les constructions aux conditions climatiques de la région afin d'atteindre le niveau de confort thermique requis à moindre consommation d'énergie.

L'augmentation du prix de l'énergie a suscité l'intérêt d'utiliser des sources d'énergie gratuites et inépuisables comme celles provenant du rayonnement solaire. Une moitié de la consommation d'énergie dans les bâtiments est liée à la climatisation. L'épargne de l'énergie des systèmes de chauffage, ventilation, et climatisation sera réalisée en installant des systèmes efficaces d'énergie, tels que des pompes à chaleur. À la même heure, l'application des technologies d'énergie renouvelable devrait être entièrement étudiée à l'étape de conception pour réduire au minimum le chauffage et les charges de refroidissement du bâtiment.

Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence pour le comportement morale et physique de l'individu. Il est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs.

Dans les pays méditerranéens, le rayonnement solaire pendant les mois d'été est très intense et la température de l'air ambiante se lève souvent jusqu'à 40 °C ou plus. Ce fait en association avec les limitations des sources d'énergie conventionnelles.

Dans les zones semi-arides et arides tel que la région de Ouargla, les besoins de chauffage en hiver sont faibles, bien que réels, mais les besoins de refroidissement, en été, sont beaucoup plus importants.

L'architecture traditionnelle a apporté des solutions liées aux problèmes d'adaptation climatique, mais actuellement l'architecture doit aussi répondre aux exigences de la vie moderne. Les systèmes de refroidissement traditionnels doivent être révisés et

améliorés pour pouvoir répondre de manière adéquate aux exigences du confort thermique dans les constructions actuelles dans les régions arides.

La ventilation naturelle est un élément clé d'une architecture traditionnelle et aussi un facteur essentiel pour l'architecture climatique. Elle permet également d'évacuer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent, d'éliminer l'excès d'humidité et de fournir aux appareils à combustion l'oxygène dont ils ont besoin pour fonctionner sans danger pour notre santé. La ventilation naturelle est à nouveau au goût du jour, à la fois dans les habitations individuelles et dans les bâtiments publics. Renouveler l'air n'est pas le seul objectif de la ventilation. Elle est également utilisée dans les régions arides pour modifier la température intérieure et pour créer une sensation de fraîcheur dans les bâtiments.

Les cheminées solaires sont un genre de technologies d'énergie renouvelable, qui augmentent la ventilation naturelle dans les bâtiments. Elle se compose habituellement d'une vitre, d'une cavité, et d'un mur massif qui absorbe l'énergie solaire. L'air dans la cheminée est réchauffé par l'énergie solaire, et coule vers le haut en raison de la force d'Archimède. Cela peut être une force d'entraînement pour amplifier la ventilation naturelle.

Les cheminées solaires traditionnelles ont été également employés dans l'agriculture pour le renouvellement de l'air dans les granges, les silos, les serres chaudes, etc. aussi bien que dans le séchage de récoltes, grains, fruits ou bois.

Dans ce présent travail, on s'intéresse à la ventilation et le rafraîchissement naturel par les cheminées solaires inclinées, qui sont semblables aux cheminées solaires verticales. L'inclinaison à un certain angle approprié avec le maximum de capture de rayonnement solaire devient donc possible.

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement d'une cheminée solaire, en calculant le taux d'écoulement d'air dans la cheminée et leur dépendance avec la température ambiante et l'intensité du rayonnement solaire. Deux méthodes sont proposées pour cette étude, une expérimentale et l'autre numérique, utilisant le code de calcul FLUENT. Une validation des résultats a été faite par des données extraites de la littérature où des différents écoulements produits sont modélisés en régime turbulent.

Le travail présenté dans ce document comporte cinq chapitres. Le premier présente les différents types de confort, et les techniques de confort employés dans l'habitat traditionnel, ainsi que la conception bioclimatique.

Le deuxième est consacré à la ventilation naturelle, en donnant un aperçu sur les divers modes de ventilation et un mode de refroidissement naturel par un échangeur air-sol. On présente aussi dans ce chapitre les études qui sont réalisés sur la cheminée solaire pour améliorer la ventilation naturelle, où on décrit ces différentes configurations, les conditions expérimentales et les différents résultats atteints, par certains auteurs.

Le troisième chapitre présente l'étude expérimentale dans les conditions climatiques de la région d'Ouargla. En donnant une description du dispositif à étudier et les appareils de mesures employées Les résultats obtenus expérimentalement, nous a permis d'évaluer le degré d'efficacité du système, et de les comparer avec les résultats numériques.

Le quatrième chapitre traite les équations régissant, afin de les simuler par le code de calcul Fluent. Ce chapitre présente aussi les différentes configurations des modèles étudiés et on a déterminé une conception d'un échangeur air- sol.

Le cinquième chapitre, présente une comparaison entre les résultats expérimentaux et ceux obtenus par la simulation correspond à la cheminée solaire. Il regroupe aussi les résultats numériques correspondant à la ventilation d'une pièce ainsi ses interprétations et des discussions.

On achève ce manuscrit par une conclusion générale.

CHAPITRE I

LE CONFORT THERMIQUE ET L'HABITAT

1. Introduction :

L'atmosphère environnante a des incidences à la fois physique et affectives sur l'homme, donc elle occupe une place centrale dans la conception des bâtiments. La mission principale du constructeur est de créer un environnement intérieur et extérieur adapté à toutes activités humaines et ces besoins au confort. Ce chapitre traitera le confort thermique et les interactions des conditions thermiques de l'environnement avec le corps humain. Il présente aussi les techniques et les stratégies adaptées pour créer le confort thermique dans l'habitat traditionnel, ainsi une conception au bâtiment bioclimatique.

2. Habitat et les différents types de confort:

2.1 Définition de confort:

Le confort est une notion globale: chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même [1].

2.2. Le confort respiratoire :

La bonne qualité d'air intérieur traduit par la ventilation est importante pour les processus métaboliques et pour l'hygiène de chacun. La ventilation et la réduction des pollutions à la source sont les garantes d'une meilleure respiration et d'une meilleure santé [2].

L'indicateur de la qualité de l'air est donné dans certaines études par la concentration en dioxyde de carbone [3]. Il a été établi une plage de concentrations de dioxyde de carbone correspondant à une qualité d'air acceptable. Le dioxyde de carbone est produit par la respiration humaine, et sa concentration ne peut être réduite de façon significative que par une ventilation naturelle, ou artificielle suffisante. Le degré de ventilation nécessaire pour maintenir une faible teneur en dioxyde de carbone à l'intérieur permet également de réduire les concentrations d'autres polluants intérieurs et d'améliorer la qualité générale de l'air à l'intérieur.

Le dioxyde de carbone est un indicateur représentatif de la qualité de l'air dans le cas des édifices où d'importantes sources de dioxyde de carbone sont produites par le métabolisme ou par la combustion, ce qui est le cas de la plupart des immeubles d'enseignement ou de bureaux.

Des concentrations de dioxyde de carbone supérieures à 1000 ppm (parties par million) sont synonymes d'un approvisionnement en air frais insuffisant. Cependant, bien d'autres facteurs influent sur la qualité de l'air intérieur, comme l'indique le tableau suivant:

Tableau I.1: Facteurs et sources influant sur la qualité de l'air [3]

Facteur	Source
Température et taux d'humidité extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Emplacement inadéquat des thermostats • Mauvaise régulation de l'humidité • Incapacité du bâtiment à compenser les chargements climatiques extrêmes • Equipement et procédés ajoutés par les occupants.
Dioxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"> • Respiration humaine • Combustion de combustibles fossiles (p. ex. chaudières au gaz et à l'essence, dispositifs de chauffage)
Monoxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"> • Gaz d'échappement des automobiles • (garage, quais de chargement, prises d'air) • Combustion, fumée de tabac
formaldéhyde	<ul style="list-style-type: none"> • Panneaux de contreplaqué ou de particules non scellés • Isolant d'urée-formaldéhyde • Tissus, colles, tapis, meubles
particules	<ul style="list-style-type: none"> • Fumées, prises d'air, papier • Isolant des conduites, résidus aqueux, tapis • Ménages des locaux.
Composés organiques volatils (COV)	<ul style="list-style-type: none"> • Machines à copier ou imprimantes, ordinateurs • Tapis, meubles • Produit de nettoyage, fumée, peintures • Adhésifs, produits de calfeutrage • Parfums, fixatifs pour cheveux, solvants.
Ventilation inadéquate (apport insuffisant d'air extérieur, débit et circulation de l'air insuffisant)	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures d'économie d'énergie et d'entretien • Conception ou fonctionnement inadéquats du système • Mauvais aménagement des locaux • Dérèglement du système
Matière microbienne	<ul style="list-style-type: none"> • Matière humide et mouillées • Humidificateur, plateaux de drainage de condensat.

2.3. Le confort visuel :

Un bon éclairage doit garantir à l'habitant qu'il puisse exercer ses activités le plus efficacement possible, en assurant son bien être et en lui apportant un certain agrément visuel. L'environnement visuel doit permettre de voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable [2].

Le confort visuel peut se définir à partir des conditions d'éclairage, naturel et/ou artificiel, satisfaisantes pour permettre l'activité de l'utilisateur. Cela implique un éclairement lumineux suffisant, une absence d'éblouissement, ainsi qu'un bon rendu des couleurs.

Nous prendrons en compte les deux paramètres suivants :

- l'optimisation de l'utilisation de la lumière naturelle autorisée par l'orientation et les ouvrants vitrés des pièces, paramètres exprimés par le facteur de lumière du jour FLJ. Ce facteur est le rapport de l'éclairement uniformément réparti reçu au point de mesure dans la pièce sur l'éclairement mesuré à l'extérieur (en plein jour au même instant de mesure). Il est exprimé en pourcentage.
- le pourcentage des locaux éclairés artificiellement au niveau conseillé (ou plus) par les réglementations en vigueur [3].

2.4. Le confort acoustique:

Le confort acoustique dépend de la dynamique sonore, c'est-à-dire de l'émergence du son sur le bruit de fond.

Le confort acoustique peut être défini comme la sensation de gêne assurée par l'environnement sonore d'un individu ou d'un groupe d'individus, dont les éléments sont : l'intensité des sons, la propagation et les temps de réverbération, la durée, la nature et le contexte (notion d'acceptabilité sociale des bruits) [2].

La durée de réverbération est notée T_r . Elle est définie comme le temps en secondes mis par un signal pour décroître de 60 dB. Les valeurs habituellement constatées vont de quelques 1/10èmes à 2 secondes.

La durée de réverbération est liée aux caractéristiques de géométrie et d'absorption des locaux. La réverbération est grande si le volume est grand et/ou si l'absorption est faible. Les objectifs de conception pour des salles de 100 à 1000 m³ sont de 0,5 à 0,8 secondes. Le

confort acoustique lié aux caractéristiques principaux d'un local dépend donc : de la typologie usage du local, de son volume, des matériaux des parois [3].

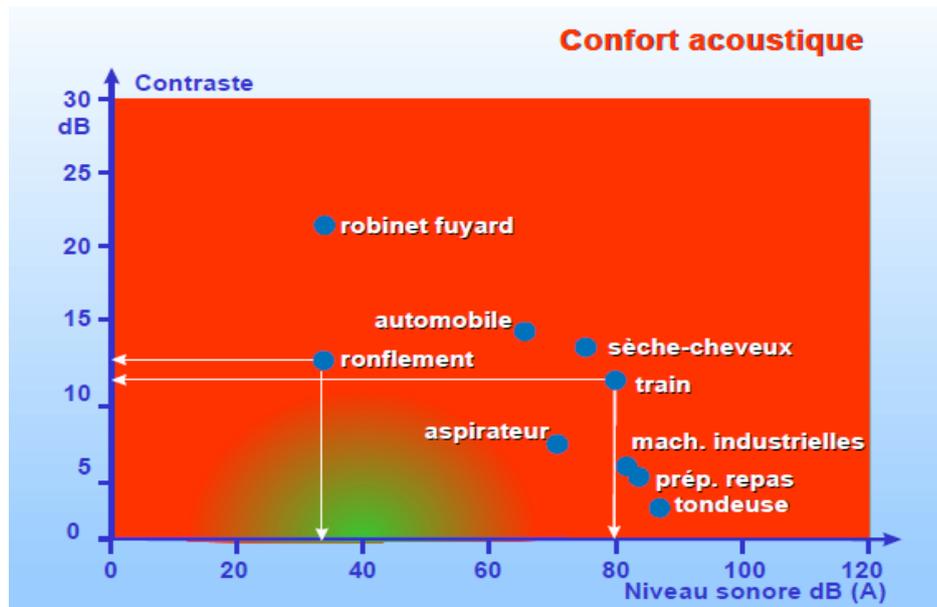


Figure I.1: Plage de confort sonore (en vert) et bruits courants [2]

La figure I.1 rassemble les critères de niveau sonore et d'effet de contraste en situant une plage de confort et la position relative de divers bruits courants. Bien qu'ayant un niveau sonore très inférieur, un ronflement peut être ressenti comme aussi inconfortable que le bruit d'un train. Il est également important de noter que l'absence de bruit ($\text{dB} < 30$) n'est pas confortable (anxiogène) [2].

2.5. Le confort thermique :

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, l'intensité de rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement

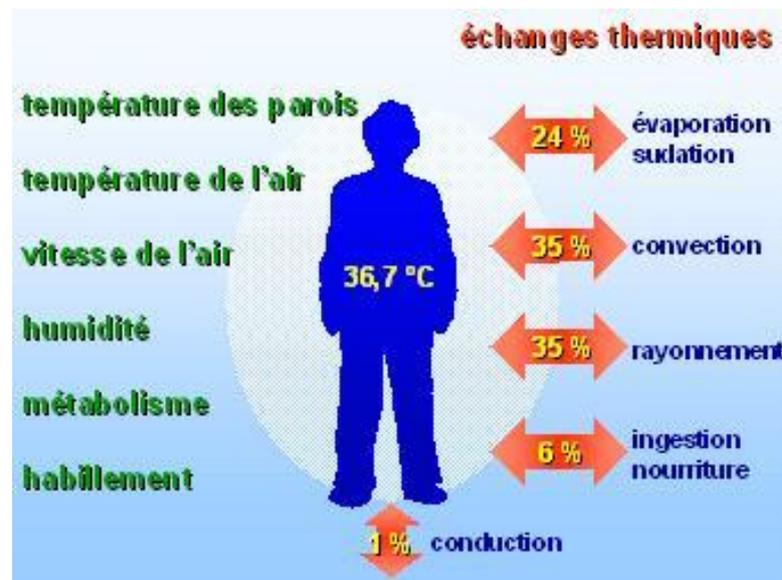


Figure I.2 : Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendant [2].

2.5.1. Définition du confort thermique :

La définition du confort thermique est très complexe en raison de l'interaction de plusieurs variables environnementales et personnelles. Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort [4]. Les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre est l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec son environnement, dépendant de la conjugaison de nombreux facteurs. Certains de ces facteurs sont d'ordre personnel (l'activité physique, le niveau d'habillement, etc.) et d'autres sont des facteurs de l'environnement tels que la température de l'air, le rayonnement solaire, l'humidité relative et le mouvement de l'air.

Le confort thermique a été défini comme l'état satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique établi par échange thermique entre le corps et son environnement [2]. Le confort thermique dépend de contexte et des caractéristiques individuelles. Il conçu comme un processus adaptatif dynamique qui intègre les différents mécanismes physiques, physiologiques et psychologiques [5].

2.5.2. Sensation et le confort :

Le corps humain réagit par une interaction dynamique mobilisant un ensemble des réactions rétroactives, qui permettent de contrôler les échanges thermiques avec l'environnement. Selon l'intensité des échanges thermiques et des réactions avec le milieu, le corps peut éprouver une sensation de fraîcheur ou de tiédeur.

L'étude du confort thermique doit être menée en considérant des différents aspects physiques, physiologiques, et psychologiques.

2.5.2.1. L'aspect physiologique : la thermorégulation:

L'homme dispose d'un système dynamique de thermorégulation qui permet de contrôler et de réguler les échanges de chaleur interne et externe du corps humain, afin de maintenir les températures du corps à leurs valeurs de consigne [5]. Deux types de thermorégulation peuvent être distingués: une thermorégulation physiologique végétative dont le but est de garder la température interne autour de 37°C, et une thermorégulation comportementale, qui permet d'anticiper les changements rapides dans l'environnement afin de limiter les réactions physiologiques [6],[7].

2.5.2.2. L'aspect physique (les échanges de chaleur):

L'homme produit et échange de la chaleur avec son environnement. Sa production de chaleur interne se répartit dans sa masse corporelle tandis que ses échanges thermiques externes se font à la surface cutanée [5],[6],[7].

L'habillement joue un rôle très important, dont la manière est ressentie les effets de ces échanges qui se font suivant ces mécanismes suivants:

- **Effet dû à la conduction:** Il s'agit des échanges thermiques qui ont lieu quand le corps est en contact avec une surface (chaise, fauteuil, canapé, lit). Ces échanges sont limités en importances.
- **Effet dû à la convection:** il s'agit des échanges de chaleur liés au mouvement de l'air autour du corps. Ils sont d'autant plus intenses lors que la vitesse de l'air est importante et que l'écart de température entre l'air et le corps est grand.
- **Effet dû à la radiation:** il s'agit des échanges de rayonnement infrarouge avec les parois qui peuvent être froides ou chaudes. La température de rayonnement correspond à la température des surfaces avec lesquelles le corps humain échange de la chaleur. Le flux radiatif dépend de la constante de Stefan-Boltzmann, de l'émissivité des corps, des différences des puissances de températures des surfaces et des facteurs de forme.
- **Effet dû à l'humidité:** Il s'agit d'échange par déperdition calorifique évaporatoire au niveau cutané et aux surfaces mouillées (lèvres, yeux, voies respiratoires). l'humidité n'a pas beaucoup d'impact sur les échanges thermiques.

2.5.2.3. Le bilan thermique :

La chaleur métabolique produite dans le corps peut être stockée dans celui-ci induisant une élévation de la température interne, ou dissipée dans l'environnement à travers la surface cutanée et par voie respiratoire (figure I.3). Le bilan thermique du corps s'écrit de la façon suivante. [5],[6],[7]

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} + S = (C + R + K + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + S_{sk} + S_c \quad (I.1)$$

M = taux du métabolisme, W/m^2

W = travail externe, W/m^2

Q_{res} = flux de chaleur échangé par vois respiratoire, W/m^2

Q_{sk} = flux de chaleur échangé à la surface cutanée, W/m^2

S = taux de chaleur stockée dans le corps, W/m^2

C_{res} = flux de chaleur échangé par convection respiratoire, W/m^2

E_{res} = flux de chaleur échangé par évaporation respiratoire, W/m^2

E_{sk} = flux de chaleur échangé par évaporation à la surface cutanée, W/m^2

C = flux de chaleur échangé par convection à la surface de la peau, W/m^2

R = flux de cha leur échangé par rayonnement à la surface de la peau, W/m^2

K = flux de chaleur échangé par conduction à la surface de la peau, W/m^2

S_c = taux de chaleur stockée à l'intérieur du corps, W/m^2

S_{sk} = taux de chaleur stockée dans la peau, W/m^2

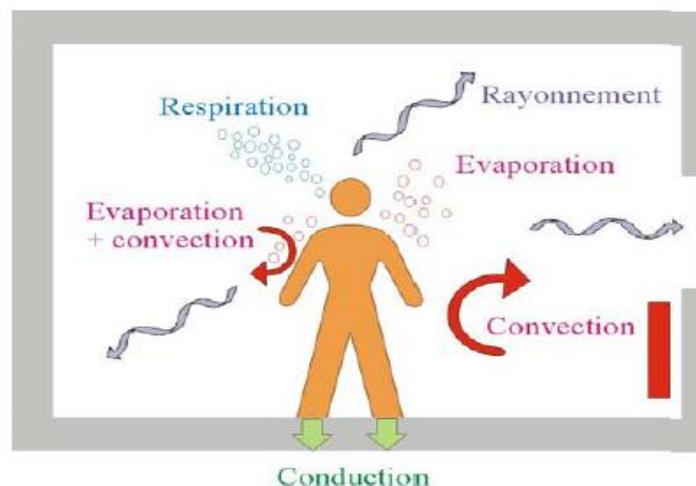


Figure I.3: Interaction thermique entre le corps humain et son environnement.

2.5.2.4. L'aspect psychologique: sensation thermique :

L'aspect psychologique concerne la sensation et le comportement de l'individu dans un environnement thermique. La sensation thermique correspond à l'aspect qualitatif et quantitatif de la perception de l'état thermique personnel. Elle est liée aux messages sensoriels des différents thermorécepteurs. Elle dépend uniquement de l'état thermique personnel et non pas de l'environnement thermique. La sensation du froid dépend de la température cutanée, et la sensation au chaud dépend de la température cutanée puis à celle interne [5],[7].

2.5.3. Les paramètres du confort thermique:

2.5.3.1. Les températures:

Compte tenu de son importance dans l'intensité des échanges thermiques, il est naturel de s'intéresser à la température qui caractérise l'ambiance du logement [2]. On distingue:

- **La température de l'air ambiant:** C'est la température de l'air mesurée à l'ombre, comprise généralement entre 19°C en hiver et 26°C en été. L'enveloppe de l'habitat doit être capable de maintenir la température dans cette fourchette malgré les écarts de la température extérieure. Ensuite, il faut assurer une certaine homogénéité dans l'espace.
- **La température des parois:** La température des parois influence les échanges thermiques par rayonnement. Elle est égale à la moyenne des températures des parois environnantes pondérées par leur surface.
- **La température ressentie:** C'est la combinaison air/parois. Pour une humidité donnée, en l'absence de courant d'air douillet, on estime que la température effectivement ressentie est la moyenne entre celle de l'air et celle des parois.

Le tableau (I.2) présente les températures du confort selon la saison dans certains lieux, classés en trois catégories.

Tableau I.2 : Les exigences de confort thermique pour des types de lieux [5].

Type de bâtiment /Lieu	catégorie	Température opérative (°C)		Vitesse moyenne max de l'air (m/s)		
		Eté (saison de refroidissement de l'ambiance)	Hiver (saison de réchauffement de l'ambiance)	Eté (saison de refroidissement de l'ambiance)	Hiver (saison de réchauffement de l'ambiance)	
Bureau individuel « espace ouvert »	A	24.5 ± 1.0	22.0 ± 1.0	0.12	0.10	
Salle de conférence	B	24.5 ± 1.5	22.0 ± 2.0	0.19	0.16	
auditorium						
Restaurant	C	24.5 ± 2.5	22.0 ± 3.0	0.24	0.21	
Salle de classe						
catégorie	Différence verticale de température (°C)	Plage de température du sol (°C)	Asymétrie de rayonnement de température (°C)			
			Plafond chaud	Mur froid	Plafond chaud	Mur froid
A	< 2	19-29	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 3	19-29	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 4	17-31	< 5	< 13	< 18	< 35

2.5.3.2. Humidité relative :

L'air contient de la vapeur d'eau. Le taux d'humidité (qui varie de 0 à 100%), mesure la quantité d'eau. Plus la température augmente, plus l'air peut contenir de la vapeur d'eau : à 15°C, l'air contient 10g de la vapeur d'eau par kg d'air, alors qu'à 20°C, cette quantité passe à 15g. Entre 30 et 70%, l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort thermique. Nous restons dans la zone de confort. Sous 20%, l'air est trop sec et au delà de 80%, trop humide [2].

- **La plage de confort température-humidité :**

Pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de 22°C, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %.

Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans le diagramme présenté sur la figure I.4.

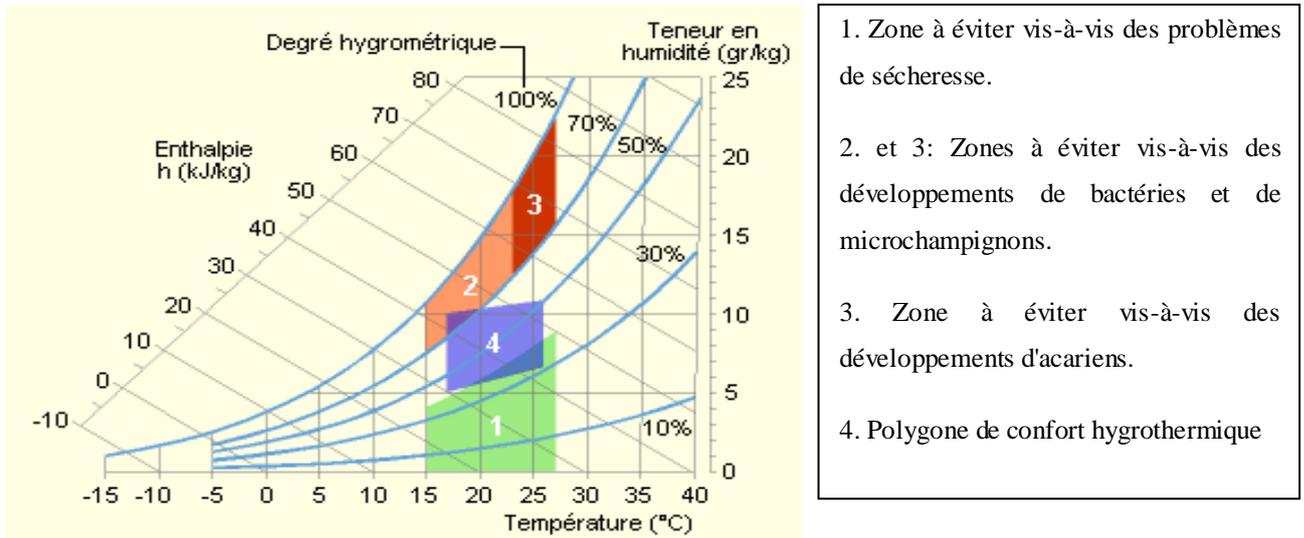


Figure I.4: Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide [8]

2.5.3.3. Mouvement de l'air :

Le mouvement de l'air est un paramètre très important du confort. Il affecte le corps humain de deux façons différentes. Tout d'abord il détermine l'échange de chaleur convectif du corps [9], et augmente l'évaporation à la surface de la peau. La vitesse de l'air influence le confort dès qu'elle est supérieure à 0.2 m/s [2], [7].

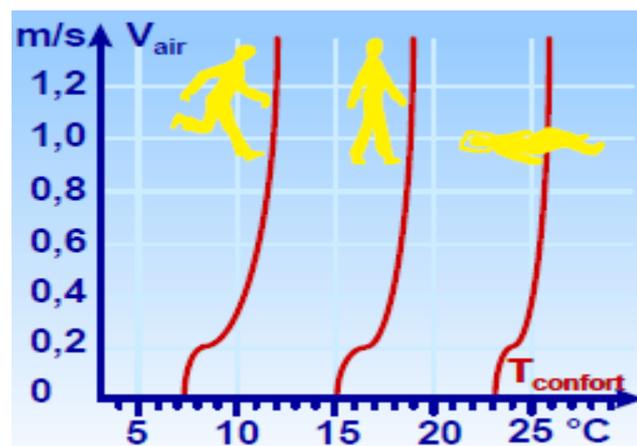


Figure I.5 : Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen [2]

La figure I.5 met en relation la vitesse de l'air et la sensation de confort. Les courbes représentent les températures de confort déterminées statiquement pour différents niveaux d'activité, une tenue d'intérieur d'hiver et une humidité relative de 50%. Les températures de confort varient d'environ 3°C autour des vitesses de l'air comprises entre 0.1 et 0.3 m/s, c'est-à-dire autour du seuil de perception des courants d'air, alors qu'elle est réduite tant

pour les vitesses inférieures à 0.1 m/s qu'au-delà de 0.5 m/s. La figure I.5 illustre donc particulièrement bien la sensibilité du corps aux courants d'air.

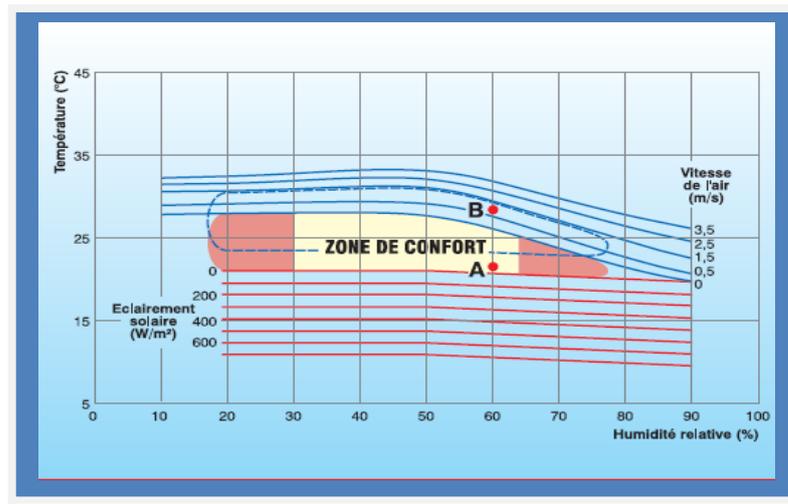


Figure I.6: Zones de confort thermique en fonction de la vitesse de l'air [2]

Le schéma présente la température de confort en fonction de l'humidité relative et de la vitesse de l'air. Ce schéma indique qu'en climat sec, une température plus élevée qu'en climat humide est acceptable. L'évaporation par sudation de la peau est plus efficace lorsque l'humidité relative est moindre. En augmentant la vitesse de l'air dans une certaine limite, la zone de confort se déplace vers le haut.

2.5.4. Stratégies d'évaluation du confort thermique :

Il existe en littérature des méthodes d'évaluation du confort thermique, basées sur des expérimentations menées par différents chercheurs et mettant en œuvre différents paramètres de détermination du confort thermique. Plusieurs méthodes de combinaison ont été développées par les chercheurs pour la manipulation simultanée des variables du confort. Parmi ces méthodes, on peut citer quelques unes: Température effective, Indice de confort équatorial, Indice de contrainte thermique, Diagrammes bioclimatiques (Givoni, Olgyay, Etc.), Température opérative, PMV, PPD.

2.5.4.1. Diagramme bioclimatique de Givoni:

La méthode d'Olgyay est recommandée pour assurer le confort en climat chaud et humide figure I.6. En 1978 B. Givoni a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychrométrique figure I.7. La zone de confort est positionnée au centre, entre les températures 20 et 26°C. L'aire

extérieure à cette zone est subdivisée en zones secondaires, où il propose des procédures permettant de réintégrer les conditions de confort [10].

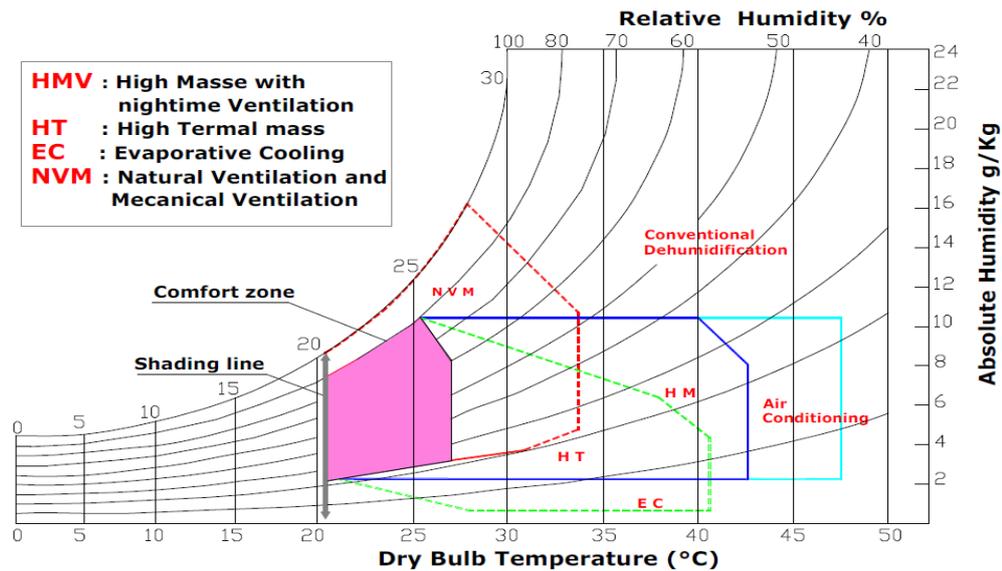


Figure I.7: Diagramme bioclimatique de Givoni.

2.5.4.2. Indices de confort thermique:

Le Vote Moyen Prévisible (PMV) et le Pourcentage Prévisible d'Insatisfaction (PPD) sont des indices qui permettent de vérifier si un environnement thermique donné amène au confort par grand nombre de gens situés dans le même environnement.

La norme ISO-7730 propose les indices PMV et PPD comme moyen d'évaluer l'environnement thermique pour divers combinaisons de l'habillement et de l'activité, avec quatre variables d'ambiance (température d'air, température radiante, vitesse de l'air et humidité relative) [5].

3. Données climatiques et le confort:

Le climat est l'ensemble des circonstances atmosphériques propres à une région du globe, il exprime les conditions dominantes, et se détermine par différentes éléments, leurs combinaisons et leurs interactions. Lorsqu'on considère le confort humain et l'habitat, les éléments climatiques principaux sont: Le rayonnement solaire, la température, l'humidité, les précipitations et le vent [11].

3.1. Caractéristiques climatiques des zones arides et semi-arides:

3.1.1. Climat aride :

On retrouve ce type de climat dans les versants ouest des continents entre l'altitude suivante 20- 25° N et S (extrêmes 15- 30° N et S). Deux saisons caractérisent ce type de climat : une chaude et une deuxième très fraîche.

3.1.2. Climat semi-aride :

Steppes aux latitudes basses, qu'on retrouve dans les zones équatoriales du désert. La végétation est également éparse, mais un peu plus abondante que dans le premier type. Ressemble au niveau du climat au type aride avec une période sèche assez longue et une courte période de pluie durant l'été. les précipitation ont lieu en période (quantité annuelle variable, mais toujours inférieur à 500 mm). Comme les précipitations ont lieu en période est à son maximum, elles ne sont pas très efficaces pour la végétation [10].

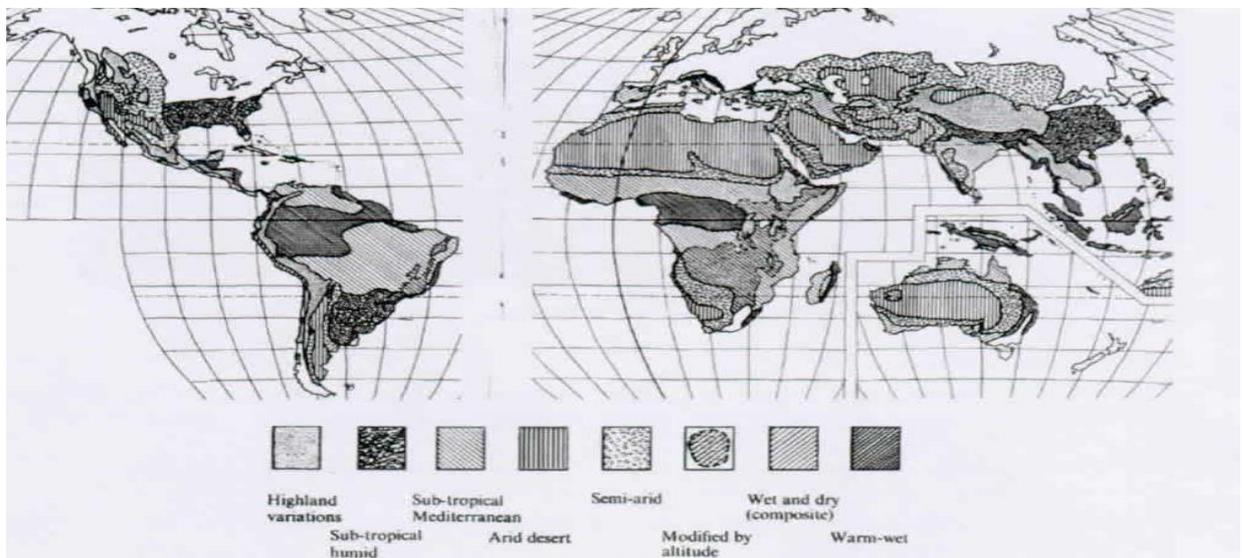


Figure 1.8 : Zones arides et semi arides dans le monde [10].

3.2. Caractéristiques climatique de l'Algérie :

3.2.1. Données géographiques :

D'une superficie de 2.381.741 Km², l'Algérie présente une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en trois catégories :

1. Le Tell : climat tempéré humide de type méditerranéen.
2. Les Hautes plaines : climat de type continental.
3. Le Sahara : climat aride et sec.

Elle est compose entre les latitudes 18° et 38° Nord, et entre 9° de longitude Ouest, et 12° de longitude Est, le méridien international 0° Greenwich passant près de Mostaganem. Les distances entre le nord et le sud, l'est et l'ouest varient de 1500 à 2000 Km [10].

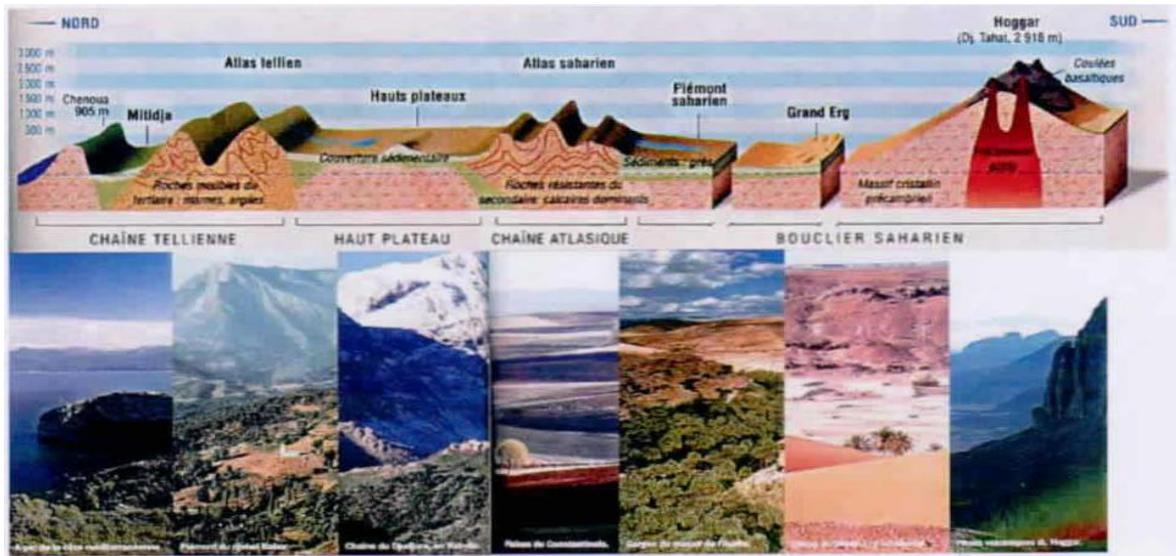


Figure I.9 : Coupe transversale Nord-Sud du relief [10]

3.2.2. La classification climatique à partir des indices :

De très nombreux indices climatiques ont été définis empiriquement pour permettre la plus au moins grande aridité d'un climat [12].

1- Martonne en 1923 a calculé un indice d'aridité pour caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température.

$$IDM = P / T + 10 \tag{I- 1}$$

Avec, P : précipitation annuelles.

T : température moyenne annuelle.

Martonne a proposé ainsi la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice données au tableau ci-dessous.

Tableau I.3: Indices de Martonne

Valeur de l'indice	Type de climat
0 < IDM < 5	Hyper aride
5 < IDM < 10	Aride
10 < IDM < 20	Semi aride
20 < IDM < 30	Semi humide
30 < IDM < 55	humide

2- En 1930 L. Emberger a établi le quotient pluviothermique pour caractériser le climat méditerranéen et ses nuances. L'indice s'exprime ainsi :

$$QE = n.p / 3.65 (M + m) (M - m) \quad (I-2)$$

n.p: nombre moyen de jours des précipitations annuelles par sa hauteur moyenne.

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

3.2.3. Zones climatiques en Algérie :

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales (voir figure I-10) :

Zone A : Littoral marin ;

Zone B : Arrière littoral montagne,

Zone C : Hauts plateaux ;

Zone D : Présaharien et saharien.

Le littoral marin jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.

Le climat de l'arrière littoral montagne est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.

Or, le climat des hauts plateaux est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.

Le climat Présaharien ou saharien est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre avec les vents intenses de siroco [12].

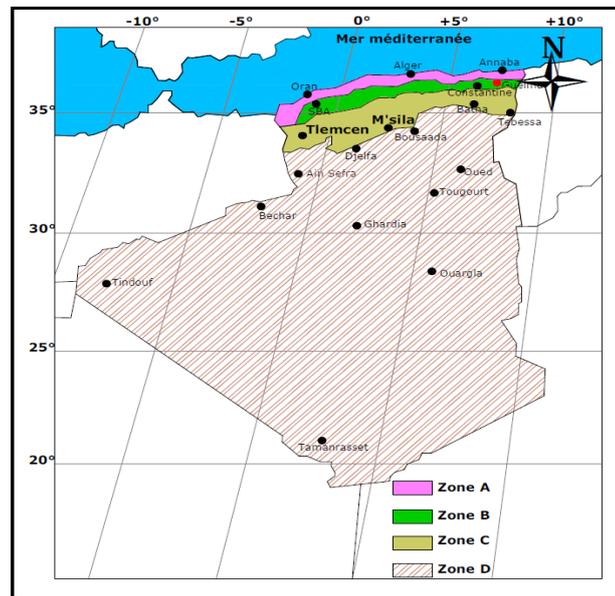


Figure I.10: Classification du climat en Algérie [12].

3.3. Climat de la région d'Ouargla :

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

Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 35.1°C. Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 11.7°C.

Les précipitations sont rares et irrégulières et varient entre 0.3 mm et 14.4 mm par ans exceptionnelle. Les précipitations moyennes annuelles sont de 77 mm/an à Tougourt et de 48.8 mm/an à Ouargla.

Le Sirocco (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année, avec une vitesse pouvant atteindre 4.2 m/s.

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

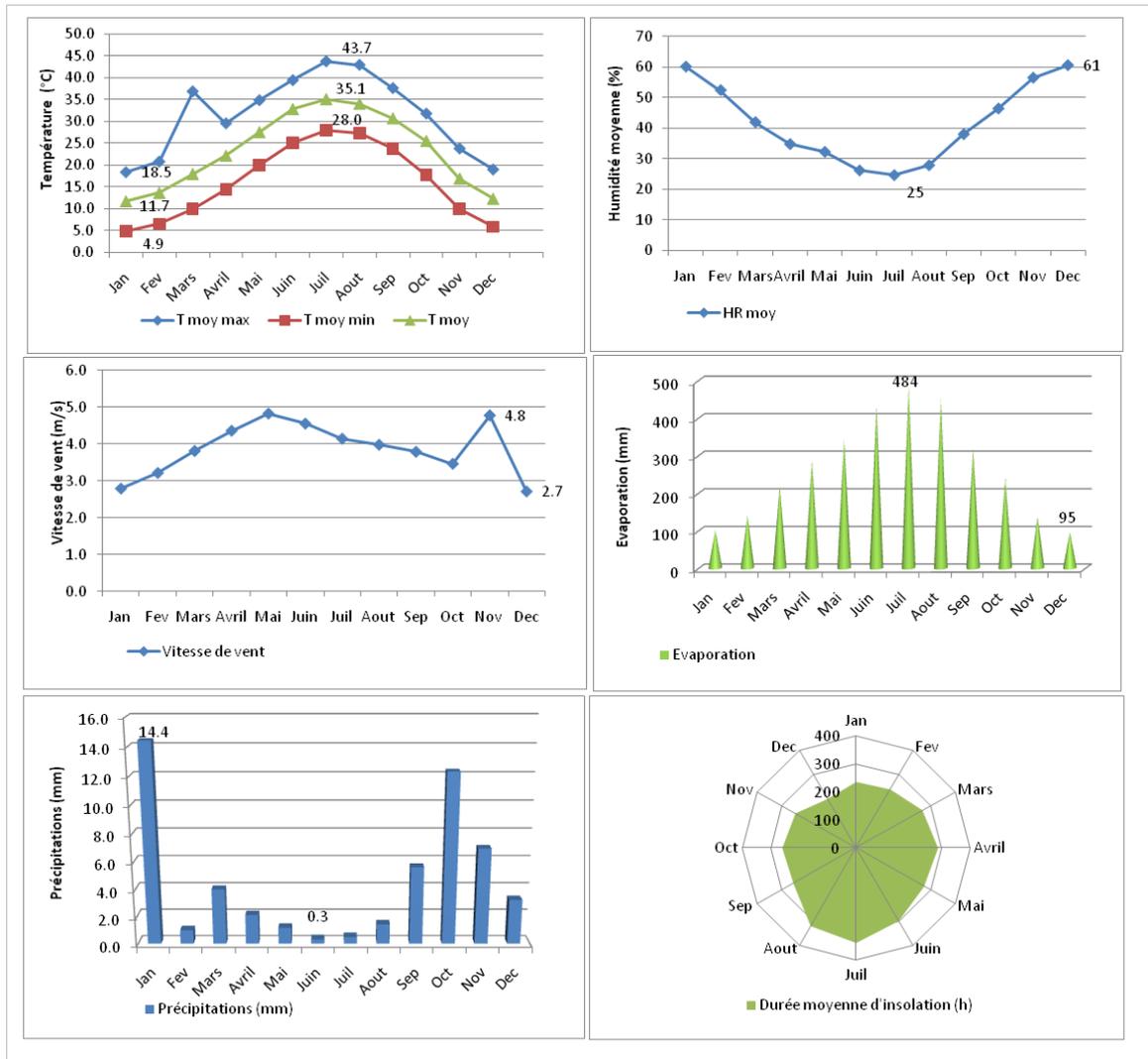


Figure I.11 : Interprétation des données climatiques de la région d'Ouargla (1997-2009)

(D'après ONM, et réadapté par l'auteur)

L'étude quantitative du climat de la ville d'Ouargla révèle que le climat est justement, de type aride, conformément à la théorie de « De Martonne ». D'après les conditions climatique de la région de Ouargla et les tableaux de **Mahoney** (voir l'annexes), on peut distinguer trois zones principales :

La zone de sous chauffe qui s'étale durant la saison d'hiver le jour comme la nuit, et la saison de printemps (Mars et Avril) et l'automne (Octobre et Novembre) uniquement la nuit.

La zone de confort, présente en mois de Mars, Avril, Octobre et Novembre le jour et les mois de Mai et septembre la nuit.

Enfin **la zone de surchauffe** qui dure pendant l'été durant toute la journée et le jour pour les mois de Mai et Septembre.

4. L'habitat traditionnel :

L'homme a très peu d'adaptation naturelle au climat. Il doit lutter contre son environnement climatique par : la climatisation, le vêtement, l'abri. L'adaptation au climat est une des composantes de l'habitation traditionnelle. Bâtir une maison, c'est aussi transformer un environnement extérieur hostile en un microclimat intérieur agréable [11].

L'habitat traditionnel compose la plus grande partie de l'environnement bâti de l'homme, l'analyse de la conception et de l'utilisation de cet habitat font apparaître pleinement toutes les richesses. La somme extraordinaire de connaissances technique (particulièrement en termes d'économie d'énergie et de matériaux) de possibilité d'adaptation contenue dans l'habitat traditionnel fait partie du patrimoine humain.

Les études sur l'architecture traditionnelle et leur adaptation au climat chaud sont jusqu'à présent nécessaire pour répertorier l'ensemble des techniques traditionnelles passives de régulation thermique.

4.1. Les matériaux de construction :

L'homme a utilisé les matériaux les plus disponibles et les moins coûteux qu'il peut trouver : ceux qui se trouvent à sa portée, ressources du sol, du sous-sol, du couvert végétal, qui ont l'avantage d'être facilement exploitables, renouvelables et adaptées à son environnement.

Il existe quatre catégories de matériaux : la terre, la roche, les végétaux, et les matériaux d'origine animale. Les figures (I.12, I.13, I.14) présentent des exemples de constructions traditionnelles.

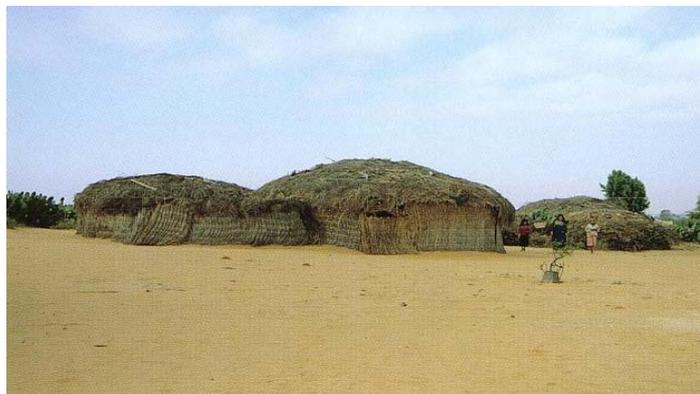


Figure I.12: Habitat construite entièrement en matériaux végétales [13]



Figure I.13 : Habitat en tissage



Figure I.14: Usage de matériaux locaux (la pierre) au Yémen [12]

4.2. Techniques d'adaptation sur le plan urbanistique :

4.2.1. Choix du site d'implantation :

En climat chaud et sec, des villes entières (Ghardaïa en Algérie par exemple) s'installent dans les creux des vallées. Les nuits dans ces régions étant froides, l'air ambiant voit sa température fortement baissée de 10 à 15° au moins par rapport au maximum de la journée.

L'air froid, plus lourd que l'air chaud, remplit les creux des vallées. Dans la journée, son réchauffement n'intervient que deux ou trois heures plus tard après le lever du soleil, et aussi deux ou trois heures plutôt avant le coucher. C'est l'effet de l'ombre portée du paysage tout au tour de la vallée qui réduit de quelques heures. De plus, cet air préalablement refroidi la nuit, reste souvent très calme ou très peu agité car son échauffement observé se fait en général par convection naturelle. La disposition au creux de vallée protège contre les vents chauds et diminue l'agitation de l'air. Une différence de température de 5 à 10° existe entre l'air de la vallée et celui des plateaux qui l'entourent [13].

Dans certaines régions au fond des vallées, certaines parties des maisons sont enterrées dans le sol (caves). Dans ces caves en plus de la réduction de nombre de surfaces exposées aux rayons solaires directs, on exploite les propriétés thermiques de la terre.



Figure I.15: Un exemple de regroupement des maisons dans un creux de vallée à Ghardaïa [13].

4.2.2. Utilisation d'un tissu compact:

Le type de l'habitat compact est le type le plus fréquent dans les villes maghrébines comme le cas de l'habitat des Casbahs et des Ksour en Algérie, au Maroc et en Tunisie, ou dans les villes orientales comme le cas de l'habitat en Egypte et en Syrie. La forme urbaine de ce type d'habitat est très adaptée aux conditions climatiques sahariennes le ksar reste la forme la mieux adaptée au climat saharien.

Le tissu urbain se présente sous forme d'un modèle horizontal, dense et compact, ayant un double effet: la protection du rayonnement solaire intense de l'été, et les vents dominants chauds et froids [14],[15].

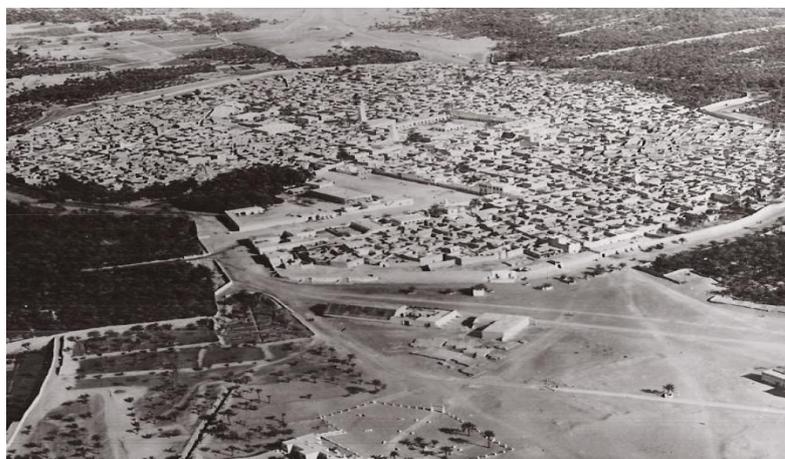
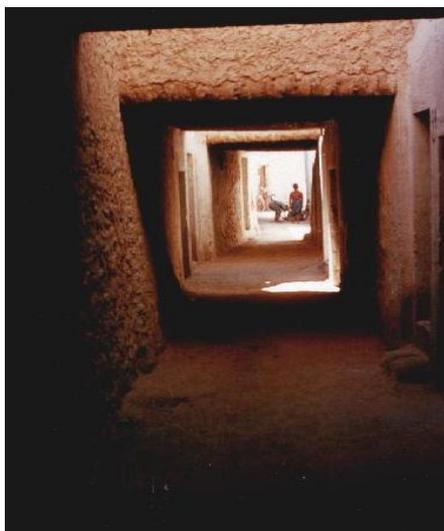


Figure I.16: vue aérienne de ksar d'Ouargla



Figure I.17 : Vue des maisons serrées dans la ville de Ghardaïa [13]

En plus, la forme urbaine compacte de ses groupements, ses rues, ruelles et impasses étroites et sinueuses créent de l'ombre et minimisent les surfaces extérieures exposées au rayonnement solaire [8]. Ces rues sont protégées par les encorbellements des pièces de l'étage supérieur ou entièrement par des projections des pièces construites en portes à faux au dessus des rus. L'introversion de son espace habité à son tour rend l'habitation protégée de toute insolation ou effet de nuisance sonore et climatique. Tous ces facteurs font de ces ksour une parfaite leçon d'intégration dans un milieu semi-aride sur le plan du confort thermique [15].



(a)



(b)

Figure I.18: Exemple d'une ruelle à (a) ksar d'Ouargla, (b) ksar de Timimoune

4.3. Techniques d'adaptation sur le plan architectural :

En plus de ces dispositifs généraux qui sont pris pour un village, une agglomération, ou une ville, des dispositifs particuliers sont aussi pris pour les bâtiments : l'orientation, le type de matériaux de construction et la forme.

4.3.1. L'inertie de l'enveloppe :

Les types de matériaux de construction utilisés en général sont ceux qui favorisent surtout l'isolation thermique du bâtiment (paille par exemple), lui assure une inertie thermique pouvant entraîner un déphasage horaire variant entre 6 à 8 heures, le maximum de température est alors atteint en début de la nuit ou la température extérieure est inférieure à celle de l'intérieur; toutes les fenêtres et les portes sont alors ouvertes, un refroidissement rapide de l'intérieur du bâtiment y améliore le confort, et réduisent fortement l'absorption du rayonnement solaire (chaux, peintures sélectives, blanches).

4.3.2. Les archétypes de l'habitation lourde :

Les formes des bâtiments varient suivant les régions. Elles sont souvent adoptées pour échanger au maximum les radiations avec la voûte céleste la nuit et réduire dans la journée l'influence des rayons solaires. Nous présentons ici quelques formes rencontrées dans la littérature.

- **L'habitat enterré :**

L'habitat souterrain, troglodytique prend l'avantage d'une large capacité de stockage thermique de la terre avec une grande épaisseur de terre au dessus de la toiture, ce qui rend l'espace intérieur fortement isolé et la température presque constante où légèrement variable. Ces habitations souterraines présentent les solutions les plus radicales aux problèmes thermiques (la terre par sa grande inertie thermique fournit à l'habitation la chaleur en hiver et la fraîcheur en été. Exemple les sous sol des habitations du M'Zab, les balcons de Ghoufi et Matmata en Tunisie, voire figure (I.19), et (I. 20). Ce type d'habitat existe aussi en Turquie ainsi qu'en Palestine [14].

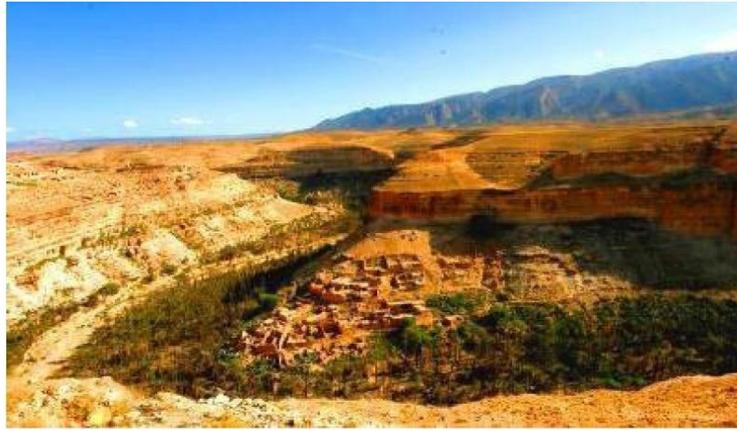


Figure I.19 : Habitat troglodytique, Troglodytes Latéraux, Balcon de Ghoufi en Algérie [13]



Figure 1.20: L'architecture troglodytique « Matmata» en Tunisie [12]

- **L'architecture massive :**

Procurer la stabilité de la température à l'intérieur entre le jour et la nuit et entre l'été et l'hiver est un élément important dans le confort. Ceci est obtenu naturellement par l'utilisation des éléments de structure lourds. Les maisons anciennes avec leurs murs épais assurent la fraîcheur en été et l'isolation du froid en hiver [12]. La maison iranienne, et celle de Yémen ont y parmi les exemples de cette architecture massive en climat chaud, où l'usage de matériaux locaux comme la pierre (Figure I.14)

En climat tempéré à froid l'architecture massive est aussi présente la pierre le matériau lourd le plus fréquemment utilisé (Figure I.21).



Figure I.21: L'architecture massive en climat tempéré à froid : exemple de la France [12]

- **L'habitat tour :**

Les habitations tours sont caractérisées par un grand développement en hauteur, qui atteint neuf niveaux à Sana'a et de dix sept mètre à Rosette et Djeddah. Ces exemples sont généralement caractérisés par l'extraversion de leurs architectures qui se manifeste par une forte abondance et une grande variété de fenêtres (petites fenêtres en bois rouge) laissant pénétrer l'air et la lumière. Naturellement, ce type de maisons est totalement dépourvu de cour intérieure et lorsqu'elles existent, elle se réduit à des puits de lumière placés latéralement. Ce type d'habitation forme l'enceinte proprement dite à cause de sa densité, opacité et son tracé symétrique [14].

Les matériaux de construction sont généralement caractérisés par les fondations qui sont construites en pierre, ainsi que les murs inférieurs, qui sont suivi de murs en briques de terre séchée et d'épaisseur 40 à 50 cm. Les planchers sont faits de troncs d'arbres de 3,00 m à 3,50 m maximum de portée espacée de 50 cm à 70 cm et qui supportent un plafond de branchages recouvert d'une couche de terre d'environ 25 cm à 30 cm protégée par un dallage de pierres ou d'une couche d'enduit de plâtre mélangé avec du gypse, le toit est plus épais que le plancher.

La tour a été améliorée d'un porche en saillie et les fouilles néolithiques ont livré sur tout le pourtour de la méditerranée des vestiges circulaires : ovales ou mêmes carrés à angles arrondis, couverts de toits coniques en pierre, parfois partiellement enterrés,



Figure I. 22: Vue des tours dans un hôtel en Italie construits récemment [57]

4.3.3. L'humidification des espaces :

L'évaporation d'eau abaisse la température de l'air à son voisinage tout en chargeant cet air en vapeur d'eau. Les jets d'eau sont utilisés pour absorber une partie de la chaleur des bâtiments.

Cette énergie sert à l'évaporation des gouttelettes d'eau. L'air dans le bâtiment voit sa température baisser en se rapprochant de la température humide, son hygrométrie absolue et relative augmente. Alors cet air est agréable à la respiration car il limite fortement les risques de dessèchement des voies respiratoires.

4.3.4. La végétation:

Les solutions traditionnelles les plus fréquentes :

- Aménager autour des demeures des étendues des jardins et de cours (figure I.23) pour permettre au vent de les aborder au niveau même du sol.
- Consiste à arroser le sol des cours aménagé des bassins et jets d'eau, (figure I.24) le sol refroidi attire les couches d'air. L'inconvénient de ce système est qu'il demande des quantités énormes d'eau du fait de l'évaporation rapide.
- Aménager des constructions légères, galerie à arcature pour ménager de l'ombre sans briser le courant d'air et créer un microclimat confortable.



Figure I.23: Habitat dans la palmeraie de Béni-Izguen à Ghardaïa [13]



Figure I.24: Aménagement de bassin et végétation autour des maisons en pierre dans les montagnes de Haras au Yémen [58]

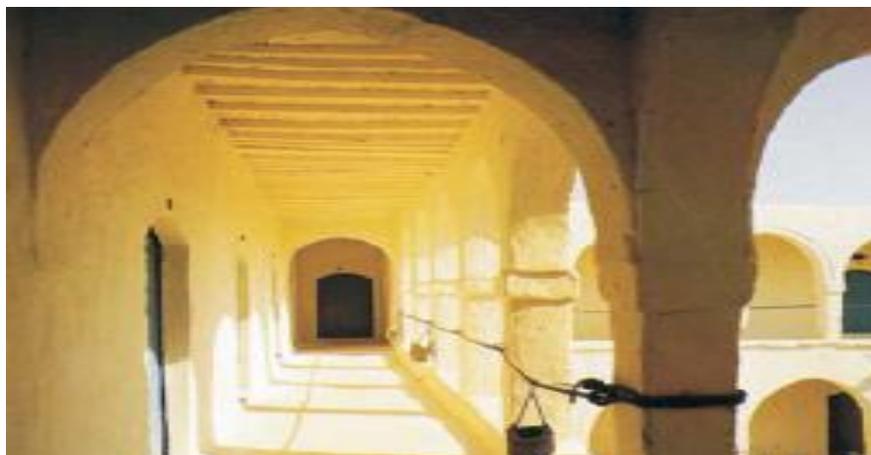
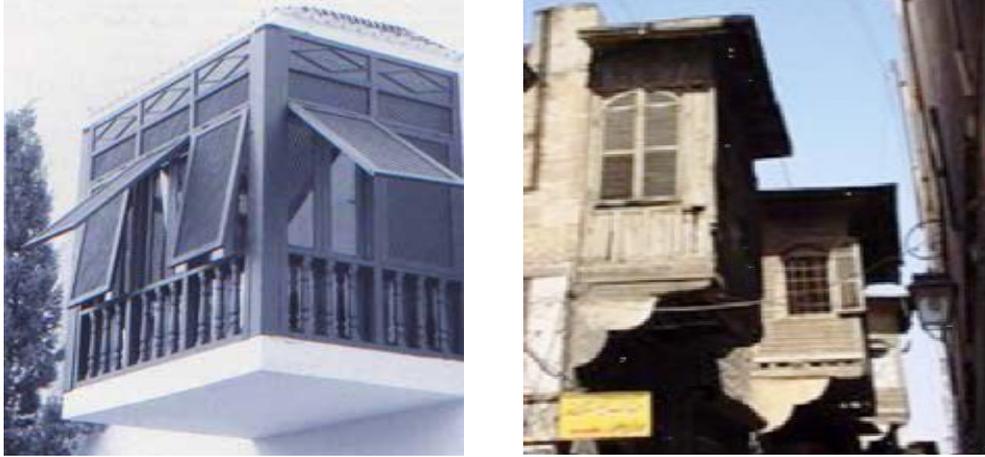


Figure I.25: Ombrage et enduit blanc sur construction massive (Tunisie) [2]

4.3.5. Protection solaire :

- **Le moucharabieh :**

Les moucharabiehs des pays arabes combinent la protection solaire et l'aération nocturne. Le jour, les grilles en bois à claire-voie, fermées, laissent passer la lumière mais pas le soleil. Le soir, la partie ouvrante des grilles est relevée sur les trois côtés du balcon, facilitant la pénétration de l'air et la création d'un courant d'air. Ce dernier est rafraîchi par évaporation de l'eau de la jarre poreuse que l'on dépose à cet endroit.



La figure I.26: Détails de moucharabieh en Syrie

- **Les types de percements sur les façades :**

Les percements assurent en principe (simultanément ou séparément) la vue de l'intérieur vers l'extérieur, l'éclairage et l'aération. On distingue deux types de base de percement des maçonneries qui sont le trou isolé et le claustra, le premier réglable le second ne l'est pas et chacun procure une qualité d'éclairage appropriée (figure I.27).



Figure I.27: Trou isolé d'un bâtiment à Al Hajjarayn, Wadi dawau au Yémen [59]

- **les espaces intermédiaires :**

Les espaces intermédiaires sont nombreux (porches, galerie, portique, loggia, iwan, et éléments de prolongement comme les ouvertures (portes, fenêtres et cheminées)). Ils contribuent à enrichir la relation entre les espaces non bâtis ouverts et les espaces bâtis. Il existe deux catégories d'espaces intermédiaires, dont la première relève les porches, portiques, galeries, etc....., qui servent au groupement, distribution, circulation et autres activités, et du point de vue climatique, ils desservent et prolongent les espaces bâtis et améliorent leurs habitabilité.

La deuxième catégorie relève les portes, les fenêtres, les moucharabihs, les claustras et autres, qui fonctionnent entre le bâti et le non bâti comme éléments de passages d'air, lumière et rayons solaires [14].



Figure I.28: Vue d'une galerie à kasar d'Ouargla.

- **Les murs acrotères :**

Les murs acrotère sont généralement rencontrés dans les toitures terrasses où les terrasses utilisées en plein air durant les nuits de l'été, cas des maisons de M' Zab.

La terrasse est divisée en plusieurs espaces pour des raisons d'intimité. Les hauteurs des murs de séparation dépassent un peu la hauteur d'un homme pour briser les regards directs. Les murs acrotères et de séparations ont un deuxième rôle plus important qui réside à offrir de l'ombre à la terrasse pendant la journée en la protégeant des rayons solaires directs et par conséquent diminue les échanges thermiques considérablement [13].

4.3.6. Les techniques du mouvement d'air:

- **Les tours à vent :**

En Iran, des techniques élaborées sont utilisées de puis de nombreux siècles. Les maisons et les réservoirs d'eau sont rafraîchis par des tours à vent ou *badgir*, qui captent les vents au-dessus des toits. Ce sont en général des cheminées rectangulaires d'environ trois mètres sur cinq et d'une quinzaine de mètres de haut. La partie supérieure de la tour comporte des ouvertures verticales qui dépassent au-dessus des toits, "attrapent" en altitude les vents plus rapides et moins chargés de sable. La partie inférieure s'ouvre dans la pièce à rafraîchir. Les flux descendants et les flux ascendants sont canalisés séparément à l'intérieur de la tour. Ce système de tours évacue l'air chaud au profit de l'air frais venant du jardin ou du sous-sol et crée de la fraîcheur en accélérant l'évaporation de l'eau des bassins.

Des dispositifs similaires existent dans l'architecture vernaculaire des zones arides et chaudes de l'ensemble du Moyen-Orient, depuis l'Égypte jusqu'au Pakistan, selon des variantes adaptées aux climats et aux modes de construction (*badgir* d'Irak et d'Iran, *malquaf* d'Égypte, *bargil* des Émirats Arabes Unis, *mangh* du Pakistan...). Ils ne nécessitent aucune autre énergie que celle du vent pour rafraîchir les constructions [16]



Figure I.29 : Exemple de cheminée de ventilation traditionnelle (tour de vent) en Iran

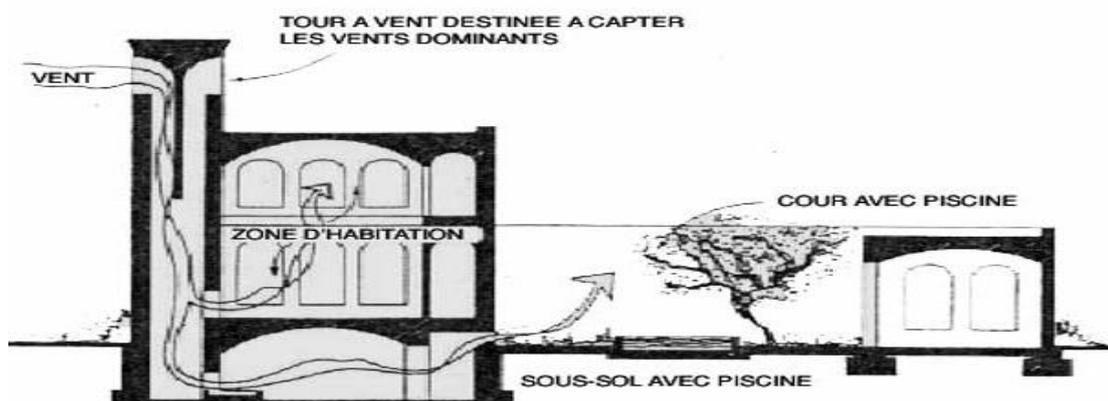


Figure I.30: Principe d'une tour à vent pour une maison d'habitation

- **Les dômes :**

Ils sont surtout observés à El-oued par exemple. Ce sont des coupoles qui, ayant au sommet une fenêtre, recouvrent soit une partie de la maison soit la pièce principale d'un bâtiment. Les dômes présentent à la voûte céleste une surface de déperdition thermique très grande, dans la journée, une seule partie de coupole reçoit les rayons solaires. Les échauffements du dôme sont ainsi limités. Ces échauffements sont responsables des mouvements convectifs de l'air à l'intérieur du dôme, les couvertures réalisées essentiellement en forme de coupoles, ou en forme des voutes, pour assurer l'élimination de risque de charge de pluies et les dépôts de sable sur les couvertures [13].

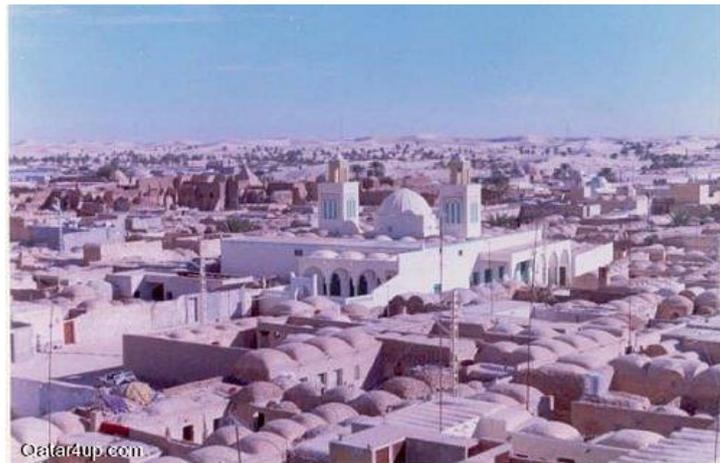


Figure I.31: Toiture en coupoles à Oued souf [60]

- **Les cours :**

La cour est définie comme, tout espace entouré de clôture et contenant à son tour l'habitation et les services [15]. Ce type d'espace découvert et clos contre les vents et les rayons solaires peut apporter un sentiment de calme, de sécurité et répond aux besoins d'introversion. Pendant l'été, l'espace cour est ombragé pour une longue partie de la journée. La cour est l'endroit qui fonctionne comme régulateur climatique car elle défend contre les vents dominants par la forme et les dimensions qu'elle peut prendre, de manière que, si elle est restreinte à un petit patio, elle lutte contre les vents de sable en évitant la création d'une zone de dépression. Les différentes pièces du volume sont aérées, ventilées à travers leurs fenêtres de dimensions variables qui donnent directement sur la cour ou le patio. Elle peut être tenue des techniques les plus avancées, la seule défense véritable contre les vents desséchants chargés de sable qui l'épargnent. [15],[16],[17]



Figure I.32 : Espace central (patio découvert) [16]



Figure I.33 : Espace central : Ain Ed dar [16]

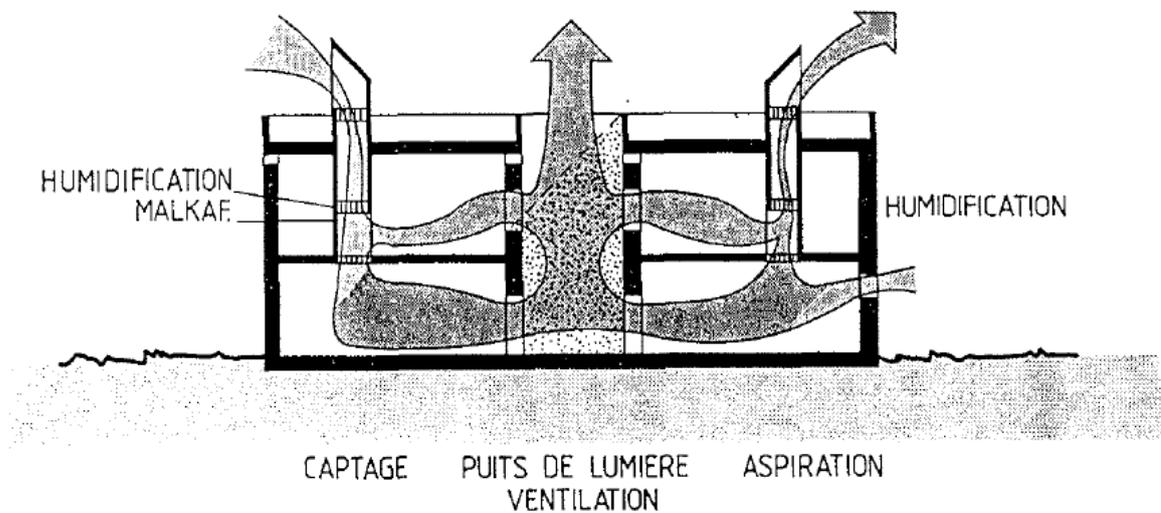


Figure I.34: Schéma de fonctionnement climatique d'un patio [15]

Dans un climat extrême chaud et sec, le patio considéré comme régulateur climatique, représente une bonne réponse contre la chaleur et les vents de sable en particulier, et s'il est compact par des dispositifs tels que le bassin, les canaux, les cascades, silsabils et arborisation, il a aussi un impact visuel et psychologique très important [15].

5. L'architecture solaire bioclimatique :

L'architecture bioclimatique consiste à adapter le bâtiment aux conditions d'ambiances locales (climatiques et visuelles) du milieu géographique, socioculturel et

même économique, également à concevoir une ordonnance qui diminue ses besoins de chauffage en hiver et de maintenir une température agréable en été .

L'architecture bioclimatique présente deux solutions différentes (passive et active). L'intérêt du 'bioclimatique' va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui en fait un facteur fondamental de l'art de construire. Pour cela, il faut veiller à:

- Préserver les ressources énergétiques conventionnelles.
- Réduire les coûts des investissements énergétiques, notamment en matière de chauffage et de climatisation.
- Réduire l'impact des énergies fossiles sur l'environnement [18].

5.1. Les stratégies du confort :

L'habitat bioclimatique tire partie du climat afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort. Le confort d'hiver répond à la stratégie du chaud : capter du rayonnement solaire, la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment.

Le confort d'été répond à la stratégie du froid : en minimisant les besoins de rafraîchissement, en proposant des protections solaires adaptées aux différentes orientations, en évitant les risques de surchauffe par une isolation appropriée ou par l'inertie du bâtiment, en dissipant l'air chaud et en le rafraîchissant naturellement [2].



Figure I.35: La stratégie du confort

L'habitat bioclimatique s'accorde aux rythmes naturels en tirant le meilleur parti de la lumière naturelle (stratégie de l'éclairage naturel).

5.2. L'utilisation de la végétation et de l'eau :

La démarche bioclimatique intègre le traitement de végétation et de l'eau dans la conception de l'habitat. La végétation joue un rôle protecteur sur les constructions environnantes. Les rangés d'arbres protègent le bâtiment de l'excès d'ensoleillement en été. Les feuilles offrent l'ombrage en été et en hiver laisse entrer les rayons solaires. Les arbres réduisent l'insolation effective de 20 à 40%.

La végétation grimpante contribue également à réduire les pertes par convection au droit de l'enveloppe du bâtiment et améliore son comportement énergétique. La vapeur d'eau émise par des feuilles permet de rafraichir l'air ambiant.

L'utilisation de plans d'eau permet de créer des microclimats et d'atténuer les variations journalières de température. La température de l'air réduite et son humidité relative augmente lors de transformation du l'eau de l'état liquide à l'état vapeur [19].



Figure I.36: Eau et plantation complètent la conception de l'édifice

5.3. La conception climatique :

La conception solaire climatique, c'est avant tout l'art de bâtir en associant au mieux l'homme et son environnement.

5.3.1. Analyse de l'environnement :

Bien analyser et prendre en compte le terrain, l'environnement proche et le microclimat

(Soleil, vent, végétation).

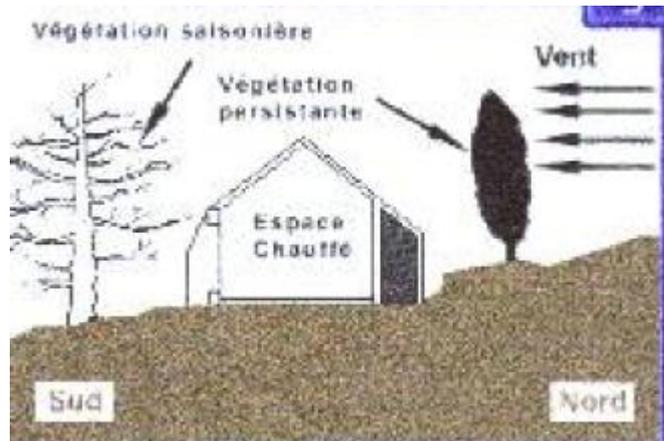


Figure I.37: Exemple d'analyse de site en fonction du climat.

5.3.2. Compacité et orientation :

Le choix de la compacité est très importante d'économies aussi bien en énergie qu'en investissement. Il est importante de savoir, toute diminution de la compacité génère automatiquement des consommations d'énergie et des coûts d'investissement plus élevés [19].

En matière d'orientation et d'architecture, le travail du concepteur doit consister à combiner au mieux apports du soleil d'hiver et protections du soleil en été et en mi-saison.

À titre indicatif, voici quelques principes de base sur lesquels s'appuient les maisons bioclimatiques :

Les pièces occupées en permanence durant la journée devraient de préférence être orientées au sud en profitant du lever du soleil et garderont ainsi leur fraîcheur en fin de journée.

On veillera à limiter dans la cuisine les apports solaires sur les vitrages sud-ouest, souvent générateurs de surchauffe.

Une serre ou véranda placée au sud permet, tout en apportant de la chaleur en hiver, de créer un espace intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur [20].

5.3.3. Isolation thermique:

L'isolation joue un rôle toujours bénéfique : en hiver, elle ralentit la fuite de la chaleur du logement vers l'extérieur. En été, au contraire, elle rafraîchit l'habitat en limitant les apports de chaleur. L'isolation évite également les condensations très désagréables impression de "mur froid" qui oblige à surchauffer l'air pour conserver un niveau de confort suffisant.

5.3.4. Captage solaire :

Une conception bioclimatique permet d'optimiser cette part d'apports solaires en jouant sur les orientations, la nature des vitrages et l'inertie thermique.

Mais d'autres techniques de chauffage solaire sont possibles comme la serre ou véranda habitable, intégrée à l'habitat ou des murs capteurs disposés en façade sud [20].

5.3.5. Stockage d'énergie :

Stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et amortir les variations de température grâce à l'inertie thermique.

En hiver une maison bioclimatique à forte inertie met, lorsque les rayons solaires pénètrent à travers les fenêtres ils frappent le sol et les murs : si ces parois sont à forte inertie (avec une isolation placée à l'extérieur et non à l'intérieur), elles rayonnent ensuite lentement leur chaleur dans l'habitation.

Inversement, en été, l'inertie permet de bénéficier de la fraîcheur des murs refroidis la nuit par ventilation : c'est une excellente façon de réaliser un rafraîchissement naturel.

Dans les deux cas l'inertie joue un rôle important sur la qualité du confort intérieur en diminuant les variations de température.

5.3.6. Ventilation :

Limiter les infiltrations d'air parasites et prévoir un renouvellement de l'air utilisant au mieux la ventilation naturelle ou une ventilation contrôlée efficace.

Faire circuler l'air à l'intérieur de la maison vers les pièces ne disposant pas d'enseillement.

La ventilation est aussi un élément clé d'une architecture climatique, ce qui nécessite - dans la mesure de ne pas générer des systèmes trop sophistiqués - toute une organisation de l'architecture par l'intérieur.

5.3.7. Lumière :

Laisser largement entrer la lumière du jour pour favoriser l'éclairage naturel, en veillant aux risques d'éblouissement ou de surchauffe

5.3.8. Dispositifs de chauffage appropriés :

Parmi les principaux dispositifs climatiques, on peut citer les suivant :

- ❖ **La serre ou véranda :** La véranda est un des dispositifs les plus intéressants de l'architecture bioclimatique. En respectant certaines règles, elle peut diminuer les besoins de chauffage de 15 à 30 % tout en participant au confort d'été.

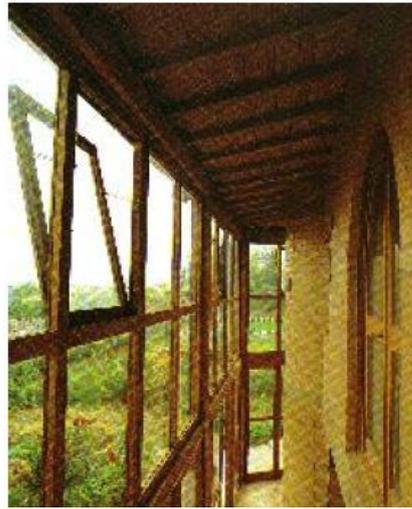


Figure I.38 : Véranda vitré [20]

- ❖ **Espaces tampons non vitrés** : Des espaces tampons totalement extérieurs jouent aussi un rôle de coupe vent ou favorisent un micro climat limitant les déperditions de chaleur et l'effet de surchauffe : haie de végétaux persistants, pergolas, végétation saisonnière au Sud.
- ❖ **Murs capteurs et murs trombe** : L'énergie stockée dans le mur est ensuite restituée lentement dans le logement avec un certain retard (appelé déphasage) permettant de bénéficier de la chaleur accumulée dans le mur plusieurs heures après le coucher du soleil.

6. Conclusion :

L'étude de ce chapitre nous a permis de tirer des multiples conclusions. En effet le confort thermique et de bien être est une exigence essentielle dans les milieux bâtis, Il est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs.

D'après l'analyse climatique, il apparaît que la ville d'Ouargla a un climat saharien caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. Deux saisons caractérisent ce type de climat : une chaude et une deuxième fraîche.

Les principes de l'habitat traditionnel sont : le plan compact; la cour intérieure; les murs épais ainsi que la toiture afin de permettre le déphasage de la chaleur. Et autres principes associés à la conception bioclimatique, telles que la possibilité de bénéficier d'un chauffage passif en hiver, la climatisation et la ventilation naturelle sont nécessaires en été. D'après l'analyse bioclimatique, l'inertie thermique de l'enveloppe est une recommandation nécessaire pour la conception architecturale.

CHAPITRE II

LA VENTILATION NATURELLE

1. Introduction :

La ventilation permet d'introduire l'air neuf et d'extraire l'air vicié, de diluer et d'évacuer les polluants à l'origine de ces problèmes : odeurs, fumées produits de combustion, produits toxiques, vapeur d'eau, gaz carbonique, et poussières.

La ventilation n'est cependant pas qu'une question du renouvellement de l'air. Elle est également utilisée pour augmenter la température intérieure ou la diminuer, ou pour créer une sensation de fraîcheur en période chaude. Ce chapitre décrit les différents types de ventilation et une analyse bibliographique des études appropriée à la cheminée solaire.

2. Ventilation naturelle :

2.1. Fonctions de la ventilation :

Les systèmes de ventilation doivent satisfaire à des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie. La ventilation est au service de trois fonctions principales [21].

- La ventilation a un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. Il s'agit essentiellement de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables au sein du bâtiment.
- La ventilation a un rôle d'entretien sert à éviter ou d'éliminer la condensation de la vapeur d'eau sur les parois. Elle permet d'atteindre cet objectif de pérennité du bâti en remplaçant l'air humide par de l'air moins humide. Cette fonction est étroitement liée à la ventilation d'hygiène.
- Le troisième rôle est l'obtention d'un confort d'été en favorisant les échanges thermiques convectifs et évaporatifs. L'augmentation du renouvellement d'air permet d'accroître les échanges avec l'air extérieur et de refroidir le bâtiment lorsque la température de l'air extérieur est inférieure à celle de l'air intérieur. Le renouvellement d'air doit être limité quand les températures s'inversent.

2.2. Besoins de renouvellement de l'air :

Le règlement sanitaire définit les besoins de renouvellement d'air pour divers locaux (tableau II.1)

Tableau II.1 : Débit hygiénique d'air neuf en (m³/h) [22]

Type de local	Débit pour un local non-fumeur	Débit pour un local fumeur
Salle de classe	15	-
Bibliothèque, banque	18	-
Salle des fêtes, club	18	33
Supermarché	22	33
Café, restaurant	22	33
Piscine	22	-
Autres locaux sportifs	25	-

2.3. Les types de la ventilation :

2.3.1. La ventilation mécanique :

La ventilation mécanique consiste à recourir à des systèmes mécaniques pour apporter et extraire l'air des bâtiments. Elle permet de s'affranchir des conditions climatiques.

On distingue différents systèmes de ventilation mécanique.

2.3.1.1. La ventilation simple flux par extraction:

L'air frais extérieur entre par des ouvertures situées sur les menuiseries ou dans les coffres de volets roulants dans les pièces principales (séjour, salon, chambres...). L'air vicié est évacué par les pièces de services (salle de bains, cuisine, WC...), grâce à un groupe d'extraction muni d'un ventilateur. Ce système permet d'assurer une indépendance du débit de renouvellement d'air par rapport aux conditions extérieures. Il est largement utilisé dans le résidentiel neuf [21]. La ventilation simple flux peut être :

- **Auto réglable** : Le système permet d'ajuster de façon automatique le débit d'extraction d'air dans les pièces techniques.
- **Hygroréglable** : La ventilation hygroréglable est un système de ventilation modulant les débits en fonction de l'humidité. Ce système a été conçu pour répondre à deux objectifs majeurs :

- Moduler les débits d'air en fonction du taux d'humidité en vue de réduire les déperditions énergétiques due à une ventilation excessive ou inutile.
- Eviter les risques de condensation dans le logement.

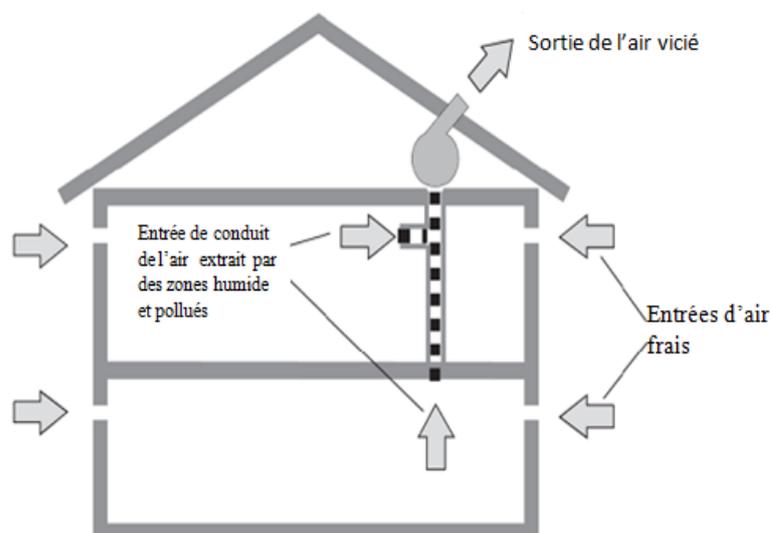


Figure II.1 : Ventilation simple flux par extraction [21].

2.3.1.2. La ventilation simple flux par soufflage :

Il y a toujours qu'un seul ventilateur, mais il pousse l'air hygiénique dans les différentes zones à traiter (Figure II.2). Cet air est rejeté à l'extérieur par des bouches ou des volets de surpression. En revanche, la ventilation mécanique par soufflage est généralement considérée comme étant inapproprié à l'usage résidentiel où son utilisation reste assez rare [21].

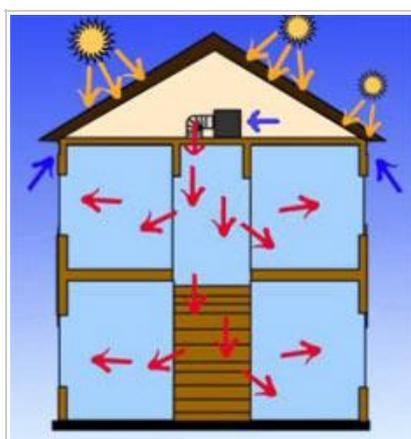


Figure II. 2: Ventilation simple flux par insufflation

2.3.1.3. La ventilation double flux :

La ventilation mécanique contrôlée double flux combine les systèmes d'insufflation et d'extraction mécaniques. Elle est composée de deux ventilateurs indépendants avec deux réseaux de conduits séparés, l'un pour insuffler de l'air neuf dans les pièces principales et l'autre pour extraire l'air vicié dans les pièces de service (Figure II.3).

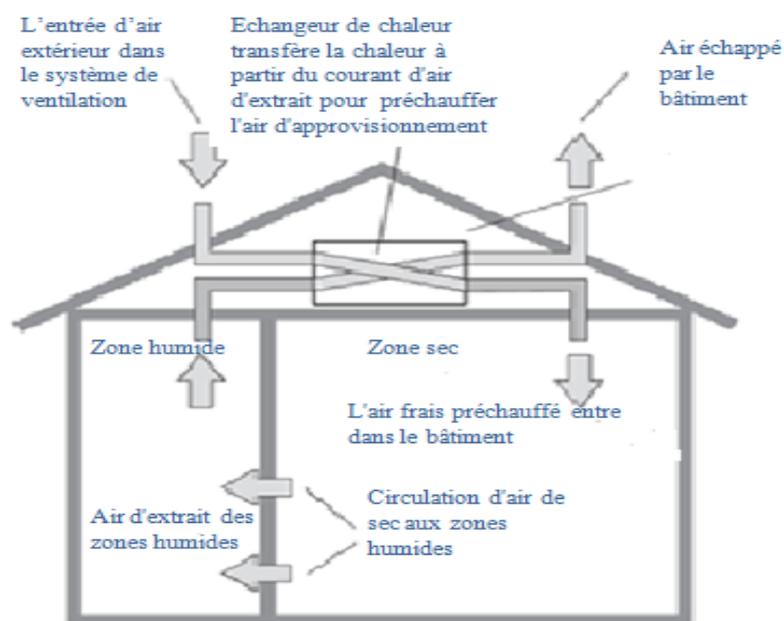


Figure II.3: Représentation de la VMC double flux [21].

2.3.1.4. Le traitement d'air par centrale à mélange air neuf / air repris :

Ce système assure le chauffage, la ventilation, voire le rafraîchissement de grands volumes, salle des fêtes, gymnase, restaurant, commerces... etc. Le débit de soufflage est en général supérieur au débit d'air hygiénique. Il est défini par les besoins thermiques, et la nécessité de diffuser confortablement l'air dans l'espace. Le débit d'air neuf est ajusté aux besoins en agissant sur des volets de mélange. On a donc un grand potentiel de rafraîchissement par ventilation en été. Il suffit d'ouvrir les volets de mélange d'air neuf aux périodes favorables.

2.3.2. La ventilation naturelle :

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

verticale de l'air permettront de générer suffisamment de changements d'air pour évacuer la surchauffe [23]. Il y a deux grands « moteurs » de la ventilation naturelle :

- **Le vent** : Une façade exposée au vent est en surpression. A l'inverse, une dépression est créée sur les façades sous le vent. Si des ouvertures sont créées sur les faces opposées d'un bâtiment, un renouvellement d'air proportionnel au carré de la vitesse du vent se produit (Figure II.4).

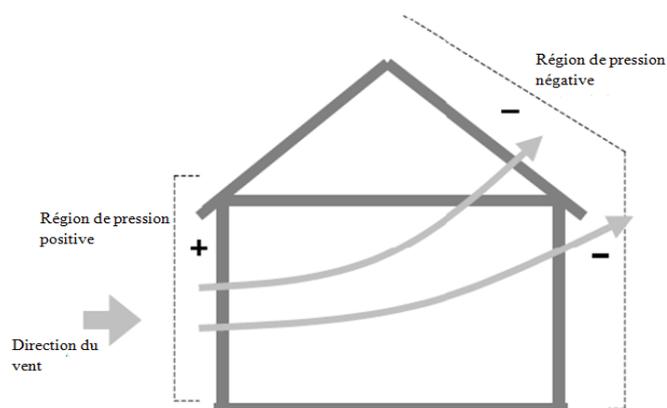


Figure II.4 : Action du vent sur les bâtiments [21].

- **Le tirage thermique** : La dépression qui génère les mouvements d'air est créée par la différence de masse volumique de l'air plus ou moins chaud. « L'air chaud a tendance à monter » (Figure II.5). Si on prévoit des ouvertures en partie basse pour introduire d'air extérieur dans un espace à rafraîchir, et des ouvertures en partie haute pour laisser l'air s'échapper, il se produit un renouvellement d'air par effet de cheminée.

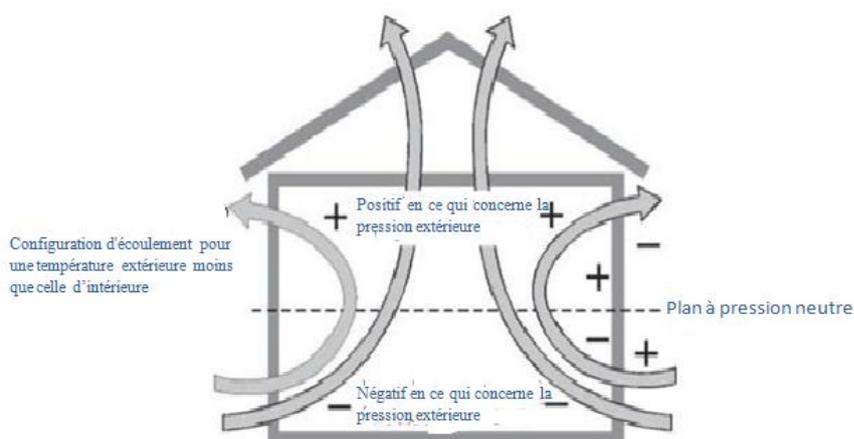


Figure II.5 : Effet du tirage thermique dans les bâtiments.

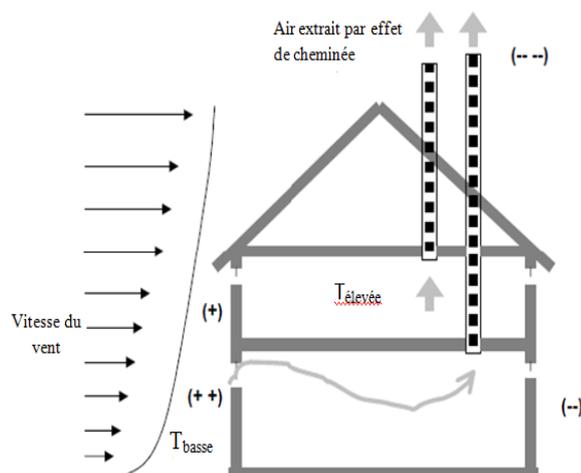


Figure II.6: Effets combinés du vent et du tirage thermique [21].

2.3.2.1. La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres :

La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres permet de réduire les infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe et donne aux occupants la possibilité de contrôler les ouvertures des fenêtres et des entrées d'air en façade.

2.3.2.2. La ventilation naturelle par conduits verticaux

La ventilation naturelle par conduits verticaux à tirage naturel est largement utilisée en France dans le résidentiel collectif existant construit avant 1982 [21]. Le bâtiment doit être suffisamment étanche afin d'éviter des infiltrations d'air importantes qui sont nuisibles au bon fonctionnement du système.

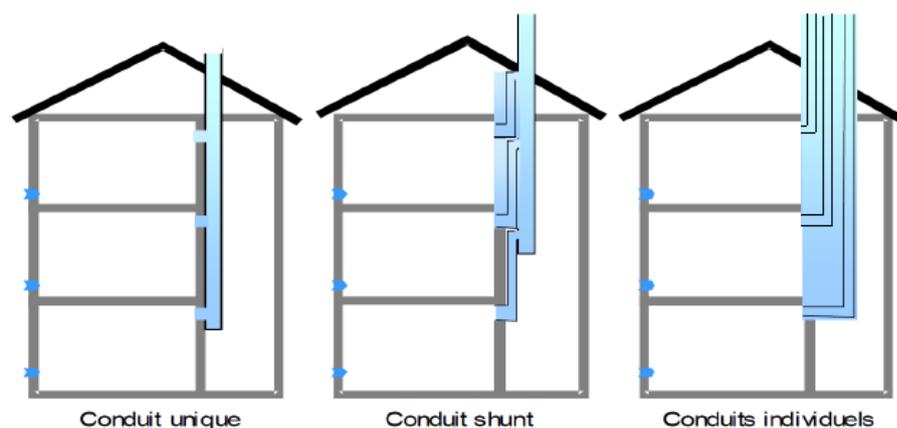


Figure II.7: Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux.

2.3.2.3. Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire :

Le principe général est d'assister le phénomène de tirage thermique en utilisant l'énergie solaire pour augmenter les écarts de températures et donc l'effet de tirage thermique. Dans le présent travail, on s'intéresse à ce dernier type de ventilation.

2.3.3. La ventilation hybride :

La ventilation hybride est un système qui combine à la fois les stratégies passives de la ventilation naturelle et les moyens actifs de la ventilation mécanique pour maintenir un environnement confortable. Selon les conditions météorologiques disponibles, le système de ventilation du bâtiment échange entre les modes passif et mécanique de manière à assurer constamment une ventilation et un refroidissement des espaces adéquat tout en minimisant la consommation énergétique [23].

2.4. Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle :

Les cheminées solaires, les façades à doubles peaux et les murs trombe sont des cavités ouvertes, ont conçu pour se servir de l'énergie solaire pour le chauffage passif, ventilation naturelle et dans le cas de la façade à double peau fournie également la lumière du jour. La figure (II.8) montre les trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle dans des bâtiments. La flottabilité thermique est le mécanisme principal pour la circulation d'air dans les cavités ouvertes.

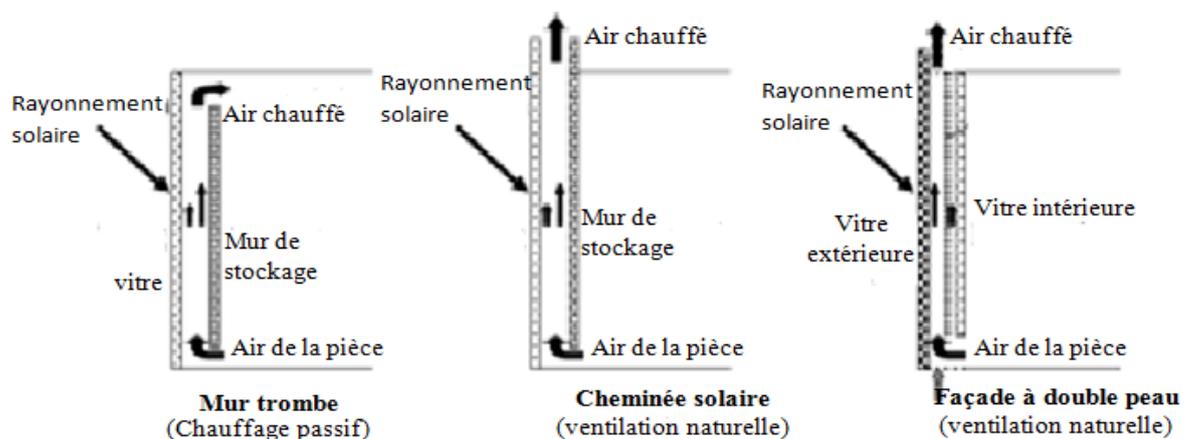


Figure II.8 : Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle [24].

2.4.1. Le mur trombe :

Le mur trombe consiste à un mur en maçonnerie lourde muni de deux orifices et disposé derrière un vitrage orienté vers le sud. Il rassemble et stocke l'énergie solaire pour fournir le chauffage de la pièce en hiver ou facilite la ventilation de la pièce en été.

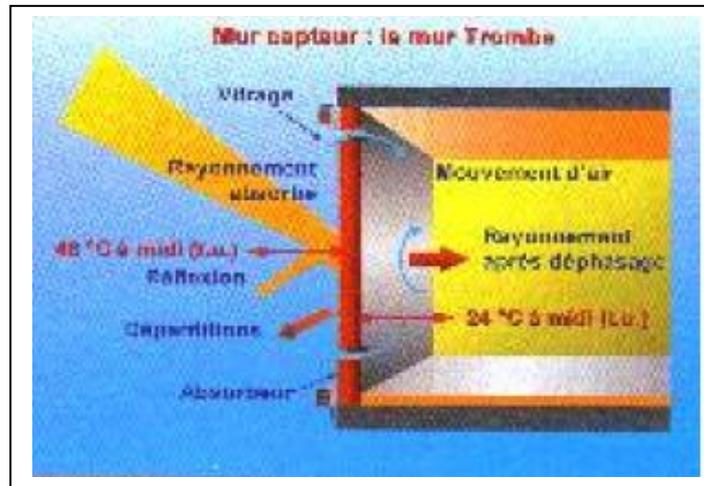


Figure II.9 : Mur trombe [2]

Le mur Trombe-Michel, ou mur trombe, est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur. Le rayonnement solaire vient chauffer une lame d'air présente entre un vitrage à faible émissivité et un mur à forte inertie thermique. Via un système de clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur, une circulation d'air est possible entre l'intérieur de la pièce et la lame d'air chauffée. Il existe deux modes de fonctionnement

- Lorsque le rayonnement est présent dans la journée, il est possible d'ouvrir les clapets afin de permettre une convection naturelle. L'air de la pièce, relativement plus froid, vient se réchauffer au contact du mur capteur, et ainsi créer un mouvement convectif qui va permettre le réchauffement de la pièce en contact avec le mur. Il y a donc circulation aéraulique entre la lame d'air et le volume adjacent.
- En l'absence d'ensoleillement, on ferme les clapets, et la chaleur emmagasinée par le mur capteur est restituée par rayonnement à la pièce, créant ainsi une convection naturelle, mais cette fois-ci sans mouvement d'air.

Cette technique permet également d'éviter les surchauffes en été, grâce à la présence d'une ouverture, située en partie supérieure du vitrage. En position ouverte, ce clapet permet d'évacuer l'air chauffé produit dans la lame d'air. Ceci n'est possible que si les clapets du mur capteur, sont eux fermés.

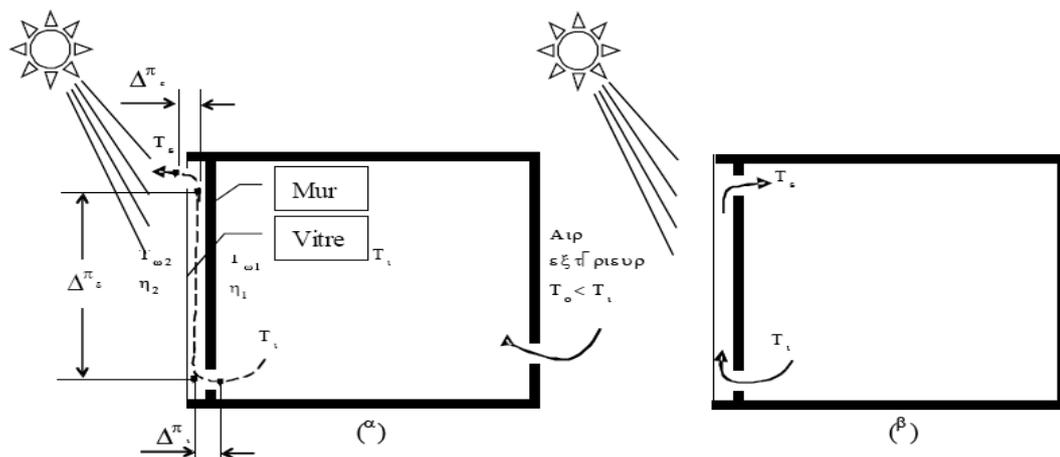


Figure II.10: Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage

2.4.2. La façade à double peau:

Une façade à double paroi d'un bâtiment se compose d'une paroi intérieure et l'autre externe, elle fournit au bâtiment l'isolation thermique. Elle a une fonction de régulation thermique du bâtiment.

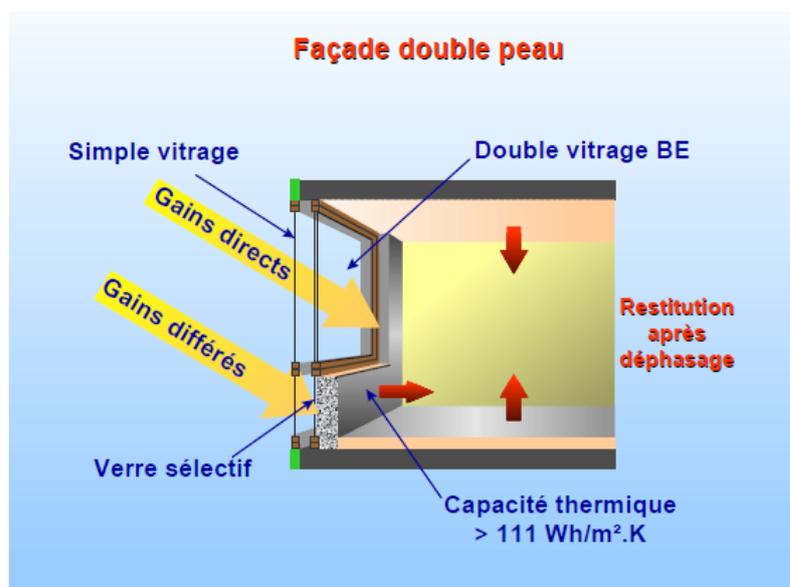


Figure II.11: Façade double peau [2]

La façade à double peau protège le bâtiment aux contraintes météorologiques par rapport aux rayonnements directs du soleil, elle évite les surchauffes d'été et limite le recours à la climatisation. En évitant l'action directe du vent, elle supprime l'effet de paroi froide en hiver, qui produit l'inconfort d'intérieur. Elle permet aussi d'apporter une température et une humidité de l'air agréable. En comparant avec la façade glacée

traditionnel. Elle peut également être employée pour la ventilation naturelle du bâtiment. Elle a été également effectuée pour préchauffer l'air entrant ou de ventiler la façade intérieure, comme elle peut servir de conduit d'échappement pour la ventilation mécanique (figure II.12)

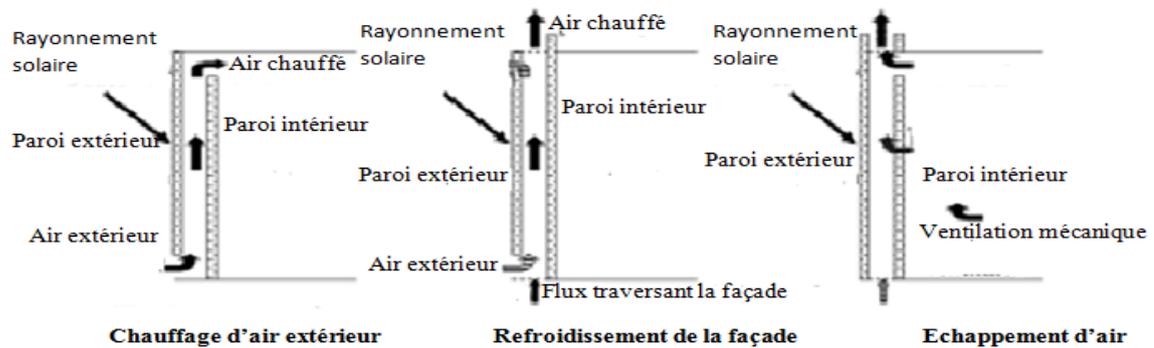


Figure II.12 : Applications principales courantes de façade à double peau pour la commande thermique (en plus de l'isolation) [24].

2.4.3. La cheminée solaire :

La cheminée solaire a une structure et un mécanisme de fonctionnement semblable au mur trombe. La différence distincte entre les deux, est que le mur trombe absorbe l'énergie solaire, et le recyclage d'air chaud résulte le chauffage passif du bâtiment. La cheminée solaire fournit au bâtiment la ventilation pendant le jour sans recyclage d'air dans la pièce.

Une cheminée solaire peut être un des composants d'un bâtiment, dans lequel un ou plus de murs d'une cheminée sont transparents, le mur vitré permet le rayonnement solaire s'accumuler assez de chaleur pour induire l'effet de cheminée. L'énergie solaire réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée. En raison de la différence de la température d'air, un gradient de densité entre l'intérieur et l'extérieur de la cheminée provoque un mouvement ascendant d'air.

La figure II.13 présente un exemple d'utilisation de la cheminée solaire dans un système de ventilation naturelle dans les bâtiments de l'université de Kitakyushu en Japon.



Figure II.13: Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment [25].

Un autre exemple de cheminée solaire mise en œuvre sur l'école Tanga à Falkenberg (Suède), présenté dans la figure II.14.



Figure II.14: Présentation d'une cheminée solaire à l'école Tanga [61]

2.5. Effet de cheminée :

L'effet de cheminée est la tendance d'un fluide qu'en s'échauffant s'élève, en raison de la diminution de sa densité, résultant des différences de la température et d'humidité. On utilise ce phénomène thermique naturel pour évacuer la surchauffe de l'intérieur d'une construction en facilitant la sortie de l'air tiède ou chaud à travers des ouvrants en partie haute. Ce tirage thermique peut induire une dépression intérieure susceptible d'aspirer l'air plus frais du dehors à travers des ouvrants en partie basse

2.5.1. Principe d'écoulement :

L'écoulement est provoqué par la différence de masse volumique entre l'air intérieur (chaud) et l'air extérieur (froid). L'air chaud possède une masse volumique plus faible que l'air froid et tend à monter. L'air froid est plus lourd et tend à rester au sol. L'air chaud et humide s'élève vers les cheminées et est remplacé par de l'air froid et sec. Les grandes surfaces des entrées de l'air assurent de faibles vitesses qui ne causent pas de stress aux occupants.

2.6. Modes d'opérations d'une cheminée solaire:

Trois modes d'opérations de la cheminée solaire, qui sont appropriés à chaque saison [26] sont illustrés dans la figure (II.15)

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

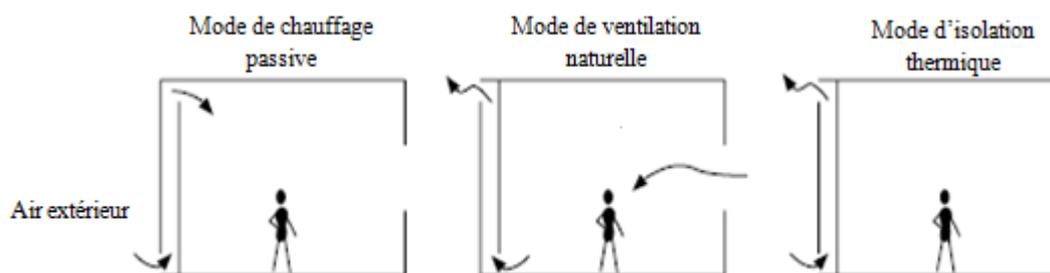


Figure II.15: Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire [26].

2.7. Types de cheminée solaire :

Actuellement, on peut distinguer deux types de cheminée

2.7.1. Cheminée solaire verticale :

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

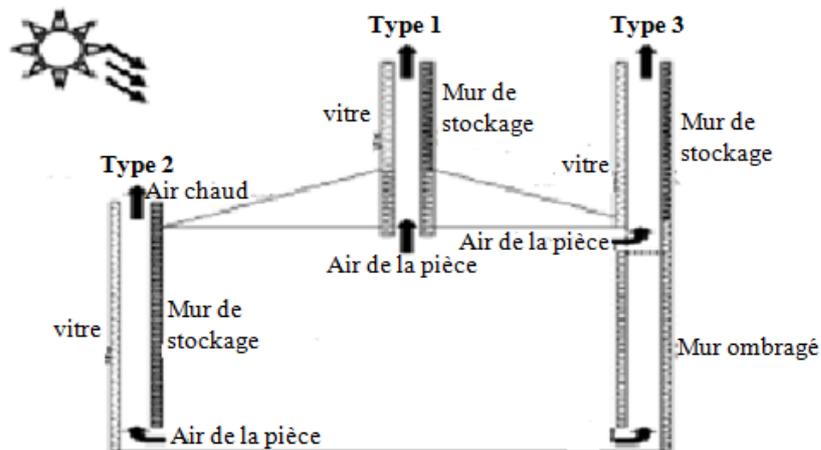


Figure II.16 : Types de cheminée solaire selon l'ouverture d'entrée, et leur position pour la ventilation naturelle [24].

La cheminée verticale a l'avantage, d'être intégrés facilement avec des façades de bâtiment, même des fenêtres de petite taille, orienté vers le sud peuvent également être employées comme des cheminée solaire. Mais la plus grande limitation de cette disposition est celle en mois d'hiver, quand le soleil s'attaque vers le sud à la latitude relativement inférieure, pendant des jours d'été, le taux de ventilation réduit en raison d'une altitude du soleil beaucoup plus élevé.

La cheminée verticale peut être de forme cylindrique, ce type de cheminées solaires a un inconvénient qui réside dans la difficulté de construction. Par conséquent, un arrangement plus simple est d'utiliser une cheminée métallique noircie (semblable aux cheminées industrielles) [27].

2.7.2. Cheminée solaire inclinée :

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

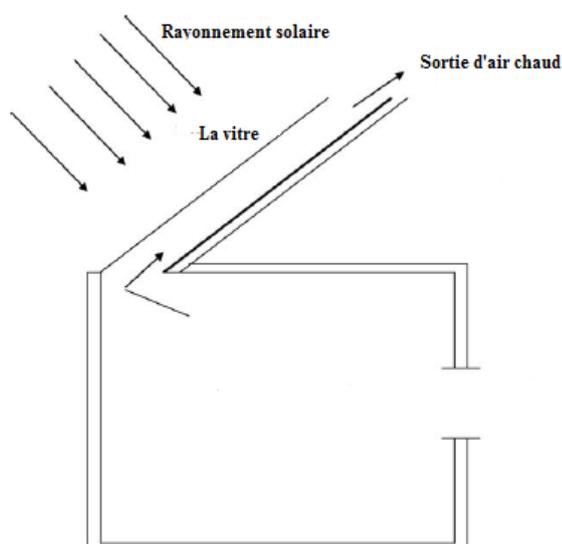


Figure II.17: Installation d'une cheminée solaire inclinée [27].

Le plus grand avantage des configurations inclinées qu'il fournit la ventilation suffisante à l'inclinaison de 30° à 45° pendant les mois d'été dans l'endroit géographique comme l'Inde, quand les cheminées verticales sont moins efficaces en capturant la quantité maximum de rayonnement solaire due à une altitude plus élevée du soleil [27].

3. Echangeur air-sol (le puits Canadian) :

3.1. Définition:

L'échangeur air-sol est un système géothermique consiste à rafraîchir l'air ventilé dans un bâtiment. Il suffit d'enterrer un ou plusieurs tuyaux sur un trajet suffisamment long et de faire circuler l'air. L'air extérieur transite dans ce réseau de gaines par convection forcée, se réchauffe en hiver ou se refroidit en été, avant d'être soufflé dans le bâtiment.

Le principe de l'échangeur air-sol est de faire circuler l'air neuf dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré, le puits est alors dit puits canadien. En été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la journée à une température inférieure à celle d'extérieure, le puits est alors dit puits provençal [28],[29].

3.2. Les composants du puits canadien

Le système se compose d'une entrée d'air, munie de filtres pour empêcher les rongeurs de pénétrer dans le puits, d'une canalisation enterrée sur 30-50m, lisse et pentue pour l'écoulement des eaux de condensation, enterrée à une profondeur moyenne de 1.50m, d'un siphon ou d'un regard pour leur récupération, et d'un ventilateur pour l'insufflation dans une ou plusieurs pièces.

Donc, les quatre principaux éléments sont :

- Entrée d'air neuf
- Conduit
- Système d'évacuation des condensats
- Ventilateur et système de régulation du puits

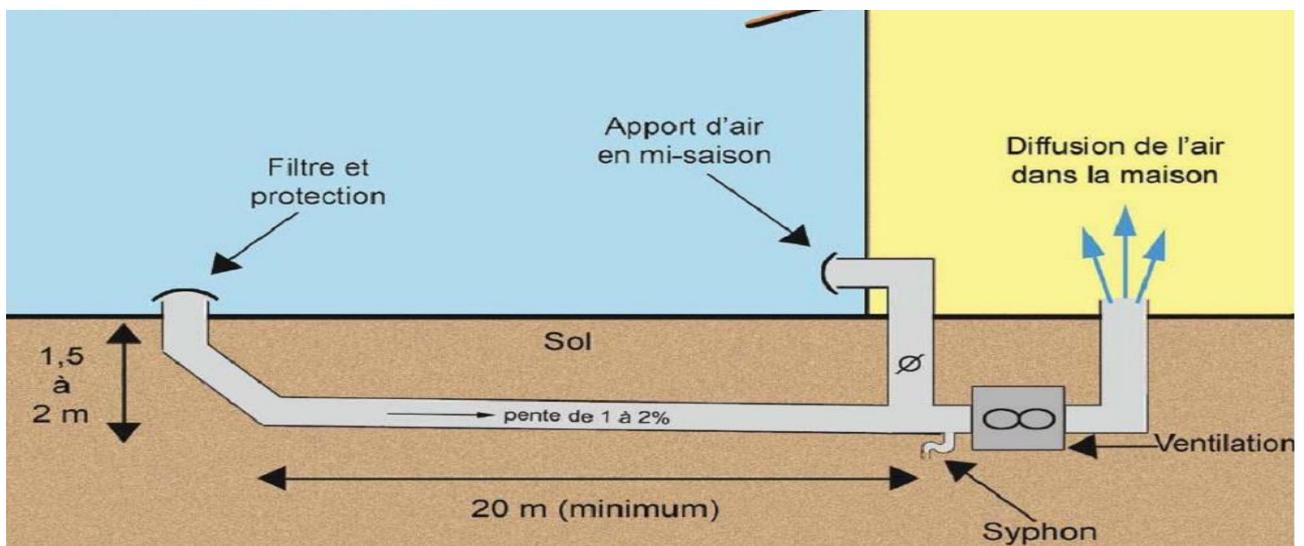


Figure II.18 : Schéma de principe d'un puits canadien

3.3. Principaux paramètres de dimensionnement :

L'analyse de la littérature consultée a permis d'identifier les paramètres influant sur le comportement thermique de l'échangeur air-sol et de distinguer les plus prépondérants. Ces paramètres sont considérés pour le dimensionnement d'un échangeur air-sol [8], [30], [31], [32].

3.3.1. Le débit d'air total :

Le débit total de l'air circulant dans l'échangeur doit assurer l'ensemble des besoins de renouvellement d'air des pièces à ventiler. Le régime de ventilation peut varier selon le mode de fonctionnement (réduit en préchauffage, plus élevé en rafraîchissement). La détermination du débit d'air total maximal constitue le premier paramètre de dimensionnement de l'échangeur.

3.3.2. Le nombre et le diamètre des tubes :

Le nombre et le diamètre des tubes définissent la section totale de tubes par laquelle va circuler l'air. Ils influent à la fois sur la vitesse d'écoulement de l'air et sur la surface de contact entre l'air et le sol. Ces paramètres sont ajustés en fonction du débit nominal de ventilation.

En pratique, pour les installations domestiques, le diamètre utilisé se situe entre 16 cm et 20 cm, mais il peut être bien supérieur sur des installations de grande taille. Le nombre de tubes est conditionné par l'espace disponible pour l'installation de l'échangeur [8].

3.3.3. La vitesse de l'air dans les tubes :

La vitesse de l'air ne constitue pas un paramètre indépendant, puisqu'elle découle directement du choix des trois paramètres précédents. Néanmoins, elle impose le type d'écoulement (laminaire, turbulent) et influe donc non seulement sur la valeur du coefficient d'échange convectif entre l'air et les tubes, mais aussi sur les pertes de charges mécaniques qui doivent être compensées par le ventilateur. Afin de limiter les pertes de charge, cette vitesse est le plus souvent maintenue en deçà de 3 à 4 $m \cdot s^{-1}$

3.3.4. La longueur des tubes :

La longueur des tubes détermine la surface d'échange et le temps de séjour de l'air dans les tubes. Il existe donc une longueur optimale de l'échangeur, liée à la longueur caractéristique de l'échange thermique L , qui peut être obtenue en confrontant le surcoût économique de l'échangeur (constant avec la longueur) à l'économie d'énergie apportée par l'allongement des tubes. Par conséquent, il est préférable d'employer plusieurs tubes de longueur raisonnable (20 m à 40 m) plutôt qu'un ou deux tubes beaucoup plus longs [8], [30].

3.3.5. La distance entre tubes :

Les fonctions de stockage et d'amortisseur thermique du sol sont assurées par le volume de sol situé tout autour de chaque canalisation. L'épaisseur de sol concernée est proportionnelle à la profondeur de pénétration du signal thermique, qui dépend de la période de variation des phénomènes mis en jeu. Ainsi, si la distance entre deux tubes est du même ordre de grandeur ou inférieure à la profondeur de pénétration, la température de la portion de sol située entre ces tubes est influencée simultanément par ces deux tubes, ce qui réduit localement la capacité de stockage du sol.

L'influence de la distance entre les tubes sur les performances de l'échangeur est peu abordée dans la littérature. Pourtant, il semble important d'assurer une distance minimale afin de limiter l'interaction entre deux tubes adjacents et d'optimiser ainsi l'exploitation de l'inertie du sol. Donc, une distance de 40 cm sera suffisante pour maintenir l'effet de stockage thermique pour des variations journalières. Par contre, un stockage thermique saisonnier nécessiterait un espacement de l'ordre de 3 m, qui n'est généralement pas envisageable en pratique.

3.3.6. La profondeur d'enfouissement des tubes :

Pour un échangeur air-sol, le sol joue le rôle d'isolant et de tampon thermique entre l'atmosphère et les canalisations enterrées. La profondeur d'enfouissement influe sur la qualité de cette isolation. Les variations de température de l'air extérieur sont d'autant plus amorties et déphasées par le sol que la profondeur est grande. Au-delà d'une dizaine de mètres sous la surface du sol, la température du sol ne dépend quasiment plus des conditions atmosphériques.

3.3.7. La nature du sol et son taux d'humidité :

La capacité calorifique et la conductivité du sol ont une influence importante sur l'efficacité du système. Elles dépendent de la composition du sol mais aussi de son taux d'humidité et des migrations d'eau en son sein. La capacité thermique du sol correspond à la moyenne des capacités calorifiques de ses différents constituants : minéraux, matières organiques, air et eau. L'eau possède une capacité et une conductivité thermiques supérieures à celles des autres constituants du sol. Ainsi, un sol humide emmagasine mieux la chaleur qu'un sol sec et la transmet plus facilement à l'air dans les canalisations de

l'échangeur. Cet effet est mis à profit pour augmenter temporairement la performance des échangeurs thermiques air-sol en humidifiant le sol par arrosage.

3.4. Disposition des tubes :

Afin de minimiser les pertes de charge au sein du conduit et de faciliter son entretien, il est conseillé de limiter le nombre de coudes. Deux dispositions sont majoritairement utilisées lorsque le puits ne comporte qu'un seul tube [31]:

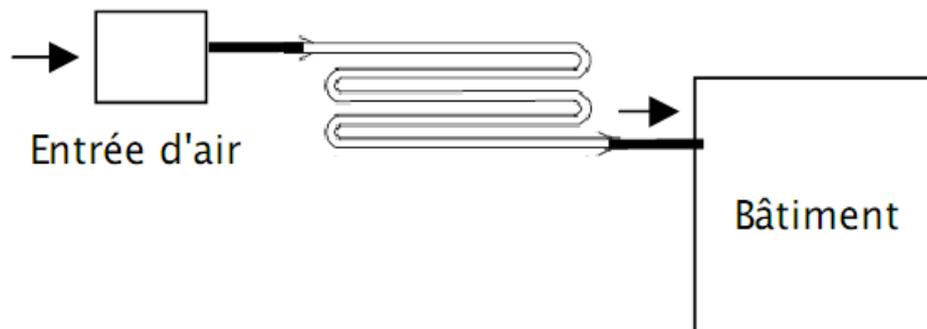


Figure II.19 : Tube en méandre

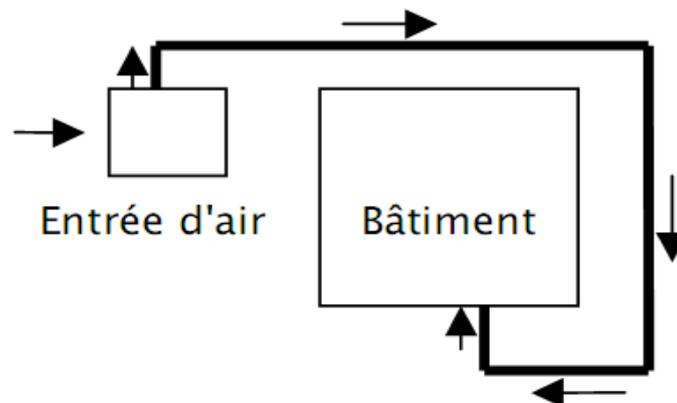


Figure II.20 : Tube en boucle

La disposition souvent utilisée lorsque le puits est constitué d'un Faisceau de tubes est la suivante :

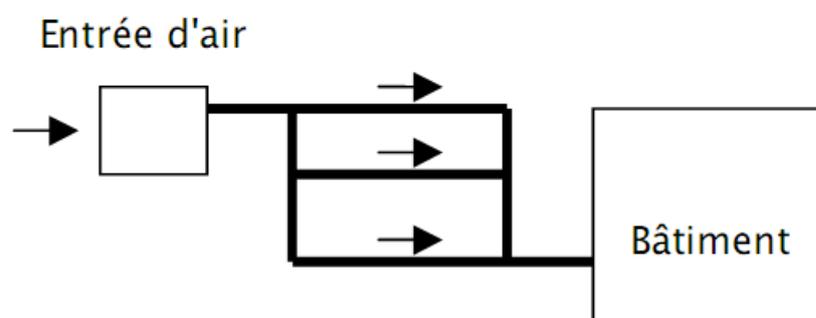


Figure II.21: faisceau de tubes

3.5. Emplacement du puits canadien :

Trois manières d'installation de l'échangeur air-sol sont possibles :

- 1- Sous le bâtiment
- 2- Dans les fouilles du bâtiment
- 3- Dans le terrain

Techniquement, ces variantes sont équivalentes, la différence se situe au niveau des coûts de terrassement, la deuxième variante étant la plus intéressante financièrement, aucun terrassement supplémentaire n'étant à réaliser. Lors de la mise en place des tuyaux, il faut éviter au maximum les coudes et angles créant des pertes de charge. De plus un écart entre les tuyaux parallèles d'au moins 0,8m doit être conservé.

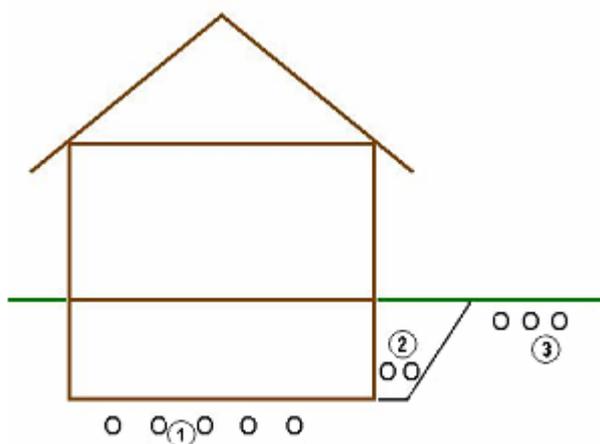


Figure II.22 : Emplacement du puits

3.6. L'inertie du sol :

L'inertie est une qualité précieuse lorsqu'il s'agit de chauffage ou de rafraîchissement d'un bâtiment. En effet la fraîcheur estivale d'un bâtiment « ancien » s'explique principalement par son inertie thermique élevée, qui résulte à la fois de l'épaisseur et des propriétés du matériau "pierre".

La ventilation pour le confort d'été est donc d'autant plus efficace que la masse du bâtiment est importante car l'inertie thermique est complémentaire de la ventilation, et indispensable pour que celle-ci soit efficace. Dans ce sens le puits canadien, associé au système de ventilation, est intéressant lorsque le bâtiment est léger c'est à dire avec peu d'inertie.

3.7. Avantages d'échangeur air- sol :

- Apporte de l'air frais en été
- Apporte de l'air tempéré en hiver
- Consomme peu d'énergie
- Coût du matériel très faible
- Apporte de l'air pur
- Évite la climatisation

3.8. Inconvénients d'échangeur air- sol :

- Inutile à la mi-saison
- Peut apporter des micro-organismes ou du radon dans la maison
- Technique de pose relativement délicate
- Coût de terrassement important
- Entretien délicat

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

La cheminée solaire est une idée attrayante pour beaucoup de chercheurs dans différents champs. En vue d'améliorer la ventilation naturelle, différentes configurations de la cheminée ont été étudiées et expérimentées. Le présent chapitre décrit ces différentes configurations, les conditions expérimentales et les différents résultats atteints, par certains auteurs.

La recherche bibliographique nous a permis de classer trois catégories de systèmes à savoir : Certains des chercheurs ont été intéressés à analyser la cheminée verticale, et certains avaient étudié l'effet d'inclinaison sur la performance de la cheminée solaire. Alors que d'autre étudié l'effet de la cheminée solaire associé avec d'autre techniques de ventilation.

4.1. Analyse de la cheminée solaire verticale:

Jyotirmay Mathur et al [33] ont évalué la possibilité d'utiliser le rayonnement solaire pour induire la ventilation d'une pièce dans des climats chauds. L'étude expérimentale sur une cheminée solaire de petite taille montre que le taux de ventilation augmente avec l'augmentation du ratio entre la hauteur et la largeur de la cheminée. Le

taux le plus élevé de la ventilation est de 5 à 6 (coefficient de changement d'air par heure) pour une salle de 27 m³, correspond à un rayonnement solaire de 700 W/m² sur la surface verticale d'une cheminée de 1 m d'hauteur. Les résultats théoriques du modèle proposé ont un bon accord avec les résultats expérimentaux. Ils ont conclu que le débit d'air augmente d'une façon linéaire avec l'augmentation du rayonnement solaire, et l'augmentation de la distance entre l'absorbeur et la vitre. En outre, le taux de ventilation aussi dépend de plusieurs paramètres tels que le rapport entre la section d'entrée et de la sortie.

M. Macias et al [34]: présentent une approche pratique pour améliorer la ventilation passive pendant la nuit dans un logement social par l'application de concept de la cheminée solaire. Au lieu d'une ventilation forcée par ventilateur, ils ont employé une masse thermique élevée accessible dans le bâtiment construit pour rassembler l'énergie solaire durant l'après-midi, où la température des murs en béton peut atteindre (50°C). Chaque appartement avait une cheminée séparée avec un aileron en haut, et tandis que pour accumuler l'énergie, l'aileron était fermé. Puis, pendant la nuit où la température ambiante descend jusqu'à environ 20 ° C, les ailerons au dessus seront ouverts produisant un début de refroidissant des masses thermiques du plafond et des murs des appartements.

R. Bassiouny et N.S.A. Koura [35] ont étudié analytiquement et numériquement une cheminée solaire utilisée pour améliorer la ventilation naturelle dans une pièce. L'étude prend en compte les paramètres géométriques de la cheminée tels que la taille et la largeur d'entrée de l'air, qui sont supposés avoir un effet significatif sur la ventilation. L'analyse numérique du modèle d'écoulement dans la chambre et dans la cheminée aiderait à optimiser les paramètres de la conception. Les auteurs présentent une comparaison entre les résultats théoriques et les données expérimentales. Ils ont conclu que lorsqu'en augmentant la taille d'admission trois fois seulement, le coefficient de changement d'air (ACH) est amélioré presque de 11%. Cependant, l'augmentation de la largeur de cheminée par un facteur de trois fois a amélioré l'ACH presque de 25%, avec une taille d'admission fixée. Les résultats montrent que la température de l'absorbeur peut être donné par la corrélation suivante: ($T_w = 3.51I^{0.461}$), et la vitesse de l'air à la sortie comme suit : ($v_{ex} = 0.013I^{0.4}$).

J. Martí-Herrero et M.R. Heras-Celemin [36] proposent un modèle mathématique pour évaluer la performance énergétique d'une cheminée solaire. Les résultats obtenus par le modèle proposé sont satisfaisants avec ceux de plusieurs expériences sur les cheminées solaires. La simulation a été réalisée avec les données météorologiques en temps réel, ce qui donne un support solide pour les résultats théoriques.

Les résultats prouvent que pour une cheminée de longueur de 2 m et de 14,5 centimètres de largeur, le débit massique d'air égalant 0,011 en kg/s est obtenu pour un rayonnement solaire de 450 W/m². Le mur en béton d'épaisseur de 24 centimètre, atteint une température supérieure à la température ambiante après 2h. Le maintien de sa température largement supérieure à la température ambiante lorsque le rayonnement solaire n'existe plus. En conséquence, une ventilation naturelle est produite, ce qui est très intéressant pour les climats méditerranéens.

T. Miyazaki et al [26] ont étudié la performance d'une cheminée solaire, intégrée dans une façade sud d'un bâtiment et l'effet sur le chauffage et les charges de refroidissement du bâtiment en employant une simulation par CFD et un modèle analytique. Le code de programmation C++ a été développé pour le calcul du chauffage et des charges de refroidissement par la méthode de bilan thermique. Les équations analytiques d'une cheminée solaire ont été incorporées au calcul du bilan thermique. Les résultats ont prouvé que l'alimentation électrique consommée par le ventilateur a été réduite d'environ 50% dans le total annuel dû à la ventilation naturelle. Ils ont constaté que la cheminée solaire était favorable pour réduire la charge thermique d'environ 20% pendant la saison chaude. La réduction thermique annuelle de charge a été estimée en tant que 12% en prenant en considération l'augmentation de la charge de refroidissement.

Preeda Chantawong et al [38] leur travail rapporte la recherche sur la performance thermique des murs vitrés de cheminée solaires (Glazed solar chimney walls : GSCW) dans les conditions climatiques tropicales à Thaïlande. Le GSCW s'est composé de doubles vitres avec une couche d'air et des ouvertures situées au fond et au dessus. Un prototype de GSCW a été intégré à la face sud d'une petite salle de 2.8 m³ de volume. La taille des ouvertures est de 0.05-0.5 m². Avec une vitre claire de 6 millimètres d'épaisseur, la mesure de vitesse sur le terrain a indiqué que le taux induit de flux d'air était d'environ 0.13-0.28 m³/s. La différence de la température entre la pièce et le milieu ambiant était inférieure à celui avec une fenêtre en verre claire à une seule couche. La comparaison entre les résultats simulés et expérimentaux a montré un accord raisonnable, donc, le modèle numérique développé est valide et pourrait être employé comme outil pour la conception de GSCW.

K.S. Ong et C.C. Chow [39] proposent un modèle mathématique afin de prévoir la performance d'une cheminée solaire pour différentes caractéristiques ambiante et géométriques. Ils ont étudié les équations de transfert de chaleur, en utilisant des

corrélations entre les coefficients de transfert de chaleur. Les valeurs de flux d'air dans le conduit sont basées sur les températures moyennes d'écoulement d'air. Ces équations sont résolues en utilisant la matrice inverse. Des corrélations de coefficients de transfert de chaleur ont été utilisées. Des valeurs d'une propriété pour la circulation d'air dans le conduit ont été basées sur les températures moyennes. La performance de la cheminée a été évaluée par la prévision des températures du vitrage et celle de mur absorbant et la vitesse d'air dans la cheminée. Les effets de l'intensité du rayonnement solaire sur la performance de la cheminée ont été étudiés. Afin de vérifier le modèle théorique, des expériences ont été faites sur un modèle physique de 2 m de longueur avec des entrées d'air de 0.1, 0.2 et 0.3 m. L'expérience a été effectuée sur un toit exposé aux rayonnements solaire directs et diffus. Les vitesses d'air entre 0.25 m/s et 0.39 m/s ont été obtenues pour l'intensité de rayonnement de 650 W/m². Ils n'ont observé aucune circulation inverse d'air même le grand espace de 0.3 m. Ils trouvent un bon accord entre les résultats expérimentaux et théoriques pour l'écoulement de l'air et de l'augmentation de la température de l'air pour l'écart de 0,3 m pour les valeurs d'intensité de rayonnement allant de 200 à 650W/m².

Pour **Evangellos Bacharoudis et al [9]**, leur travail de recherche se concentre sur l'étude de phénomènes du thermo-fluide produite à l'intérieur des cheminées solaires. Une recherche numérique sur le transfert de flottabilité conduit le champ d'écoulement et de chaleur qui ont lieu à l'intérieur des cheminées solaires est réalisée. Les équations elliptiques régissant sont résolues dans un domaine bidimensionnel en utilisant une méthode de volume de contrôle. L'écoulement est turbulent et six modèles différents de turbulence ont été examinés dans le cadre de cette étude. Comme le modèle réalisable de $k-\varepsilon$ fourni des résultats précis pour des écoulements où les conditions sur la frontière présente des gradients forts de pression défavorables, il a été choisi pour être employé dans les simulations. Ceci est également confirmé en rivalisant avec les résultats expérimentaux. Les profils de vitesse et de température sont présentés pour différents endroits, près de l'entrée, à différentes tailles et approche de sortie du canal. Les profils sont identiques avec ceux de la théorie.

Des paramètres importants tels que le nombre moyen de Nusselt sont également comparés et calculés à plusieurs résolutions de grille. Le modèle développé est général et peut être facilement adapté aux besoins, pour décrire les états de la cheminée solaire. Les résultats de l'application du modèle soutiendront l'installation efficace de prochaines configurations du système.

Jalan Kolej et Bandar Sunway [40] proposent un modèle mathématique simple d'une cheminée solaire, ce modèle physique est semblable au mur Trombe. Un côté de la cheminée couvert en verre et les trois autres murs pleins forment un canal de cheminée, par lequel l'air chauffé s'écoule vers le haut par la convection naturelle. Les deux ouvertures, au fond et au dessus de la cheminée permettent à l'air de la pièce d'entrer et traverser la veine. Des équations de transfert de chaleur ont été installées pour déterminer les températures de verre, du mur absorbant et la circulation d'air dans le canal utilisant la résistance thermique. Les équations ont été résolues suivant le procédé de solution de matrice-inverse. Les performances thermiques de la cheminée solaire sont déterminées à partir des températures du verre, du mur et de l'air. Le taux de débit massique d'air et l'efficacité instantanée de collection de la chaleur de la cheminée sont présentés.

4.2. L'effet de l'inclinaison sur la cheminée solaire :

Mathur et al [41] effectuaient une comparaison entre quatre types de cheminées solaires. D'abord ils ont étudié l'exécution d'une cheminée cylindrique lorsqu'elle est couverte par une couverture transparente et quand elle est découverte. Ils ont constaté que le taux d'écoulement de l'air augmente lors des cheminées couvertes. Ils ont étudié aussi l'effet d'inclinaison d'une cheminée solaire. Ils ont trouvé que pour un angle de 45° , le taux de l'écoulement est plus élevé, comparé avec celui obtenu par les cheminées verticales.

D'autre part, ils ont étudié l'effet d'employer une cheminée solaire pour augmenter la ventilation naturelle [42]. En proposant un modèle d'une cheminée solaire de 1m d'hauteur et une distance variable entre la vitre et l'absorbeur, cette distance prend trois valeurs (0.1m, 0.2m, 0.3m). Afin d'étudier numériquement l'effet de l'inclinaison et la taille de la cheminée, les expériences ont montré que l'inclinaison optimale de l'absorbeur varie de 40° à 60° selon la latitude de l'endroit. Ils ont comparé les résultats expérimentaux avec celles de modèle mathématique proposé, ils ont trouvé un bon accord dans cette intervalle d'inclinaison.

E.P. Sakonidou et al [43] ont développé un modèle mathématique pour déterminer l'inclinaison qui maximise la circulation d'air à l'intérieur d'une cheminée solaire. En employant des données de rayonnement solaires quotidiennes sur un plan horizontal à un emplacement. Le modèle commence par le calcul des composants de rayons solaires horaires absorbé par la cheminée solaire en variant l'inclinaison, la taille pendant un temps

donné (jour de l'année, de l'heure) et l'endroit (latitude). Le modèle prévoit la température et la vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée aussi bien que les températures de vitre et de l'absorbeur peint en noir. Les comparaisons des résultats préventes du modèle de CFD tracent l'utilité du modèle. En outre, il y a une bonne concordance entre les résultats théoriques et ceux donnés par les expériences exécutées avec une cheminée solaire de 1m de long à différentes inclinaison.

Tawit Chitsomboon et Pornsawan Thongbai [44] proposent une nouvelle technique solaire pour la ventilation dans le bâtiment, où le toit et la cheminée transparents sont utilisés pour induire la circulation de volume d'air élevé pour aérer le bâtiment aussi bien que pour refroidir les habitants. La force d'entraînement de l'écoulement est la flottabilité créée par la salle de grenier sous le toit transparent. L'écoulement est encore augmenté par la cheminée attachée au dessus de toit. Le CFD a été employé pour simuler la circulation d'air mentionnée à de divers paramètres significatifs tels que, l'inclinaison de toit, taille de la cheminée, l'intensité solaire et la forme de toit. Ils l'ont constaté que des débits d'air raisonnables ont été réalisés dans des conditions confortables dans le secteur rural du tropique.

Zoltan Adam et al [45] présentent une simulation mathématique détaillée et une étude expérimentale sur le flux d'air dans une cheminée solaire. Le modèle de cheminée solaire est considéré comme un canal simple vitré d'un côté et un mur collecteur de l'autre côté, et d'une épaisseur et un angle d'inclinaison variables. Pendant les expériences, la vitesse de l'air dans la cheminée dépend de la distance entre le plan chauffé et le vitrage. Les résultats des expériences et de simulation sont présentés dans une série de graphiques. Le modèle de simulation a donné les débits pour une large gamme de variables. Ils ont conclu qu'il y a quelques différences, qui peuvent ensuite être éliminées à l'aide des équations plus précises pour calculer l'épaisseur de la couche limite et le coefficient de transfert de la chaleur. Le débit maximum est atteint pour une inclinaison de 45 degrés.

Pour **D.J. Harris et N. Helwig** [46] leur étude est consacrée à la conception d'une cheminée solaire pour induire la ventilation dans un bâtiment. Des techniques de modélisation utilisant des codes CFD ont été employées pour évaluer les impacts de l'angle d'inclinaison et double vitrage sur le taux de ventilation. Ils ont constaté que pour une cheminée intégrée à la face sud, et un angle d'inclinaison de 67.5° par rapport à l'horizontal était optimum pour l'endroit choisi, donnant une efficacité plus grande de 11% que la

cheminée verticale, et cela un rendement plus élevé de 10% a été obtenu en employant une surface de mur de basse émissivité.

4.3. Cheminée solaire associé à une autre technique de ventilation :

Sudaporn Chungloo et Bundit Limmeechokchai [47] ont étudié l'effet de la cheminée solaire et la pulvérisation sur la ventilation naturelle. Le système de pulvérisation est placé au-dessus de toit du bâtiment. Ils ont trouvé que lorsque la température ambiante était de 40 ° C, la réduction maximale de la température est de 3,5°C pour l'effet de cheminée solaire, et une réduction maximale de la température de 6,2 à 8°C pour un effet combiné de la pulvérisation de l'eau et la cheminée solaire. En outre, la différence de la température entre l'admission et la sortie de la cheminée solaire tend à diminuer pendant la période du rayonnement solaire élevé et de la température ambiante élevée.

Yoshiteru Shinada et al [25] ont proposé un dispositif spécifique. Un système de ventilation naturelle comme étant une combinaison d'une cheminée solaire et une fosse souterraine installée au niveau d'un bâtiment scolaire. L'air extérieur entre dans le bâtiment après le passage par la fosse souterraine, puis il introduit dans les différentes salles et déchargé à l'extérieur par une cheminées solaires de huit mètres de hauteur par action de l'effet du cheminée, ou de retirer par action du vent. Les résultats mesurés pendant quatre ans après l'ouverture de l'école ont montré que l'énergie de l'exécution a amélioré l'année après année dû au système de ventilation naturelle.

5. Conclusion:

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

L'échangeur air-sol est une solution thermique passive, que l'on installe en amont du système de ventilation et qui se sert de l'inertie thermique du sol pour préchauffer ou refroidir l'air intérieur du bâtiment.

D'après la présentation des différentes recherches sur la ventilation passive par la cheminée solaire, on a conclu que :

- Les modèles présentés sont validés à l'aide des certaines hypothèses, qui sont utilisées pour simplifier les mécanismes complexes du problème étudié.
- Les résultats mesurés, simulés et calculés se rapprochent ce qui prouve la validité de chaque approche.
- Les cheminées inclinées sont plus efficace que les cheminées verticales.

Dans le présent travail on s'intéresse à la ventilation naturelle par la cheminée solaire inclinée, en réalisant deux études ; une expérimentale et l'autre numérique, suivie d'une application de la cheminée solaire sur une pièce. En utilisant les travaux de Muthur et al [42] et Zoltan et al [45] afin de valider nos modèles physiques. Les simulations numériques sont effectuées pour des nombres de Rayleigh d'ordre 10^9 c'est-à-dire l'écoulement de l'air dans le système étudié est turbulent.

CHAPITRE III

ETUDE EXPERIMENTALE

1. Introduction

On présente dans ce chapitre l'étude expérimentale, où on détermine le comportement d'écoulement d'air dans une cheminée solaire. En mesurant les paramètres physiques à l'entrée et à la sortie de la cheminée. Ce chapitre regroupe aussi les principaux résultats obtenus durant la période de 18 Mai au 06 Juin 2010.

2. Etude expérimentale :

2.1. Description du dispositif expérimental :

Le dispositif réalisé est un appareil construit de sorte que la plupart des variables peuvent être changés pendant les expériences. L'appareil expérimental est un canal dont l'épaisseur de la veine et angle d'inclinaison sont variables.

La cheminée peut simuler un capteur solaire plan de longueur 2 m et de largeur 1 m, et d'une épaisseur pouvant prendre des valeurs de 10, 20 et 30 cm. Elle est recouverte d'une plaque en verre d'épaisseur de 0.004m, au dessous de cette plaque est déposée une tôle galvanisé peinte en noire mate qui sert a absorber le rayonnement solaire. Les côtés latéraux, et la partie inférieure sont isolés thermiquement par du polystyrène d'une épaisseur de 40 mm. La cheminée prend les inclinaisons de 30 et 45 degrés par rapport au plan horizontal et orienté vers le sud.

2.2. Les constituants d'une cheminée solaire :

Les principaux composants de la cheminée solaire présentée sur la figure (III.1) sont :

- La couverture transparente (la vitre).
- L'absorbeur.
- L'isolation thermique sur les trois parois de la cheminée.
- Le coffre ou le cadre.

Nous allons étudier chaque élément en particulier, en donnant les indications nécessaires pour réaliser ou choisir une cheminée solaire.

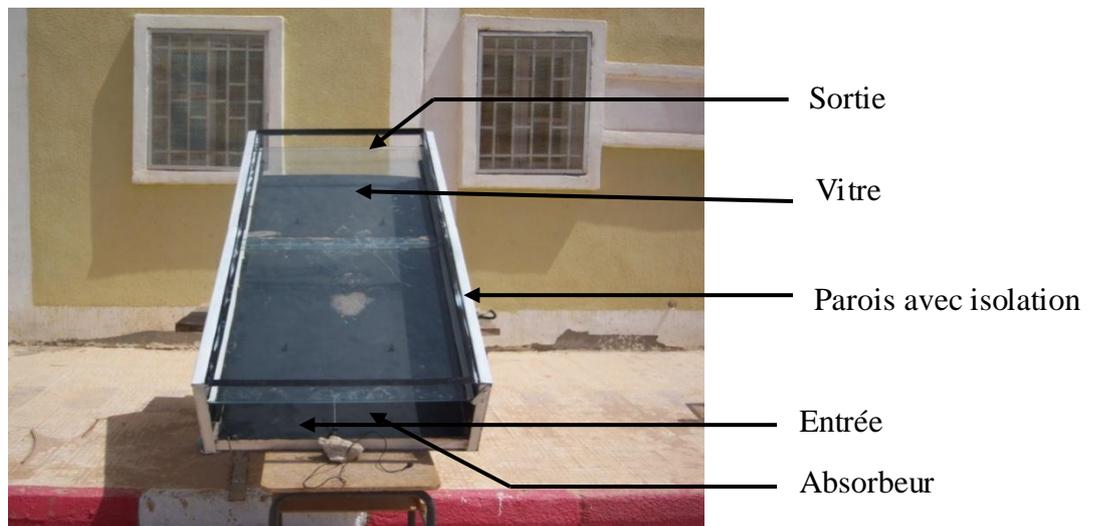


Figure III.1: La cheminée solaire

2.2.1. La couverture transparente (vitre):

La couverture transparente est utilisée en raison que: elle permet de laisser passer le maximum de rayonnement solaire et d'éviter le refroidissement de l'absorbeur, en réduisant les phénomènes de convection de l'air et en créant l'effet de serre. Le matériau le plus utilisé est le verre.

La vitre est fixée sur le coffre de la cheminée. La transmission énergétique correspond au pourcentage du flux d'énergie solaire transmis directement à travers la vitre. Une partie du rayonnement solaire est réfléchi par les parois du vitrage, tandis qu'une autre partie est absorbée par celui-ci, transformée en chaleur en entraînant une augmentation de sa température.

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur mais elle joue également un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur.

Tableau III.1 : Caractéristiques de la vitre

Désignation	La quantité
Epaisseur	0.004 m
Densité	$\rho = 2515 \text{ kg/m}^3$.
Chaleur massique :	$C_p = 720 \text{ J/kg K}$.
Conductivité thermique :	$k = 1.05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.
coefficient d'absorption	$\alpha = 0.06$.
Emissivité de verre :	$\varepsilon = 0.90$
Coefficient de transmission	$\tau = 0.85$

2.2.2. L'absorbeur:

L'absorbeur est l'élément essentiel dans la cheminée solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire, et de transmettre la chaleur produite vers l'air entrant avec un minimum de perte. Généralement les absorbeurs sont réalisés avec des métaux présentent une bonne conductivité, le tableau III.2 regroupe quelques uns.

Tableau III.2. Caractéristiques des différents matériaux utilisés pour l'absorbeur.

Matière	Conductivité (λ) W/m.°C	Chaleur massique kJ/kg.°C	Masse volumique kg/m³
Aluminium	230	0.895	2,700
Cuivre	380	0.385	8,930
Zinc	112	0.385	7,130
Acier (galvanisé)	52	0.727	7,900
Inox	52	0.711	7,900
Matières plastiques	0,2 - 0,4	0.836 - 1.045	1,000 à 1,500

Le matériau le plus utilisé est le cuivre, car il possède une bonne tenue à la corrosion et sa conductivité thermique est la plus élevée. Dans cette étude, on a utilisé l'acier galvanisé parce qu'il est disponible et résiste à la corrosion en milieu humide.

2.2.3. La lame d'air :

D'une manière générale l'épaisseur de la lame d'air influe sur les échanges convectifs entre l'absorbeur et le vitrage. La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm. Pour des épaisseurs supérieures à 4 cm, les mouvements de convection sont importants et le coefficient d'échange n'est guère amélioré [48]. Donc pour une lame d'air comprise entre 10, 20 et 30cm. Le coefficient d'échange reste constant, la chaleur est transférée par convection naturelle.

2.2.4. L'isolation des parois :

L'isolation thermique des parois de la cheminée évite les déperditions thermiques par conduction. Parmi les isolants les plus utilisés, la laine de verre et les mousses de polyuréthane, leur épaisseur d'isolation varie de 4 à 8 cm. Le choix de l'isolant se pose sur sa résistance aux températures de fonctionnement (maximum de 120°C). Le polystyrène dont la limite d'utilisation est 85°C. La laine de verre et la laine de roche sont sensibles à l'humidité et il faut veiller à ce qu'elles restent toujours sèches.

Tableau III.3: Caractéristiques de quelques isolants [49]

Désignation	Conductivité thermique (λ) (W/m. °C)	Masse volumique (kg/m ³)	Température maximale d'utilisation (°C)
Laine de verre	0,050	70	150
Laine de roche	0,050	80 – 156	150
Polystyrène	0,035	35	85
Polyuréthane	0,027	35 - 45	110

Dans notre étude nous avons utilisé le polystyrène comme un isolant thermique en raison de sa conductivité thermique faible, malgré que les laines minérales telles que la laine de verre et surtout laine de roche ont l'avantage de ne pas absorber l'humidité.

2.2.5. Le coffre ou le cadre :

Le coffre de la cheminée renferme les différents éléments actifs. Il assure une protection efficace aux agents atmosphériques. Les matériaux les plus utilisés, pour constituer le fond du coffre sont la fibre de verre enduite de résine, et les fines feuilles de métal (acier galvanisé, aluminium, inox) avec protection par revêtement stable aux intempéries. Les points de fixation des cheminées sur leur support font partie le plus souvent du coffre. Ces éléments doivent permettre de résister aux efforts à l'arrachement induits par le vent.

2.3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire:

Le rayonnement solaire incident atteint la surface de vitre, Une partie de ce rayonnement solaire traverse la vitre est absorbée par la surface de l'absorbeur figure III.3.

Celui-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) à l'intérieur de la cheminée. Cette énergie créera une différence de température entre l'absorbeur et la vitre. L'air entre dans la cheminée, réchauffé par l'énergie solaire, sa densité diminue. L'air chaud est évacué par l'ouverture supérieure et remplacé par l'air froid entré par l'ouverture inférieure. La différence de pression est fonction de la hauteur effective de l'effet de cheminée et de la différence de masse volumique de l'air extérieur et l'air intérieur (la masse volumique de l'air est directement proportionnelle à la température). La hauteur effective de l'effet de la cheminée peut être considérée comme étant la distance verticale entre les ouvertures.

On peut dire que la différence de la température crée un mouvement d'air ascendant appelé le tirage naturel ou ventilation naturelle.

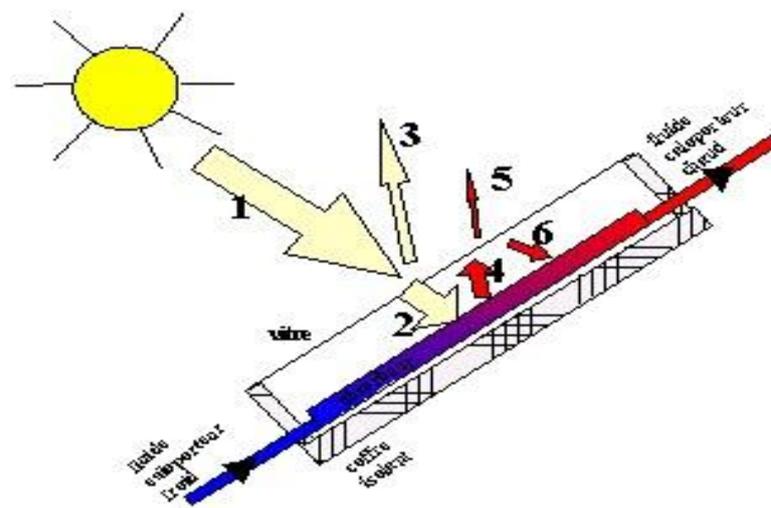


Figure III.2: Le rayonnement dans la cheminée solaire.

- 1 : rayonnement solaire incident
- 2 : rayonnement solaire transmis à travers la vitre vers l'absorbeur
- 3 : rayonnement solaire réfléchi par la vitre vers l'extérieur
- 4 : rayonnement infrarouge produit par l'absorbeur vers la vitre
- 5 : rayonnement infrarouge transmis par la vitre vers l'extérieur
- 6 : rayonnement infrarouge réfléchi par la vitre vers l'absorbeur

2.3.1. Bilan thermique de la cheminée solaire :

Le bilan énergétique par unité de surface de la cheminée s'écrit [50]:

$$\varphi_a = \varphi_u + \varphi_p + \varphi_s \quad (\text{III.1})$$

Où : φ_a Le flux solaire absorber à la surface de l'absorbeur,

φ_u La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur,

φ_p La puissance perdue par convection et conduction vers l'arrière de la cheminée

et par convection, conduction et rayonnement vers la face avant de la cheminée.

φ_s La puissance stockée sous forme de chaleur dans les différents éléments de la cheminée solaire lorsque le régime thermique est variable.

2.3.2. Les différentes quantités du rayonnement dans la cheminée solaire :

- **L'énergie solaire incidente sur la vitre :**

L'énergie solaire incidente est la quantité du rayonnement rassemblée par une surface horizontale pendant les heures de la lumière du soleil [51].

$$G = \int q_s(t) dt \quad (\text{III.2})$$

$$G = Q_t + Q_r + Q_a \quad (\text{III.3})$$

- **L'énergie solaire transmise à travers la vitre :**

Cette énergie dépend de la transmission de la vitre utilisée dans un intervalle pris entre (70 à 95 %) pour les différents types de la vitre. La quantité d'énergie solaire travers la surface de la vitre est de :

$$Q_t = \tau_g G \quad (\text{III.4})$$

τ_g : Coefficient de transmission de la vitre.

- **L'énergie solaire absorbée par la vitre :**

Pour les différents types des matières transparentes, le coefficient d'absorption est de 5 à 20% de l'énergie totale incidente. L'énergie solaire absorbée :

$$Q_a = \alpha_g G \quad (\text{III.5})$$

α_g : Coefficient d'absorption de la vitre.

- **L'énergie solaire réfléchiée par la vitre :**

L'énergie réfléchiée est donnée par:

$$Q_r = \rho_g G \quad (\text{III.6})$$

ρ_g : coefficient de réflexion de la vitre

- **L'énergie absorbée par l'absorbeur :**

La quantité du rayonnement solaire absorbée par l'absorbeur S2 est calculée à partir :

$$Q_{ab} = \tau \alpha_w G \quad (\text{III.7})$$

Avec α_w : coefficient de réflexion de l'absorbeur, et τ : coefficient de transmission.

- **Transfert de chaleur par rayonnement à l'extérieur de la cheminée :**

La perte d'énergie par rayonnement à l'extérieur de la cheminée est donnée par la relation suivante [51]:

$$Q_{ra} = \varepsilon_g \sigma (T_{ge}^4 - T_s^4) \quad (\text{III.8})$$

Avec : σ (constante de Stefan Boltzmann) = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

et ε_g (émissivité de la vitre) = 0.9

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (\text{III.9})$$

- **Energie transférée par rayonnement entre l'absorbeur et la vitre :**

L'énergie transmis par rayonnement entre l'absorbeur et la vitre a été obtenu à partir [42]:

$$Q_{wg} = \frac{\sigma (T_g^2 + T_w^2)(T_g + T_w)(T_g - T_w)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1\right)} \quad (\text{III.10})$$

ε_w (Émissivité de l'absorbeur) = 0.95

2.4. Appareillages de mesures :

Dans cette étude expérimentale sur la cheminée solaire, nous avons fait des tests pour fournir des données de mesure pour le modèle de simulation. Les mesures ont été effectuées au laboratoire VPRS à l'université Kasdi Merbah - Ouargla. Afin d'estimer l'efficacité de la cheminée solaire, les expériences ont été réalisées durant une période de climat tempéré avec un ciel clair, et les mesures sont prises entre 8h et 16h avec un pas de temps égal à trente minutes (30min).

Une cheminée solaire a été construite de sorte qu'on peut modifier au cours des expériences l'épaisseur de la veine d'air et l'inclinaison de la cheminée.

Pour connaître les paramètres physiques de l'air, telle que la température, la vitesse de vent et la radiation solaire...etc., nous avons utilisé les instruments de mesure suivants :

2.4.1. Mesure du rayonnement solaire :

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



Figure III.3: Pyranomètre à affichage numérique

2.4.2. Mesures des températures :

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K (figure III.4) dans plusieurs endroits présélectionnés de la cheminée solaire.

Cinq thermocouples ont été placés sur le système, repartis comme suit :

- Thermocouples à l'entrée de la cheminée.
- Thermocouples à la sortie de la cheminée.
- Thermocouples au niveau de la plaque absorbante.
- Thermocouples au niveau du vitrage.
- Thermocouple au milieu de la cheminée, pour mesurer la température de l'air à l'intérieur de la cheminée.



Figure III.4: Thermocouple de type K

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

La vitesse et le débit volumique de l'air à l'entrée et la sortie de la cheminée solaire sont mesurés à l'aide d'un anémomètre à fil chaud connecté à un appareil de marque testo 425 avec une précision de 0.01 m/s (Figure III.5).



Figure III.5 : Testo425

2.4.4. Mesure de la température ambiante :

La mesure de la température ambiante s'effectue à l'aide d'un hygromètre de type Testo608-HI avec une précision de 0,1°C.



Figure III.6 : Hygromètre Testo608-HI

3. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux :

3.1. Variation du rayonnement global :

La figure III.7 présente la variation du rayonnement global en fonction du temps correspondant à une journée claire (02 Juin 2010), elle a une forme gaussienne dont la valeur maximale de rayonnement est de 784 W/m^2 à 12h :30 et une valeur minimale de 466 W/m^2 à 9h :00 lors du début des mesures.

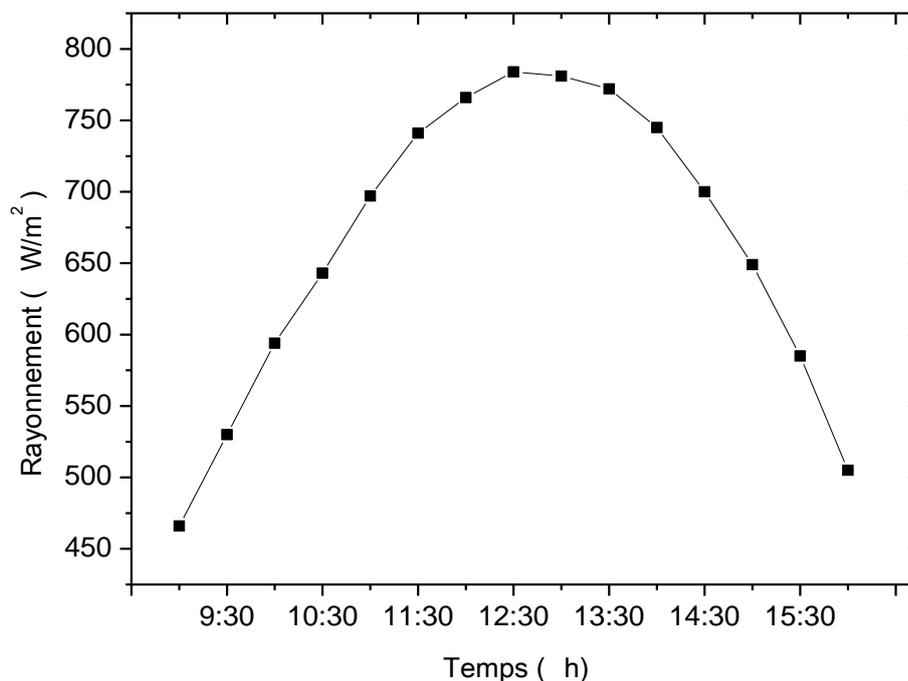


Figure III.7: Variation de rayonnement en fonction du temps

3.2. L'évolution des différentes températures et le rayonnement solaire :

La figure III.8 représente la variation des différentes températures (ambiante, absorbeur, vitre et de l'air à l'intérieur de la cheminée) et l'intensité du rayonnement solaire en fonction du temps correspondant à la journée du 26 Mai 2010.

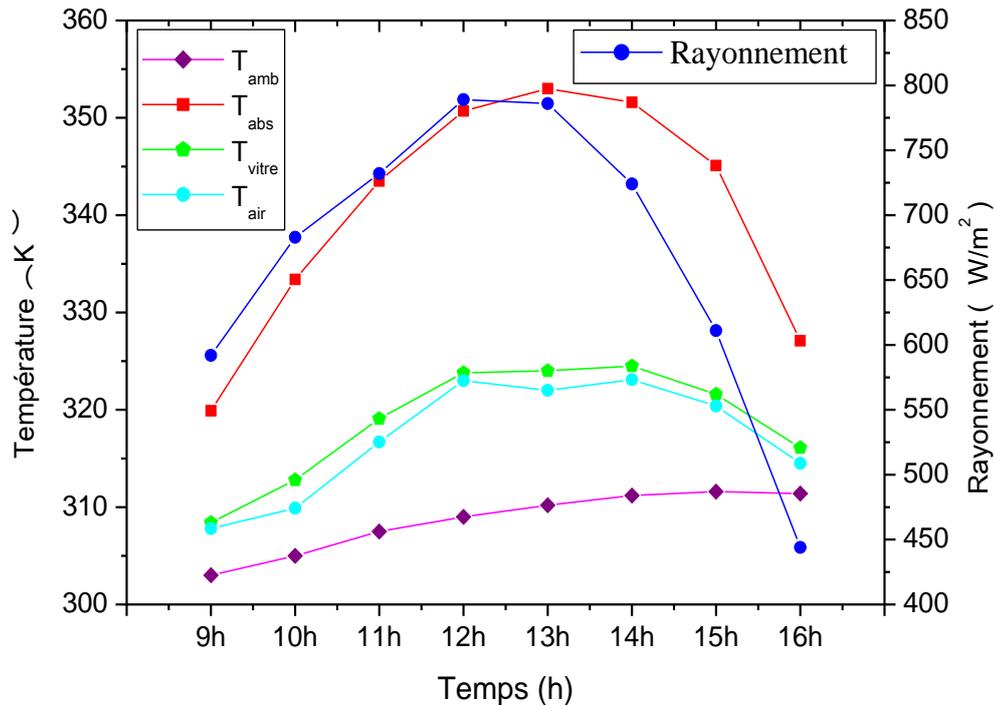


Figure III.8: Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps

D'après la figure ci-dessus, on remarque que l'allure des températures est identique à celle du rayonnement solaire. La température est élevée au niveau de l'absorbeur de la cheminée solaire. On observe une augmentation des températures pour la période de 09h00 à 13h00, où la valeur maximale de la température de l'absorbeur (T_{abs}) atteint 353 K à 13h00, et celles de la vitre et de l'air à l'intérieur de la cheminée atteignent respectivement 324K, et 323K pour la période allant de 12 h à 14 h. Ceci est dû à l'augmentation de la densité de flux solaire incident pour cette période. Par contre, l'après midi, on observe une diminution progressive de la température d'absorbeur et aussi l'intensité du rayonnement.

En outre, les températures de vitre et de l'air à l'intérieur de la cheminée restent presque constantes entre 12h00 et 14h00, et diminuent plus lentement après 14h00, malgré que l'intensité de rayonnement solaire diminue aussi. Cela est dû au fait que l'absorbeur dégage une quantité de chaleur.

3.3. L'effet du rayonnement sur les températures d'absorbeur et de vitre:

La transmission du rayonnement solaire dans la cheminée crée certainement une différence de température. Les évolutions respectives de la température moyenne de vitre et de l'absorbeur en fonction de l'intensité de rayonnement sont représentées sur la figure (III.9).

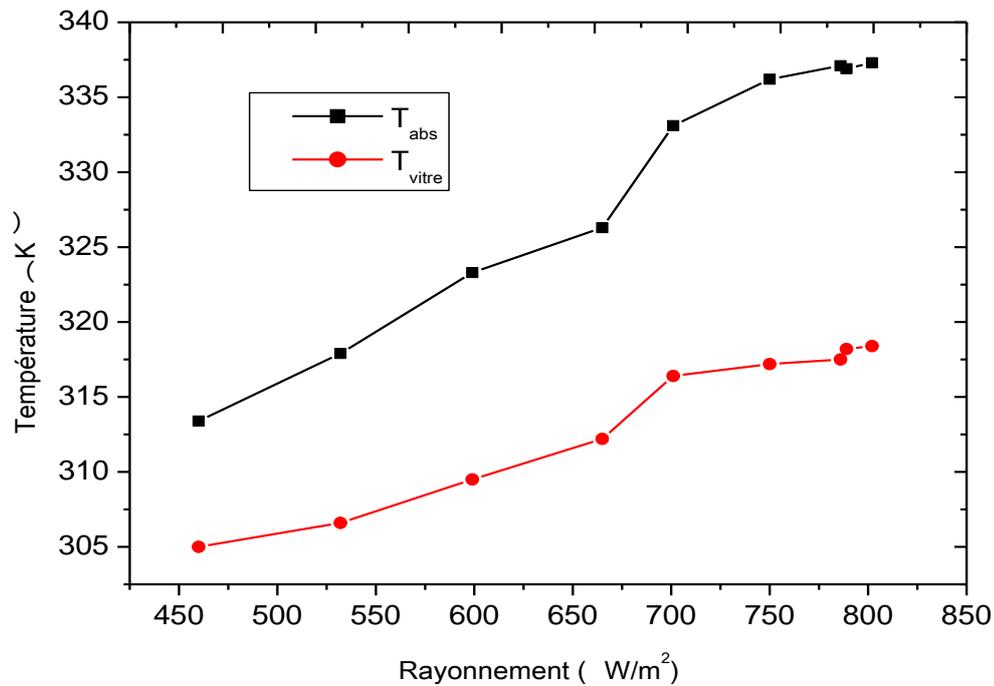


Figure III.9: Variation des températures du vitre et d'absorbeur en fonction de l'intensité de rayonnement ($\alpha=45^\circ$, $e=20$ cm).

La courbe obtenue nous indique que la différence de température entre l'absorbeur et la vitre. On observe une augmentation linéaire de l'ensemble des températures avec l'augmentation de l'intensité de rayonnement solaire, en raison de la nature de l'absorbeur qui absorbe et stocke l'énergie thermique. L'énergie absorbée provoque une élévation de la température de l'absorbeur, la grande quantité de cette énergie est consommée par l'air dans la cheminée afin de l'accélérer.

3.4. Etude comparative de l'épaisseur de la cheminée et de l'inclinaison:

Les Figures III.10 et III.11 représentent la variation du débit volumique en fonction du temps pour des épaisseurs différents de la lame d'air ($e=30$, $e=20$ cm, $e=10$ cm)

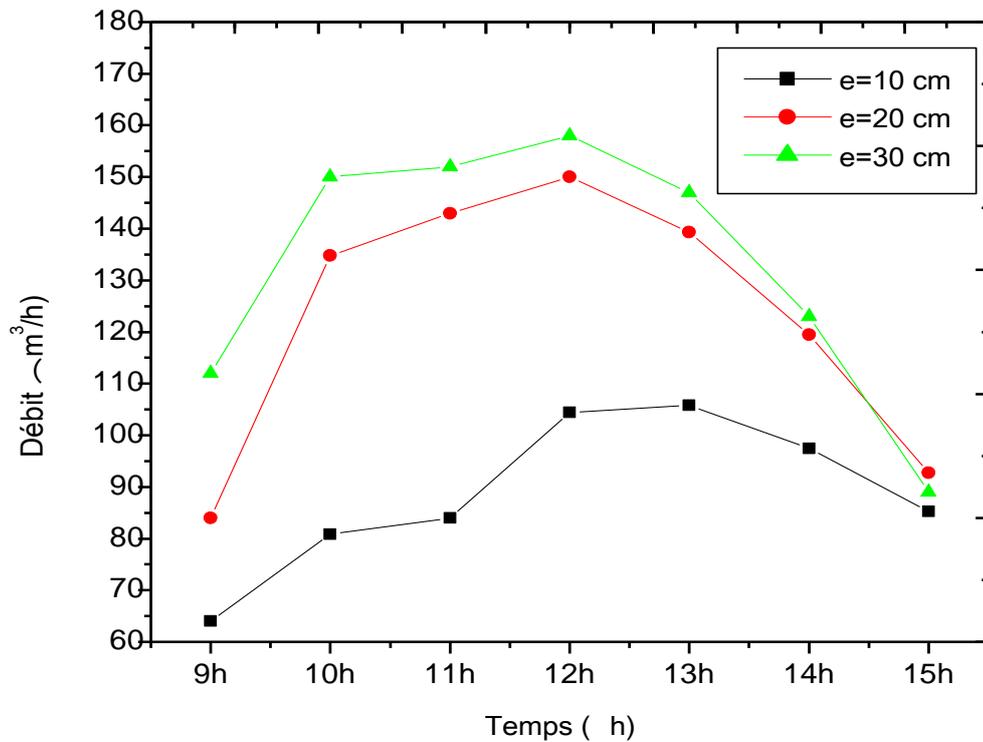


Figure III.10: Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de 30 ° sur le débit sortant.

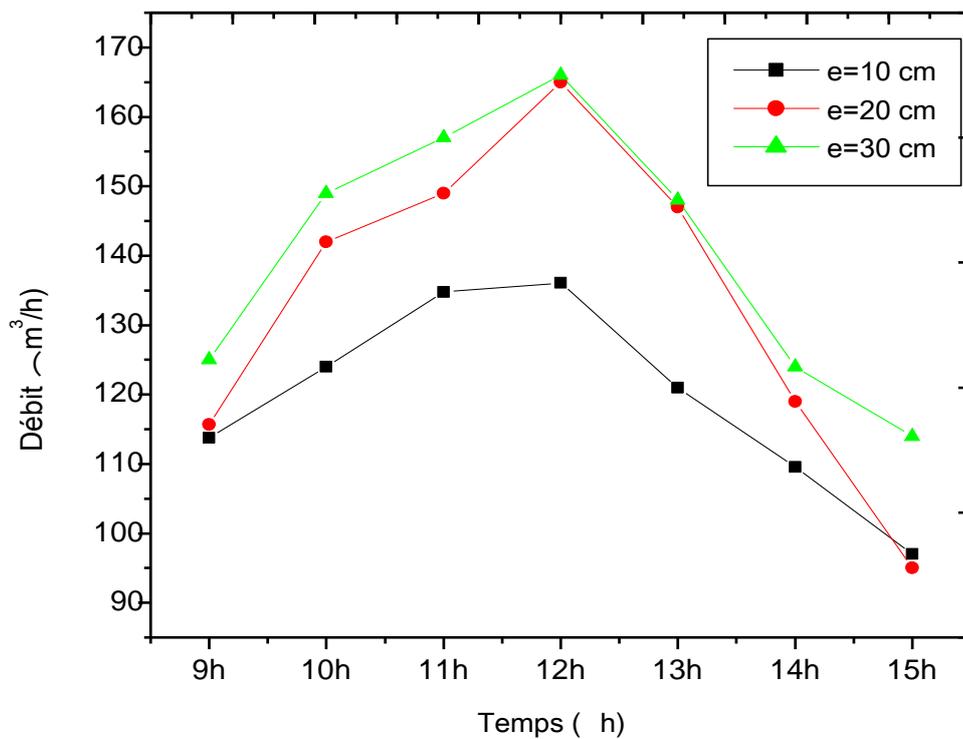


Figure. III.11: Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de 45° sur le débit sortant.

D'après les figures III.10 et III.11, on observe que les courbes correspondant aux trois épaisseurs de la veine d'air ont une allure semblable de forme gaussienne, où le débit

d'air atteint une valeur maximale à 12h, cela est dû au rayonnement solaire absorbé dans cette période puis une diminution progressive l'après midi. On constate aussi que l'augmentation de l'épaisseur engendre une augmentation de débit volumique de l'air dans la cheminée solaire pour toutes les heures de la journée.

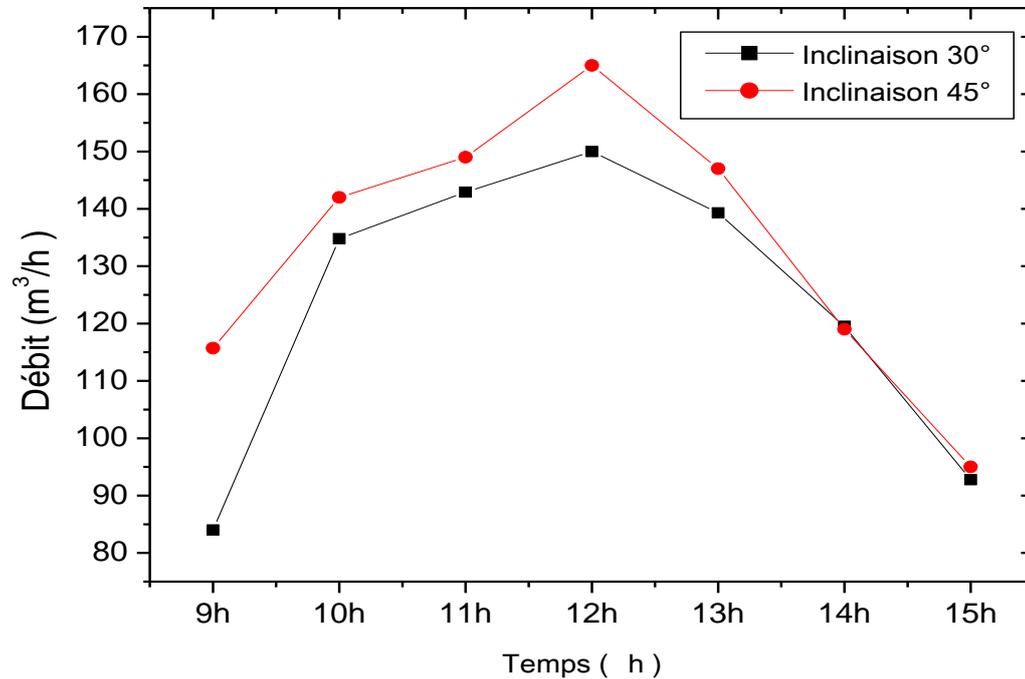


Figure III.12: Effet de l'inclinaison sur le débit sortant de la cheminée.

La figure III.12 présente l'évolution du débit volumique en fonction du temps pour deux inclinaisons et une épaisseur de lame d'air prise égale à 20 cm. Les courbes ont la même forme que celles des figures précédentes (figures III.10 et III.11). On remarque que les débits correspondant à l'angle 45° sont plus élevés par rapport à ceux obtenus avec une inclinaison de 30°. Plus l'inclinaison de la cheminée solaire est grande plus le débit d'air est maximal. Ce phénomène de convection naturelle est lié à des considérations d'accélération dynamique dans le sens vertical correspondant aux forces de flottabilité.

CHAPITRE IV

MODELISATION NUMERIQUE

1. Introduction :

Avec les données expérimentales nous avons réalisé une simulation numérique bidimensionnelle; le calcul numérique est mené à l'aide du code de calcul Fluent version 6.3.26. Les équations régissant sont résolues par la méthode des volumes finis pour un écoulement turbulent basé sur le model k- ϵ . Une application est exécutée sur une pièce équipée d'une cheminée solaire inclinée par rapport à l'horizontal, afin de prédire le taux de ventilation. On termine ce chapitre par un dimensionnement d'un échangeur air- sol. Le poste de travail utilisé pour ces simulations est un PC doté d'un microprocesseur Pentium ® Dual-Core CPU avec une fréquence d'horloge de 2,0 GHz et de 3.00 Go de mémoire vive.

2. Description du problème :

2.1. Les modèles physiques :

Les modèles physiques étudiés dans ce travail sont :

2.1.1. Cheminée seule :

Le premier modèle physique considéré est schématisé sur la figure IV.1. Il s'agit d'une cheminée solaire de dimensions citée auparavant, dont l'absorbeur et le vitre sont maintenues à une température constante.

Il est nécessaire de connaître un certain nombre de paramètres tels que la géométrie de la cheminée solaire (Figure IV.1), les caractéristiques des matériaux utilisés et les paramètres physique de l'écoulement tels que les températures et la vitesse de l'air à l'entrée et à la sortie de la cheminée.

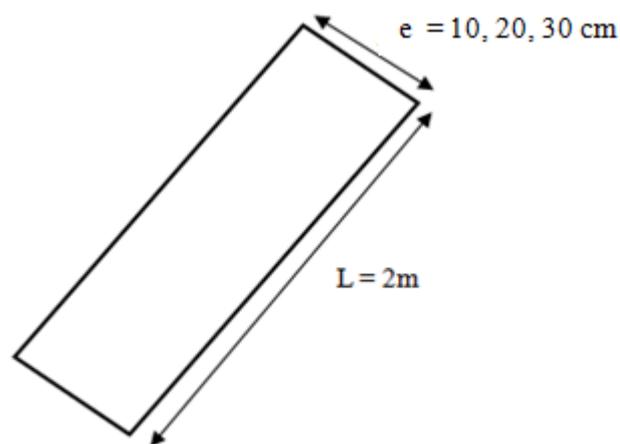


Figure IV.1: Géométrie de la cheminée solaire

2.1.2. Pièce munie d'une cheminée :

Le deuxième modèle physique étudié dans ce présent travail est donné par la figure IV.2. Ce modèle est considéré comme une chambre de forme cubique de dimension (1 m x 1 m x 1 m). La partie supérieure de cette chambre est équipée d'une cheminée solaire inclinée d'un angle de 45° , et de dimension 1 m x 0.35 m. Tous les côtés de la chambre sont adiabatiques, pour éliminer le transfert de chaleur avec le milieu ambiant. La chambre a une ouverture de 0.35 m x 1 m sur une des parois verticales.

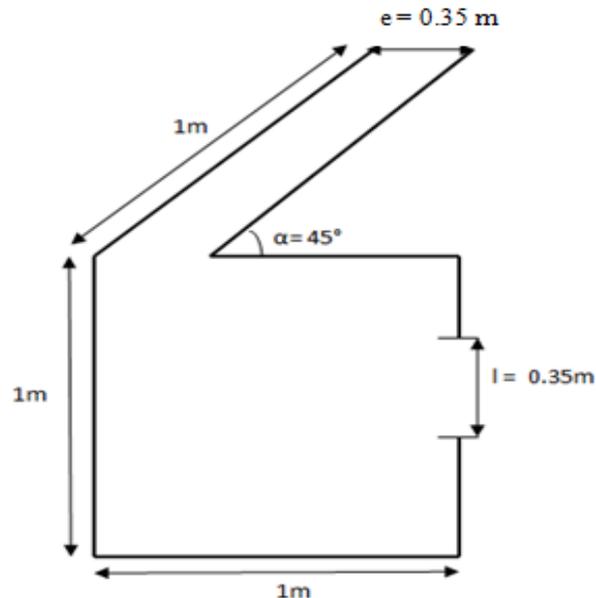


Figure IV.2: Schéma et dimensionnement de la pièce

2.2. Les hypothèses :

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

- L'écoulement est bidimensionnel.
- L'écoulement permanent.
- L'écoulement de l'air est turbulent.
- Le fluide est newtonien et incompressible.
- L'absorbeur et le verre sont toujours parallèles.
- La température de l'air à l'entrée du canal d'écoulement est égale à la température ambiante.

2.3. Les équations régissantes :

2.3.1. Equation de continuité :

Considérons un écoulement du fluide traversant un volume de contrôle montré dans la figure IV.3. La conservation de la masse dans le volume de contrôle exige que la somme des masses entrantes et sortantes à travers ce volume soit nulle.

$$\left[\begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{entrant à AB} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{sortant de CD} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{entrant à AD} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{sortant de BC} \end{array} \right] = 0 \quad (\text{IV.1})$$

Et puisque l'écoulement est considéré bidimensionnel, l'unité des sections de passage AB, CD, AD et BC est réduite à l'unité de longueur, donc :

- ◆ La masse traversant AB par unité de temps = $(\rho u) \cdot (\text{Aire de AB}) = \rho u \cdot dy$
- ◆ La masse traversant AD par unité de temps = $(\rho v) \cdot (\text{Aire de AD}) = \rho v \cdot dx$

Alors l'équation (IV.1) devient :

$$\rho u dy - \left[(\rho u dy) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u dy) dx \right] + \rho v dx - \left[(\rho v dx) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v dx) dy \right] = 0 \quad (\text{IV.2})$$

Après la simplification de l'équation (IV.2), on obtient l'équation de continuité :

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) = 0 \quad (\text{IV.3})$$

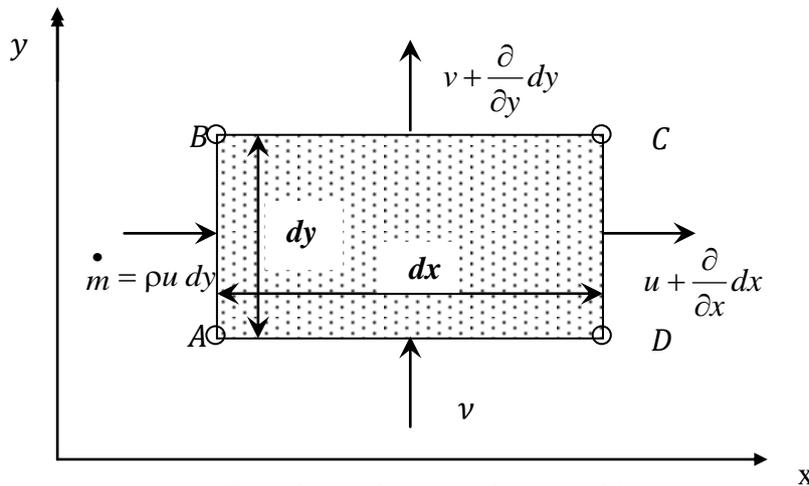


Figure IV.3: Volume de contrôle considéré

2.3.2. Equation de conservation de quantité de mouvement :

L'équation de la conservation du mouvement à travers le volume de contrôle montré dans la figure IV.3 est :

$$\left[\begin{array}{l} \text{Débit net de} \\ \text{quantité de} \\ \text{mouvement} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Force} \\ \text{de} \\ \text{pression} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Force} \\ \text{de} \\ \text{frottement} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Force} \\ \text{de} \\ \text{pesanteur} \end{array} \right] \quad (\text{IV.4})$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} dx dy + \left[(\rho u^2 dy) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2 dy) dx - (\rho u^2 dy) \right] + \left[(\rho v u dx) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v u dx) dy - (\rho v u dx) \right] \\ = p dy \left[p dy + \frac{\partial}{\partial x} (p dy) dx \right] + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) dx dy \end{aligned} \quad (IV.5)$$

- **Suivant la direction (x)**

L'équation (IV.5) devient :

En divisant l'équation par $dx \cdot dy$, on obtient

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v u) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (IV.6)$$

Le terme gauche de l'équation (IV.6) peut être exprimé comme suit :

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v u) &= \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} \\ &= \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \underbrace{\left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) \right]}_{\text{Equation de continuité}} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} \end{aligned} \quad (IV.7)$$

Le terme représentant l'équation de continuité est nul, alors l'équation (IV.7) devient pour un écoulement permanent:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (IV.8)$$

- **Suivant la direction (y)**

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial v}{\partial t} dx dy + \rho v^2 dx + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v^2 dx) dy - \rho v^2 dx + \rho v u dy + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v u dy) dx - \rho v u dy \\ = p dx \left[p dx + \frac{\partial}{\partial y} (p dx) dy \right] + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) dx dy - \rho' g dx dy \end{aligned} \quad (IV.9)$$

La simplification de l'équation (IV.9) donne pour un écoulement permanent:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\rho'}{\rho} g \quad (IV.10)$$

2.3.3. Equation de l'énergie :

L'équation de conservation de l'énergie à travers le volume de contrôle est donnée par :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{IV.11})$$

2.3.4. Approximation de Boussinesq :

Les variations relatives de masse volumique due à des variations de température sont supposées petites par rapport à un état de référence. L'équation de continuité et l'équation de Navier-Stocks deviennent :

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{IV.12})$$

$$u_j \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_j} = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial u_i}{\partial x_i \partial x_j} + F \quad (\text{IV.13})$$

$$F = -g\beta(T - T_0) \quad (\text{IV.14})$$

L'hypothèse introduite et les équations IV.13, IV.14, s'appelle l'approximation de boussinesq.

Pour obtenir les équations du mouvement turbulent, on introduit dans les équations de Navier-Stocks la décomposition de Reynolds. Cette décomposition consiste à considérer toute grandeur scalaire g comme la somme d'un terme moyen et d'un terme fluctuant :

$$g = \overline{g} + g' \quad (\text{IV.15})$$

Etant donnée que le fluide est incompressible ; g' désigne le terme de fluctuation

"-": Désigne la valeur moyenne temporelle conventionnelle, définie par :

$$\overline{g} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_t^{t+T} g(t) dt \right] \quad (\text{IV.16})$$

Les fluctuations turbulentes sont supposées aléatoires et leur moyenne est nulle. En introduisant cette décomposition dans les équations de Navier-Stocks écrites pour le mouvement instantané puis en prenant la moyenne temporelle, on obtient les équations du mouvement moyen, pour un fluide incompressible s'écrivent :

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (\text{IV.17})$$

$$\bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\rho \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] + \bar{F} \quad (\text{IV.18})$$

$$\bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = k \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x_j^2} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\overline{u'_j T} \right) + \bar{\phi} \quad (\text{IV.19})$$

Les propriétés physiques du fluide et les termes sources sont supposés connus. Il reste à déterminer les corrélations des fluctuations de vitesse et de température ($\overline{u'_i u'_j}$ et $\overline{u'_j T}$).

$$\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (\text{IV.20})$$

$$\overline{u'_j T} = -K_t \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \quad (\text{IV.21})$$

Avec $k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i}$ est l'énergie turbulente par unité de masse (m^2/s). ν_t la viscosité turbulente, et K_t la diffusivité turbulente s'expriment dans la même unité (m^2/s). leurs rapport Pr_t s'appelle nombre de Prandtl turbulent. $\text{Pr}_t = \frac{\nu_t}{K_t}$

2.4. Les modèles de turbulence :

Il existe différents niveaux de modèles, se distinguant par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème : on cite ainsi le modèle de turbulence à zéro, une ou deux équations. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à deux équations et plus particulièrement le modèle de turbulence k-ε standard qui est le plus répandu [52].

Trois modèles de turbulence sont disponibles dans Fluent :

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

Dans cette étude on a utilisé le modèle k-ε standard.

2.4.1. Modèle k-ε :

Il existe des modèles de turbulence à haut nombre de Reynolds, qui prennent en compte le transport des quantités turbulentes, en leur associant des équations de transport différentielles. Le modèle k-ε fait partie de cette catégorie de modèles.

Ce modèle propose deux équations pour déterminer la viscosité turbulente, et fait donc partie des modèles à deux équations. Ce modèle est le plus connu et le plus utilisé dans l'industrie jusqu'à présent. Le modèle k-ε standard est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation ε [53]. L'équation modélisée de l'énergie turbulente est dérivée de l'équation exacte. Celle de la dissipation est obtenue sur la base d'un raisonnement physique. Dans ce modèle, l'écoulement est supposé complètement turbulent.

- **Modélisation de la viscosité turbulente :**

La viscosité turbulente μ_t est obtenue en combinant k et ε comme suit :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (\text{IV.22})$$

Dans le modèle k-ε, C_μ est une constante, dont sa valeur est égale à 0.09. K_t est estimée en supposant que le nombre de Prandtl est connu ($Pr_t=0.7$).

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

$$\overline{u_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + P + G - \varepsilon \quad (\text{IV.23})$$

$$\overline{u_j} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P + C_{\varepsilon 3} G - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \quad (\text{IV.24})$$

Avec :

- $P = -\overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j}$, terme de production qui correspond à un transfert du mouvement moyen vers le mouvement fluctuant.
- $G = -\beta \cdot g_i \overline{u'_i T'}$, travail des forces de gravité au cours des fluctuations turbulentes :
- $\varepsilon = \nu \frac{\partial^2 \overline{u'_i}}{\partial x_j^2}$, dissipation visqueuse.

Les constantes usuelles du modèle de turbulence k- ϵ sont données à partir de l'expérience ou de la théorie par les valeurs suivantes :

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

2.5. Les conditions aux limites :

Les conditions aux limites sont les conditions imposées à la frontière externe du domaine étudié. Elles sont nécessaires pour que le problème mathématique soit correctement traité.

- **A l'entrée et à la sortie :**

A l'entrée et à la sortie du système, La condition est fixée et elle est de type Dirichlet. Alors la condition à l'entrée et à la sortie de système est égale la pression atmosphérique.

- **Les parois solides (l'absorbeur et la vitre) :**

Sur les parois solides, les conditions sont de type Dirichlet. En ce qui concerne le champ dynamique, nous imposons la condition d'adhérence et qui est traduit par une vitesse nulle sur les parois. Pour le champ thermique, une température constante sur la vitre et l'absorbeur doit être fixée.

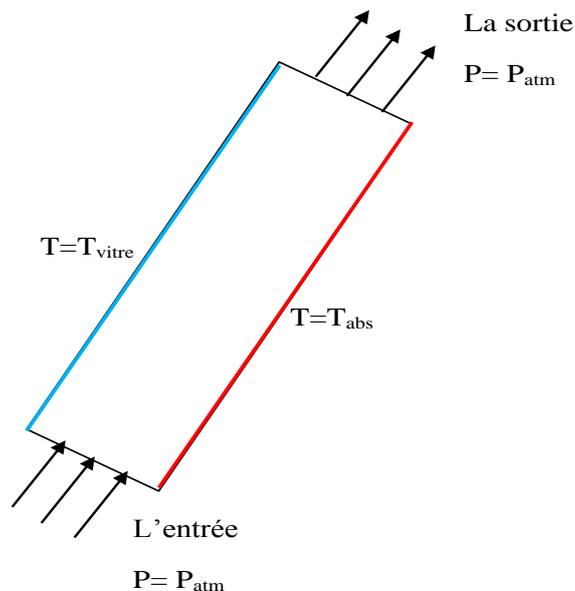


Figure IV.4 : Les conditions aux limites.

Les conditions aux limites pour le deuxième modèle sont identiques à celles du premier modèle. La condition à l'entrée est imposée au niveau de la fenêtre qui est supposée l'entrée du domaine de calcul. Les autres parois de la pièce sont considérées adiabatiques.

2.6. Choix du maillage :

Le nombre de cellules nécessaires pour résoudre un problème dépend de la précision attendue. Il est important que le maillage soit resserré dans toutes les zones où les variables présentent de forts gradients, en particulier au voisinage des parois. Afin de choisir un maillage optimal pour obtenir des résultats numériques acceptables, on fait varier le nombre de cellules et on observe l'évolution des résidus en fonction du nombre d'itérations. La différence relative entre le débit à l'entrée et la sortie de la cheminée est choisie comme critère de convergence. Les valeurs des résidus choisis sont égales à 10^{-3} pour les équations du mouvement, de continuité, d'énergie cinétique turbulente et l'équation de dissipation turbulente, et de 10^{-6} pour l'équation d'énergie.

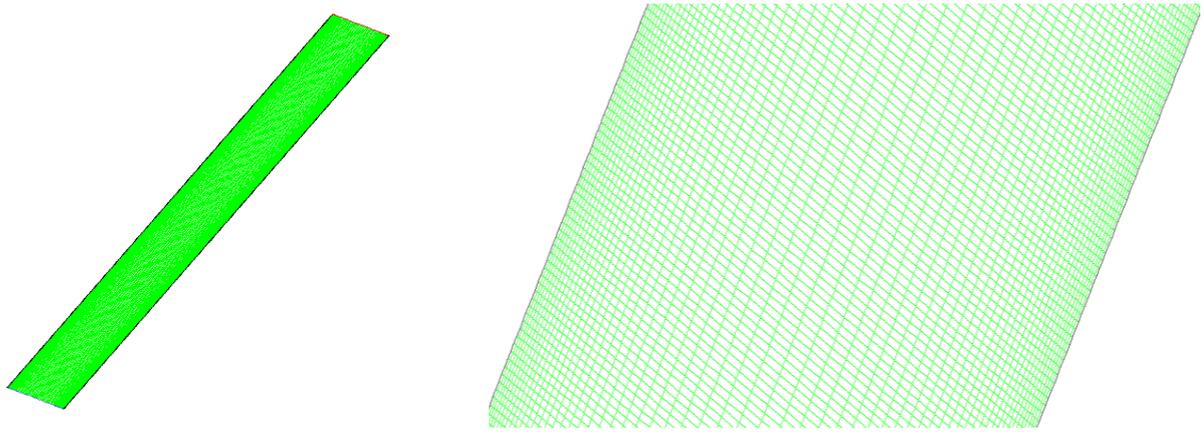
Nous avons opté pour les conditions de fonctionnement suivantes :

($T_{\text{amb}}=303\text{K}$, $T_{\text{abs}}=327.4\text{K}$, $T_{\text{vitr}}=314.3\text{K}$, $\beta = 0.0031\text{K}^{-1}$, $\rho = 1.0877\text{kg/m}^3$, $\mu = 1.9444 \cdot 10^{-5}\text{kg/s.m}$, $K=0.0278\text{W/m.K}$, $C_p=1007.83\text{J/kg.K}$).

Tableau IV.1: Différence de débit massique entrant et sortant de la cheminée et le nombre des itérations.

Taille du maillage	Différence relative de débit massique de l'air entrant et sortant (%)	Nombre d'itérations
800x30	$3.21 \cdot 10^{-3}$	376
800x40	$4.56 \cdot 10^{-3}$	380
800x50	$3.54 \cdot 10^{-3}$	385
800x60	$1.237 \cdot 10^{-3}$	387
800x70	$1.49 \cdot 10^{-3}$	413
800x80	$1.18 \cdot 10^{-3}$	430

On choisit le maillage qui donne une différence entre le débit massique entrant et sortant de la cheminée avec un nombre minimal d'itérations (minimisé le temps de calcul), Après les calculs précédents on choisi le maillage (800 x 60) irrégulier, raffiné au niveau des parois, afin de détecter les échanges thermiques à ce niveau figure III.13, le nombre de mailles est donc de 48000.



(a) : maillage complet

(b) : Partie de maillage

Figure IV.5: Maillage (800 x 60) du premier modèle

Le maillage utilisé pour le deuxième modèle est caractérisé par: 118500 cellules, 237955 faces, et 119456 nœuds.

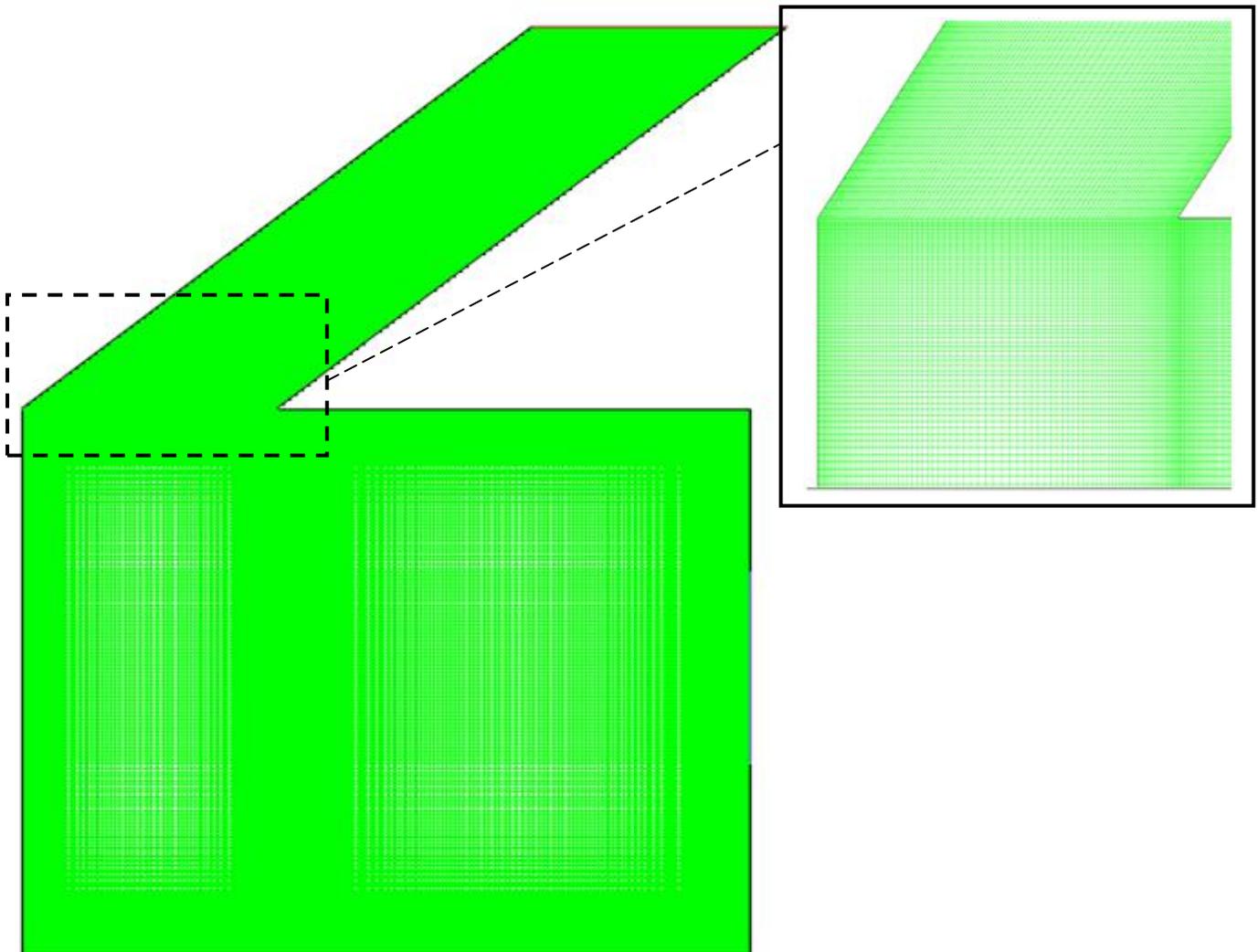


Figure IV.6: Maillage du deuxième modèle (la pièce avec une cheminée).

2.7. Les expressions des paramètres physiques de l'air [42]:

Tableau IV.2 : Les paramètres physiques de l'air.

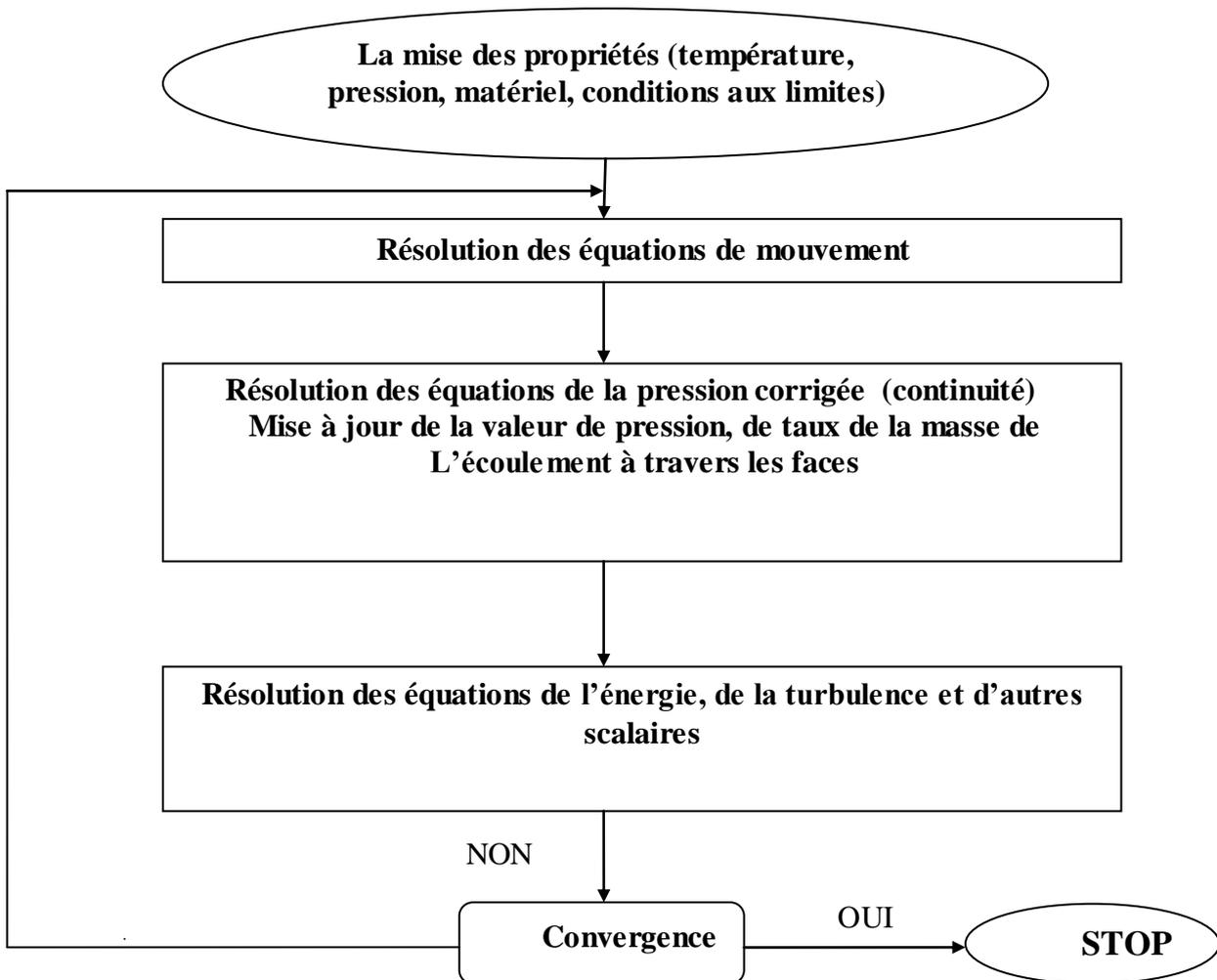
Désignation	Expression
Température moyen entre l'absorbeur et le vitrage	$T_m = (T_{abs} + T_{vitre}) / 2$
Coefficient de dilatation thermique volumétrique de l'air	$\beta = 1/T_m$
Densité (la masse volumique)	$\rho = [1.1614 - 0.00353 (T_m - 300)]$
Viscosité dynamique	$\mu = [1.846 + 0.00472 (T_m -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

2.8. Taux de renouvellement d'air :

En ventilation naturelle, on définit le taux de changement d'air (ACH), qui indique le nombre de fois en une heure où la totalité du volume d'air d'un espace est renouvelé. Ce dernier est exprimé par le rapport de débit volumique et le volume de la pièce considéré, ce rapport est l'ACH. Cet indice donné par ASHARE comme [35]:

$$ACH = \frac{q \cdot 3600}{\text{le volume total de la pièce}} \quad (\text{IV.25})$$

2.9. Organigramme de calcul :



3. Le dimensionnement d'échangeur air-sol :

3.1. Echange thermique dans un tube enterré :

Nous ferons ici l'hypothèse que la température extérieure du tube est constante, ce qui revient à considérer que l'inertie thermique du sol est grande devant les quantités de chaleur échangée. Nous considérerons de plus que l'échange thermique se fait en régime stationnaire, c'est à dire que les températures restent constantes dans le sol et à la paroi du tube.

L'échange de chaleur à l'intérieur d'un tube où circule un fluide se fait par convection. Le flux thermique par unité de surface φ , à travers la paroi du tube est proportionnel à la différence de température entre la surface interne, T_{sol} , et externe du tube, T_{air} , et à l'inverse de la résistance thermique de la paroi, R .

$$\varphi = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} \quad (IV.26)$$

La résistance de la paroi est composée, d'une part, de la résistance à la conduction, d'autre part de la résistance à la convection.

$$R = R_{cond} + R_{conv} \quad (IV.27)$$

R_{cond} , pour un tube cylindrique est donnée par l'expression suivante [54]:

$$R_{cond} = \frac{1}{2\pi\lambda l} \ln \frac{r_{ex}}{r_{in}} \quad (IV.28)$$

Avec r_{ex} est le rayon extérieur du cylindre, et r_{in} est le rayon interne. R_{conv} est donné par :

$$R_{conv} = \frac{1}{hS} \quad (IV.29)$$

Remplaçant les équations IV.28 et IV.29 dans l'équation IV.27, on obtient :

$$R = \frac{2\lambda + Dh \ln \frac{r_{ex}}{r_{in}}}{2\lambda S h} \quad (III.30)$$

Le flux thermique augmente avec la différence de température sol- air et avec le débit. Il peut également s'obtenir analytiquement en considérant le flux de chaleur transporté par l'air ventilé dans la gaine et la variation de température de l'air (lorsqu'il atteint la température du sol) [32].

$$\varphi = -\rho_{air} \cdot C_{p(air)} \cdot q \cdot (T_{air} - T_{sol}) \quad (IV.31)$$

De l'équation IV.26 et IV.31 on obtient :

$$S = \frac{\rho_{air} \cdot C_{p(air)} \cdot q \cdot (2\lambda + Dh \ln \frac{r_{ex}}{r_{in}})}{2\lambda h} \quad (IV.32)$$

La longueur de tube est :
$$L = \frac{S}{\pi D} \quad (IV.33)$$

On détermine le coefficient d'échange convectif h à partir des nombres adimensionnels qui caractérisent l'écoulement.

3.2. Les nombres adimensionnels :

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

- **Le nombre de Reynolds :**

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

Il est défini comme suit :

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \quad (IV.34)$$

Pour aller d'un régime laminaire vers un régime turbulent, cela nécessite le passage d'une zone de transition caractérisée par son nombre de Reynolds critique qui a pour valeur :

$Re_c = 2300$, pour le cas d'une conduite

- **Le nombre de Prandtl :**

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

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad (IV.35)$$

C_p : Capacité calorifique massique ($J/kg.K$)

- **Le nombre de Nusselt :**

Le Nombre de Nusselt **Nu** est le rapport du flux thermique φ , transmis par convection à un flux thermique transmis par conduction à travers le fluide, il est donné par la relation :

$$Nu = \frac{hD}{\lambda} \quad (IV.36)$$

Le nombre de Nusselt pour un écoulement d'air dans une conduite de surface interne lisse, dépend de nombre de Reynolds est obtenu par [55]:

$$Nu = 3,66 \quad \text{si} \quad Re < 2300$$

$$Nu = \frac{\frac{\xi}{8} (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 \sqrt{\left(\frac{\xi}{8}\right)} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad \text{si} \quad 2300 \leq Re < 5.10^6 \quad (IV.37)$$

avec

$$\xi = (1,82 \text{ Log } Re - 1,64)^{-2} \quad \text{si} \quad Re \geq 2300 \quad (IV.38)$$

- **Nombre de Rayleigh :**

Le nombre de Rayleigh Ra est le paramètre de contrôle de la convection thermique. Plus le nombre de Rayleigh est grand, plus la convection est intense.

Le nombre de Rayleigh peut s'interpréter comme une mesure de l'importance du mécanisme responsable de l'instabilité du fluide (la poussée d'Archimède) par rapport aux mécanismes de freinage (la diffusivité thermique et la viscosité). Il est également possible de voir le nombre de Rayleigh comme la différence de température. Le nombre de Rayleigh est donné par la relation : **Ra = Gr · Pr**

Pour $Ra < 10^9$: écoulement est laminaire, $Ra > 10^9$: écoulement est turbulent.

- **Nombre de Grashof :**

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

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T L_c^3}{\nu^2} \quad (\text{IV.39})$$

$$\text{Avec } L_c = L \sin \alpha$$

Où α est l'angle d'inclinaison de la géométrie.

4. Conclusion :

Cette étude nous a permis d'introduire objectivement l'intégration de la ventilation naturelle par une méthode expérimentale. Les données expérimentales nous aideront à une éventuelle analyse théorique du système expérimental et de valider le modèle numérique.

Dans ce chapitre, nous avons pu écrire les équations différentielles régissant le phénomène étudié, ces dernières vont être traitées par le code Fluent avec le choix du modèle de turbulence k- ϵ standard.

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les résultats obtenus par simulation. On expose d'abord les résultats correspondant uniquement à la cheminée, puis ceux de la ventilation d'une pièce. Deux natures de validation des résultats ont été faites, une par des données extraites de la littérature où des différents écoulements produits sont modélisés en régime turbulent, et l'autre par les données relevées expérimentalement, reflétant le comportement des champs dynamiques et thermiques pour les configurations étudiées. Enfin, on termine ce chapitre par un dimensionnement d'un échangeur air-sol.

2. Résultats de la simulation :

Les températures mesurées au cours des essais expérimentaux sont introduites comme des données initiales de calcul, ainsi que les propriétés de l'air correspondantes à la température moyenne. On prend en considération les hypothèses mentionnées dans le chapitre précédent pour la nature de fluide et de l'écoulement.

2.1. La cheminée solaire :

2.1.1. Contrôle de la solution (convergence) :

Pour s'assurer de la convergence des solutions, on présente la courbe des résidus (Figure V.1) des différents paramètres de l'écoulement dans la cheminée solaire. Le logiciel fluent déclare la convergence dès que les itérations de tous les résidus calculés atteignent la valeur du critère de convergences introduites pour chaque paramètre. Le tableau suivant contient le résidu compté pour chaque équation.

Tableau V.1 : Les résidus pour les différentes équations

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

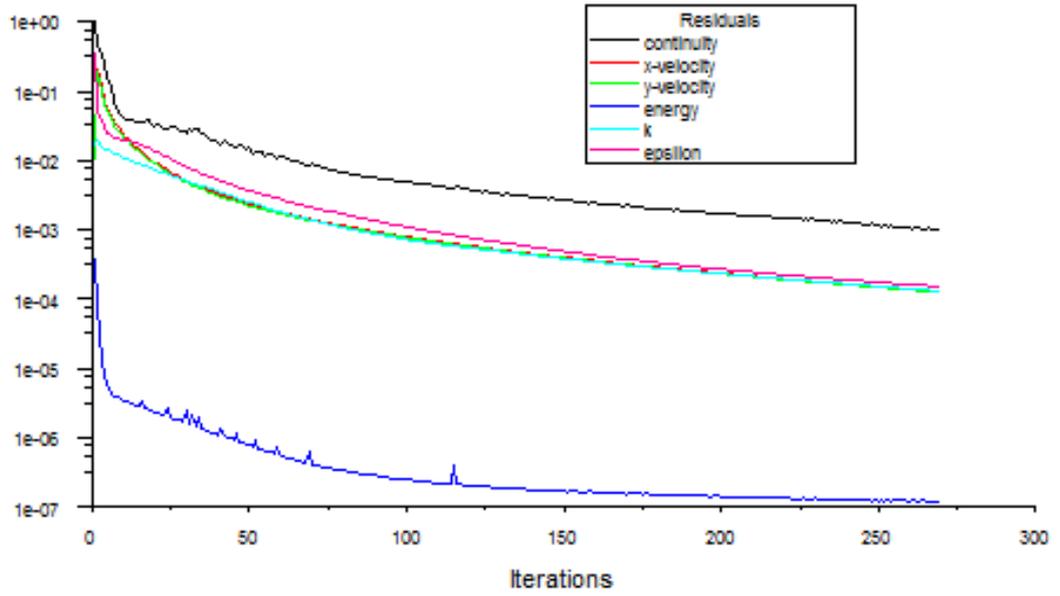


Figure V.1: Evolution des résidus

2.1.2. Validation du premier modèle numérique :

La première étape consiste à valider notre modèle de simulation numérique en comparant les résultats obtenus avec ceux publiés par Zoltan et al. [45].

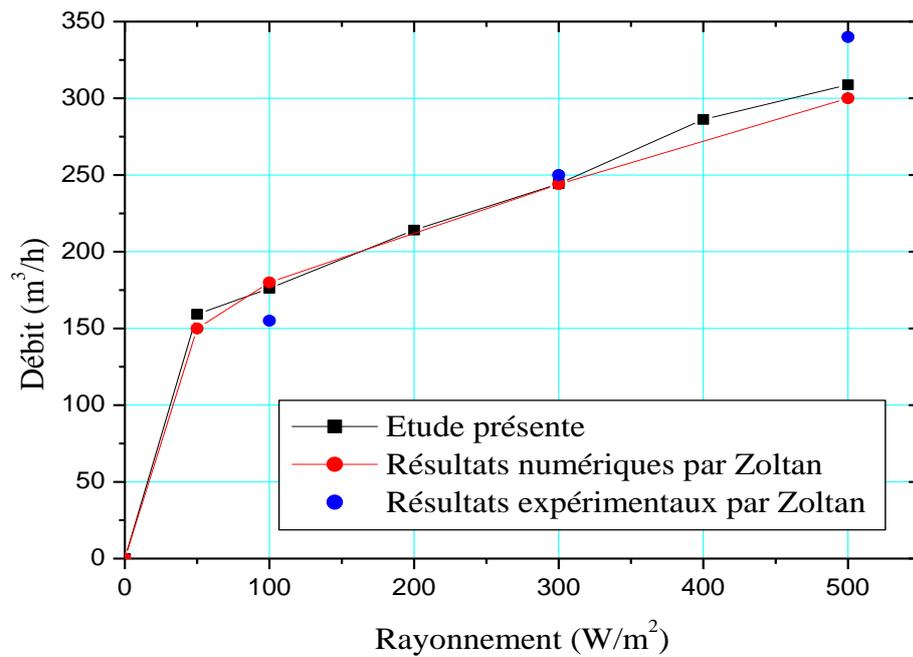


Figure V.2: Variation du débit volumique en fonction du rayonnement solaire correspond à $\alpha=60^\circ$ et d'épaisseur de 20 cm

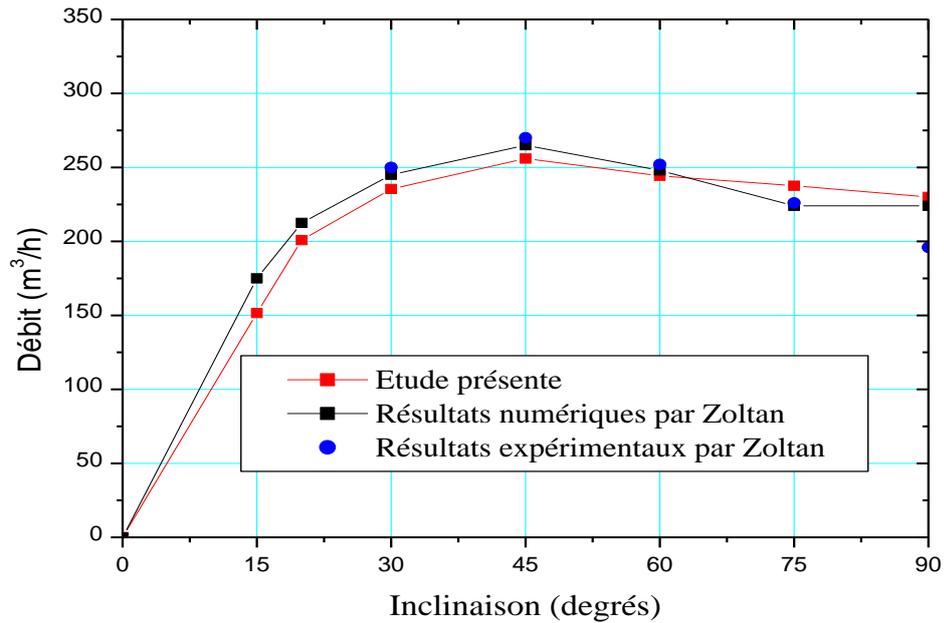


Figure V.3: Variations de débit volumique en fonction de l'inclinaison pour une épaisseur de 20 cm et un rayonnement de 300 W/m²

Les figures (V.2) et (V.3) représentent respectivement les variations de débit avec le rayonnement solaire et l'inclinaison, pour une cheminée de 2 m de longueur et 1 m de largeur et une épaisseur de 20 cm. Au vu de ces figures, on remarque que les courbes données par la présente étude et celles présentées par Zoltan sont presque identiques. L'écart entre les différents résultats (étude présente et numériques) est illustré dans le tableau suivant.

Tableau V.2 : Ecart entre les résultats d'étude présente et numériques par Zoltan

Variation du débit volumique en fonction du rayonnement (figure IV.8)							
Rayonnement (W/m ²)	50	100	300	500			
Ecart %	6.17	2.15	0.13	2.94			
Variations de débit volumique en fonction de l'inclinaison (figure IV.9)							
Inclinaison (°)	15	20	30	45	60	75	90
Ecart (%)	13.39	5.47	3.90	3.41	1.49	6.07	2.68

2.1.3. Comparaison des résultats numériques et expérimentaux :

La deuxième étape consiste à valider notre simulation numérique en faisant une comparaison entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques.

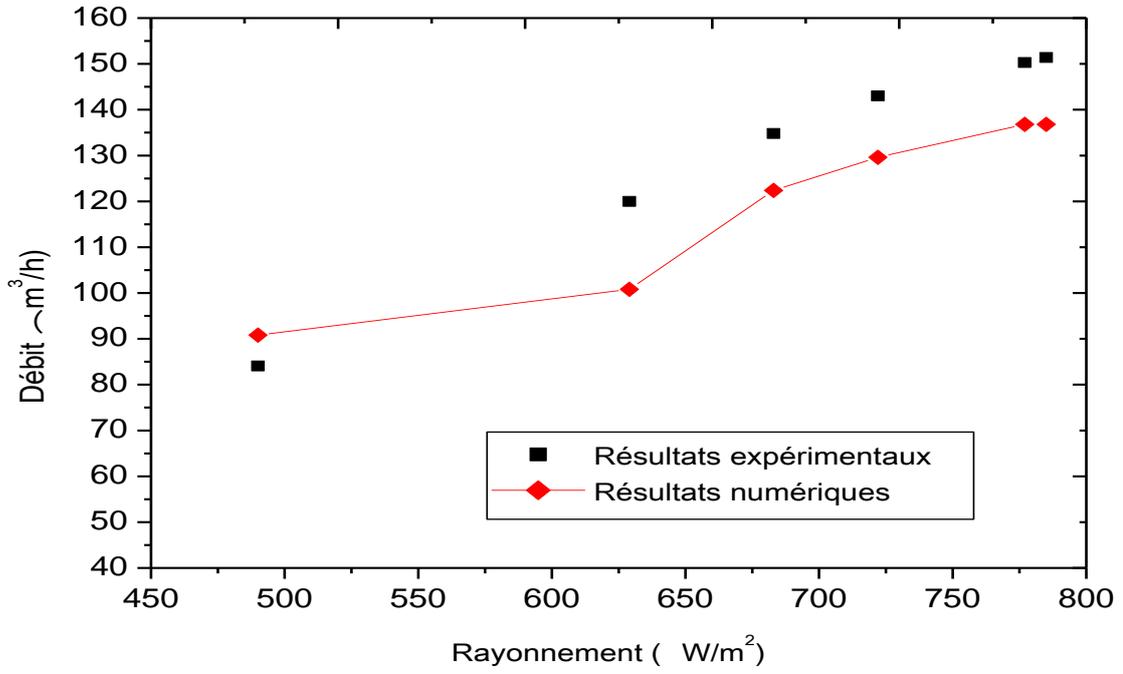


Figure V.4: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation
($\alpha=30^\circ$ et $e=20$ cm)

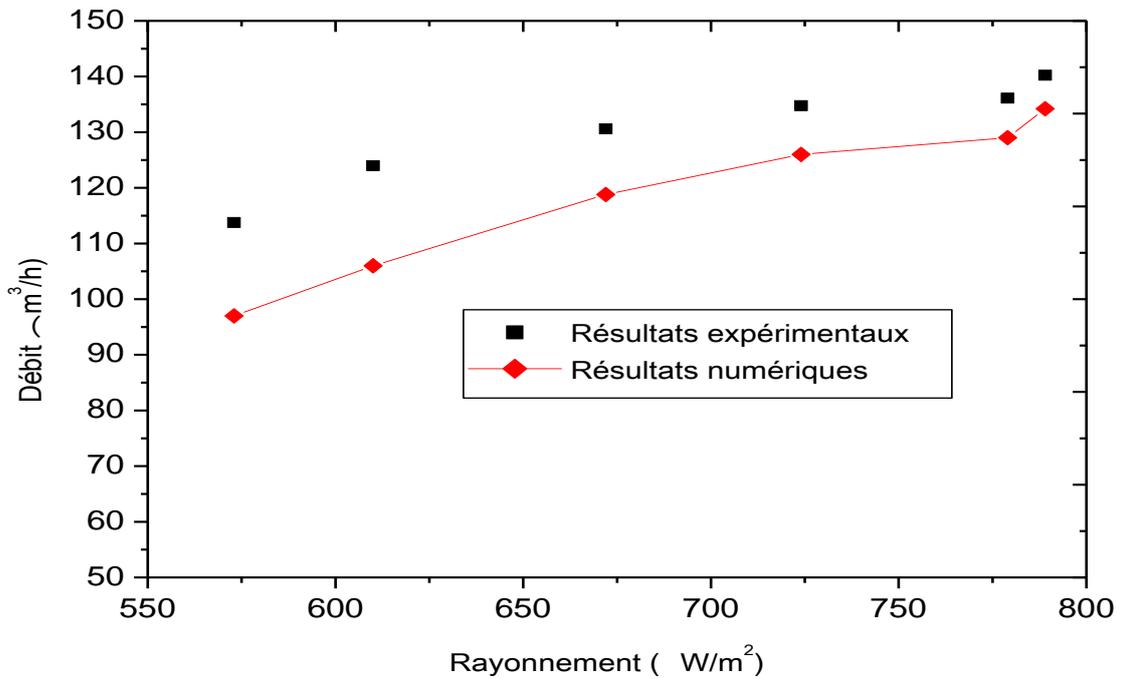


Figure V.5 : Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation
($\alpha=45^\circ$ et $e=10$ cm)

Les Figures V.4, V.5 présentent la variation de débit volumique en fonction de l'intensité du rayonnement solaire. Les résultats montrent que le débit est fortement dépendant de l'intensité solaire. D'après les deux figures, on remarque que les deux courbes du débit volumique d'air mesuré et calculé ont la même allure ce qui illustre la validité du modèle numérique, en observant aussi un écart entre les courbes de deux sortes de résultats. Cet écart est dû à l'intermittence des conditions climatiques, tels que l'éclairement solaire ou la vitesse du vent. Où ces écarts entre les différents résultats sont présentés sur le tableau suivant.

Tableau V.3 : Ecart entre les résultats expérimentaux et de simulation.

Figure IV.10		Figure IV.11	
Rayonnement (W/m²)	écart %	Rayonnement (W/m²)	Ecart %
490	7.40	573	17.28
629	19.05	610	16.95
683	10.15	672	9.93
722	10.34	724	6.96
777	9.87	779	5.50
785	10.67	789	4.49

L'influence de l'épaisseur de la cheminée sur le débit volumique a été étudiée lors des essais expérimentaux et par simulation. Les résultats sont présentés sur la figure (IV.6). Cette figure montre que les variations d'épaisseur de la lame d'air dans la cheminée ont provoqué une variation significative du débit. La courbe montre une concordance entre les deux sortes de résultats.

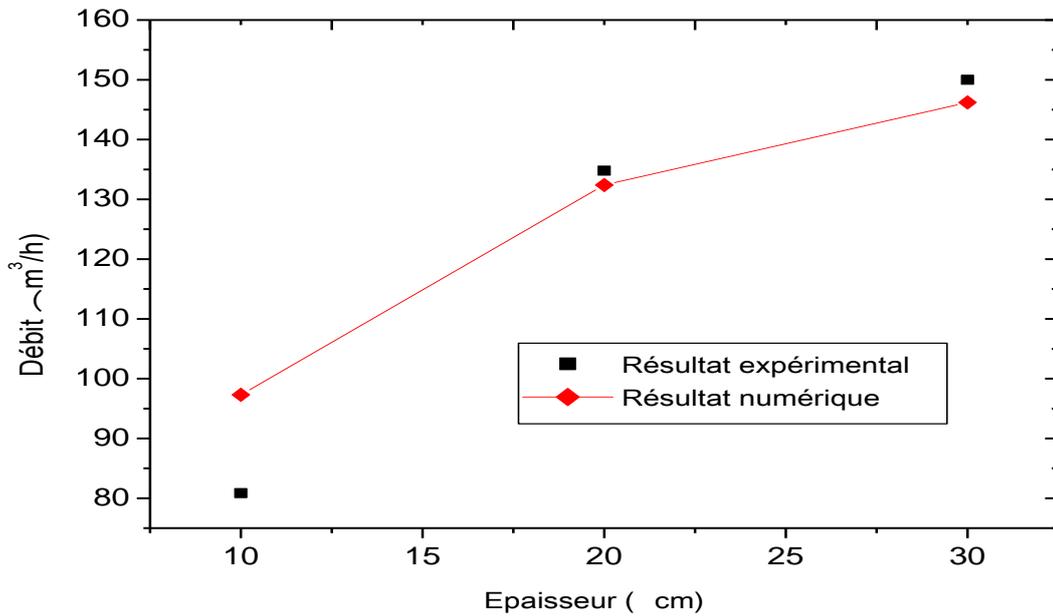


Figure V.6: Débit volumique d'air en fonction de l'épaisseur de la veine d'air pour une inclinaison de 30° et un rayonnement de 460 W/m^2

2.2. Influence de l'épaisseur de la lame d'air :

Dans ce qui suit, on présente les résultats relatives à une expérience numérique correspond à une cheminée solaire avec une inclinaison de 45° et des épaisseurs variables de la lame d'air, en utilisant les paramètres suivantes pour un écoulement turbulent d'un nombre de Rayleigh $Ra = 2.85 \cdot 10^9$:

Tableau V.4: Les données de l'expérience numérique

Rayonnement (W/m^2)	T_{amb} (K)	T_{abs} (K)	T_{vitr} (K)	Propriétés de l'air				
				ρ (kg/m^3)	μ (kg/m.s)	K (W/m.K)	C_p (J/kg.K)	β (K^{-1})
607	306.5	335.5	319.2	1.065	$1.97 \cdot 10^{-5}$	0.028	1008.09	0.003

2. 2.1. Profils de vitesse à l'entrée de la cheminée:

Les profils de vitesse à l'entrée de la cheminée pour une inclinaison de 45° sont présentés sur les figures (V.7, V.8) respectivement pour les épaisseurs de la lame d'air de 20 et 30 cm.

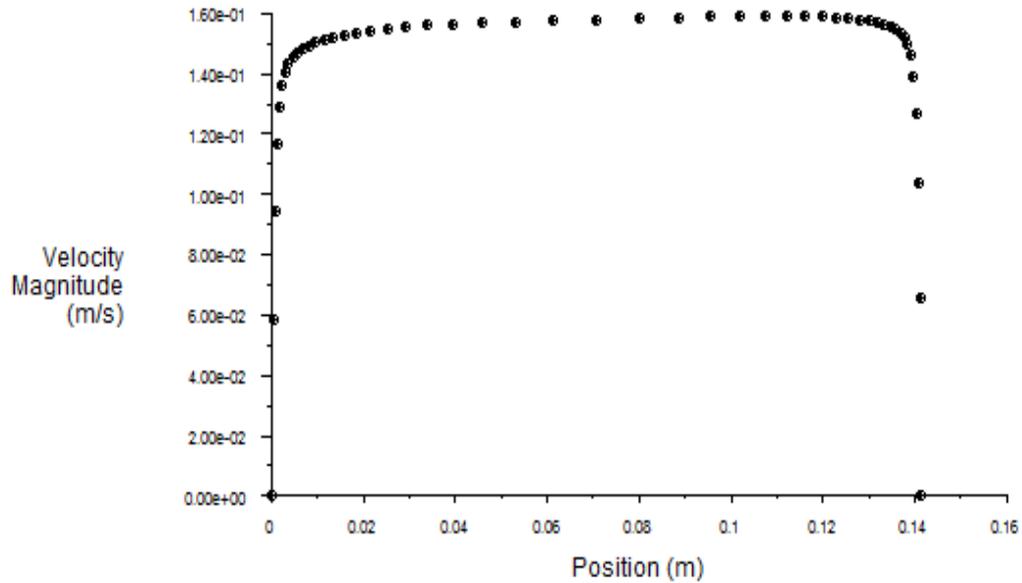


Figure V.7 : Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha = 45^\circ$ et une épaisseur de lame d'air $e = 20\text{cm}$

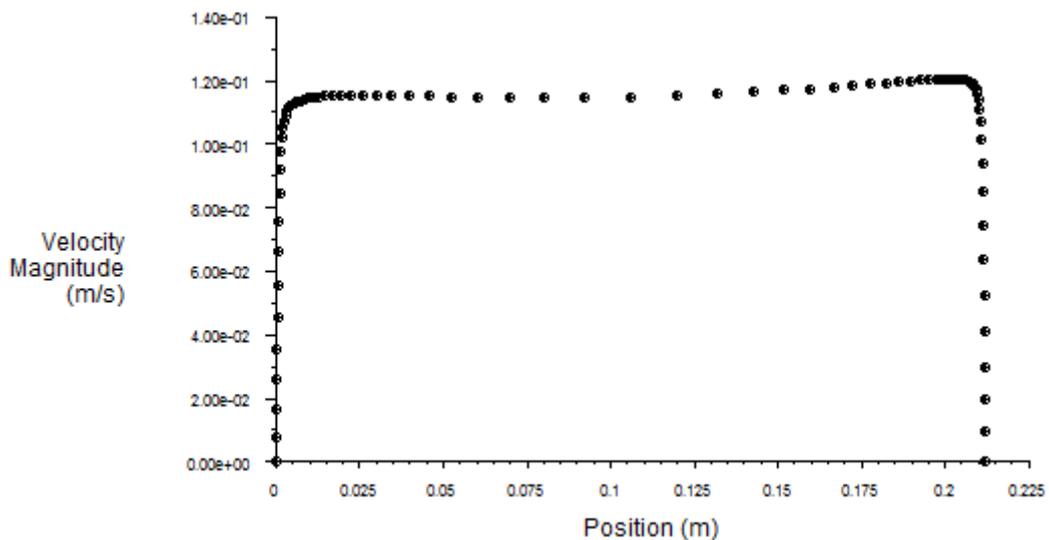


Figure V.8: Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha = 45^\circ$ et une épaisseur de lame d'air $e = 30\text{cm}$

D'après les figures V.7, V.8, on observe que le profil de vitesse est aplati le long de la section d'entrée de la cheminée, ce dernier est provoqué par la nature de l'écoulement qui est en régime turbulent. Les vitesses s'annulent sur les parois par effet d'adhérence (la condition à la limite imposée sur la paroi de vitre, et de l'absorbeur).

2.2.2. Profils de vitesse à la sortie de la cheminée:

Les figures V.9, et V.10 présentent les profils de vitesse à la sortie de la cheminée pour une inclinaison de 45° et les épaisseurs de la lame d'air respectivement égale à 20 et 30 cm.

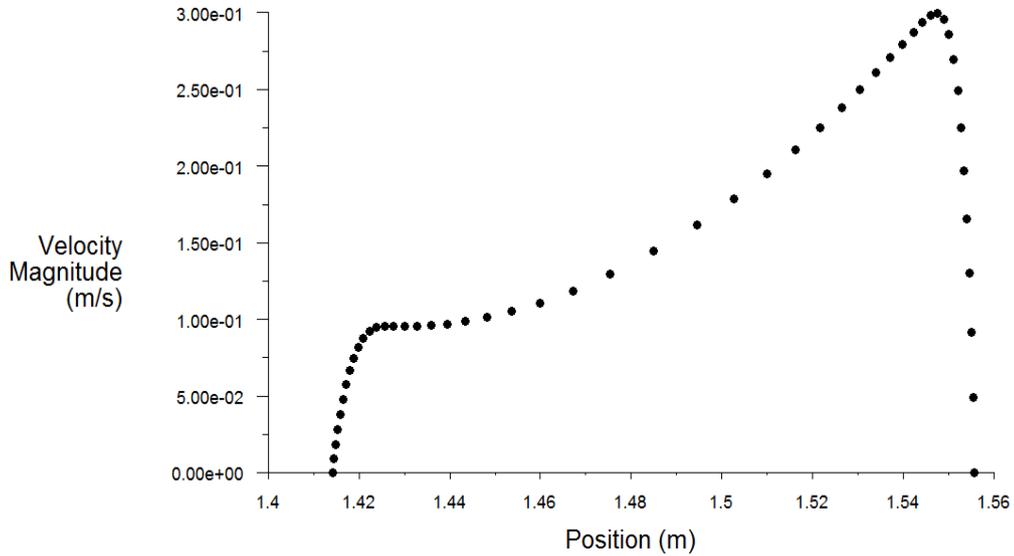


Figure V.9: Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour une épaisseur de lame d'air $e=20\text{cm}$

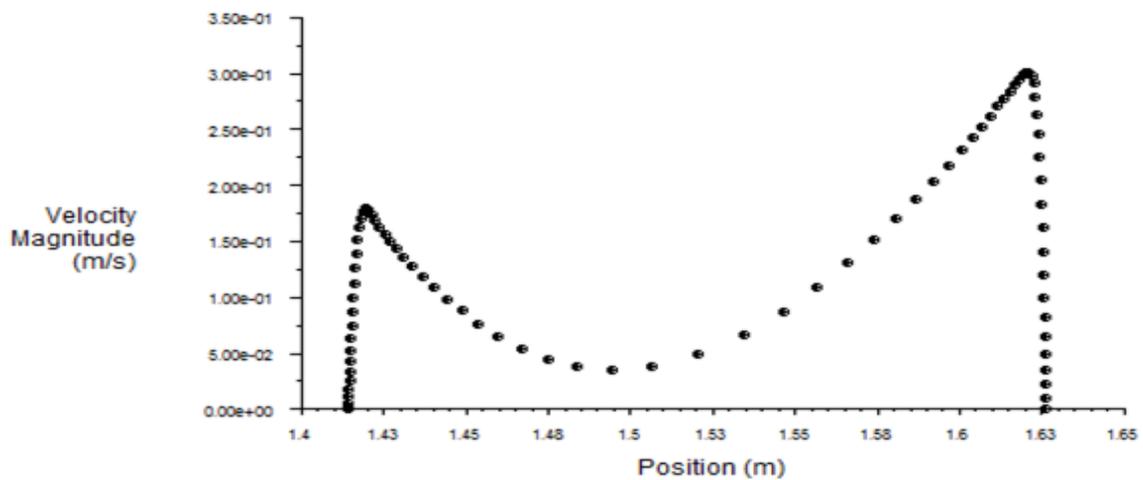


Figure V.10: Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour une épaisseur de lame d'air $e = 30\text{cm}$

On remarque d'après les figures V.9 et V.10 que la vitesse maximale est très proche de la paroi chaude (absorbeur) et s'annule sur les parois (condition d'adhérence respectée). Cela est dû au fort gradient de température sur cette paroi, qui provoque à son tour le phénomène de la convection naturelle. En ce qui concerne la figure IV.16, nous remarquons une chute de la valeur de la vitesse plus nuancée que dans le premier cas ($v \approx 0.35\text{m/s}$), ceci est dû essentiellement à une épaisseur de la veine plus importante.

2.2.3. Champ dynamique :

Le champ dynamique est présenté dans les figures (V.11, V.12 et V.13) respectivement pour les épaisseurs de la lame d'air égale à 30, 20 et 10 cm, pour les mêmes conditions et les paramètres de l'expérience cités ci-dessus.

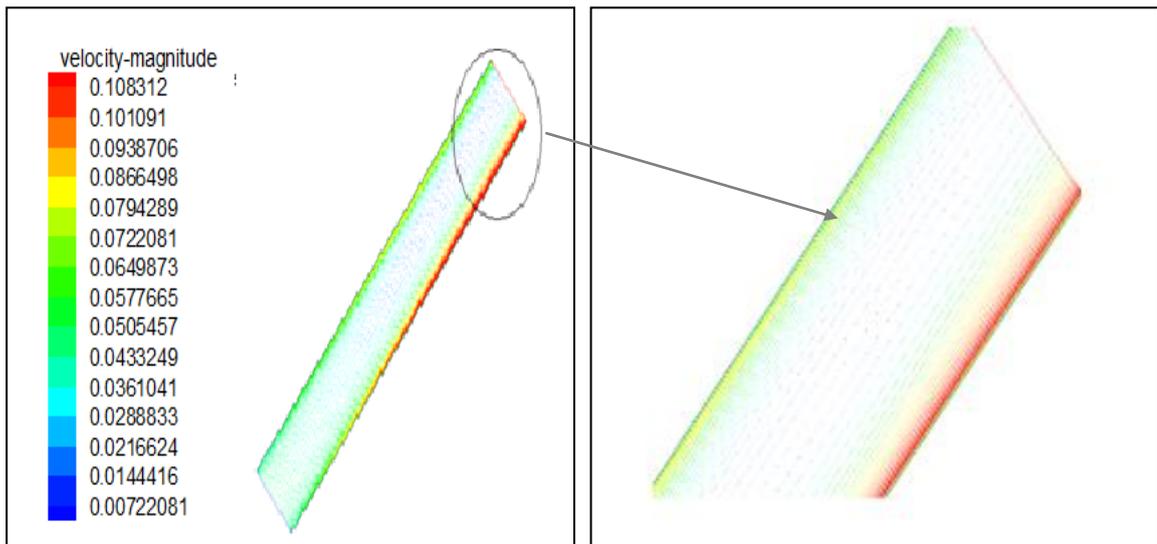


Figure V.11: Champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air $e=30\text{cm}$

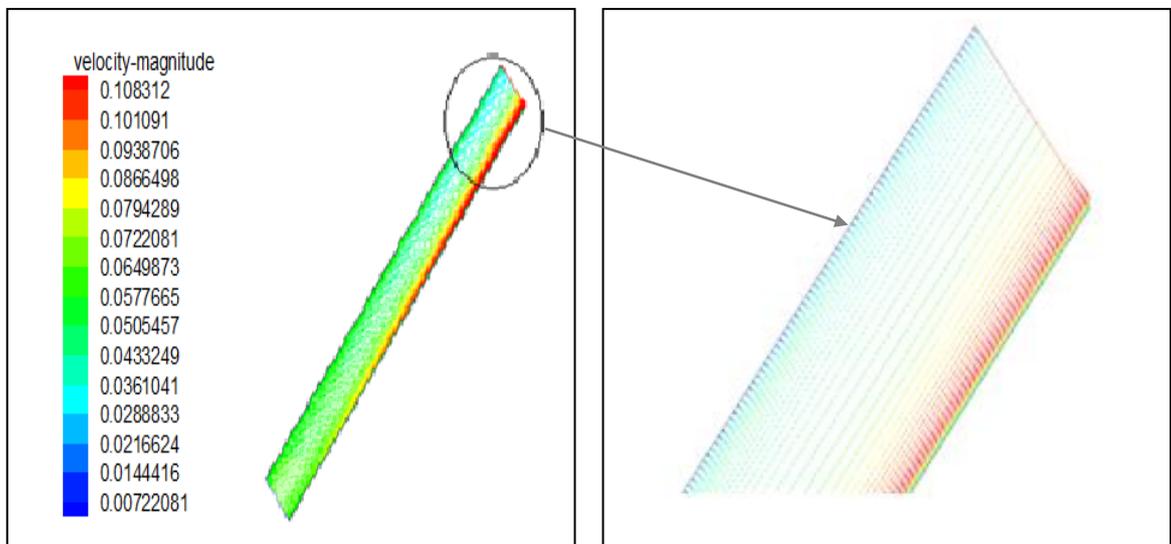


Figure V.12: champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air $e=20\text{ cm}$

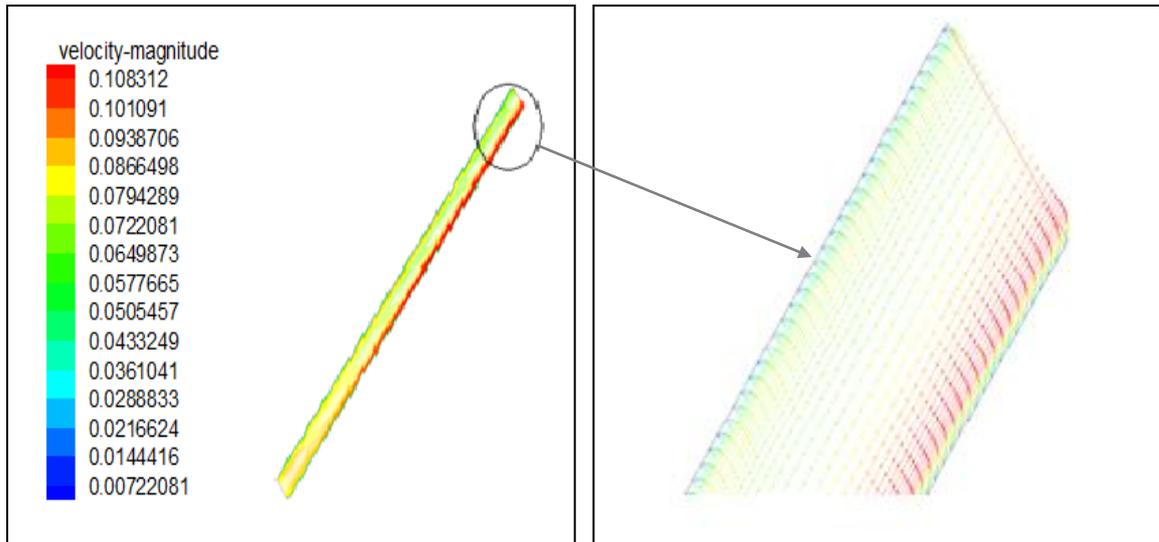


Figure V.13 : Champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air $e=10$ cm

D'après les figures V.11, V.12, V.13 on observe que les vitesses de l'air le long de la paroi chaude (absorbeur) sont importantes et maximales sur une même section, et diminuent lorsqu'on s'éloigne de cette paroi. Le transfert thermique entre la paroi et l'air dans la cheminée traduit par une diffusion de la chaleur entre les deux milieux, engendre un gradient fort de température dans cette zone. Les gradients de température ainsi créés au niveau du fluide se traduisent par des gradients de masse volumique qui provoquent une poussée verticale (poussée d'Archimède) générée par une dilatation locale du fluide.

2.2.4. Champ thermique :

Les figures (V.14, V.15, V.16) représentent respectivement la distribution de la température dans la cheminée pour une inclinaison de 45° et une épaisseur de lame d'air respectivement égale à 30, 20 et 10 cm. La chaleur produite par le rayonnement solaire est située dans la cheminée et transportée le champ de vitesse vers le haut crée par convection naturelle. Pour le même nombre de Rayleigh, l'intensité de la convection diffère suivant l'épaisseur de la lame d'air. En effet, plus l'épaisseur diminue, plus la convection s'amplifie.

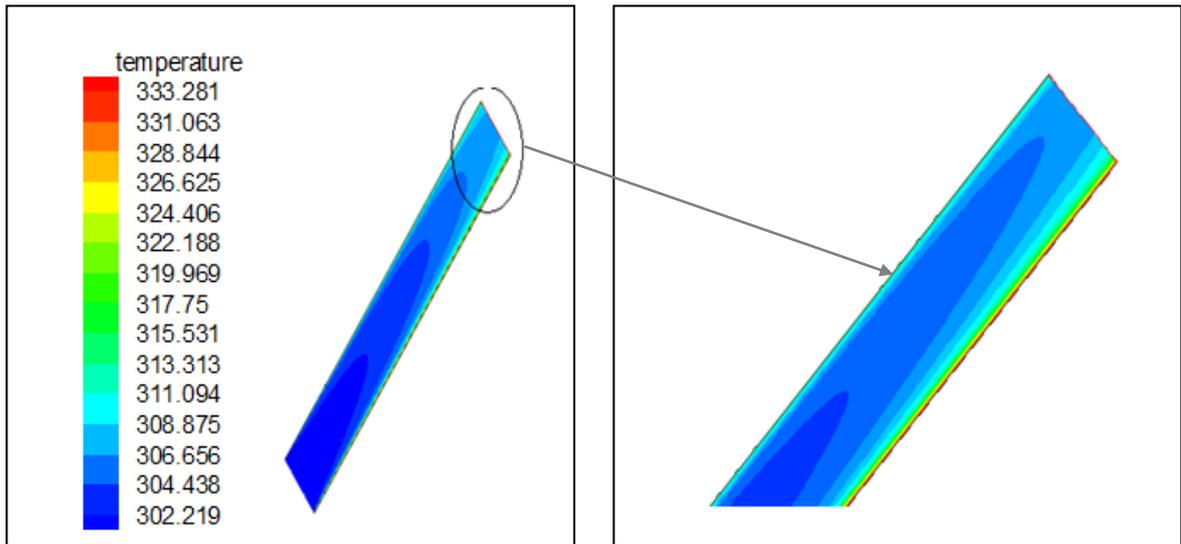


Figure V.14: Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air $e=30\text{cm}$

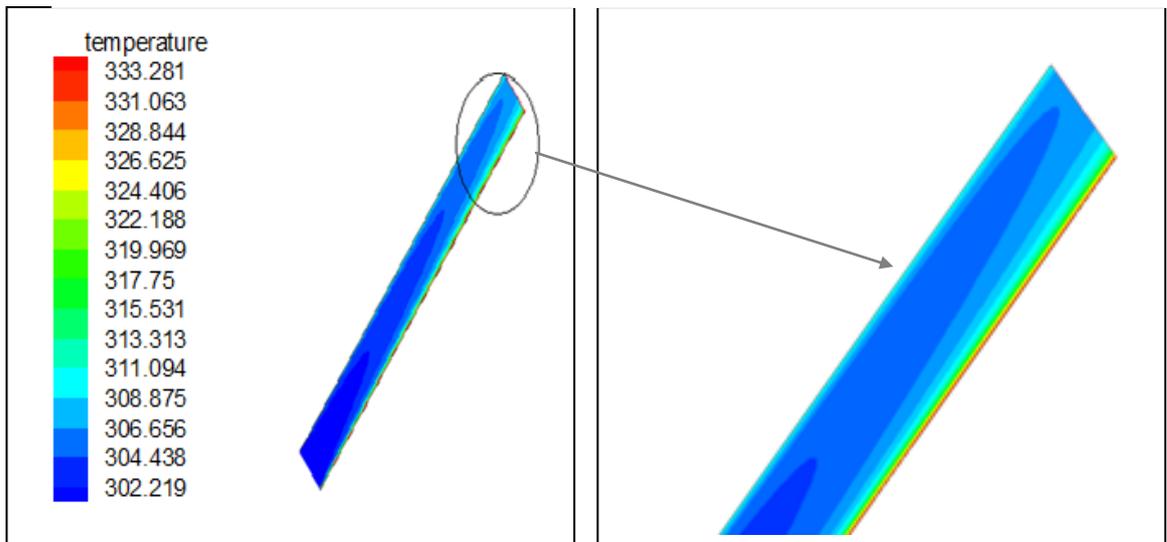


Figure V.15: Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air $e=20\text{cm}$

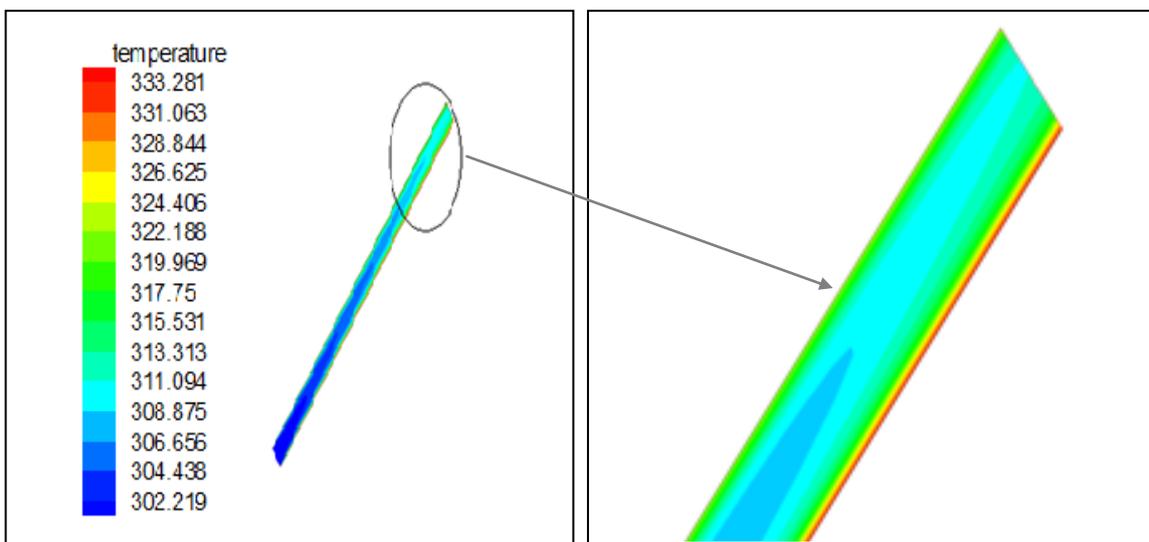


Figure V.16: Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air $e=10\text{cm}$

3. Application de la cheminée sur la pièce :

3.1. Introduction :

Pour le deuxième modèle physique étudié dans ce travail, nous considérons une pièce munie d'une cheminée solaire inclinée. Nous présentons l'écoulement produit dans la pièce concernant le champ thermique et les champs de vitesse pour différentes configurations géométriques. On présente aussi une visualisation de profils de vitesse et de température à la zone de la mi-hauteur considérée comme zone géométrique d'occupation de la pièce. En utilisant un maillage raffiné au voisinage des parois solides qui sont des zones à fort gradient de température et de vitesse. Ce maillage est caractérisé par : 118500 cellules, 237955 faces, et de 119456 nœuds. C'est le maillage qui a donné le plus de satisfaction au niveau des résultats.

3.2. Confrontation et validation :

Le tableau ci-dessous présente les résultats théoriques et expérimentaux obtenus par Mathur et al [42], ainsi que ceux obtenus par le code de calcul Fluent, et ceci pour différentes intensités de rayonnement solaire.

Tableau V.5: Vitesse à la sortie de la cheminée et les différentes températures correspondantes.

rayonnement solaire (W/m^2)	Température ambiante (K)	Température de vitre (K)	Température d'absorbeur (K)	Vitesse de l'air à la sortie (m/s)		
				Numérique Par Muthur	Expérimental Par Muthur	Etude présente
500	299.2	314.30	329.04	0.1517	0.174	0.1689
550	302.6	317.36	340.65	0.1563	0.184	0.1777
600	306.0	326.02	346.28	0.1613	0.1948	0.1847
650	310.3	330.18	354.66	0.1639	0.1979	0.1957
700	312.2	333.51	358.49	0.1724	0.2132	0.2128
750	313.0	337.29	361.38	0.1761	0.2201	0.2196

Le tableau V.5 montre que la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée est proportionnelle à l'intensité du rayonnement solaire, et aussi aux températures ambiantes de vitre et de l'absorbeur.

Tableau V.6: Comparaison des différents résultats

Rayonnement (W/m ²)	Ecart entre les résultats de Muthur expérimentaux et numériques (%)	Ecart entre les résultats expérimentaux et l'étude présente (%)
500	12.82	3.02
550	15.05	3.55
600	17.20	5.47
650	17.18	1.12
700	19.14	0.19
750	19.99	0.23

Le tableau V.6 présente l'écart entre les différents résultats, où on remarque qu'il y a une bonne concordance entre nos résultats et les résultats expérimentaux présentés par Mathur et al [42] avec un écart variant de 0.19 à 5.47%. Les résultats calculés par le simulateur fluent sont plus proches de ceux mesurés expérimentalement par rapport aux résultats calculés théoriquement par Mathur où l'écart varie de 12.82 à 19.99 %.

3.3. Evolution d'ACH :

Le taux de renouvellement d'air ACH pour une pièce de volume 27 m³ et les débits volumiques d'air sortant de la cheminée sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.7: Effet du rayonnement sur le taux de renouvellement d'air.

Rayonnement solaire (W/m ²)	Débit à la sortie (m ³ /h)	ACH
500	217.98	8.07
550	225.54	8.35
600	231.33	8.57
650	247.46	9.16
700	266.74	9.88
750	274.71	10.18

D'après le tableau V.7, on constate que le taux de ventilation ACH dépend du rayonnement solaire. L'augmentation de ce dernier provoque une élévation de la température au niveau de l'absorbeur, traduite par l'augmentation de la force motrice et la force de flottabilité, ainsi que la vitesse d'écoulement.

3.4. Températures et les vitesses à la sortie de la cheminée :

La distribution des températures à la sortie de la cheminée est présentée sur la figure V. 17.

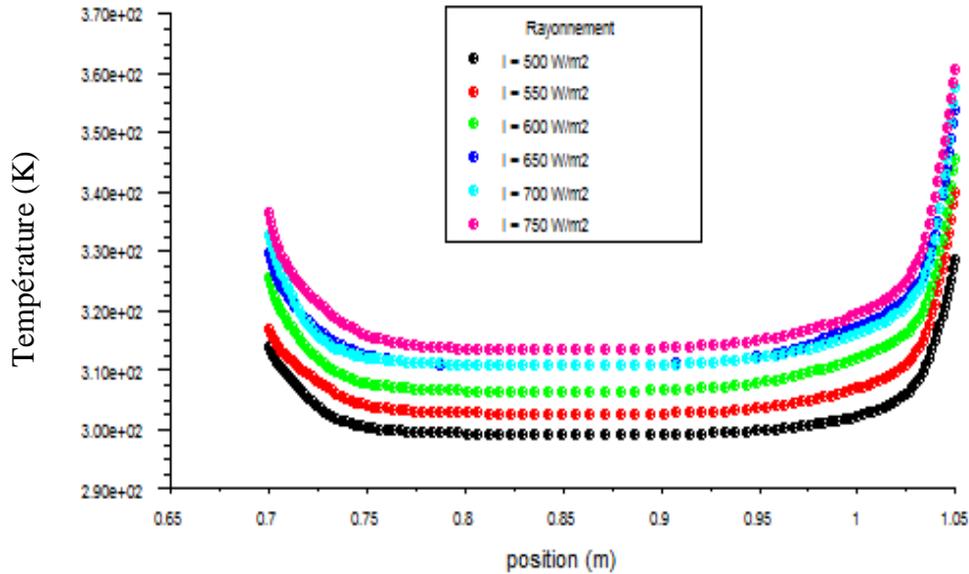


Figure V.17: Profils de température à la sortie de la cheminée.

On observe sur la figure V.17 que les différents profils de température ont un aspect semblable, où les valeurs maximales sont toujours atteintes près des parois de la cheminée, tels que la paroi absorbeur où les transferts de chaleur sont les plus intenses. On remarque aussi une stabilité thermique au milieu de la cavité à différents niveaux du rayonnement solaire.

Sur la figure V.18, on présente les profils de vitesse à la sortie de la cheminée pour les différentes intensités de rayonnement solaire.

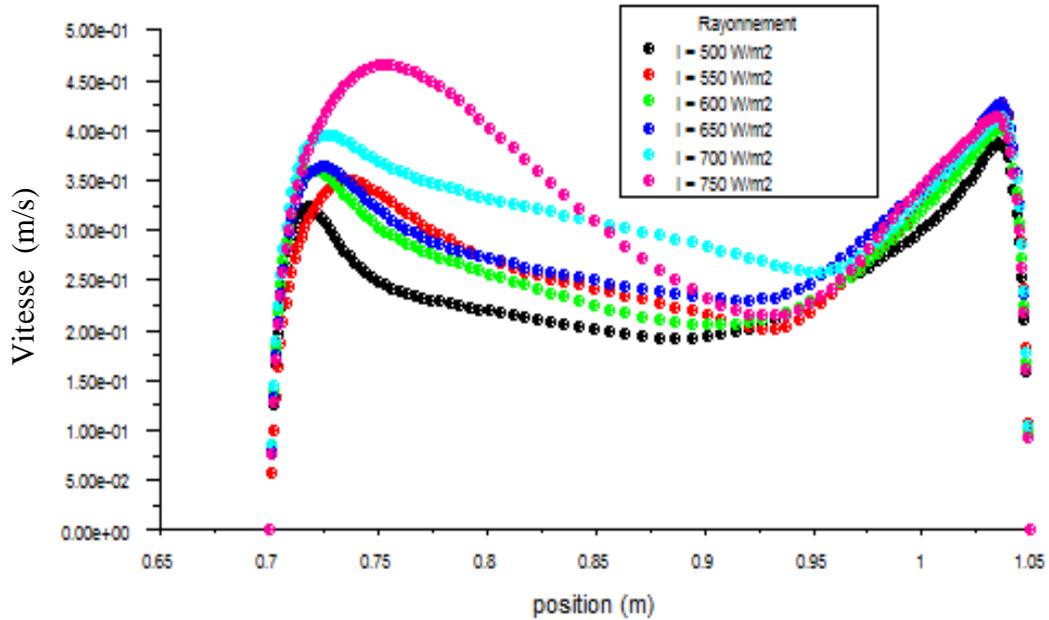


Figure V.18: Profils des vitesses à la sortie de la cheminée.

La figure V.18 montre que les maxima sont proportionnels au rayonnement solaire, et que leurs positions sont près des parois. Ils augmentent avec l'accroissement des températures de vitre et de l'absorbeur lorsque la radiation solaire augmente. Cela est dû aux effets combinés de la convection naturelle et de la poussée thermique suivant la direction verticale où les couches limites dynamiques deviennent moins épaisses avec l'augmentation de l'écoulement ascendant.

3.5. Le champ thermique :

Le niveau de mi-hauteur est choisi comme une zone de la visualisation des profils de température et de la vitesse pour différentes intensités de rayonnement solaire. Ce choix de zone est fait vu que c'est une zone de sensibilité du confort thermique consacrée aux occupants de l'enceinte.

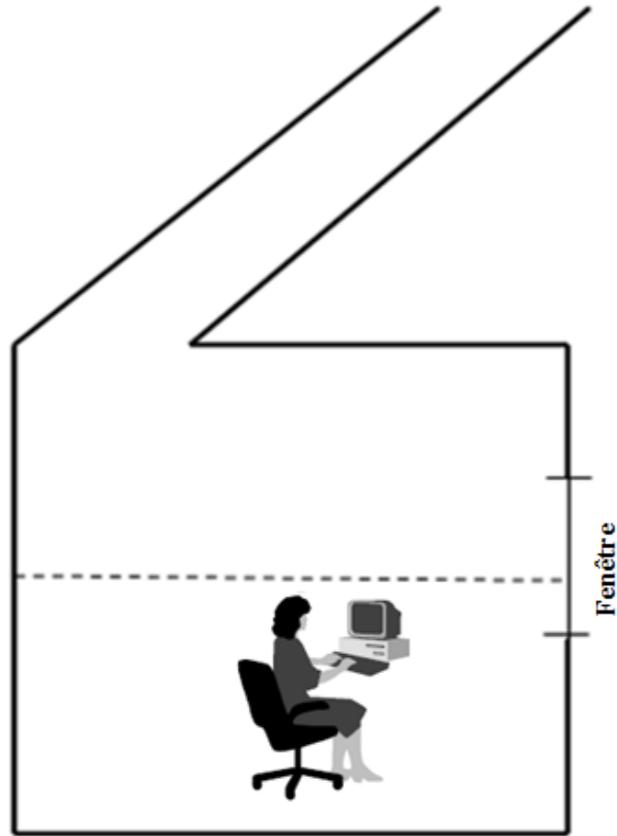


Figure IV.19 : La zone de mi-hauteur

La figure V.20 présente les profils de température dans la pièce exactement dans la zone de mi-hauteur.

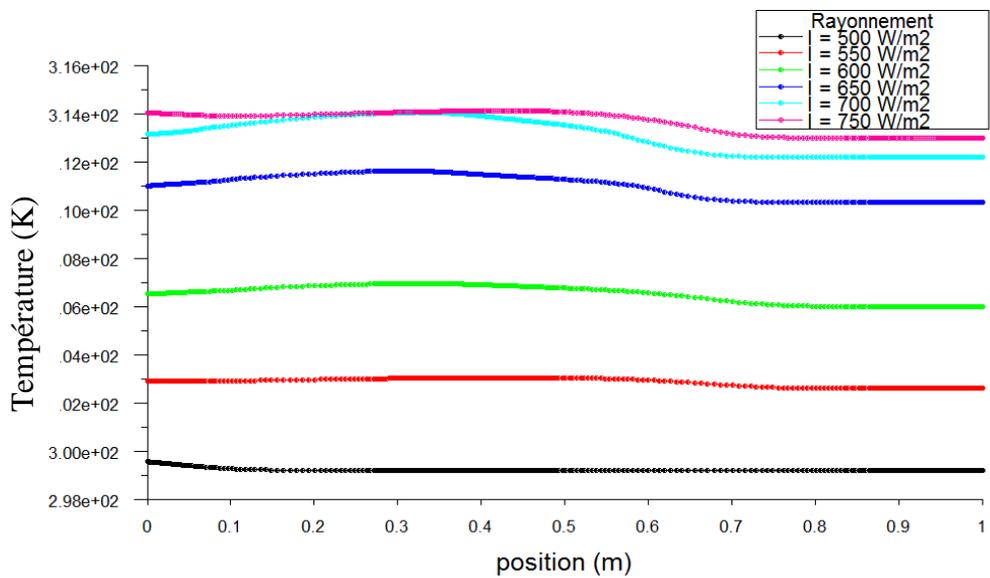
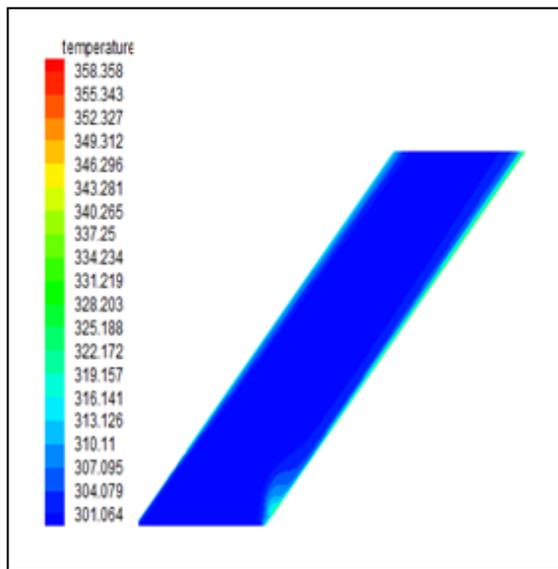
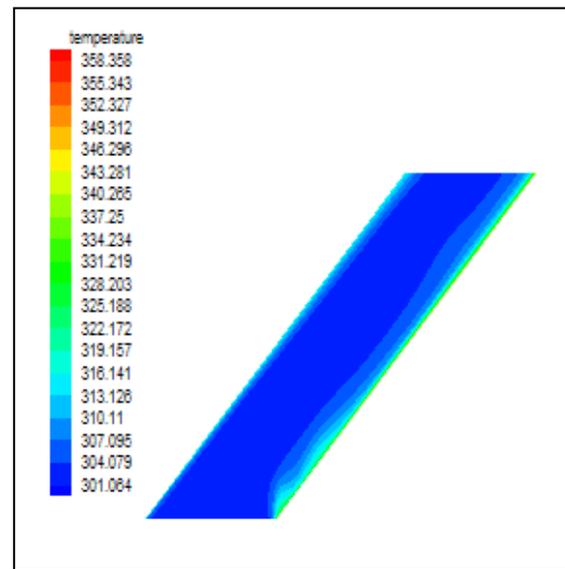
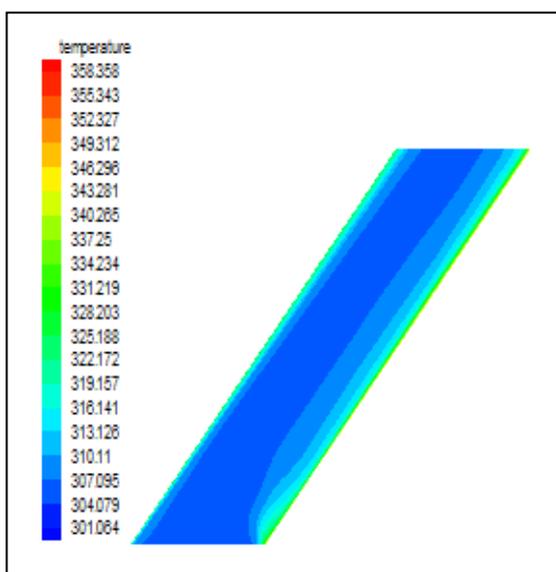
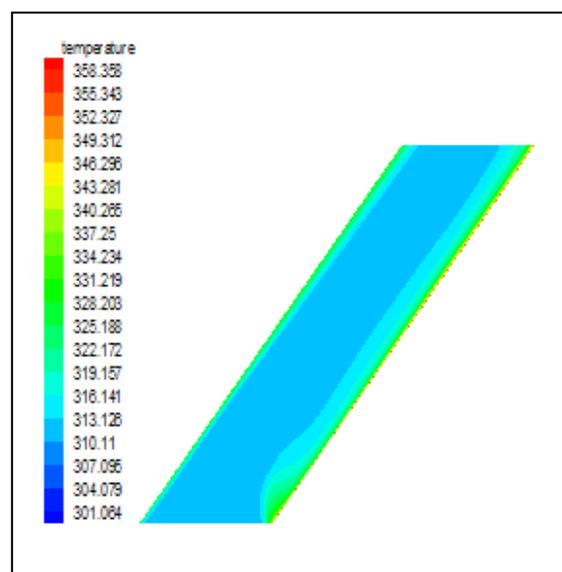


Figure V.20: Profils de température à Y= 0.5

On observe sur la figure V.20 que les profils ont la même allure, où ils prennent la forme de lignes droites. Ces résultats montrent une stabilité de la température de l'air dans la pièce. Ceci peut être expliqué par le fait que les parois sont adiabatiques, donc la température de l'air dans la pièce dépend uniquement de la température d'air à l'entrée de la pièce, qui est égale à la température ambiante. Les écarts de température observés pour les différents rayonnements solaires allant de 500 à 750 W/m^2 sont dus essentiellement aux températures ambiantes proposées comme conditions aux limites pour le domaine de calcul. Le champ de température au niveau de la cheminée est présenté comme suit :

(a) $I=500 \text{ W}/\text{m}^2$ (b) $I=550 \text{ W}/\text{m}^2$ (c) $I=600 \text{ W}/\text{m}^2$ (d) $I=650 \text{ W}/\text{m}^2$

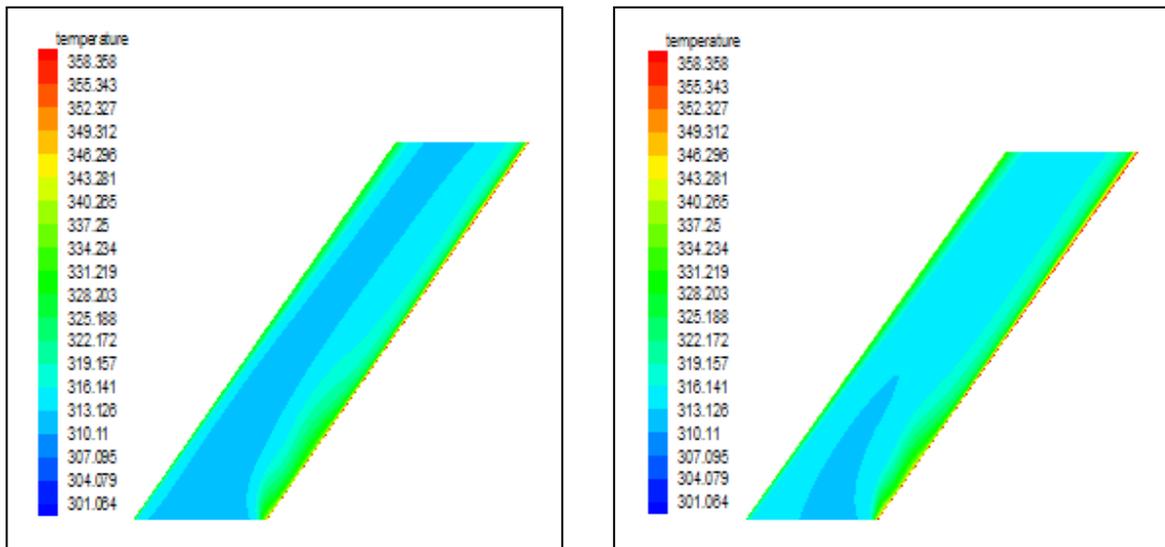
(e) $I=700 \text{ W/m}^2$ (f) $I=750 \text{ W/m}^2$

Figure V.21: Champ thermique pour différents rayonnement solaire

Les isothermes de l'écoulement sont représentées sur la figure V.21. Nous remarquons que les températures élevées sont toujours localisés dans des espaces étroits au voisinage des parois chaudes, qui correspondent à l'épaisseur des couches limites thermique. Loin des parois chaudes, les gradients de température sont faibles. On remarque aussi la présence de stratification thermique dans la cheminée, où la convection naturelle est dominante. Cette stratification est apparente surtout dans la partie inférieure de la cavité, et cela est dû essentiellement au gradient de température et la géométrie du modèle.

3.6. Le champ de vitesse :

Le profil de la vitesse à mi-hauteur de la pièce pour les différentes intensités de rayonnement solaire est représenté sur la figure suivante.

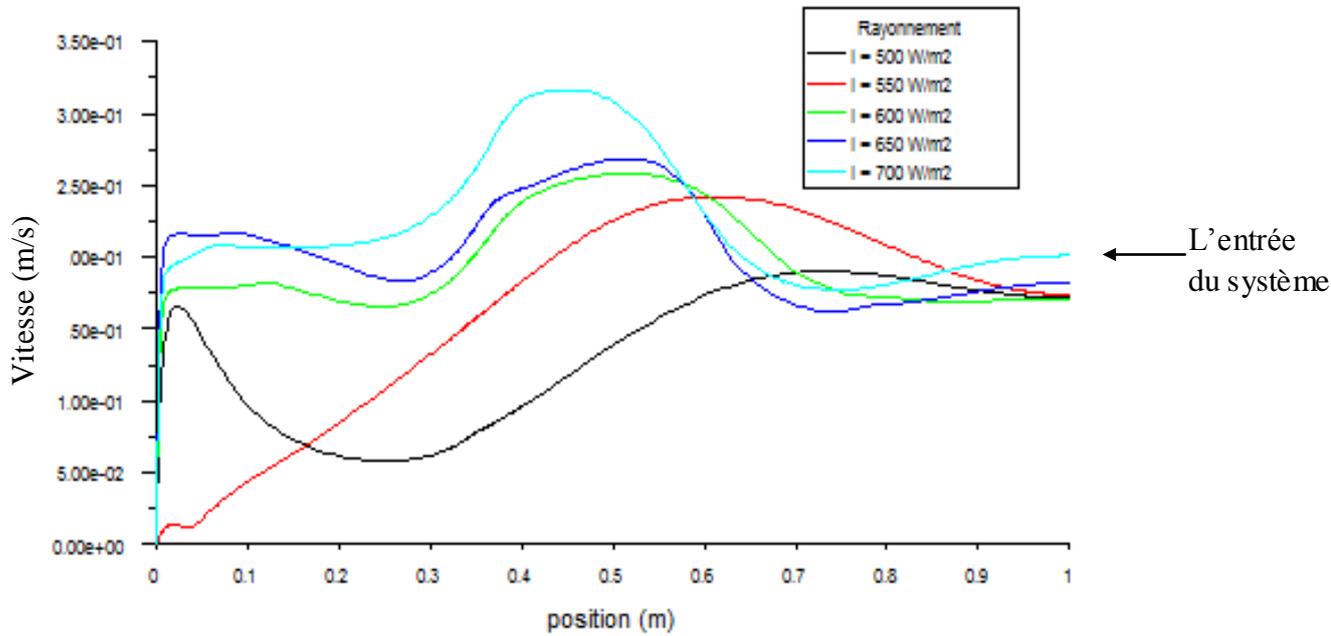
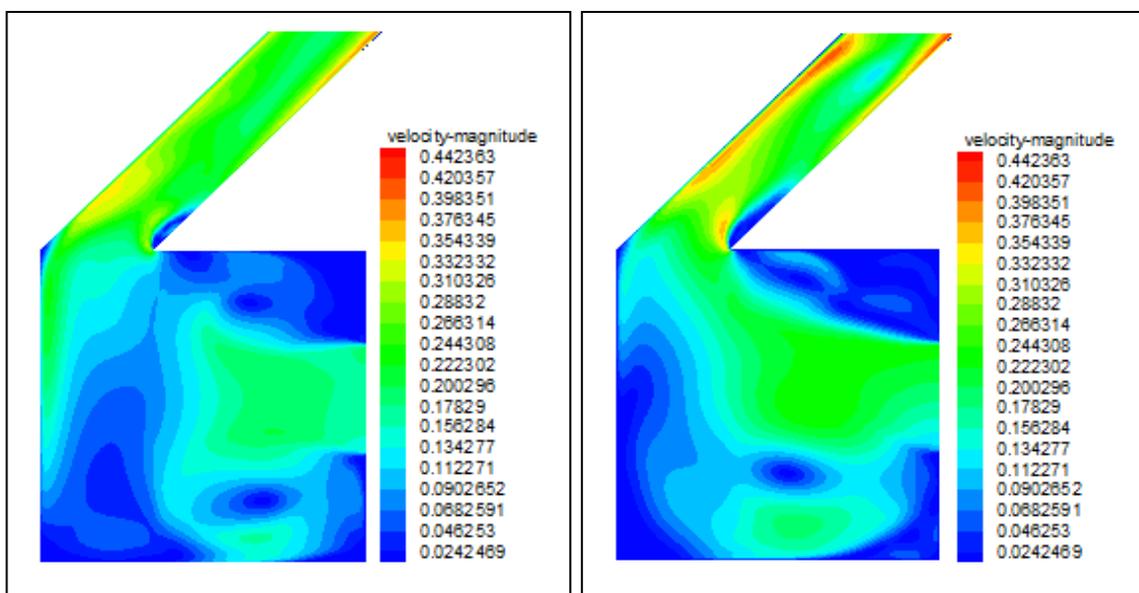


Figure V.22: Vitesses d'air à Y= 0 .5 m.

La figure V.22 montre que les valeurs maximales sont proportionnelles au rayonnement solaire, et que ses positions se trouvent dans la zone médiane de la pièce lorsque l'intensité de rayonnement augmente. Cela est dû à la direction de l'écoulement, et aux forces d'attraction générées par la poussé d'Archimède au niveau de la cheminée.

Le champ de vitesse pour les différentes intensités de rayonnement solaire est présenté dans la figue V.23.



(a) I= 500 W/m²

(b) I= 550W/m²

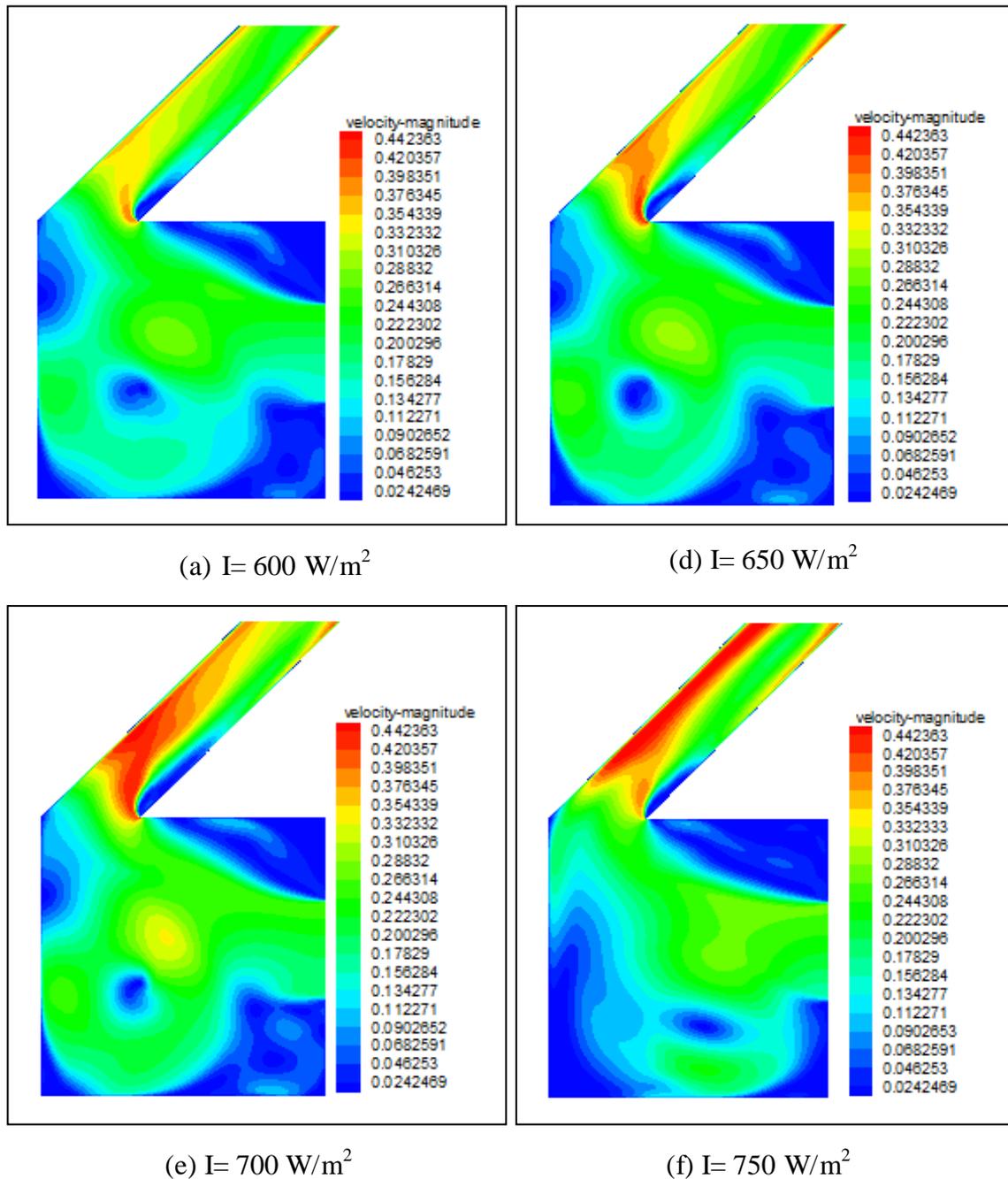


Figure V.23: Ecoulements pour différentes intensités de rayonnement solaire.

D'après la figure V.23, on remarque que le rayonnement solaire a un effet remarquable sur l'allure de l'écoulement dans la pièce. La circulation principale de l'air se faisant depuis la fenêtre vers la cheminée solaire. Cette direction principale est due aux forces de flottabilité créées dans la cheminée solaire. Les parois de la pièce sont adiabatiques, donc le seul effet dominant est la convection naturelle au niveau de la

cheminée solaire. On remarque aussi que, l'augmentation de l'éclairement solaire provoque une augmentation de la vitesse dans la pièce, et la diminution des zones de recirculation.

Dans la partie inférieure de la cheminée, on observe une augmentation de la vitesse près de la paroi vitre, et l'apparition du décollement qui engendre une recirculation proche de la paroi absorbeur. Cette recirculation occasionne une augmentation des pertes de charges à ce niveau. Cela est dû à la géométrie du système, cette configuration est davantage importante selon l'accroissement du rayonnement solaire.

3.7. Effet de diminution de température à l'entrée du système:

La figure IV.30 présente la variation du débit volumique en fonction de la température et ceci pour une intensité du rayonnement solaire fixe égale à 700 W/m^2 .

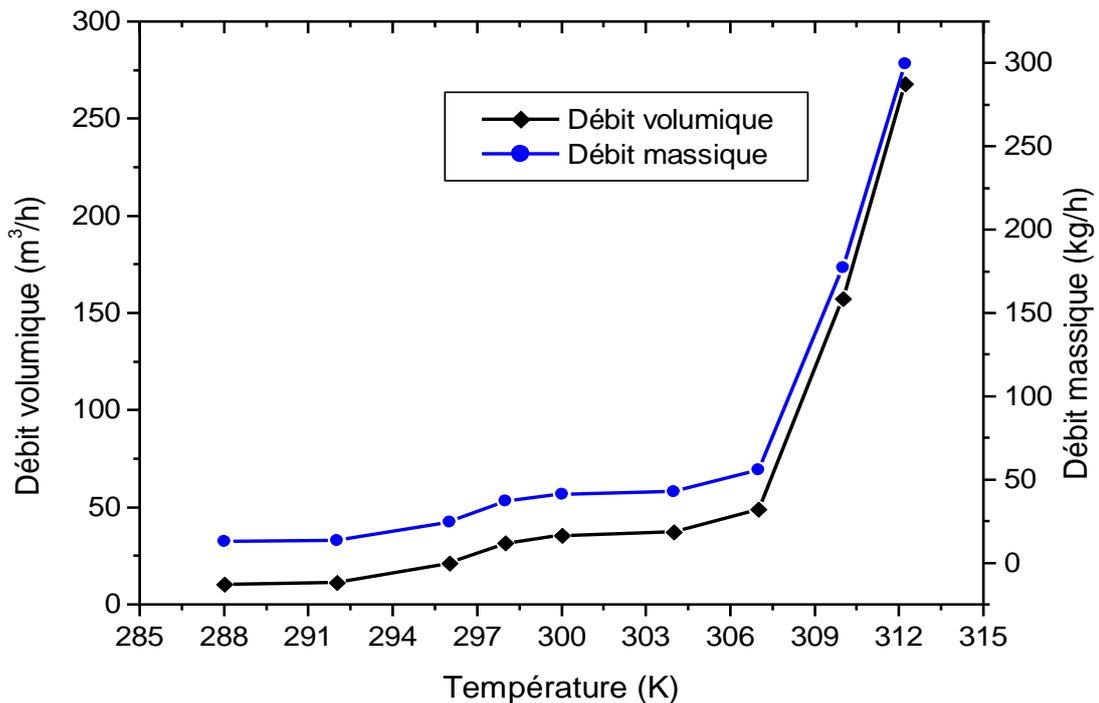
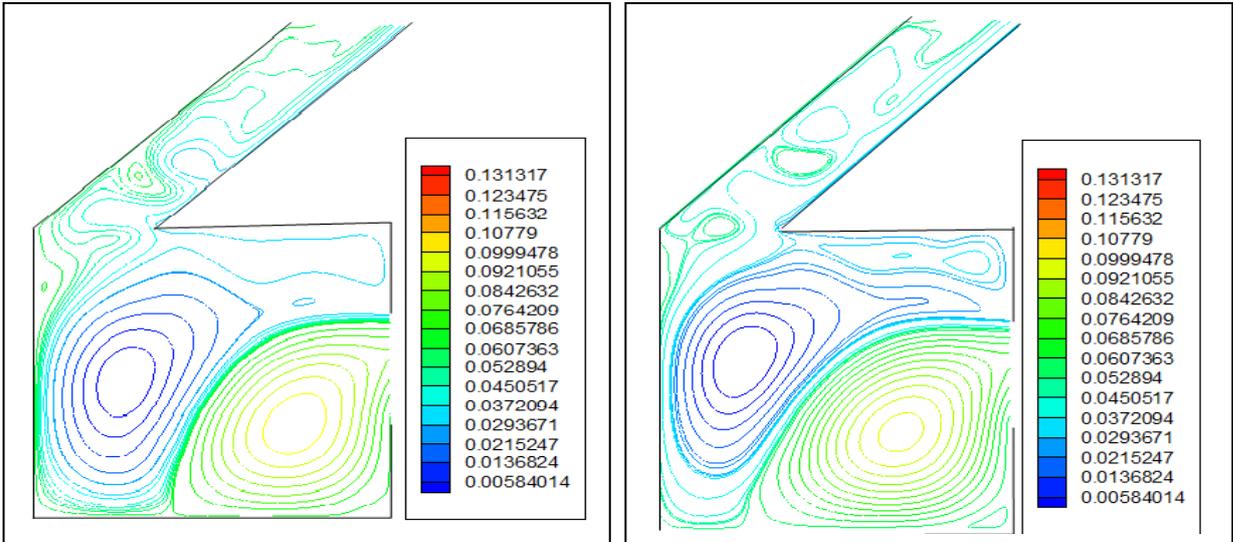


Figure V.24: Effet de la réduction de la température à l'entrée de la pièce sur le débit sortant

La courbe présentée dans la figure V.24 montre l'effet de variation de la température à l'entrée de la pièce sur le débit d'air pénétrant la pièce. D'après la figure on remarque que le débit d'air évacué décroît avec la réduction de la température. Ceci s'explique simplement par le fait que lorsque la quantité d'air à chauffer diminue la vitesse de l'air décroît entraînant une diminution de sa température de sortie.

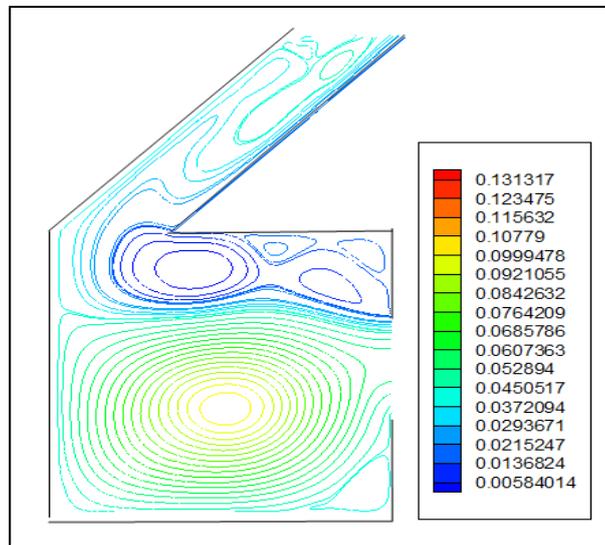
3.7.1. Structure de l'écoulement :

Les lignes de courant sont présentées sur les figures suivantes pour les différentes températures d'entrée de la pièce.

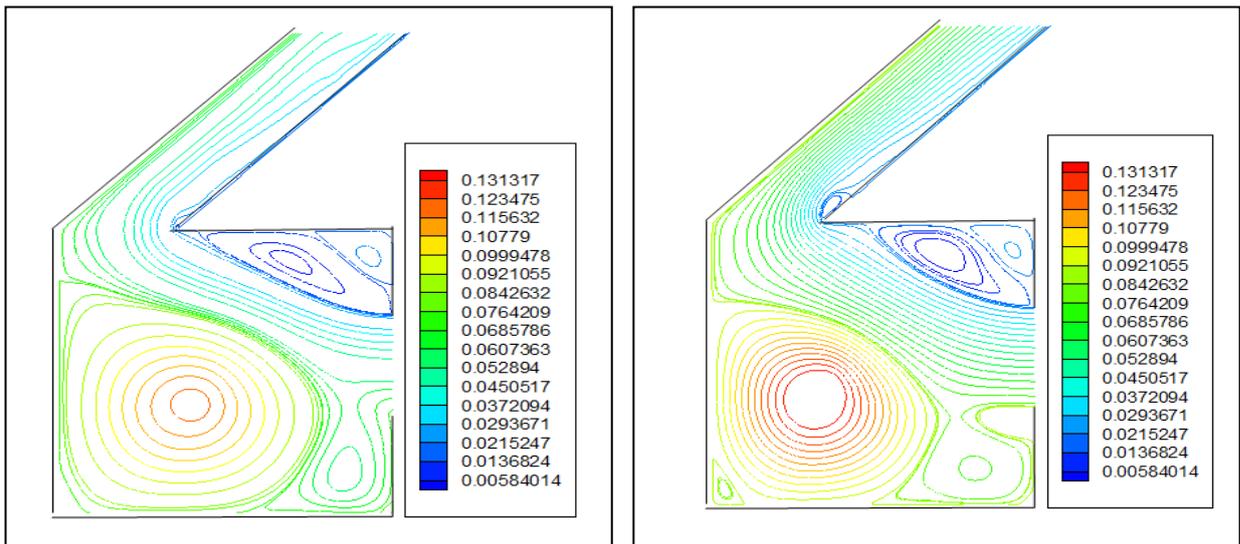


(1) T= 298 K

(2) : T= 300 K



(3) T = 307 K



(4) : T= 310 K

(5) : T= 312.2 K

Figure V.25 : Lignes de courant pour différentes températures d'entrée.

Pour une température d'entrée de 298 K et de 300 K, on observe la présence de deux vortex juxtaposés situés dans la partie inférieure de la pièce, ces vortex regroupent font perdre de l'énergie au fluide et par conséquent le débit d'air diminue.

Lorsque la température d'entrée atteint la valeur 307 K, la taille du vortex placé près de l'ouverture devient plus importante. Ce vortex se déplace vers le centre de la pièce, quand la température d'entrée atteint 310 K. En ce qui concerne le deuxième vortex, sa taille est réduite de manière considérable et s'installe à la base de la cheminée lorsque la température d'entrée égale à 307 K, ce dernier se disparaît en forment des lignes parallèle commence par l'entrée de la pièce jusqu'à la sortie de la cheminée à partir de 310 K.

Le profil de vitesse à mi-hauteur pour les différentes températures d'entrée est représenté dans la figure suivante, où on observe une perturbation des profils de vitesse plus accentuée liée inversement proportionnelle à la température.

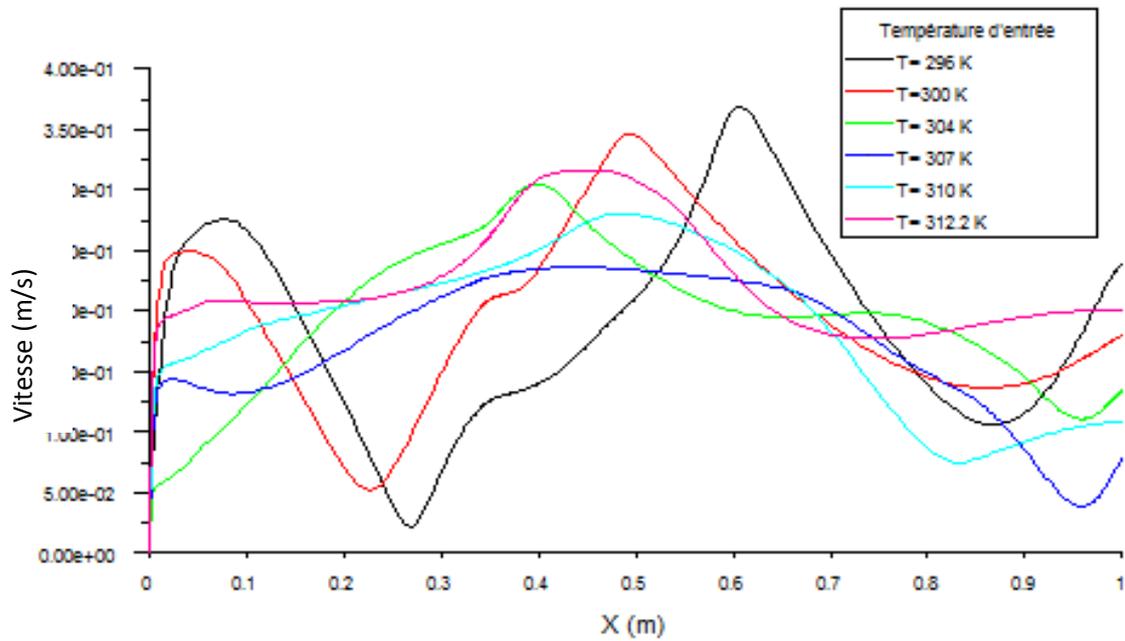


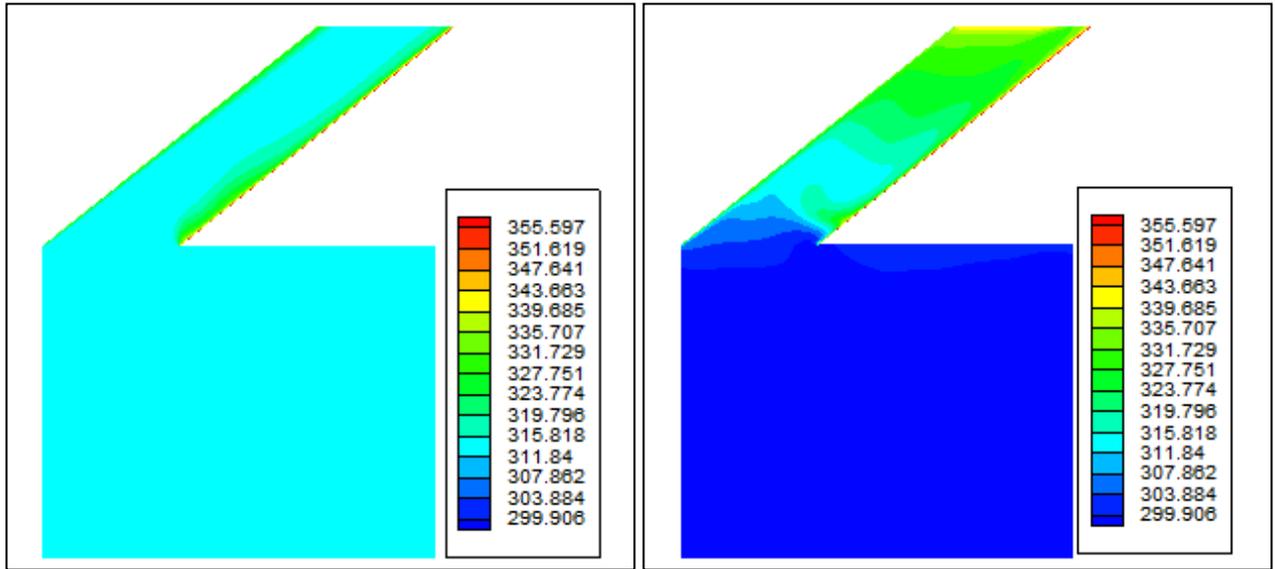
Figure V.26: Profils des vitesses de l'air à $Y=0.5$ m.

4. Introduction de l'échangeur air-sol :

Le phénomène du rafraîchissement par la géothermie dans un échangeur air-sol s'appuie principalement sur le fait qu'en été la température en profondeur dans le sol étant basse et stable par comparaison à celle de l'air ambiant. Dans ce qui suit, on va présenter l'influence de l'échangeur air-sol sur la qualité d'air et le confort thermique dans la pièce. Afin de concevoir un échangeur air-sol approprié pour la configuration de l'enceinte choisie, nous utilisons les corrélations citées dans le chapitre IV.

4.1. Effet de l'échangeur air-sol :

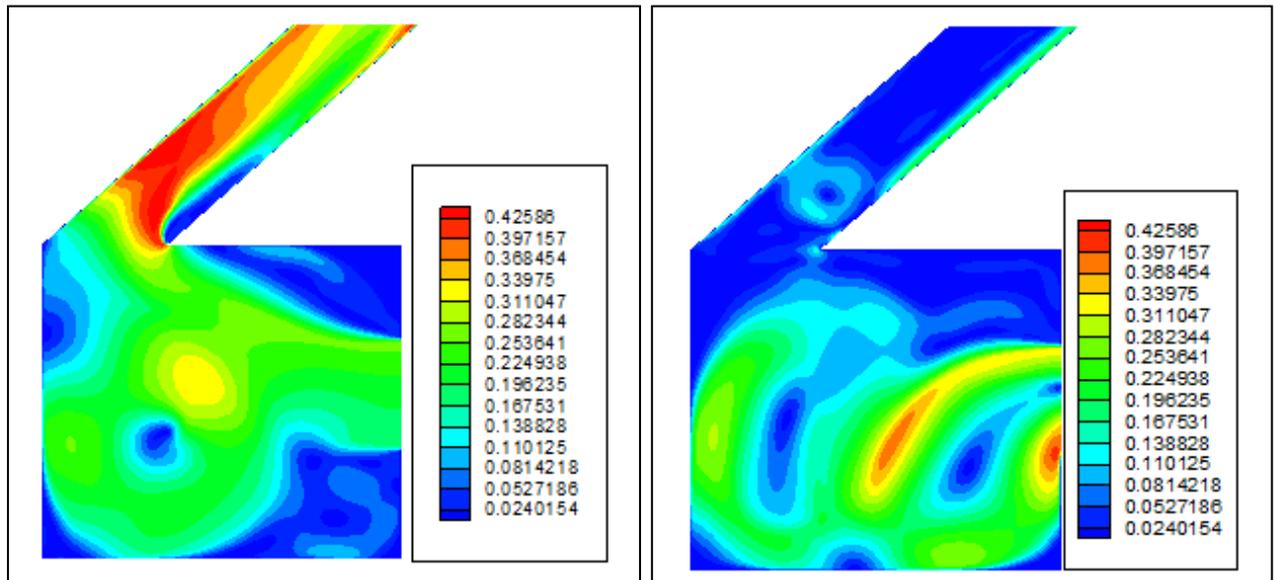
Dans l'objectif de rafraîchir la pièce du modèle étudié, nous avons la situation thermique correspondant à une température ambiante de 39°C et un rayonnement solaire de $700\text{W}/\text{m}^2$. Afin d'atteindre la température du confort thermique choisie de 23°C , on intègre un échangeur air-sol à la pièce, placé au niveau de la fenêtre avec un débit d'air de $25.92\text{ m}^3/\text{h}$ et une différence de température entre l'absorbeur et la vitre de 25°C . L'effet de l'échangeur sur le champ thermique et le champ de vitesse est présenté sur les figures (V.28, V.29) présentées respectivement.



(a) Sans échangeur

(b) Avec échangeur

Figure V.27: Effet de l'échangeur air- sol sur le champ thermique.



(a) Sans échangeur

(b) Avec échangeur

Figure V.28: Effet de l'échangeur sur le champ dynamique.

D'après les figures (V.27, V.28), on remarque que l'échangeur à un effet significatif sur le champ thermique où on remarque un abaissement de la température de l'air dans la pièce et augmentation des échanges thermique dans la cheminée. Sur le champ de vitesse au

niveau de la pièce où il y a une forte recirculation de l'air et une diminution de vitesse au niveau de la cheminée ce qui provoque une diminution de débit d'air sortant.

4.2. Conception de l'échangeur air- sol :

La particularité de l'échangeur air-sol réside dans le fait que la différence de température entre l'air entrant et le sol est variable au cours de l'année et dépend de la profondeur d'enfouissement de la gaine. Ces variations annuelles de température diminuées de manière exponentielle avec la profondeur [32]. Pour un débit d'air de $25.92 \text{ m}^3/\text{h}$, et une profondeur d'enfouissement estimé par une différence de température entre la température ambiante et celle du sol égale à 15°C , nous allons déterminer les différents paramètres de la conception, sachant que la température de confort est de 23°C . Nous adoptons pour les tubes, les données de base suivantes :

- Épaisseur du tube est de 5 mm.
- Conductivité $\lambda = 0.16 \text{ W/m.K}$. (pour une gaine en matériau plastique ex. PVC)

Les propriétés de l'air sont les suivantes $\mu = 1.81 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$, et $C_p = 1005 \text{ J/kg.K}$, $k = 0.0257 \text{ W/m.K}$, $C_p = 1.204 \text{ kg/m}^3$ et un nombre de Pr égale à 0.71

La surface d'échange et la longueur de conduit de l'échangeur sont calculées et données dans le tableau suivant :

Tableau V.8: caractéristiques géométriques de l'échangeur air-sol

D(m)	A(m ²)	V(m/s)	Re	Nu	h	S(m ²)	L(m)
0.25	0.05	0.15	2452.66	7.87	0.81	11.04	14.07
0.20	0.03	0.23	3065.82	10.27	1.32	6.88	10.96
0.15	0.02	0.41	4087.76	13.81	2.37	3.96	8.41

On a vu que l'échange de chaleur avec le sol est fonction du débit volumique de l'air dans la gaine et de la différence de température, on remarque que la longueur de la conduite nécessaire pour atteindre le même flux thermique diminue. La vitesse de l'air augmente selon la section de la gaine. Par ailleurs il est conseillé de ne pas dépasser une vitesse de 0.2 m/s pour garder les exigences de confort thermique (voir le tableau I.2), pour cela, il est préférable d'utiliser un tube de 0.25 m.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Atteindre naturellement le confort, en privilégiant des solutions simples et de bon sens est une nécessité pour réduire les besoins énergétiques du bâtiment. Avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques sont énormément minimisés.

Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence de l'épanouissement morale et physique de l'individu. Dans l'architecture solaire et bioclimatique, le confort de l'utilisateur est assuré par une adaptation aux conditions d'ambiances locales (climatiques et visuelles) du milieu géographique. La réduction des températures internes pouvait être réalisée au moyen de concepts de refroidissement passifs tels que : la ventilation et l'inertie thermique de l'enveloppe.

Le renouvellement de l'air est la principale source de déperditions thermiques dans une construction. Il faut donc réduire les besoins en assurant une bonne aération en privilégiant la ventilation naturelle. Dans le but de créer une ventilation naturelle, on a proposé un système de ventilation passif utilisant une cheminée solaire, qui a fait l'objet de notre travail.

L'objectif de ce travail est de développer une méthodologie d'analyse de fonctionnement d'une cheminée solaire introduite dans une enceinte couplée à un échangeur air-sol et de déterminer l'épaisseur et l'inclinaison qui assurent les débits d'air important. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons réalisé deux sortes d'étude, une expérimentale en utilisant un banc d'essai (une cheminée solaire sous forme d'un canal), et l'autre par simulation à l'aide d'un code de calcul.

Pour ce qui concerne l'étude expérimentale, nous avons étudié le comportement de la cheminée pour deux angles d'inclinaison (30° et 45°) et de trois épaisseurs de lame d'air entre l'absorbeur et la vitre. Cette étude nous a permis de tirer de multiples conclusions.

- La température de l'air dans la cheminée solaire dépend de l'intensité du rayonnement solaire.

- Le système a permis d'obtenir des températures d'air et des débits assez élevés à la sortie de la cheminée, favorables pour les exploiter dans la ventilation naturelle.
- L'augmentation de l'épaisseur de lame d'air joue un rôle très important et augmente significativement le débit volumique de l'air sortant de la cheminée.
- Le tirage thermique optimal correspond à une inclinaison d'un angle de 45° par rapport à l'horizontale.

Les différentes températures mesurées expérimentalement ont été utilisées comme des données pour la simulation. Les résultats expérimentaux nous ont permis aussi de valider les résultats obtenus par simulation. Des profils de température et de vitesse à l'intérieur de la cheminée solaire ont été déterminés par simulation numérique.

Les calculs numériques sont effectués pour les nombres de Rayleigh d'ordre de 10^9 et pour différentes positions de la cheminée avec différentes valeurs du rayonnement solaire. En se basant sur les approximations de Boussinesq, on a mis également au point un modèle numérique basé sur la méthode de volumes finis et en intégrant le modèle $k-\epsilon$ standard pour la prise en compte des effets turbulents.

Les conditions aux limites adaptées à l'entrée et à la sortie du système sont égales à la pression atmosphérique, l'écoulement d'air dans la cheminée se faisant grâce à une différence de la densité qui provoque une poussée verticale (poussée d'Archimède). Cette différence est due aux gradients des températures générés par les parois chaudes de la cheminée.

Les résultats obtenus par simulation concernant les débits sortants de la cheminée, montrent un bon accord avec les résultats mesurés expérimentalement.

L'application d'une cheminée solaire de dimensions (1m x 0.35m) sur une pièce cubique de dimensions (1m x 1m x 1m) montre que la cheminée solaire a un effet important dans l'amélioration de la ventilation et l'augmentation du taux de renouvellement de l'air. Cela est traduit par l'ACH qui est reliée directement au rayonnement solaire. On peut conclure aussi que :

- La vitesse de l'air à la sortie de la cheminée solaire augmente selon l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire. Cette élévation au niveau de la cheminée induit une augmentation de la vitesse d'écoulement de l'air dans la pièce. Ce qui traduit l'efficacité du système considéré.

- Il y a une bonne concordance entre les résultats obtenus et ceux extraits de la littérature.

Le système peut être amélioré par l'utilisation d'un échangeur air-sol pour le refroidissement naturel, afin de diminuer la température de l'air intérieure de quelques degrés.

L'échangeur air-sol, est un échangeur géothermique à très basse énergie utilisé pour rafraîchir l'air ventilé dans un bâtiment. Il consiste à alimenter un bâtiment en air frais en le faisant circuler auparavant dans une conduite enterrée, selon les conditions climatiques, le refroidit ou le préchauffe en utilisant l'inertie thermique du sol. Nous avons par ailleurs conduit une conception d'un échangeur air sol répondant aux exigences du confort thermique.

Ce travail est loin d'être achevé, il serait intéressant d'étudier l'effet de l'inclinaison pour des angles variant de 45° à 90°, et l'effet de doubles vitrages, ainsi que l'effet de la cheminée sur une pièce construite avec des parois non adiabatiques. D'après les résultats et les conclusions de notre étude, on peut émettre aussi ces recommandations :

- Qu'il est préférable d'étudier un angle intermédiaire dans l'intervalle des deux angles analysés (30 et 45°), pour élaborer l'effet de l'inclinaison la cheminée solaire sur le débit évacué.
- Confirmer à travers la simulation, l'influence d'augmentation de l'épaisseur de la lame d'air établi dans la cheminée solaire sur le débit sortant. Afin d'arriver à une épaisseur optimale au delà de cet épaisseur le débit sortant ne varie pas.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] H. M'Sellem et D. Alkama, **Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec**, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°3, pp. 471 – 488 (2009).
- [2] Alain Liébard, **Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques**, édition Le Moniteur. (2005).
- [3] Céline Mandallena, **Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation**, Thèse doctorat l'université de Bordeaux, (2006).
- [4] Ahmed Ouameur Fouad, **Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics: Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec**, Mémoire de Maître ès Sciences (M.Sc) Université Laval Québec, (2007)
- [5] Bassam Moujalled, **Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés**, Thèse de doctorat l'institut des sciences appliquées de Lyon, (2007)
- [6] V. CANDAS, **Confort thermique**, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique BE 9 085
- [7] Corinne Martinet, Jean- pierre Meyer, **Travail à la chaleur et confort thermique**, NST1 84 (décembre 1999)
- [8] Stéphane Thiers, **Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive**, Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de paris, (2008)
- [9] Evangellos Bacharoudis , Michalis Gr. Vrachopoulos , Maria K. Koukou, Dionysios Margaris, Andronikos E. Filios , Stamatis A. Mavrommatis, **Study of the natural convection phenomena inside a wall solar chimney with one wall adiabatic and one wall under a heat flux**, Applied Thermal Engineering vol. 27, pp. 2266–2275, (2007)
- [10] Amina Ouled-Henia, **Choix climatiques et construction. Zones arides et semi arides. Maison à Bou-Saada**, Thèse doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, (2003)
- [11] Alain M.Viaro, Arelette Ziegler, **Habitat traditionnel dans le monde : Eléments pour une approche**, UNESCO (Aout 1983)
- [12] D.Medjelekh, **Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma**, mémoire de magister, l'université Mentouri de Constantine, (2006)
- [13] H. Bencheikh, **Etude et réalisation d'un système de refroidissement passif en utilisant une toiture radio évaporative dans les climats chauds et arides**, Thèse doctorat, Université Mentouri de Constantine, (2007)

- [14] B. Nouibat, A. Tacherift, **L'occupation optimale du sol urbain a l'habitation individuelle dans les régions arides " villes maghrébines et orientales, cas d'étude : Bou-saada "**, Sciences & Technologie D – N°25, pp. 50-64, Juin (2007)
- [15] Plemenka Supic, **L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire**, Arch. & Comport. / Arch. & Behav., Vol. 10, no 1, pp. 27- 47, (2000)
- [16] N. Fezzioui; B. Daroui; A. Aït-Mokhtar; S. Larbi, **Stratégie de l'architecture bioclimatique dans le ksar de kenadsa**, The third architecture and sustainability conference in biskra (BASC 2008)
- [17] M, abdeltif, **Algiers, in ottoman era before colonization (1830): a Complex system where interiority could be seen as Fractal**, The third architecture and sustainability conference in Biskra (BASC 2008)
- [18] A. Mokhtari1, K. Brahimi et R. Benziada,, **Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar**, Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2, pp. 307 – 315, (2008)
- [19] Alexandre Allemand, **Une maison guyanaise des années 1970 restructurée en maison bioclimatique**, Mémoire formation H.Q.E, Ecole d'architecture de Lyon, (2008).
- [20] Thierry Salomon, **Architecture solaire et conception climatique des bâtiments**, Architecture et énergies renouvelables l'Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME) (2000)
- [21] J. Koffi, **Analyse Multicritère Des Stratégies De Ventilation En Maisons Individuelles"**, Thèse De Doctorat, université de la rochelle, France, (2009).
- [22] D. Bernstein, J. Pierre Champetier, L. Hamayon, L. Murdi, T. Vdal, **Traité de construction durable ; principes détails de construction**, P 49, Edition le Moniteur, (2006)
- [23] Hugues Boivin, **la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale**, maître ès sciences (M.Sc.), université Laval Québec, (2007)
- [24] Guohui Gan , **Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation** , Energy and Buildings, vol. 38, pp. 410–420, (2006)
- [25] Yoshiteru Shinada, Ken-ichi Kimura, Hiromasa Katsuragi, Sung-ki Song, **Natural Ventilation System for a School Building Combined with Solar Chimney and Underground Pit**, Proceedings of Annual Meeting of Japan Solar Energy Society. Suwa. pp. 83-86. (In Japanese) (2007)
- [26] T. Miyazaki, A. Akisawa, T. Kashiwagi, **The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings underthe Japanese climate**, Renewable Energy, vol. 31, pp. 987–1010, (2006)
- [27] Mathur Jyotirmay', Anupma, Mathur Sanjay' , **Experimental investigation on four different types of solar chimneys**, Advances in Energy Research AER, pp. 151-156 (2006)

- [28] Romuald Jobert, **Le puits canadien ou puits provençal**, Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de Lyon (CETE), (novembre 2005)
- [29] **Le puits canadien**, Les dossiers techniques de l'agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise, (avril 2005)
- [30] P. Hollmuller, **Utilisation des échangeurs air-sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Mesures in situ, modélisation analytique, simulation numérique et analyse systémique**. Thèse De Doctorat, université de Genève, (2002).
- [31] Guide d'information, **Les puits canadiens/provençaux**, CETIAT. (2008).
- [32] David Amitrano, **Eléments de dimensionnement d'un échangeur air/sol, dit « puits Canadien »**. Université J. Fourier, Grenoble, (2006)
- [33] Jyotirmay Mathur, N.K. Bansal, Sanjay Mathur, Meenakshi Jain, Anupma, **Experimental investigations on solar chimney for room ventilation**, Solar Energy, vol. 80, pp. 27-35, (2006)
- [34] M. Macias , A. Mateo , M. Schuler , E.M. Mitre, **Application of night cooling concept to social housing design in dry hot climate**, Energy and Buildings, vol. 38, pp. 1104–1110, (2006)
- [35] R. Bassiouny, N.S.A. Koura, **An Analytical and Numerical Study of Solar Chimney Use for Room Natural Ventilation**, Energy and Buildings, vol. 40, pp. 865–873, (2008)
- [36] J. Martí'-Herrero *, M.R. Heras-Celemin, **Dynamic physical model for a solar chimney**, Solar Energy, vol. 81, pp. 614–622, (2007)
- [37] Agung Murti Nugroho, Mohd Hamdan Ahmad, Then Jit Hiung, **Evaluation of parametric for the development of vertical solar chimney ventilation in hot and humid climate**, the 2nd International Network for Tropical Architecture conference, at Christian Wacana University, Jogjakarta, from 3 to 5 April, pp. 160-170, (2006)
- [38] Preeda Chantawong , Jongjit Hirunlabh , Belkacem Zeghmami , Joseph Khedari , Sombat Teekasap , Maung Maung Win, **Investigation on thermal performance of glazed solar chimney walls**, Solar Energy, vol. 80, pp. 288–297, (2006)
- [39] K.S. Ong, C.C. Chow, **Performance of a solar chimney**, Solar Energy, vol. 74, pp.1–17 (2003)
- [40] Jalan Kolej, Bandar Sunway, **A mathematical model of a solar chimney**, Renewable Energy, vol. 28, pp. 1047–1060, (2003)
- [41] Mathur J., Anupma, and Mathur S., **Experimental investigation on Four Different Types of Solar Chimneys**. Advances in Energy Research AER, pp. 151-156, (2006)
- [42] Jyotirmay Mathur, Sanjay Mathur, Anupma, **Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation**, Energy and Buildings, vol. 38, pp.1156–1163, (2006)

- [43] E.P. Sakonidou, T.D. Karapantsios, A.I. Balouktsis, D. Chassapis, **Modelling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow**, Solar Energy, vol. 82, pp. 80–94 (2008)
- [44] Tawit Chitsomboon and Pornsawan Thongbai, **Natural ventilation in building using attic and solar chimney**, The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE) Hua Hin, Thailand, (1-3 December 2004)
- [45] Zoltan Adam, Toshio Yamanaka and Hisashi Kotan, **Mathematical model and experimental study of air flow in solar chimneys**, Natural ventilation 5 in Osaka University, Japan, (2002)
- [46] D.J. Harris, N. Helwig, **Solar chimney and building ventilation**, Applied Energy, vol. 84, pp. 135–146, (2007)
- [47] Sudaporn Chungloo, Bundit Limmeechokcha, **Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand**, Building and Environment, vol. 42, pp. 3341–3351, (2007)
- [48] **S. SAADI, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan**, Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine.
- [49] Jonas Guerdat, Malik Schaffner, Johan Vuillaume, **Travail interdisciplinaire - L'isolation thermique des bâtiments**, CPP – MPT A, (Février 2007)
- [50] D. Mennouche, **Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire**, Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2006).
- [51] S. Babay, **Contribution à l'amélioration et au développement de la technologie de la distillation solaire sous serre dans la région de Ouargla**, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2008).
- [52] M. Regard, **Contribution à l'étude des mouvements d'air dans le bâtiment à l'aide d'un code de champ : Application à la ventilation naturelle d'un local par une ou deux grandes ouvertures**, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, (1996).
- [53] J.O. Hinze. **Turbulence**, Mc Graw-Hill Publishing Co., New York, USA, (1975).
- [54] N. Moummi , H. Benfatah , N. Hatraf , A. Moummi et S.Youcef Ali, **Le rafraîchissement par la géothermie: étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra**, *Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3*, pp. 399 – 406 (2010)
- [55] M. Maerefat*, A.P. Haghighi, **Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney**, Renewable Energy, vol. 35, pp. 2316-2324 (2010)
- [56] Suhas Patankar, **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**, Hemisphere, Washington D.C, (1980).

Sites Internet:

[57] <http://www.comptoir.fr/voyages/produitsWeb/fiche.asp?CodCir=PTITAPOUIL> 12-07-201

[58] <http://www.traveladventures.org/continents/asia/harazmountains08.shtml>, 02-08-2010

[59] <http://www.traveladventures.org/images/fr/wadidawan10>. (2010), 02-08-2010

[60] <http://forum.d4school.com/t46740.html>, 25-02-2011

[61] <http://www.crit.archi.fr/produits%20innovants/FICHES/ventilation%20naturelle/presentation.html>, 14-01-2010

ANNEXES

Annexe A :**Méthode de Mahoney [12]****Tableau 1:**

Localisation	Sud Est Algérien
Longitude	5.24' E
Latitude	31.57' N
altitude	148 m

Température de l'air en °C :

Mois T° C	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sép	Oct	Nov	Déc
T. mensuelle max	17.8	20.3	24.7	27.5	34.4	40.9	44.6	43	36.1	30.8	25.5	22.9
T. mensuelle min	6.8	7.2	10.1	12.1	18.5	25.4	28.7	27.2	22	15.7	9.4	7.7
(ΔT) mensuelle	11	13.1	14.6	15.4	15.9	15.5	15.9	15.8	14.1	15.1	16.1	15.2

$$AMT = T_{max} + T_{min} / 2$$

$$AMR = T_{max} - T_{min}$$

Tmax= 44.6	AMT= 25.7
Tmin=6.8	AMR=37.8

Humidité relative en %:

Mois Hum	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sép	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	70	54	48	42	39	28	25	26	46	46	58	51
Groupe d'humidité	3	3	2	2	2	1	1	1	2	2	3	3

Groupe d'humidité	Humidité relative
1	H < 30 %
2	H : 30-50 %
3	H : 50- 70 %
4	H > 70 %

Précipitations et vents:

	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
RR	54.1	1.5	10.6	0.8	NT	2.5	NT	NT	6.3	0.1	NT	NT
V(m/s)	4.1	3	3.6	2.7	XX	3.8	2.2	XX	3.7	2.4	2.1	1.4

Limites de confort:

Groupe d'humidité	AMT > 20 °C		AMT : 15 – 20 °C		AMT < 15 °C	
	jour	nuit	jour	nuit	jour	nuit
1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Tableau 2 : Diagnostic de température en °C

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
T. mensuelle max	17.8	20.3	24.7	27.5	34.4	40.9	44.6	43	36.1	30.8	25.5	22.9
Confort jour sup	29	29	31	31	31	34	34	34	31	31	29	29
Confort jour inf	23	23	25	25	25	26	26	26	25	25	23	23
T. mensuelle min	6.8	7.2	10.1	12.1	18.5	25.4	28.7	27.2	22	15.7	9.4	7.7
Confort nuit sup	23	23	24	24	24	25	25	25	24	24	23	23
Confort nuit inf	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
C. thermique jour	F	F	C	C	H	H	H	H	H	C	C	F
C. thermique nuit	F	F	F	F	C	H	H	H	C	F	F	F

Annexe B :**Introduction au logiciel fluent****1. Introduction**

L'étude de notre problème, implique la résolution d'un système d'équations mathématiques, aux dérivées partielles. Cela nécessite une approche par une voie numérique. Nous avons optée dans cette étude pour l'utilisation du code de calcul FLUENT comme solveur, et le GAMBIT pour la description géométrique

2. Choix de la méthode numérique

La résolution de système d'équations, peut se faire par plusieurs méthodes numériques. Les trois grandes méthodes utilisées dans les codes tridimensionnels, sont (Les

volumes finis, Les différences finies, Les éléments finis). Dans ce travail, le calcul est faite par le code Fluent, qui se basé sur la méthode des volumes finis.

2.1 Principe de la méthode des volumes finis:

Dans la simulation par la méthode des volumes finis, le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de sous-domaines élémentaires, appelés volumes de contrôle. La méthode des volumes finis consiste à intégrer les équations aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle, ce dernier (volumes de contrôle) contenant un nœud dit: "nœud principal".

Un exemple de volume de contrôle est montré dans la figure ci-dessous. Pour un nœud principal ('P'), les points E et W (E: Est, W: West) sont des voisins dans la direction X, tandis que N et S (N: Nord, S: Sud) sont ceux dans la direction Y. Le volume de contrôle entourant ('P') est montré par les lignes discontinues. Les faces du volume de contrôle sont localisées aux points (e) et (w) dans la direction X, (n) et (s) dans la direction Y.

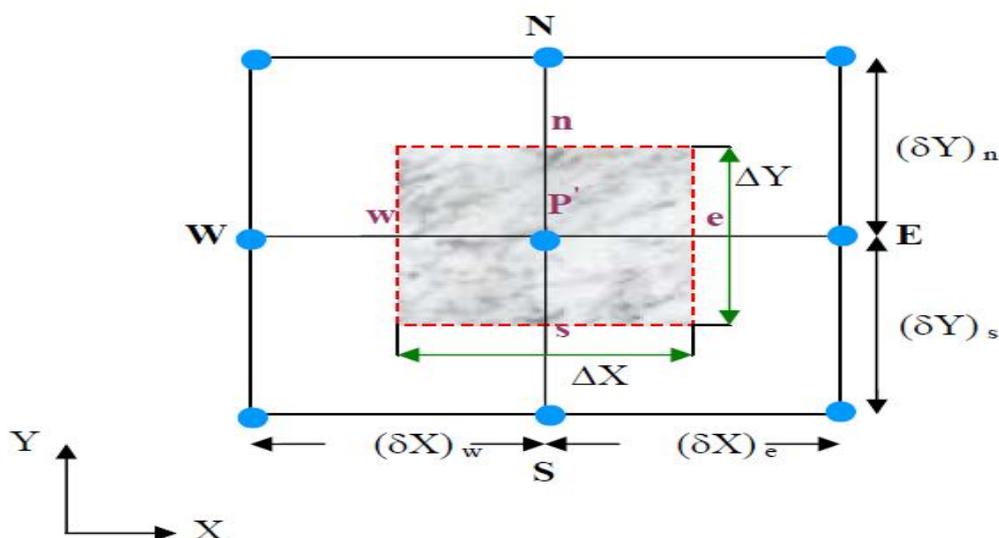


Figure .1. Volume de contrôle bidimensionnel.

3. Présentation du code Fluent :

Le code Fluent est un logiciel de modélisation en mécanique des fluides et des transferts de chaleur ainsi que les phénomènes qui leurs sont liés. Le logiciel utilise la méthode des volumes finis pour la résolution des équations de conservation et qui sont aux dérivées partielles. Le domaine de calcul est divisé en un grand nombre de cellules ou volumes de contrôle, et dans chacune de ces cellules les équations aux dérivées partielles décrivant l'écoulement sont intégrées sur chaque volume élémentaire. Elles mettent en relation la pression, la vitesse, la température et d'autres variables telles que la

concentration des composants avec les valeurs des cellules voisines. Ces équations sont alors résolues numériquement.

Le logiciel fluent propose un nombre assez important d'options qui déterminent la forme des équations de Navier-Stokes et des équations de transport. L'utilisateur a le choix entre un écoulement avec des mailles structurées et non structurées, tridimensionnel ou bidimensionnel, monophasique ou multiphasique (homogène ou non), turbulent ou laminaire, permanent ou non, incompressible ou compressible, avec ou sans transfert de chaleur, avec ou sans introduction de substances, polluantes chimiquement réactives ou non, multiples repères de référence en mouvement, incluant des interfaces glissantes et des plans de mélange, mélange et réaction d'espèces chimiques, incluant des modèles de combustion et des réactions de surface, source volumique arbitraires de chaleur, masse, quantité de mouvement, turbulence, et espèces chimiques, écoulement à travers les matériaux poreux, calculs de trajectoires Lagrangiennes pour une phase dispersée de particules /gouttes /bulles , incluant le couplage avec la phase continue, écoulements à surface libre avec surfaces complexes

3.1. Maillage sous "Gambit":

La génération du maillage bidimensionnel ou tridimensionnel est une phase très importante dans une analyse CFD, vu l'influence de ses paramètres sur la solution calculée. Dans un premier temps, il faut caractériser la géométrie de problèmes par le logiciel de GAMBIT. Il est conçu pour la construction de la géométrie et de maillage des modèles de mécanique des fluides numérique (CFD). L'interface graphique de GAMBIT contient des commandes qui permettent de faire les principales étapes de la construction de maillage, et l'affectation des types de zone et ses conditions aux limites. Ce logiciel permet de varier les domaines de calcul suivant les études.

3.2. La procédure de simulation par le logiciel Fluent :

L'ensemble géométrie et génération de maillage se fait à l'aide du logiciel GAMBIT qui constitue un préprocesseur livré avec FLUENT, qu'il présente une grande flexibilité d'adaptation avec n'importe quel type de maillage, et il permet le raffinement du maillage en fonction des conditions aux limites.

3.3. Schéma du second ordre amont (second-Order Upwind)

Si nous voulons une précision de second ordre, les quantités aux faces des cellules sont calculées en utilisant une approche linéaire de reconstruction multidimensionnelle.

Dans cette approche, la grande précision est obtenue aux faces des cellules à travers l'expansion de série de Taylor pour la solution de la cellule centrale, si on utilise le schéma second ordre amont, la valeur de la face ϕ_f est calculée en utilisant l'expression suivant :

$$\phi_f = \phi + \nabla\phi \cdot \nabla\vec{S} \quad (1)$$

Où ϕ_f , ϕ , $\nabla\phi$ sont la valeur au centre du gradient dans la cellule ascendante, et $\nabla\vec{S}$ est le vecteur de déplacement du centre de la cellule ascendante au centre de la cellule formulation exige la détermination du gradient $\nabla\phi$ à chaque cellule.

Le gradient est calculé en utilisant le théorème de divergence, ou la forme discrétisée est écrite comme suit :

$$\nabla\phi = \frac{1}{V} \sum_f^{N_{faces}} \tilde{\phi}_f \vec{A} \quad (2)$$

Ici les valeurs de face $\tilde{\phi}_f$ sont calculées en faisant la moyenne de ϕ des deux cellules adjacentes à la face. Le gradient $\nabla\phi$ a une valeur limitée.

3.4. Schéma PRESTO (option de pression décalée) :

Il utilise le bilan de masse dans un volume de contrôle décalé pour la face où est calculée la pression décalée. Ce schéma est inspiré de l'idée de la grille décalée valable avec un maillage structuré proposé par Patankar [56].

3.5. Simple précision ou double précision

Le code fluent propose quatre options de calcul selon l'espace de travail et la précision des résultats. On peut citer : une analyse bidimensionnelle (2d) à simple précision, Analyse bidimensionnelle à double précision (2ddp), Analyse tridimensionnelle à simple précision (3d), Analyse tridimensionnelle en double précision (3ddp)

Ayant la même interface mais ils sont différents pour la précision, "Fluent" propose deux modes de résolution. La résolution à double précision et à simple précision. Dans la résolution à double précision, chaque nombre en virgule flottante est représenté utilisant 64 bits par contre avec la résolution de simple précision qui utilise 32 bits. Les bits supplémentaires n'augmentent pas seulement la précision, mais aussi la gamme d'ampleurs qui peuvent être représentées.

Dans la présente étude nous avons choisis l'option de 2d.

3.6. Choix de la méthode de couplage Pression-Vitesse :

Le couplage Vitesse-Pression est traité en résolvant les équations de quantité de mouvement et une équation pour la pression dérivée d'une combinaison de l'équation de continuité et celles de quantité de mouvement. "Fluent" dispose de trois algorithmes de couplage (SIMPLE, SIMPLEC, PISO) dont le premier sera brièvement décrit ci-dessous,

3.6.1. SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations):

L'algorithme couramment utilisé se nomme SIMPLE de Patenkar S.V. et Spalding D.B. (1972) [56] L'idée générale de cet algorithme est de corriger petit à petit la pression ainsi que les composantes de la vitesse afin que ces variables qui vérifient les équations de la quantité de mouvement vérifient également l'équation de continuité donc simple soit l'algorithme qui nous avons utilisé pour notre étude.

3.7. Facteurs de sous relaxation

Le sous relaxation est régulièrement utilisé dans les problèmes non linéaires pour éviter le processus itératif décrit précédemment ne diverge. Elle consiste à diminuer la rapidité des changements d'une variable, d'une itération à l'autre, par l'introduction d'un facteur de sous relaxation α

$$\phi_p = \phi_{p,old} + \alpha \cdot \Delta\phi \quad (3)$$

$\phi_{p,old}$: L'ancienne valeur de ϕ_p

$\Delta\phi$: Le taux de variation de la valeur ϕ_p

α : Facteur de relaxation

Il n'existe pas de généralité pour choisir les facteurs de sous relaxation. Cela peut dépendre de la nature du problème, du nombre et de la taille des cellules du maillage, de la procédure itérative choisie. Il faut cependant savoir que le choix de ces facteurs est essentiel pour le bon déroulement de la procédure itérative.

Finalement, rappelons que la valeur des ces coefficients peut être imposée différente d'une variable à l'autre.

3.8. Les étapes de la simulation numérique par FLUENT

La simulation numérique de cheminée solaire par FLUENT passe par les étapes suivantes :

1-Importer le fichier (.msh) qui généré sous Gambit. **File** → **Read** → **Case...**

2- Vérifier du maillage sou Fluent **Grid**→ **Check**

3-Vérifier des unités **Grid** → **Scale**

4- choisir du modèle **define** → **models** →(solver – énergie – viscous)

5- Définir la Matière. **Define**→ **Materials**

6- choisir de valeur de la pression de référence **Define** → **Operating conditions**

7- Définir les conditions aux limites. **Define**→ **Boundary**→ **Conditions**

8- Choisir du control de solution. **Solve**→ **Controls**→ **Solution**

10- sauvegarder le fichier de problème. **File**→ **write**→ **Case & data** (Le fichier Case regroupe toutes informations liées à la géométrie et le fichier data contient tous les paramètres et données des calculs).

11-Résidus des calculs. **Solve**→**Monitors**→**Residual**

12- lancer du calcul. **Solve**→ **Initialize** →**Initialize**

13- choisir le nombre d'itérations que Fluent devra réaliser. **Solve** →**iterate**

14- visualiser des résultats. (**Display, Plot, Repport**)

Résumé :

Dans notre étude, on a présenté une technique permettant la ventilation et le rafraîchissement naturel pour les régions à climat chaud. Le mouvement d'air est généré à l'intérieur de l'espace par une cheminée solaire. Afin de prévoir le comportement de la cheminée, on a réalisé un dispositif expérimental suivi d'une simulation utilisant le code Fluent pour une cheminée solaire de différentes géométries et deux inclinaisons. Une application est exécutée sur une pièce de dimension (1m x 1m x 1m) équipée d'une cheminée solaire inclinée de 45° par rapport à l'horizontal intégrée sur la partie supérieure de la pièce, afin de prédire le taux de ventilation. Pour améliorer la qualité d'air ventilé, et d'atteindre le niveau de confort thermique à moindre consommation d'énergie. On a introduit un échangeur air- sol. La diminution de température à l'entrée de la pièce, nous a permis de faire un dimensionnement d'un échangeur air/sol. Les conclusions principales dérivées de l'étude paramétrique du système proposé sont les suivantes:

L'efficacité du système augmente avec la disponibilité du rayonnement solaire du contexte géographique dans lequel le système est réalisé.

- La taille de la cheminée a un effet important sur l'augmentation de débit volumique de l'air.
- Le tirage thermique optimal correspond à une inclinaison d'angle 45° par rapport à l'horizontale.
- Les températures et la vitesse de l'air à la sortie de la cheminée dépend de l'intensité du rayonnement solaire.
- La réduction de la température extérieure par une combinaison de la cheminée solaire et les conduits de refroidissement de l'échangeur air-sol a été trouvée assez suffisante pour rétablir les conditions de confort.
- Il y a une bonne concordance entre les résultats obtenus par notre étude et ceux tirées de littérature.

Mots clés: *cheminée solaire, ventilation naturelle, refroidissement passif, échangeur air-sol, simulation,*

Abstract:

In our study, we present a technique for ventilation and natural cooling for hot climates. The movement of the air is generated inside the space by a solar chimney. In order to predict the behavior of the chimney, we realized an experimental setup followed by a simulation using the fluent code for a solar chimney with different geometries and two inclinations. An application is running on a piece of size (1m x 1m x 1m) equipped with a solar chimney inclined 45 degrees to the horizontal integrated over the upper part, to predict the ventilation rate. To improve the quality of ventilation, and reach the level of thermal comfort at lower power consumption. We introduced an air-ground. The decrease in temperature at the entrance of the room, we were able to make a design of an air / ground. The main conclusions derived from the parametric study of the proposed system are:

- The efficiency of the system increases with the increase of the quantity of solar radiation
- The size of the chimney has a significant effect on increasing of the air volume flow.
- Optimal heat circulation corresponds to an inclination angle of 45 degrees from horizontal.
- The temperature and air velocity at the outlet of the chimney depends on the intensity of solar radiation.

- Reducing the outside temperature by a combination of solar chimney and cooling ducts of the air-ground heat exchanger was found quite sufficient to restore comfort conditions.
- There is good agreement between the results obtained by our study and those from literature.

Keywords: solar chimney natural ventilation, passive cooling, heat exchanger air-ground simulation

ملخص:

في دراستنا هذه، قمنا بتقديم تقنية تسمح بتحسين التهوية الطبيعية و التبريد في المناطق ذات المناخ الحار. حيث يتم إنشاء حركة الهواء داخل الوسط باستعمال المدخنة الشمسية. و من أجل تحديد الخصائص المتعلقة بالنظام المقترح قمنا بدراسة تجريبية وأخرى باستعمال المحاكاة العددية على المدخنة الشمسية، مع التغيير في أبعادها وزاوية الميل. كما قمنا بتطبيق هذا النموذج على غرفة مكعب الشكل ذات الأبعاد التالية (1م.1م.1م). الجزء العلوي من الغرفة مجهز بمدخنة شمسية، بزاوية ميل 45 درجة عن المستوى الأفقي. لتحسين التهوية، والوصول إلى مستوى من الراحة الحرارية مع للتقليل في استهلاك الطاقة. أدخلنا مبادل جو أرض. انخفاض في درجات الحرارة عند مدخل الغرفة، سمحت بتقديم تقدير للمبادل جو - أرض. الاستنتاجات الرئيسية المستخلصة من هذه الدراسة.

- زيادة فعالية النظام مع توافر أشعة الشمس.
- حجم المدخنة له تأثير كبير على زيادة تدفق حجم الهواء .
- السحب الحراري الأمثل يوافق زاوية ميل 45 درجة مع المستوى الأفقي.
- درجة الحرارة وسرعة الهواء عند مخرج المدخنة يعتمدان على شدة الإشعاع الشمسي.
- وجد أن انخفاض درجة حرارة الهواء الخارج باستعمال مجموعة قنوات التبريد للمبادل حراري الهواء و المدخنة الشمسية سببا كافيا لاستعادة ظروف الراحة .

هناك اتفاق جيد بين النتائج المتحصل عليها من خلال هذه الدراسة و المستخرجة من المقالات.

كلمات دالة: المدخنة الشمسية والتهوية الطبيعية، والتبريد الطبيعي، محاكاة، مبادل جو أرض.