

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE  
N° : Ph/ENR/02/2021**



**DOMAINE: Sciences de la matière  
FILIERE : Sciences de La Matière  
OPTION : Physique Énergétique et  
Energies Renouvelables**

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par :**

Hachrouf Dounya

**Intitulé**

**Étude de l'influence de la cheminée solaire sur la  
consommation énergétique des bâtiments sous différents  
climats en Algérie**

**Soutenu devant le 24/06/2021 jury composé de:**

HADDAD Zakaria	Université Mohamed Boudiaf-M'Sila	Président
MAHDI Khaled	Université Mohamed Boudiaf-M'Sila	Rapporteur
NAHOUI Azzeddine	Université Mohamed Boudiaf-M'Sila	Examineur

**Année universitaire : 2020 /2021**

## **REMERCIEMENTS**

C'est grâce à dieu que j'ai pu faire ce travail de recherche et rédiger ce mémoire.

À mon encadreur de mémoire fin d'étude, Khaled MAHDI, pour ses conseils et son aide, scientifique et morale, qui m'ont beaucoup aidé à réaliser ce travail. Merci.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Zakaria HADDAD, enseignant à l'Université de M'Sila, pour avoir accepté de présider le jury.

Mes vifs remerciements s'adressent également à : Mr. Azzddine NAHOUI, Maître de conférences à l'université M'sila.

Nous tenons à notifier un remerciement spécial à tous nos enseignants du département de physique qui ont contribué à notre formation de master.

## Table des matières

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

### Chapitre I: Différents types des concentrateurs

I.1 Introduction.....	3
I.2 Etudes climatologiques.....	3
1.2.1 Situation géographique.....	3
I.2 Caractéristique climatique.....	4
I.2.1 L'humidité relative.....	4
I.2.2 Les températures.....	5
I.2.3 Les précipitations.....	7
I.2.4 La vitesse du vent.....	7
I.3 Méthode d'estimation du Rayonnement.....	8
I.3.1 Déclinaison $\delta$ .....	8
I.3.2 L'équation du temps ET.....	9
I.3.3 Le temps solaire vrai ET l'angle horaire du soleil.....	9
I.3.4 Hauteur angulaire du soleil h.....	11
I.3.5 Azimut du soleil a.....	11
I.3.6 Durée du jour.....	11
1.4 Diagramme solaire.....	11
1.5 Rayonnement solaire a ciel clair.....	13
1.6 Conclusion.....	16

### Chapitre II: Consommation énergétique dans le bâtiment

II.1 Introduction.....	18
II.2 Démarches effectuées par l'Algérie.....	18
II.3 Taux d'émission des gaz à effet de serre.....	18
II.4 Le certificat de performance énergétique.....	19
I.5 La consommateur d'énergie par un bâtiment.....	20
I.5.1 Indice de dépense d'énergie.....	21
I.5.2 Applications de l'énergétique du bâtiment.....	22
I.6 Les notions physiques du bâtiment.....	22
1.6.1 Capacité thermique.....	22
1.6.2 Caractéristiques thermiques de quelques matériaux de construction.....	23
1.6.3 Modes de transfert de chaleur.....	24
1.6.4 Rayonnement solaire.....	24
1.7 Effet de cheminée.....	25
1.8 Mur Trombe.....	27

### Chapitre III: Formulation mathématique du problème

III.1 Introduction.....	28
III.2 Introduction à la CFD.....	28
III.2.1 La méthode analytique.....	28
III.2.2 La méthode expérimentale.....	28
III.2.3 L'approche numérique.....	28
III.3 Équations gouvernant la CFD.....	29
III.3.1 Équation de continuité.....	29
III.3.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement.....	29

III.3.3 Équation de conservation de l'énergie.....	29
III.4 Techniques de discretization.....	30
III.5 Modélisation de la turbulence.....	30
III.5 Utilisation de la CFD.....	30
III.5.1 Pré-processeur.....	31
III.5.2 Solveur.....	31
III.5.3 Post-processeur.....	32
III.6 Méthode des ordonnées discrètes (DO).....	32
III.7 Conclusion.....	32

## **Chapitre IV: Résultat et interprétations**

IV.1 Introduction.....	32
IV.2 Les Géométries proposées.....	32
IV.2.1 Conditions aux limites.....	32
IV.2.2 Les propriétés thermophysiques.....	32
IV.2.3 Hypothèses simplificatrices.....	32
IV.3 Présentation et interprétation des résultats.....	32
V.4 Conclusion.....	32
Conclusion générale.....	48
Résumé	

## Liste des figures

- Figure I.1: Carte d'Algérie et représentation de trois sites (Surfer 9)
- Figure I.2: Variation mensuelles des températures d'Alger pour l'année 2020
- Figure I.3: Variation mensuelles des températures de M'Sila pour l'année 2020
- Figure I.4: Variation mensuelle de la station Ouargla (année 2020).
- Figure I.5: Variation annuelle des stations pour la période 2010-2020.
- Figure I.6: Cumul annuel des précipitations pour les trois sites: Alger, M'Sila et Ouargla (2020).
- Figure I.7: Variation annuelle de la déclinaison solaire et l'équation du temps
- Figure I.8 : L'angle horaire et la déclinaison
- Figure I.9: Diagramme solaire de trois sites : Alger, M'Sila et Ouargla
- Figure I.10: Alger pour 21/12
- Figure I.11 : M'Sila pour 21/12
- Figure I.12 : Ouargla pour 21/12
- Figure I.13 : Alger pour 21/06
- Figure I.14 : M'Sila pour 21/06
- Figure I.15 : Ouargla pour 21/06
- Figure II.1: Consommation Énergétique Finale de l'Algérie Chiffres clés Année 2005 (APRUE Edition 2007)
- Figure II.2: Label énergétique européen
- Figure II.3: Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année
- Figure II.4: Gammes d'indices de dépense d'énergie de bâtiments (en suisse)
- Figure II.5: Effet d'un revêtement ou de la résistance superficielle sur la capacité thermique apparente
- Figure II.6: modes de transfert de chaleur
- Figure II.7: la distribution spectrale de rayonnement solaire extraterrestre et terrestre (directe, diffuse et global)
- Figure II.8: La différence de densité de l'air entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment induit une différence de pression. C'est l'effet de cheminée.
- Figure II.9: Trois schémas pour les conduits de ventilation naturelle
- Figure II.10: Schéma représentant la forme générale
- Figure III.1: Discrétisation angulaire

Figure IV.1 : conception d'une pièce équipée d'une cheminée solaire plus une fenêtre de ventilation

Figure IV.2: une pièce équipée d'une cheminée plus une ouverture d'aération plus une canalisation souterraine

Figure IV.3: réalisation de la pièce par logiciel Gambit

Figure IV.4: réalisation de la pièce avec une canalisation souterraine avec logiciel Gambit.

Figure IV.5 : présentation des champs de : pression, température et vitesse pour Alger durant l'été à la température 30 °C.

Figure IV.6 : présentation des profils au milieu  $x = 1,5$  m de la pièce de : pression, température et vitesse pour Alger durant l'été à la température 30 °C.

Figure IV.7 : présentation des champs de : pression, température et vitesse pour M'Sila durant l'été à la température 40 °C.

Figure IV.8 : présentation des profils au milieu  $x = 1,5$  m de la pièce de : pression, température et vitesse pour Alger durant l'été à la température 40 °C.

Figure IV.9 : présentation des champs de : pression, température et vitesse pour Ouargla durant l'été à la température 45 °C.

Figure IV.10 : présentation des profils au milieu  $x = 1,5$  m de la pièce de : pression, température et vitesse pour Ouargla durant l'été à la température 45 °C.

## **Liste des Tableaux**

Tableau I.1: Situation géographique de trois sites

Tableau I.1: Humidité relative moyenne mensuelle.

Tableau I.3 : vitesse moyenne mensuelle du vent

Tableau I.4: les valeurs moyennes mensuelles du coefficient de transmission

Tableau I.5: Caractéristiques thermiques de quelques matériaux de construction

Tableau IV.1: Propriétés thermophysiques

Tableau IV.2: conditions aux limites

## **Nomenclature**

### **Lettres latines**

A: area,

c: specific heat of air (J/kg K)

d: diameter (m),

H: hauteur (m),

h: coefficient de transfert de chaleur par convection ( $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ),

HR : Humidité relative (%),

T: Température ( $^{\circ}\text{C}$ ),

V: vitesse du vent (m/s),

ET: équation du temps,

TSM: temps solaire moyen,

TSV: temps solaire vrai,

TU : temps universelle,

dj: durée de la journée,

a: azimut,

k: coefficient de transmission,

$G_0$ : éclairement global extraterrestre ( $\text{W/m}^2$ ),

Q: quantité de chaleur (W),

$\theta$ : Température ( $^{\circ}\text{C}$ ),

h: hauteur solaire,

t: temps (s),

### **Lettres grecques**

$\alpha$  : diffusivité ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),

$\delta$  : Déclinaison ( $^{\circ}$ ),

$\omega$ : Angle horaire

$\lambda$ : Longitude,

$\phi$ : Latitude,

$\nu$ : viscosité cinématique ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),

### **Indice**

max: maximum,

min: minimum,

moy: moyenne,

l: levé du soleil,

c: couché du soleil,

L'utilisation de l'énergie du bâtiment représente une grande partie de la consommation d'énergie globale, où la plupart de l'énergie du bâtiment est utilisée à des fins de chauffage et de refroidissement des locaux. L'utilisation de la ventilation naturelle est une méthode permettant d'économiser les coûts énergétiques requis pour la ventilation mécanique des bâtiments. La ventilation naturelle est un processus important non seulement parce qu'elle peut réduire les coûts d'exploitation, mais aussi parce qu'elle a également le potentiel d'améliorer la qualité de l'air intérieur.

Le confort environnemental, l'économie et la conservation de l'énergie sont quelques-unes des principales considérations fonctionnelles dans les bâtiments. En ce qui concerne les bâtiments institutionnels, commerciaux et résidentiels, les systèmes de climatisation électriques sont principalement utilisés pour la santé et le confort des occupants. En fait, la demande de climatiseurs augmente chaque année. Cependant, avec l'augmentation des coûts, la diminution de l'offre d'énergie non renouvelable et pour des raisons environnementales, il y a eu un énorme regain d'intérêt et de recherche pour les systèmes solaires et passifs depuis les années 1970.

L'utilisation de techniques de refroidissement passif combinées à une charge de refroidissement réduite peut non seulement se traduire par un bon confort thermique d'été, mais également par une économie d'énergie de refroidissement. Ici, les deux techniques de refroidissement passif intéressantes et prometteuses sont : la ventilation naturelle de jour et les échangeurs de chaleur terre-air. La ventilation naturelle est généralement utilisée dans une région au climat doux et dans des espaces où une petite variation du climat intérieur est tolérable. Une cheminée solaire en revanche, est une bonne configuration pour mettre en œuvre une ventilation naturelle dans les bâtiments où l'énergie solaire est disponible.

Notre objectif d'étudier l'influence de la ventilation souterraine utilisée dans le bâtiment. Le prototype solaire étudié est équipé d'énergie solaire passive et d'un système de ventilation améliorée. Trois villes sont choisies suivant les conditions climatiques suivantes : Alger caractérisée par un climat méditerranéen, M'Sila caractérisée par un climat semi-aride et Ouargla caractérisée par un climat aride.

L'étude, présentée dans ce travail, s'inscrit dans le cadre de la simulation numérique en utilisant la technique CFD de la convection naturelle appliquée au mur Trombe couplé avec une conduite souterraine. Notre but étant d'améliorer le confort d'une

pièce carrée de côté de 3 m de longueur qui dépend de plusieurs paramètres extérieures purement climatiques tel que la température et le rayonnement.

Ce mémoire est composé par quatre chapitres suivants :

- Dans le premier chapitre nous présentons une estimation de rayonnement solaire journalier à l'aide de facteur de transmission et la corrélation de Collares-Pereira et Rabl. Pour ce faire, un programme FORTRAN de simulation permettant l'estimation du rayonnement solaire global instantané sur les trois sites comme suit: Alger, M'Sila et Ouargla.
- Le deuxième chapitre discute sur la consommation énergétique dans le bâtiment d'une façon générale : mur Trombe, cheminée, ...
- Le troisième chapitre on va présenter les équations mathématiques décrivant le Fluent et les méthodes de résolutions numériques, ainsi une description de la méthode des ordonnées discrètes qui sa fait partie du Fluent.
- Le quatrième chapitre regroupe les résultats essentiels de cette étude : de pression, température, le champ de vitesse et les lignes de courant. sont bien présentés et commentés ainsi déterminer le pourcentage de l'amélioration de deuxième système par rapport le premier.

Enfin nous terminons le manuscrit par une conclusion générale.

## I.1 Introduction

Les données météorologiques sont très indispensables et fondamentale pour réaliser une simulation fine d'un système solaire donné. Est le rayonnement solaire incident sur une surface collectrice. Les mesures des données horaires de rayonnement solaire global et les autres paramètres météorologiques tels que la température, le vent et l'humidité sont souhaitables. Mais parfois ils ne sont pas disponibles pour un site précis sous une orientation bien déterminée. Ce qui rendra de ces données indispensables. Les données climatiques ont une influence directe sur les performances des systèmes solaires, la connaissance de ces données est indispensables afin de simuler le fonctionnement probable de système solaire et de s'assurer de son intérêt et de sa faisabilité. Dans ce chapitre nous présentons une étude climatologique de la région d'étude puis une étude de gisement solaire et le modèle utilisé pour le calcul de rayonnement global et le choix de l'inclinaison optimal des capteurs solaires.

## I.2 Etudes climatologiques

Dans cette étude nous avons pris trois sites différents :

Le premier site : Alger (climat méditerranéen), le second : M'Sila (climat semi-aride) et le troisième site : Ouargla (climat aride).

### I.2.1 Situation géographique

Nous représentons dans ce tableau les positions géographique de trois sites suivant :

**Tableau I.1:** Situation géographique de trois sites

Station météorologique	Code OMM	Latitude	Longitude	Altitude
Alger- port	60369	36° 46'N	03° 06'E	12 m
M'Sila	60467	35° 40' N	04° 30' E	442 m
Ouargla	60580	31° 56' N	05° 24' E	148 m

ONM : office national de la météorologie.

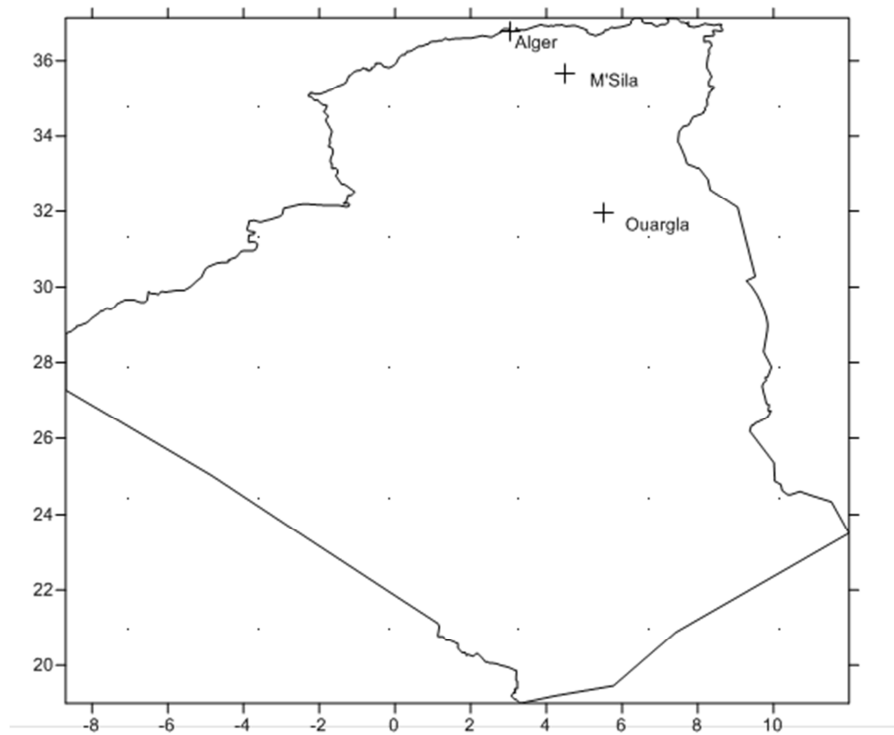


Figure I.1 : Carte d'Algérie et représentation de trois sites (Surfer 9) [1]

## I.2 Caractéristique climatique

Les paramètres climatiques (température, vent, l'humidité relative, précipitation...) ont une action directe sur tous les processus physiques ou chimiques qui se déroulent dans cet environnement. Les valeurs de ces paramètres sont disponibles à l'office national météorologique (ONM) pour les trois sites.

### I.2.1 L'humidité relative

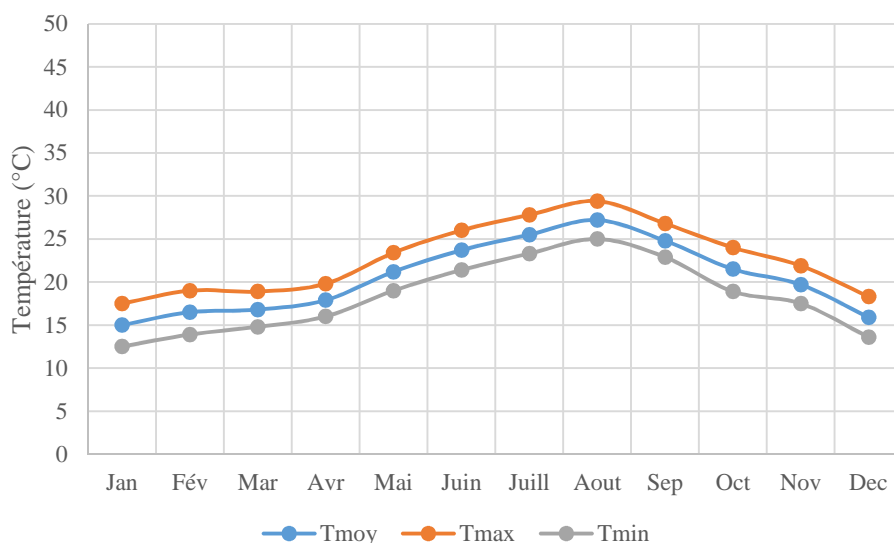
L'humidité relative de l'air est le pourcentage de vapeur existant dans l'air par rapport à la quantité maximale que peut contenir l'atmosphère dans les mêmes conditions de température et de pression. Sur le tableau (1.1). Nous avons représenté la variation de l'humidité relative moyenne mensuelle pour les trois sites. Calculée sur l'année 2020.

Tableau I.2 : Humidité relative moyenne mensuelle.

	Sites	mois											
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
HR (%)	Alger	68	73	71	77	72	72	82	78	75	67	70	71
	M'Sila	66	45	51	47	28	23	23	25	37	37	52	63
	Ouargla	48	38	36	32	23	20	19	16	32	35	44	47

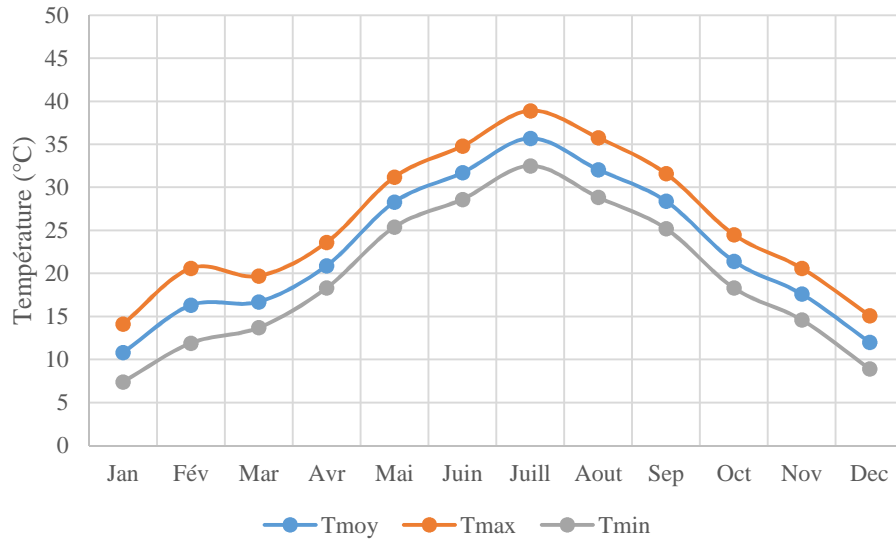
## I.2.2 Les températures

La température est l'un des paramètres météorologique pour l'étude et l'utilisation de tout système solaire. Les données des températures calculées sur une année d'observation de 2020 de trois sites (voir les figures ci-dessous). Premièrement pour le site d'Alger montrent que les températures moyennes mensuelles de Novembre à Avril sont inférieures à la moyenne annuelle (20,48 °C) et de Mai à Octobre supérieurs à cette moyenne. Ce qui partage l'année en deux saisons, l'une froide avec une moyenne minimale au mois de Janvier (12,5 °C), et l'autre chaude avec une moyenne maximale au mois d'Aout (29,4°C).



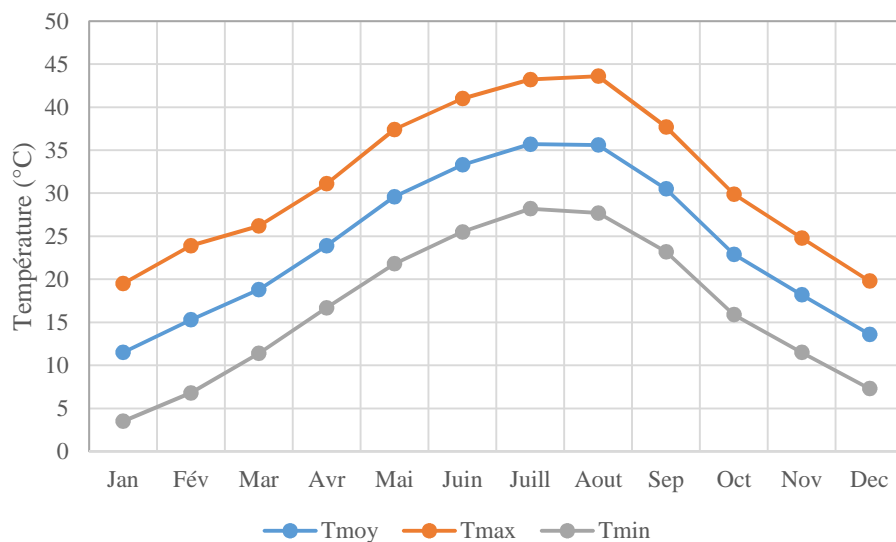
**Figure I.2 :** Variation mensuelles des températures d'Alger pour l'année 2020

Deuxièmes pour le site de M'Sila montrent que les températures moyennes mensuelles de Octobre à Avril sont inférieures à la moyenne annuelle (22,67 °C) et de Mai à Septembre supérieurs à cette moyenne. Ce qui partage l'année en deux saisons, l'une froide avec une moyenne minimale au mois de Janvier (7,4 °C), et l'autre chaude avec une moyenne maximale au mois de Juillet (38,9°C).



**Figure I.3 :** Variation mensuelles des températures de M'Sila pour l'année 2020

Enfin, pour le site de Ourgala, on observe que les températures moyennes mensuelles de Octobre à Avril sont inférieures à la moyenne annuelle (24,06 °C) et de Mai à Septembre supérieures à cette moyenne. Ce qui partage l'année en deux saisons, l'une froide avec une moyenne minimale au mois de Janvier (3,5 °C), et l'autre chaude avec une moyenne maximale au mois d'Aout (43,6°C).



**Figure I.4 :** Variation mensuelle de la station Ouargla (année 2020).

La figure ci-dessous représente la variation de la température moyenne annuelle pour la durée de 2010 jusqu'à 2020. On observe que l'écart de variation des températures pour le site de M'Sila est plus important pour les autres sites Alger et Ouargla.

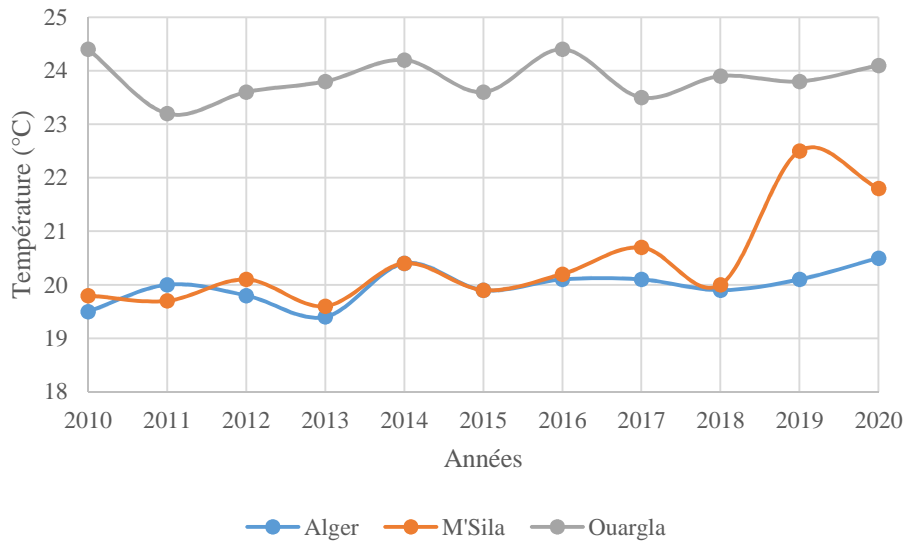


Figure I.5 : Variation annuelle des stations pour la période 2010-2020.

### I.2.3 Les précipitations

Les précipitations désignent tous les météores qui tombent dans une atmosphère et il peut s'agir de solides ou de liquides selon la composition et la température de cette dernière. La mesure de la hauteur totale de pluie tombée est nécessaire pour connaître les ressources en eau dans la région. Les précipitations mensuelles moyennes calculées sur les dix années d'observation (2010-2020) pour les trois sites, comme montré dans la figure ci-contre.

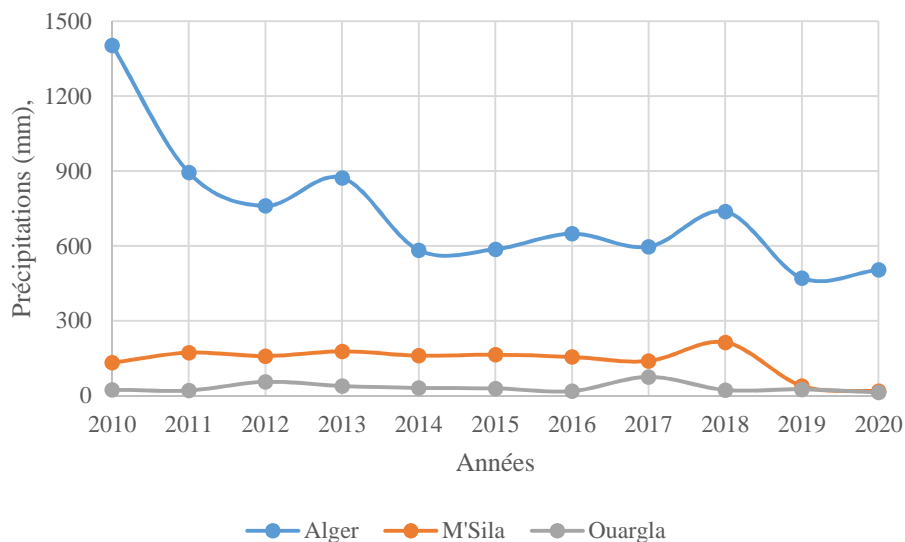


Figure I.6 : Cumul annuel des précipitations pour les trois sites : Alger, M'Sila et Ouargla (2020).

### I.2.4 La vitesse du vent

L'existence des hautes pressions et à l'origine du vent, ce dernier est caractérisé par sa direction et la vitesse de la composante horizontale.

Les valeurs mensuelles moyennes des vitesses du vent pour les trois villes : Alger, M'Sila et Ouargla sont calculées sur l'année 2020, sont représentées sur le tableau (1.1)

**Tableau I.3 :** vitesse moyenne mensuelle du vent

	Sites	mois											
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
V (m/s)	Alger	<u>0,89</u>	1,44	<u>2,27</u>	2,24	2,09	2,13	1,73	1,44	1,23	1,28	1,48	1,53
	M'Sila	1,39	<u>1,04</u>	5,17	4,61	<u>5,22</u>	4,44	4,22	4,03	4,43	4,08	4,31	4,18
	Ouargla	2,19	<u>2,14</u>	4,46	<u>4,61</u>	4,48	4,12	3,93	3,23	3,5	3,33	2,41	2,97

Les vitesses moyennes annuelles (2020) sont présentées au-dessous de chaque ville [1] :

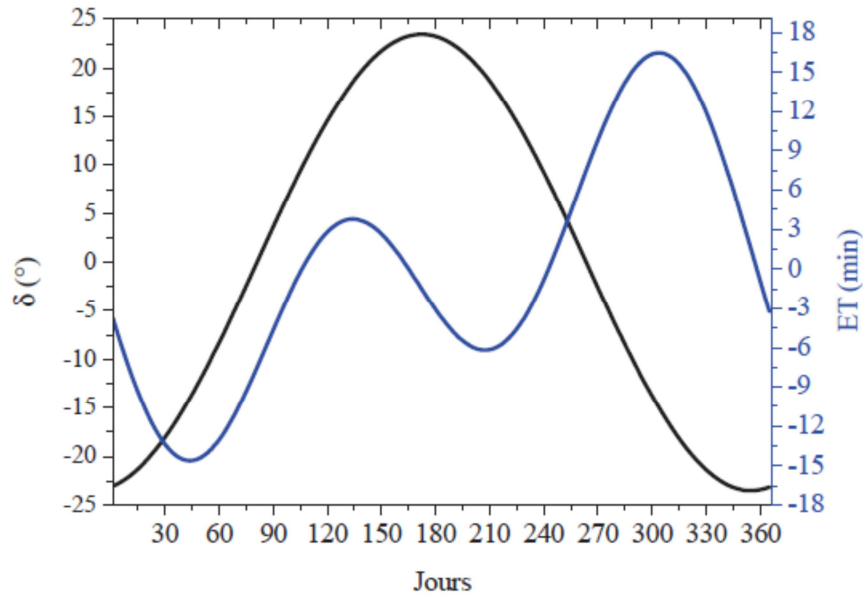
- Pour Alger:  $V_{\text{moy}}=1,65$  m/s,
- Pour M'Sila:  $V_{\text{moy}}= 3,92$  m/s,
- Pour Ouargla:  $V_{\text{moy}}= 3,44$  m/s.

## I.3 Méthode d'estimation du Rayonnement

### I.3.1 Déclinaison $\delta$

C'est l'angle formé par le vecteur Soleil-Terre avec le plan équatorial. Elle est due à l'inclinaison de l'axe des pôles terrestre par rapport au plan écliptique, ce qui est traduit par les différentes saisons. Elle varie au cours de l'année entre  $-23,45^\circ$  et  $+23,45^\circ$ . Elle est nulle aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (23 septembre), et maximale aux solstices d'été (22 juin) et d'hiver (22 décembre) [4]. La variation journalière de la déclinaison est d'environ de  $0,5^\circ$ . Elle est calculée par une équation simple approximative [2]:

$$\delta = 23,45 \times \sin \left[ \frac{360}{365} \times (n + 284) \right] \quad (\text{I.1})$$



**Figure 1.7 :** Variation annuelle de la déclinaison solaire et l'équation du temps

### I.3.2 L'équation du temps ET

C'est l'écart entre le temps solaire moyen TSM et le temps solaire vrai TSV selon le jour de l'année considéré [6].

$$ET = TSV - TSM \quad (I.2)$$

La figure **I.9** montre la variation de  $ET$  durant l'année donnée par la formule suivante [2]:

$$ET = 0,258 \times \cos x - 7,416 \times \sin x - 3,648 \times \cos 2x - 9,228 \times \sin 2x \quad (I.3)$$

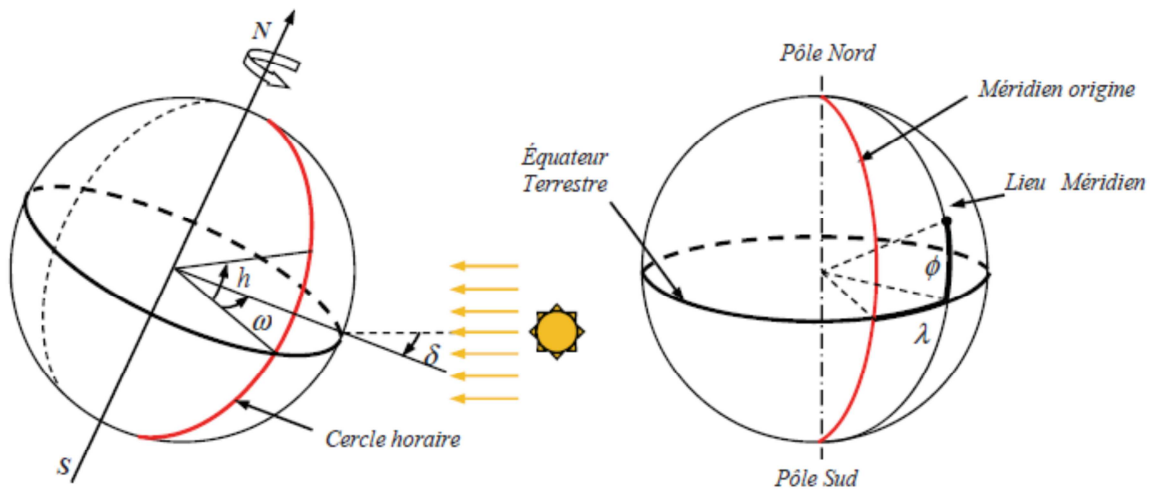
Avec:

$$x = \frac{360 \times (n - 1)}{365,5}$$

Où l'angle  $x$  est défini en fonction du numéro du jour  $n$ . Le décompte commence à partir du 1<sup>er</sup> Janvier où  $n = 1$ .

### I.3.3 Le temps solaire vrai ET l'angle horaire du soleil

La notion du temps solaire vrai TSV a une liaison avec  $\omega$  angle solide, qui représente l'arc compris entre le rayonnement solaire incident et le plan méridien du lieu. Cet angle augmente de quinze degrés ( $15^\circ$ ) par heure. La valeur zéro degré ( $0^\circ$ ) est atteinte au passage du soleil à la verticale (zénith) du plan méridien (midi solaire vrai = 12 h TSV) [6].



**Figure I.8 :** L'angle horaire et la déclinaison

L'angle horaire est compté négativement avant midi TSV, et positivement après-midi.

$$\omega = 15 \times (\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.4})$$

Où  $\omega$  est mesuré en degrés et TSV en heures.

- Le temps solaire moyen TSM

Temps défini par les coordonnées angulaires d'un soleil fictif qui serait animé d'une vitesse constante sur l'Ecliptique.

- Le temps solaire vrai TSV

Temps défini par les différentes coordonnées angulaires du soleil. Il est lié au temps solaire moyen TSM par l'équation du temps ET avec un maximum de 16 minutes.

- Le temps universel TU

Temps solaire moyen du méridien de Greenwich (GMT).

$$\text{TSV} = \text{TSM} + \text{ET} \quad (\text{I.5})$$

$$\text{TSM} = \text{TU} + \frac{\lambda}{15} \quad (\text{I.6})$$

$$\omega = 15 \times \left( \text{TU} + \frac{\lambda}{15} + \text{ET} - 12 \right) \quad (\text{I.7})$$

Où  $\omega$  et  $\lambda$  sont exprimés en degrés ( $\lambda$  positif pour les longitudes Est) TU et ET sont exprimés en heures et dixièmes.

### I.3.4 Hauteur angulaire du soleil h

C'est l'angle formé par le plan horizontal du lieu d'observation avec la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de  $0^\circ$  (soleil à l'horizon) à  $90^\circ$  (soleil au zénith).

La hauteur angulaire du soleil h est alors donnée par la formule :

$$\sin h = \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega \quad (\text{I.8})$$

### I.3.5 Azimut du soleil a

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut est importante pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale, l'azimut nul correspond à la direction sud dans l'hémisphère nord et la direction nord dans l'hémisphère sud. L'orientation Est correspond à l'azimut  $a = -90^\circ$ , et l'orientation Ouest à  $a = +90^\circ$ .

L'azimut a est défini par les relations suivantes :

$$\sin a = \frac{\cos \delta \times \cos \omega}{\cos h} \quad (\text{I.9})$$

### I.3.6 Durée du jour

On peut déduire les heures de lever et de coucher du soleil à partir de la hauteur angulaire du soleil en posant :  $\sin h = 0$  (soleil à l'horizon) dans l'équation (1.9). Ce qui donne :

$$\sin \omega_1 = -\text{tg } \phi \times \text{tg } \delta \quad (\text{I.10})$$

Où  $\omega_1$  est l'angle horaire du soleil à son lever (et, au signe près, à son coucher).

La durée du jour est obtenue à l'aide de la formule suivante :

$$dj = \omega_c - \omega_1 \quad (\text{I.11})$$

En intégrant (1.10) dans (1.11), on obtient :

$$dj = \frac{2}{15} \times \arccos(-\text{tg } \phi \times \text{tg } \delta) \quad (\text{I.12})$$

## 1.4 Diagramme solaire

L'intérêt du diagramme solaire d'un point de vue énergétique est de renseigner rapidement sur l'effet de masque dû à un obstacle (immeuble, ... etc.) pouvant occulter le soleil pendant une partie du temps.

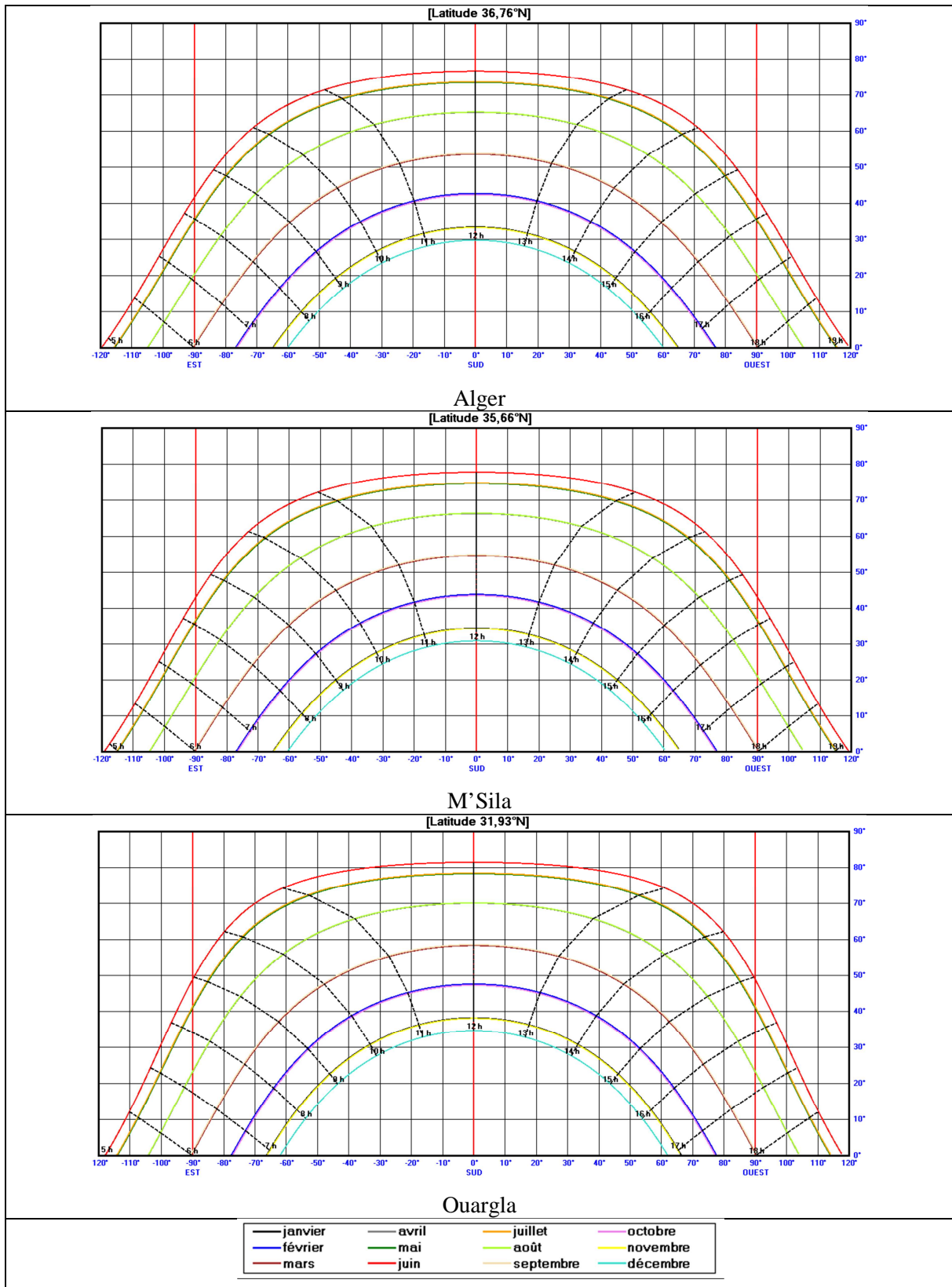


Figure 1.9 : Diagramme solaire de trois sites : Alger, M'Sila et Ouargla

## 1.5 Rayonnement solaire a ciel clair

En utilisant la valeur connue de  $G$ , nous pouvons calculer l'éclairement solaire global  $G$  par :

$$G^* = \frac{\pi}{24} \times [a' + b' \times \cos(\omega)] \times \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_1)}{\cos(\omega_1) - \frac{\pi \times \omega_1}{180} \times \cos(\omega_1)} \times G \quad (I.13)$$

Avec

$$G_0 = 1367 \times \left[ 1 + 0,0034 \times \cos\left(\frac{360 \times nj}{365}\right) \right] \times [\cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega_1) + \sin(\phi) \times \sin(\delta)] \quad (I.14)$$

Et pour le coefficient de transmission on determine par la relation suivante:

$$k = \frac{G}{G_0} \quad (I.15)$$

La valeur de  $k$  est donnée par le tableau ci-dessous

**Tableau I.4 :** les valeurs moyennes mensuelles du coefficient de transmission

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k$	0,142	0,144	0,156	0,180	0,196	0,205	0,207	0,201	0,177	0,160	0,149	0,142

Source: Threlkeld, J.L., and Jordan, R.C., ASRAE Trans., 64 :45 (1958)

Ou :

$$a' = 0,409 + 0,502 \times \sin(\omega_1 - 60^\circ)$$

$$b' = 0,661 + 0,477 \times \sin(\omega_1 - 60^\circ)$$

Nous avons choisir deux journées de l'année pour le cas d'un ciel clair. La première journée de l'hiver le 21 Décembre où cette journée est courte et le 21 Juin ou la journée est longue.

On remarque que le rayonnement global maximal de site d'Alger pour l'hiver est ne dépasse pas  $500 \text{ W/m}^2$  à cause l'angle de la hauteur solaire est faible de  $30^\circ$  qui signifie une course solaire parcourue par le soleil est plus courte.

Par contre le lieu de M'Sila le rayonnement global maximal est dépasser la valeur  $543 \text{ W/m}^2$  ainsi pour la hauteur plus de  $31^\circ$  et finalement pour le site de Ouargla on observe que le rayonnement global est au voisinage de  $600 \text{ W/m}^2$  la même chose pour la hauteur solaire  $34,6^\circ$

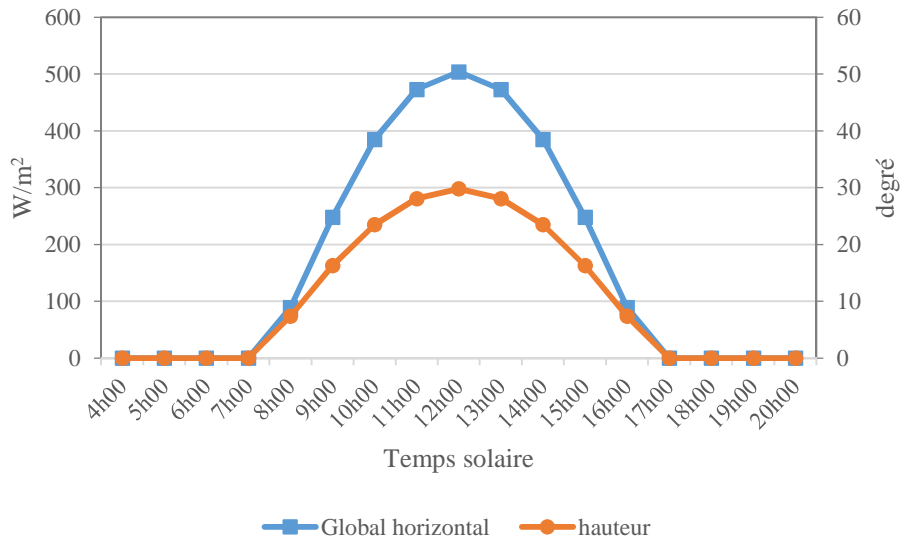


Figure I.10 : Alger pour 21/12

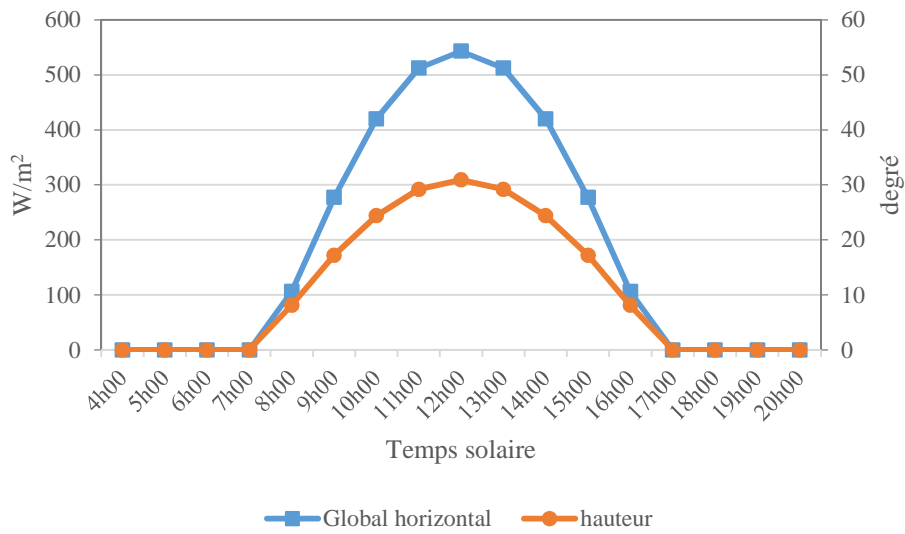


Figure 1.11 : M'Sila pour 21/12

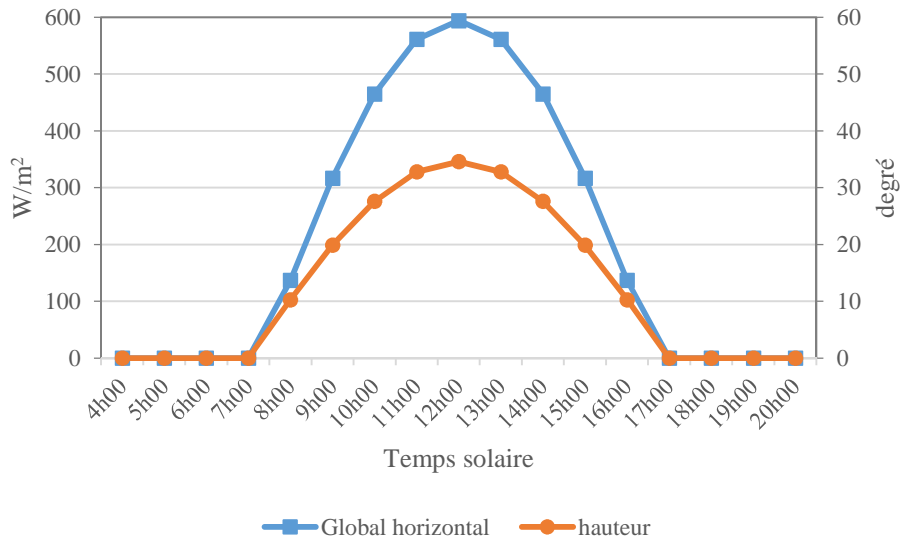


Figure 1.12 : Ouargla pour 21/12

En été le 21 juin de l'année le rayonnement global maximal à Alger est dans les allons tour de 988 W/m<sup>2</sup> pour une hauteur de

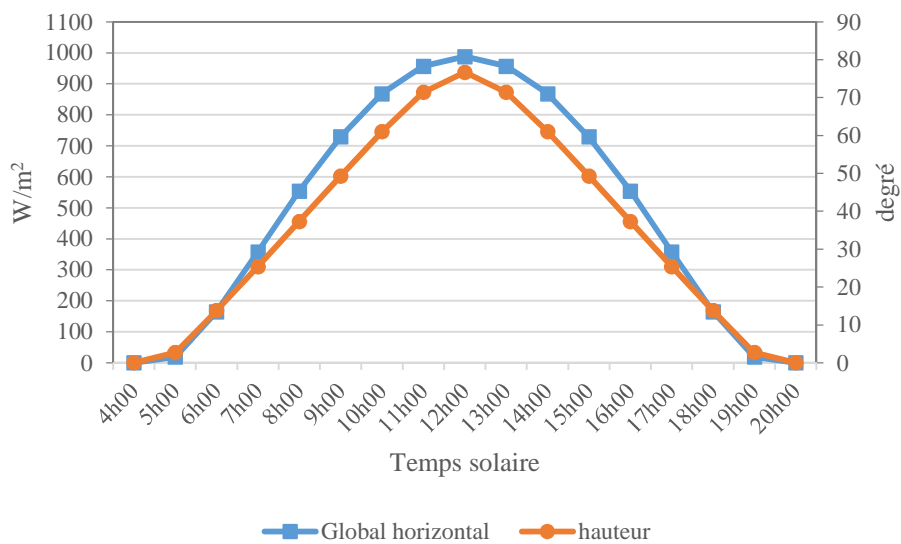


Figure 1.13 : Alger pour 21/06

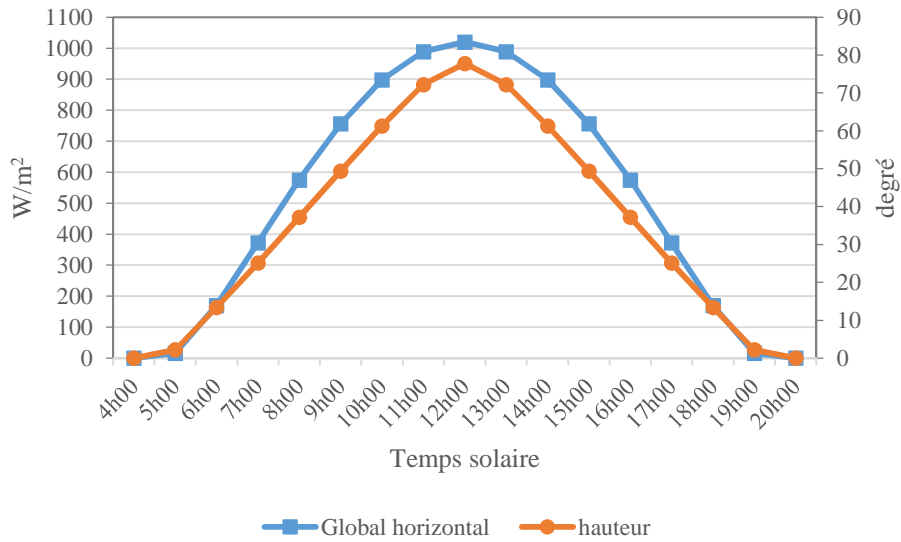


Figure 1.14 : M'Sila pour 21/06

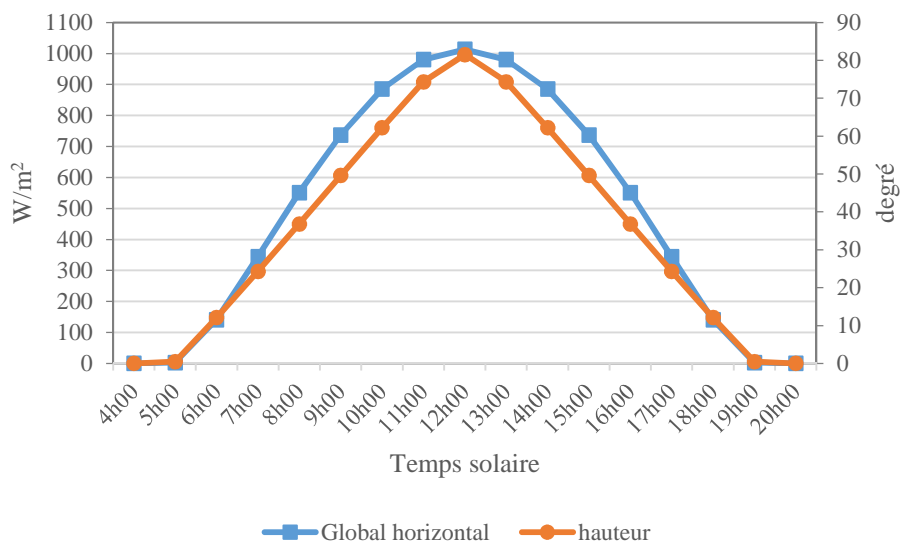


Figure 1.15 : Ouargla pour 21/06

## I.6 Conclusion

Notre étude de ce chapitre est consisté sur le climat de trois sites différent : Alger (humide), M'Sila (Semi-aride) et Ouargla (Aride). La caractérisation du climat est basé sur les donnée climatiques ainsi l'étude radiométrique. Nous avons constaté que l'éclairement solaire dépend la position géographique, l'augmentation de l'intensité et la durée de rayonnement solaire et la température de l'air varient positivement du nord au sud et la même chose pour le vent le

potentiel éolien est important pour Ouargla par rapport a M'Sila et Alger. Ce qui nous permis de classer les villes comme des sites favorable pour les différentes installations solaires.

## II.1 Introduction

La demande mondiale d'énergie primaire a augmenté rapidement en raison de l'augmentation de la population et l'industrialisation. Plus d'un tiers de la demande énergétique dans le monde est utilisée dans le secteur résidentiel.

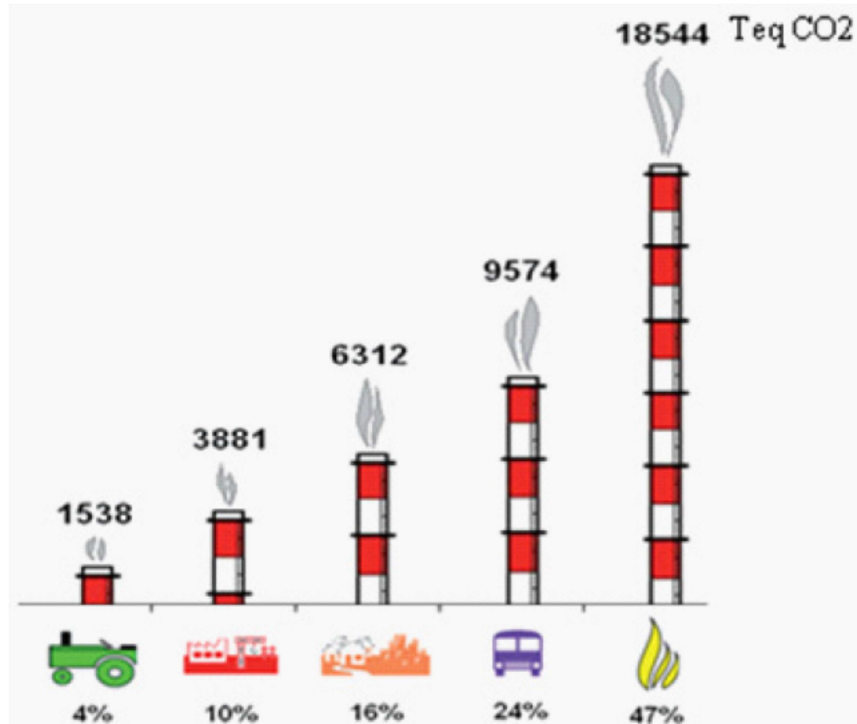
La consommation d'énergie dans le monde par les équipements de chauffage, ventilation et climatisation dans les bâtiments varie de 16 à 50% de la consommation totale d'énergie.

## II.2 Démarches effectuées par l'Algérie

Les réserves en hydrocarbures du pays dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaires à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelques temps encore. le problème énergétique de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de stratégie de valorisation de ses ressources pour les besoins du développement du pays, de choix d'une véritable politique énergétique à long terme et de définition immédiate d'un modèle cohérent de consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme, avant de l'épuisement de ces ressources fossiles stratégiques.

## II.3 Taux d'émission des gaz à effet de serre

Selon le rapport de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) (figure II.1), dans le bilan des émissions de dioxyde de carbone par secteur, l'habitat résidentiel est classé troisième après les industries énergétiques et le transport, avec 6312 **Teq** CO<sub>2</sub> (tonnes équivalent de CO<sub>2</sub>) d'où la nécessité de modifier notre façon de construire.



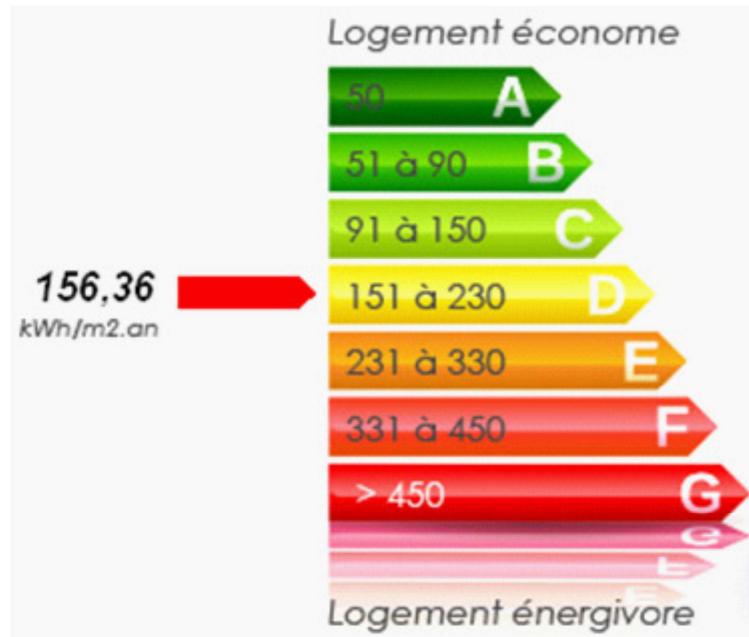
**Figure II.1:** Consommation Énergétique Finale de l'Algérie Chiffres clés Année 2005 (APRUE Edition 2007)

## II.4 Le certificat de performance énergétique

Le certificat énergétique est un document officiel portant sur la performance énergétique d'un bâtiment (délivré en Europe mais pas encore en Algérie). Il est exprimé sous forme d'une quantité de kWh par m<sup>2</sup> par an (la consommation du bâtiment est exprimée en kilowattheure par mètre carré par an). Ce chiffre est complété d'un label, afin de visualiser facilement cette performance.

Avec une valeur de  $E_{\text{cons}} = 156,36 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ , l'habitat est classé à la D (voir schéma du label européen), moyen mais reste énergivore, des solutions existent pour élever le niveau énergétique.

En moyenne, l'habitat en Algérie se situe à la D voir la figure II.2, en consommant plus que 151 kWh/an pour le chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire et éclairage (5).



**Figure II.2:** Label énergétique européen [9]

Aujourd'hui, les bâtiments jouent un rôle très important dans la dépense énergétique. Pour cela nous devons réfléchir aux procédés qui permettront la réduction de cette dépense énergétique. Plusieurs paramètres agissent sur le comportement thermique du bâtiment dont la forme, l'orientation, ses éléments constructifs et les aménagements intérieurs.

Pour plus de confort, on a recours à une surconsommation d'énergie, donc il faudrait d'abord améliorer le bâtiment afin de réduire la demande en chauffage et en rafraîchissement puis bien réfléchir sur la composition des parois de l'enveloppe, la compacité du volume chauffé, l'emplacement, l'orientation et le type de vitrages.

Des solutions existent pour aboutir à un habitat basse consommation énergétique. En guise d'illustration, on peut citer :

- Meilleure isolation de l'enveloppe qui fera diminuer la dépense énergétique de chauffage et de rafraîchissement,
- Utilisation des énergies renouvelables dans les équipements de chauffage et de rafraîchissement des bâtiments.

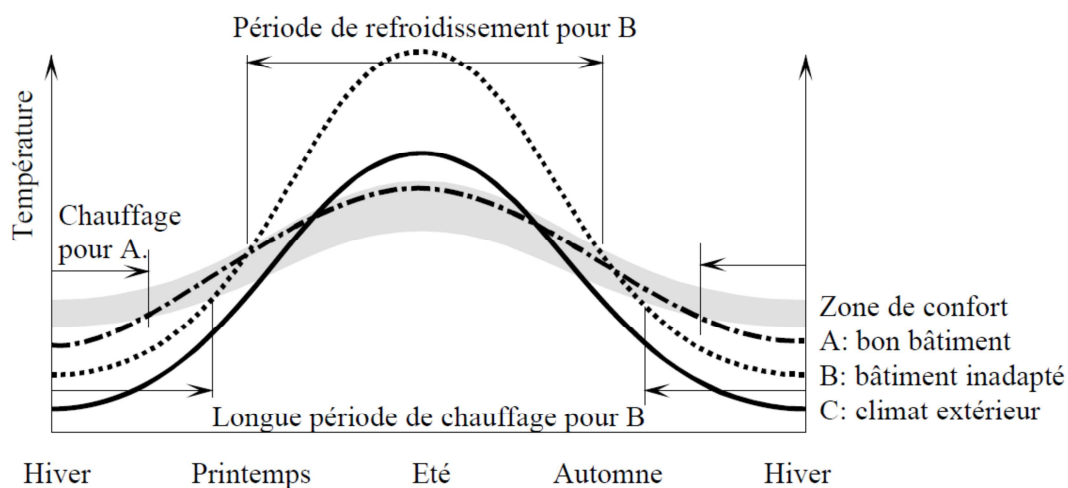
## **I.5 La consommateur d'énergie par un bâtiment [10]**

De nos jours les bâtiments consomment une partie importante de l'énergie utilisée par la société et, en conséquence, ils sont source d'une partie non négligeable de la pollution. Cette énergie est utilisée pour de nombreux usages, notamment:

- le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable
- la circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage)
- les transports (ascenseurs)
- l'éclairage
- les communications (téléphone, radio, télévision)
- la production de biens (fabriques, cuisines, couture, etc.)

Dans les climats tempérés et froids, la plus grande part de l'énergie utilisée par un bâtiment sert au chauffage. Le flux de chaleur généré dans le système de chauffage aboutit inévitablement à l'extérieur par différentes voies plus ou moins directes.

Dans les climats plus chauds, il peut être nécessaire et en tous cas confortable d'abaisser la température intérieure des bâtiments. Ce refroidissement, et l'assèchement de l'air peut aussi être un grand consommateur d'énergie.



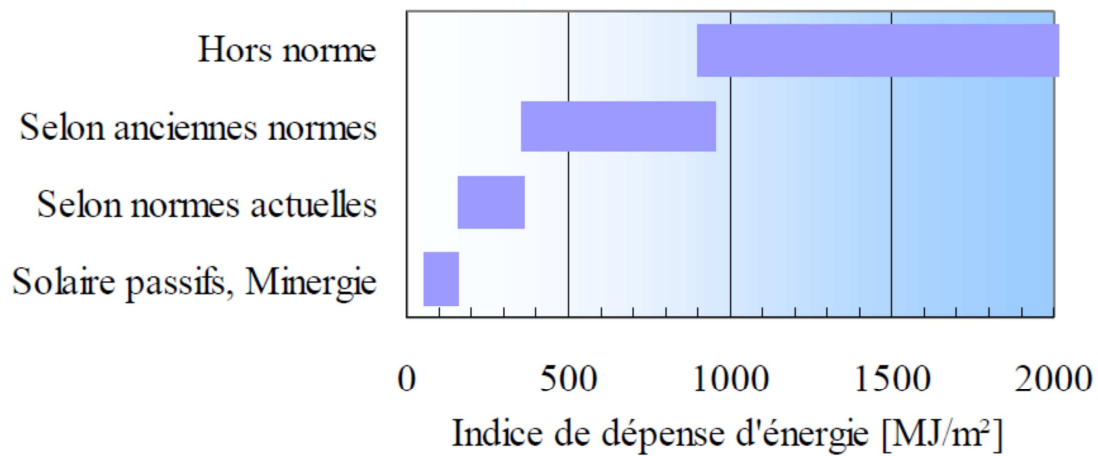
**Figure II.3:** Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année

Dans la figure ci-dessus on présente l'évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation. La bande grisée représente les exigences de confort. C représente la température extérieure, A un bâtiment bien conçu et B un bâtiment inadapté à son climat.

### I.5.1 Indice de dépense d'énergie

Un indice souvent utilisé pour comparer la consommation d'énergie des bâtiments est l'Indice de Dépense d'Énergie, ou IDE. On obtient cet indice en divisant la

consommation annuelle d'énergie totale (de tous les agents énergétiques) exprimée en MJ (ou en kWh) par la surface brute de plancher chauffé (murs inclus).



**Figure II.4:** Gamme d'indices de dépense d'énergie de bâtiments (en Suisse) [11]

De nombreux exemples montrent qu'une forte consommation d'énergie ne va pas forcément de pair avec un confort élevé. Au contraire, la plupart des bâtiments à forte consommation sont inconfortables, et de nombreux bâtiments à basse consommation offrent un environnement intérieur de très bonne qualité.

### I.5.2 Applications de l'énergétique du bâtiment

Pour limiter la consommation d'énergie à des valeurs raisonnables, il faut suivre les points suivants:

- Tenir compte de tous les critères voulus dans le choix de stratégies possibles lors de rénovation ou de construction d'ensemble d'immeubles. Parmi les critères à envisager, il y a non seulement le coût, l'esthétique ou l'habitabilité, mais aussi la consommation d'énergie.
- dimensionner correctement les installations énergétiques, en calculant la puissance de pointe minimum nécessaire;
- prévoir la consommation annuelle et la minimiser en choisissant la variante la plus économique globalement, tout en tenant compte du confort et des contraintes architecturales.

## I.6 Les notions physiques du bâtiment

### 1.6.1 Capacité thermique

La chaleur est l'énergie liée à l'agitation aléatoire des molécules constituant la matière. Cette agitation se mesure par la température, et la chaleur par l'augmentation de

température obtenue dans un matériau donné. Pour chauffer une masse  $m$  [kg] d'un matériau de chaleur spécifique  $c$  [J/kg K], de la différence de température  $\Delta\theta$  [K], il faut une quantité de chaleur  $Q$  [J] donnée par l'expression ci-dessous:

$$Q = m \times c \times \Delta\theta \tag{II.1}$$

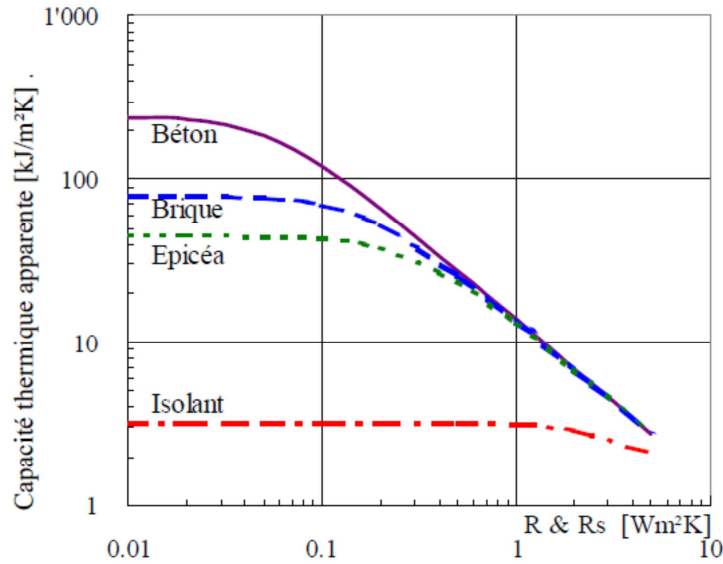


Figure II.5: Effet d'un revêtement ou de la résistance superficielle sur la capacité thermique apparente [12].

### 1.6.2 Caractéristiques thermiques de quelques matériaux de construction

Tableau I.1 : propriétés thermophysiques

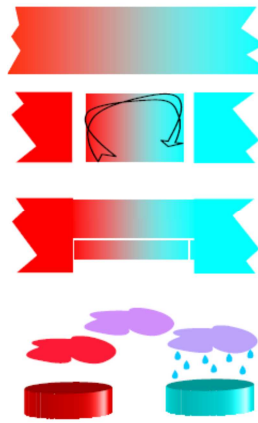
Matériau	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur spécifique J/m <sup>3</sup> K	Conductivité thermique W/m.K	Diffusivité thermique mm <sup>2</sup> /s	Profondeur de pénétration mm	Conductance thermique dynamique W/m <sup>2</sup> K	Capacité de stockage spécifique kJ/m <sup>2</sup>
Béton	2400	1000	1,80	0,75	144	17,7	487
Béton cellulaire	600	1000	0,17	0,28	88	2,70	75
Mortier	1900	1000	1	0,53	120	11,7	320
Plot de ciment	1200	1000	0,70	0,58	130	7,8	215
Brique	1100	940	0,44	0,43	108	5,8	160
Plâtre	1200	830	0,58	0,58	130	6,5	180
Molasse	2200	940	2,0	0,97	160	17,3	480
Acier	7850	830	58	8,89	490	165	4560
Aluminium	2750	830	204	89,4	1570	184	5060
Verre	2500	720	0,81	0,45	110	10,3	280
Sapin	500	2500	0,15	0,12	57	3,7	100
Laine minérale	100	1000	0,04	0,40	100	0,5	15
Polystyrène expansé	20	1370	0,04	1,46	200	0,3	8
Eau	1000	4180	0,59	0,14	62	13,4	370
Neige	500	2000	0,69	0,67	140	7,1	200
Air immobile	1	1000	0,03	21	772	0,1	1

Pour les grandeurs dynamiques, la période est 24 heures ou 86'400 secondes.

### 1.6.2 Modes de transfert de chaleur

La chaleur passe naturellement de zones chaudes aux zones froides, en utilisant essentiellement quatre modes de transport:

- La conduction, qui est la transmission de proche en proche de l'agitation moléculaire par chocs entre molécules;
- La convection, transport de chaleur par transport (naturel ou forcé) de matière chaude vers une zone froide ou vice versa;
- Le rayonnement, ou transport de chaleur par émission et absorption de rayonnement électromagnétique par les surfaces des corps;
- L'évaporation-condensation: la chaleur cédée à un matériau pour l'évaporer est restituée à la surface sur laquelle la vapeur se condense.

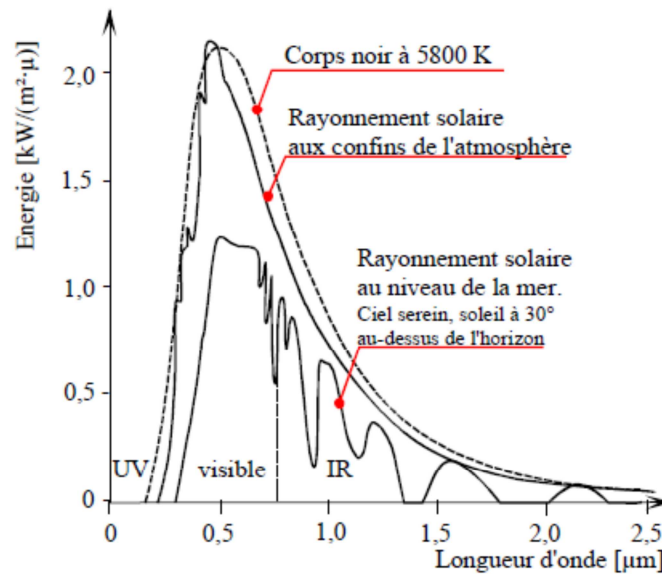


**Figure II.6:** modes de transfert de chaleur

Les modèles mathématiques utilisés pour décrire le transfert de chaleur dans le bâtiment sont décrits dans les chapitres où ils sont utilisés.

### 1.6.3 Rayonnement solaire

L'énergie produite par les réactions thermonucléaires dans le soleil est rayonnée dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques dans un spectre très étalé (des ondes métriques aux rayons gammas en passant par la lumière visible). La densité de flux d'énergie à la surface apparente du soleil est de 64 MW (million de Watts) par mètre carré. Cette densité diminue en fonction directe du carré de la distance. Ainsi, aux confins de l'atmosphère (donc à 150 million de km du soleil), la densité de flux totale vaut en moyenne  $1367 \text{ W/m}^2$ , essentiellement reçu dans la bande de 0,3 micron (ultraviolet) à 2,5 micron (infrarouge proche). L'intensité maximale se trouve à 0,55 micron, correspondant à la couleur verte.



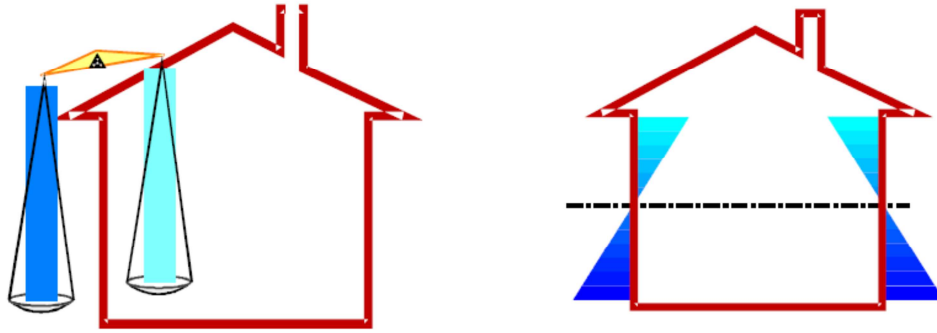
**Figure II.7:** la distribution spectrale de rayonnement solaire extraterrestre et terrestre (directe, diffuse et global) [11,12]

Au niveau du sol, le rayonnement direct, provenant en droite ligne du soleil est donc diminué en intensité et son spectre est modifié. De plus, une composante diffuse apparaît, provenant du ciel bleu par beau temps, et des nuages plus ou moins gris par mauvais temps. L'intensité de ces deux composantes doit être prise en compte pour le calcul des gains solaires. Aux altitudes usuelles (proches du niveau de la mer) et dans la zone tempérée, le rayonnement global (la somme de la composante directe et de la composante diffuse) est au maximum de  $1000 \text{ W/m}^2$  sur une surface perpendiculaire au rayonnement solaire. Dans ces mêmes conditions, l'intensité du rayonnement diffus représente environ le quart ou le tiers du rayonnement global. Dans le cas de ciels couverts, il n'y a plus de composante directe, et la composante diffuse, dont la distribution est d'autant plus isotrope que le ciel est plus couvert, devient bien plus faible, par exemple de l'ordre de  $100 \text{ W/m}^2$  sur une surface horizontale pour un ciel bien couvert.

## 1.7 Effet de cheminée

L'effet de cheminée, ou tirage, contribue de manière importante à l'aération des bâtiments et, bien sûr, au tirage dans les cheminées d'usines.

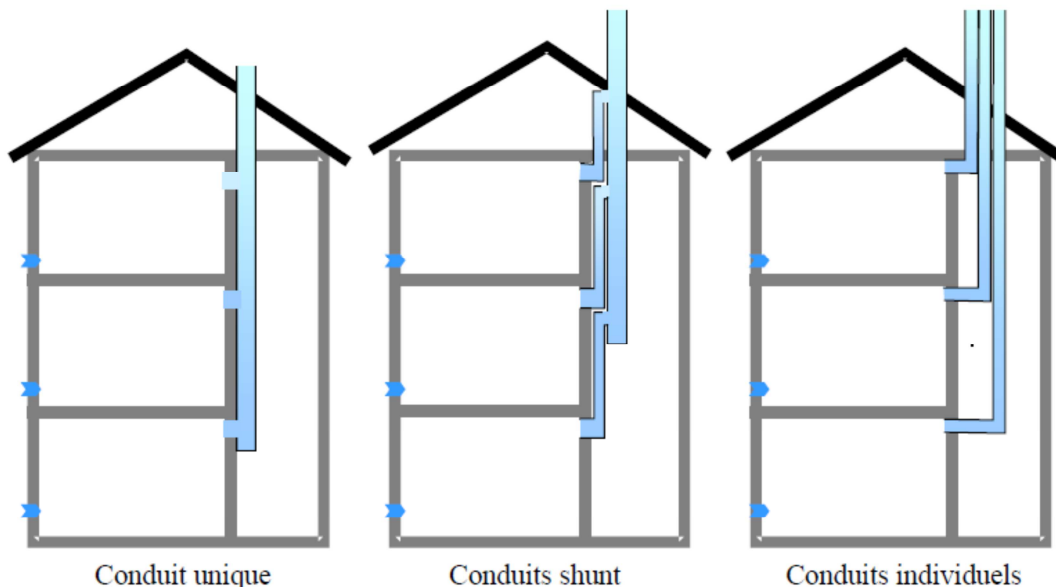
En hiver, ou la nuit en été, ainsi que dans les cheminées, l'intérieur est plus chaud que l'air entre dans le volume considéré par le bas et en sort par le haut.



**Figure II.8:** La différence de densité de l'air entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment induit une différence de pression. C'est l'effet de cheminée.

La quantité d'air qui entre dans le volume est égale à celle qui en sort, car le bâtiment ou le fourneau ne se gonfle ni se dégonfle. Les pressions sur l'enveloppe s'ajustent donc de manière à équilibrer les débits entrant et sortant. Le niveau auquel la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur est nulle est le niveau neutre.

On distingue principalement trois manières d'installer ces conduits (Figure II.9). Le conduit unique est à déconseiller vivement, car il propage d'un étage à l'autre le bruit, les odeurs, les polluants, voire même le feu. Les conduits individuels ne présentent aucun de ces inconvénients, mais occupent plus de place et coûtent nettement plus cher. Les conduits shunt représentent un compromis, diminuant les effets des inconvénients des deux autres types d'installation.



**Figure II.9:** Trois schémas pour les conduits de ventilation naturelle.

Il faut mentionner ici que, pour permettre les débits élevés sous faibles pertes de charge requis pour la ventilation passive, il est nécessaire que ces conduits aient une

grande section. D'autre part, ces conduits vont de pair avec des ouvertures de ventilation, permettant l'entrée d'air remplaçant l'air évacué par les conduits.

## 1.8 Mur Trombe<sup>1</sup>

Un mur trombe s'agit d'un vitrage suivi d'une lame d'air et d'un mur en béton. Des ouvertures hautes et basses sont réalisées dans le mur afin de créer une circulation d'air entre la lame d'air et l'air du local à chauffer. L'air chauffé dans la lame d'air pénètre par les ouvertures supérieures dans la pièce. Il se refroidit au contact de l'air du local et, une fois rafraîchi, revient par les ouvertures inférieures dans la lame d'air.

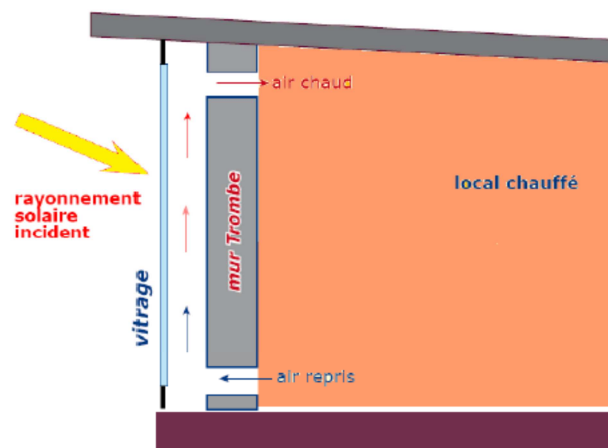


Figure II.10: Schéma représentant la forme générale

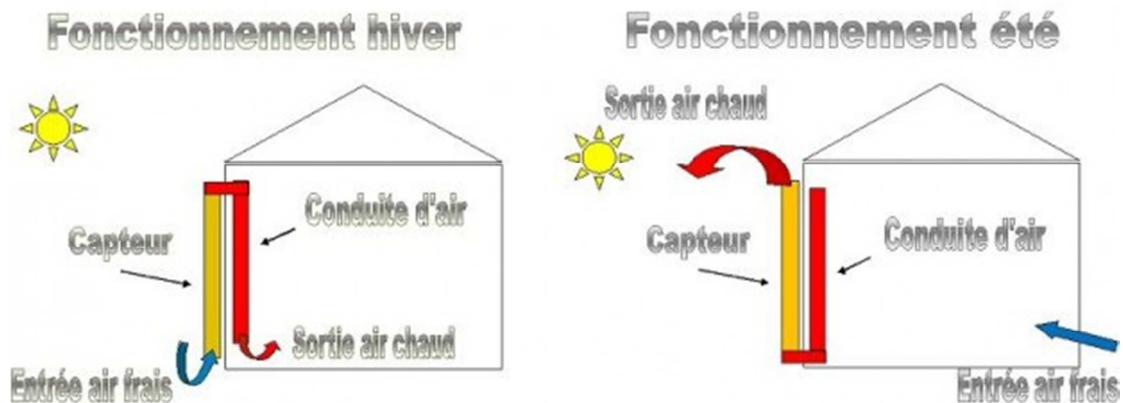


Figure II.11: Principe de fonctionnement en hiver et en été

L'importance de mur Trombe c'est qu'il joue un double rôle, pendant l'hiver chauffe le local et pendant l'été rafraîchir le même lieu.

<sup>1</sup>Trombe était un ingénieur chimiste et physicien qui s'intéressait également à la spéléologie. Pionnier de différentes technologies, il a laissé son nom à des équipements scientifiques et notamment, un type de mur-capteur capable de chauffer une maison. Découvrez son portrait sur Batiradio.

## III.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de décrire simplement les équations qu'utilise le Fluent pour résoudre un problème physique donné. Tout d'abord, les équations de Navier Stokes sont exposées. Ensuite, les équations du modèle de turbulence choisi (RNG k- $\epsilon$ ) sont présentées. Enfin, il est question des différentes étapes poursuivies dans l'utilisation de la CFD pour l'étude plus détaillée présentée dans le prochain chapitre.

## III.2 Introduction à la CFD

Trois méthodes existences pour résoudre l'écoulement des fluides : les approches analytiques, expérimentale et numérique.

### III.2.1 La méthode analytique

Offre des solutions exactes, mais elle est limitée à quelques problèmes typiques (exemple : profil de vitesse d'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique) puisque les solutions analytiques ne s'obtiennent que pour des équations différentielles très particulières. Cette méthode permet toutefois d'obtenir une solution continue pour une variable d'intérêt.

### III.2.2 La méthode expérimentale

Permet d'étudier plusieurs problèmes. Son inconvénient est qu'elle nécessite beaucoup de temps pour l'installation et que son coût est parfois, sinon toujours, élevé. Qui plus est, l'approche expérimentale ne permet d'obtenir la valeur des variables d'intérêt que pour certains cas très particuliers : l'étude paramétrique est le plus souvent impossible.

### III.2.3 L'approche numérique

L'un des méthodes flexible, universelle et n'est pas aussi chère que l'approche expérimentale. Son défaut est qu'elle n'offre pas une solution exacte, comparée à la solution analytique lorsque cette dernière est possible. Cependant, elle donne une description raisonnable pouvant être utile pour l'analyse expérimentale [13]. Parmi les différentes approches numériques possibles, la CFD utilise les principes fondamentaux de la mécanique des fluides et du transfert de masse et de chaleur. Les aspects physiques de l'écoulement des fluides reposent sur trois principes fondamentaux : conservation de la masse, conservation de la quantité de mouvement et conservation de l'énergie. Ces trois principes peuvent être exprimés à l'aide d'équations aux dérivées partielles.

Le CFD utilise des méthodes numériques qui permettent de résoudre les équations mathématiques discrétisées, représentations discrètes des équations différentielles, dans l'espace et dans le temps, pour obtenir une description numérique finale du problème traité.

Les avancements de la CFD et de ses applications sont liés fortement au progrès des ordinateurs et des calculateurs, évidemment en termes de stockage et de vitesse d'exécution.

### III.3 Équations gouvernant la CFD

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

#### III.3.1 Équation de continuité

Le principe de conservation de la masse s'écrit sous la forme :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{III.1})$$

Si on travaille dans les coordonnées cartésiennes, on obtient :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho w) = 0 \quad (\text{III.2})$$

#### III.3.2 Équation de conservation de la quantité de mouvement

Les équations de conservation de la quantité de mouvement pour un fluide visqueux, incompressible dans un repère Cartésien sont :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial t} + w \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \right\} + F_x \quad (\text{III.3})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial t} + w \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \right\} + F_y \quad (\text{III.4})$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial w}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left\{ \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \right\} + F_z \quad (\text{III.5})$$

#### III.3.3 Équation de conservation de l'énergie

Pour un fluide newtonien incompressible à conductivité thermique constante, l'équation de conservation de l'énergie ou équation d'énergie peut s'écrire de la façon suivante [14] :

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \mu \Phi \quad (\text{III.6})$$

En coordonnées cartésiennes cette équation devient,

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \Phi \quad (\text{III.7})$$

Où  $\phi$  est la fonction de dissipation visqueuse qui est exprimée de la façon suivante :

$$\phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \quad (\text{III.8})$$

### III.3 Techniques de discrétisation

La discrétisation du domaine de calcul consiste à mettre en place une grille dans le domaine, C'est-à-dire que l'espace est rempli d'un nombre fini de points où les solutions numériques sont déterminées par Hirsch [3]. La précision de la solution numérique est fortement liée à la taille des mailles : plus la taille est petite, meilleure est la solution (si elle est comparée à une solution analytique connue). Cette précision est aussi liée au choix des fonctions d'interpolation sur ces mailles qui permettent d'obtenir le système d'équations algébriques qui remplacent les équations différentielles originales dans la solution. Finalement, l'information continue qui est contenue dans la solution exacte de l'équation différentielle a été remplacée par des valeurs discrètes.

Il existe plusieurs méthodes de discrétisation qui procèdent de cette manière :

Les différences finies, les éléments finis (élaborée dans les années 1950 par Turner et al. Hirsch [15] ; les volumes finis, les moindres carrés ou plus généralement la méthode des résidus pondérés dont toutes les précédentes font partie [16].

La méthode des volumes finis a été introduite par Mc Donald en 1971 et Mac Cormack et Paullay en 1972 pour la solution des équations d'Euler bidimensionnelles et a été prolongée par Rizzi et Inouye en 1973 pour les écoulements 3D [15]. Son principe consiste à découper le domaine en volumes de contrôle afin d'intégrer les équations sur chaque volume. Dans ce mémoire, CFD Fluent qui utilise la méthode des volumes finis est sélectionné.

### III.4 Modélisation de la turbulence

Pour un fluide visqueux, il existe trois types d'écoulement : écoulement laminaire (les lignes de courant sont parallèles et ordonnées), écoulement de transition et écoulement turbulent (les lignes de courant sont désordonnées et ne restent plus parallèles).

Pour la modélisation dans le régime turbulent, le Fluent utilise des modèles de turbulence qui se basent sur les équations de Reynolds moyennées (RANS) et une ou deux équations de turbulence selon le modèle choisi. Pour le modèle Spalart-Allmaras, une seule équation qui représente la viscosité turbulente est ajoutée. Pour les modèles de turbulence k- $\epsilon$  et k- $\omega$ , deux équations sont résolues qui sont l'énergie cinétique turbulente k (commune pour les deux

modèles) et soit le taux de dissipation de la turbulence  $\varepsilon$  (modèle k- $\varepsilon$ ), soit la fréquence de turbulence  $\omega$  (pour le modèle k- $\omega$ ).

Pour résoudre les équations de Navier Stokes, la vitesse  $V_i$  est décomposée en vitesse moyenne  $\bar{V}_i$  et fluctuante  $V_i'$ . Cette décomposition s'écrit sous la forme suivante :

$$V_i = \bar{V}_i + V_i' \quad (\text{III.9})$$

Ainsi, les équations de Navier Stokes moyennées s'écrivent dans un repère cartésien, en notation indicielle, sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{III.10})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (\text{III.11})$$

$$\frac{\partial(\rho V_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i V_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu \left( \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \bar{V}_i' V_j') \quad (\text{III.12})$$

De nouveaux termes apparaissent qui représentent les effets de la turbulence. Les contraintes turbulentes représentées par le terme  $(-\rho \bar{V}_i' V_j')$  peuvent être modélisées grâce à l'hypothèse de Boussinesq comme le montre l'équation suivante :

$$-\rho \bar{V}_i' V_j' = \mu_t \left( \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \lambda \nabla^2 T + \mu \phi \quad (\text{III.13})$$

$$-\rho V_i' V_j' = \mu_t \left( \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left( \rho k + \mu_t \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad (\text{III.14})$$

Le modèle k- $\varepsilon$  standard est un modèle de turbulence qui est fréquemment utilisé dans plusieurs applications d'ingénierie qui s'intéressent à l'écoulement des fluides. Ce modèle proposé par [6] est robuste, économique en termes de temps de résolution et possède une précision raisonnable. Son inconvénient est qu'il ne doit être utilisé que pour les écoulements turbulents à grand nombre de Reynolds.

Le modèle RNG k- $\varepsilon$ , qui est dérivé du modèle standard, fournit une formule différentielle pour la viscosité qui tient compte des effets à faible nombre de Reynolds. Ainsi, ce modèle est valide pour une classe plus large d'écoulements. Le modèle RNG k- $\varepsilon$  s'écrit de la façon suivante :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (\text{III.15})$$

et

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon V_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_{kb}) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (\text{III.16})$$

Dans ces équations,  $G_k$  représente la génération de l'énergie cinétique turbulente due aux gradients de vitesse.  $G_b$  représente la même quantité précédente, mais qui est due aux forces de flottaison.  $Y_M$  est un facteur lié aux écoulements compressibles, donc il est négligé dans le cas d'un écoulement incompressible (le cas pour ce travail). Les deux variables  $\alpha_k$  et  $\alpha_\varepsilon$  sont les nombres de Prandtl effectifs inverses pour  $k$  et  $\varepsilon$  respectivement.  $S_k$  et  $S_\varepsilon$  sont des termes source de l'énergie cinétique et de l'énergie de dissipation respectivement.  $C_{1\varepsilon}$  et  $C_{2\varepsilon}$  sont des constantes calculées analytiquement par la théorie du modèle RNG  $k$ - $\varepsilon$ . Les valeurs utilisées par défaut par Fluent sont :

$$C_{1\varepsilon} = 1,42 \text{ et } C_{2\varepsilon} = 1,68$$

Dans la modélisation numérique, l'intensité de turbulence  $I$  est imposée à l'entrée. L'énergie cinétique turbulente  $k$  et le taux de dissipation  $\varepsilon$  sont directement calculés par Fluent en utilisant les formules suivantes :

$$I = 0,16 \times \text{Re}^{-1/8} \quad (\text{III.17})$$

$$k = 1, \times (V \times I)^2 \quad (\text{III.18})$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \times k^{3/2} \times l^{-1} \quad (\text{III.19})$$

avec

$$\text{Re} = \frac{\rho \times V \times D_h}{\mu} \quad (\text{III.20})$$

$$l = 0,07 \times D_h \quad (\text{III.21})$$

Dans les équations précédentes,  $V$  représente la vitesse moyenne en m/s.  $C_\mu$  est un paramètre du modèle  $k$ - $\varepsilon$  et est égal à 0,09. La variable  $l$  est l'échelle de longueur de la turbulence. Dans l'équation (III.20),  $D_h$  est le diamètre hydraulique (si l'écoulement est dans une conduite circulaire,  $D_h$  est remplacé par le diamètre de la conduite).

### III.5 Utilisation de la CFD

Les codes CFD sont structurés autour des algorithmes numériques qui traitent les problèmes de circulation des fluides. Afin de faciliter leur résolution, tous les logiciels commerciaux de

CFD comprennent des interfaces sophistiquées pour entrer les paramètres du problème et pour examiner par la suite les résultats. Ainsi, tous les codes contiennent trois éléments principaux : un pré-processeur, un solveur et un post-processeur (H.K Versteeg, 2007).

### III.5.1 Pré-processeur

Le pré-processeur consiste à créer un modèle représentatif du problème d'écoulement avant sa résolution numérique. Cette étape comprend les tâches suivantes :

- ❖ Créer le domaine de calcul.
- ❖ Générer le maillage.
- ❖ Choisir le phénomène physique qui nécessite d'être résolu.
- ❖ Définir les propriétés du fluide.
- ❖ Spécifier les conditions aux limites.

Dans l'étape du pré-processeur, la forme et la taille des éléments dans un domaine d'écoulement jouent un rôle important pour la précision de la solution et pour le temps de calcul nécessaire pour résoudre le problème. Dans une simulation 3D, la forme parfaite est un hexaèdre parce que le nombre d'éléments est plus faible que si les éléments utilisés sont des tétraèdres et les éléments peuvent être alignés avec l'écoulement. En conséquence, le temps de simulation est réduit, et les résultats sont plus précis.

De plus, tel que spécifié antérieurement, la réduction de la taille des cellules augmente la précision de la solution. Néanmoins, l'augmentation du nombre de cellules nécessite un temps de calcul plus grand et un matériel informatique plus puissant. Donc, il faut optimiser la taille de la cellule pour obtenir des résultats réalistes dans un temps raisonnable.

### III.5.2 Solveur

Le Fluent utilise l'approche du volume de contrôle. L'algorithme numérique de cette méthode consiste en trois étapes :

- ❖ Les équations de l'écoulement du fluide sont intégrées sur l'ensemble des volumes de contrôle du domaine.
- ❖ Les équations non linéaires sont linéarisées et les équations résultantes sont converties en équations algébriques.
- ❖ Les équations sont solutionnées algébriquement grâce à une méthode itérative.

Les paramètres du solveur utilisés dans ce travail seront discutés ultérieurement.

### III.5.3 Post-processeur

C'est un moyen pour présenter les résultats des prédictions et produire les images et animations CFD. Il existe plusieurs méthodes pour présenter les résultats tels que les tracés des vecteurs, des contours et des surfaces 2D et 3D.

Lorsque les trois étapes de résolution précédentes sont effectuées, il faut valider la démarche poursuivie en comparant les résultats obtenus avec d'autres résultats analytiques, numériques ou expérimentaux. Pour cette raison, le prochain chapitre s'intéresse à la comparaison des résultats numériques de la distribution massique de l'eau dans des tubes parallèles situés verticalement entre deux plénums à des résultats obtenus analytiquement.

### III.6 Méthode des ordonnées discrètes (DO)

La méthode des ordonnées discrètes (DO) permet de passer de l'équation de transfert radiatif, qui est de type intégrale différentielle, à un système d'équations algébriques obtenues en remplaçant la représentation directionnelle par un ensemble discret de directions. Cette méthode est fondée sur l'utilisation de quadratures numériques pour calculer les intégrales suivant les angles solides qui apparaissent dans le calcul des sources ou du flux radiatifs. Elle s'appuie pour cela sur une discrétisation de l'espace angulaire en un nombre fini de directions suivant lesquelles on résout l'équation du transfert radiatif (ETR), afin d'obtenir en chaque point du domaine plusieurs valeurs de luminance. La somme pondérée de ces valeurs permet ensuite de calculer l'intensité locale de la source ou du flux radiatif [50]. L'équation du transfert radiatif selon une direction est donnée par :

$$\frac{dI_{si}}{dx_i} + (a + a_s) \times I(r, s) = a \times n_0^2 \times \frac{\sigma T^4}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(r, s') \times \Phi(s, s') \times d\Omega' \quad (\text{III.22})$$

Pour une surface se comportant comme un corps gris d'émissivité  $\epsilon_r$ , le flux radiatif entrant ( $\Phi_{entrant}$ ) au niveau de cette surface s'écrit :

$$\Phi_{entrant} = \int_{(\vec{s}, r)}^{4\pi} I_{entrant} \times \vec{s} \cdot \vec{r} d\Omega \quad (\text{III.23})$$

Le flux radiatif sortant ( $\Phi_{sortant}$ ) de cette surface s'écrit :

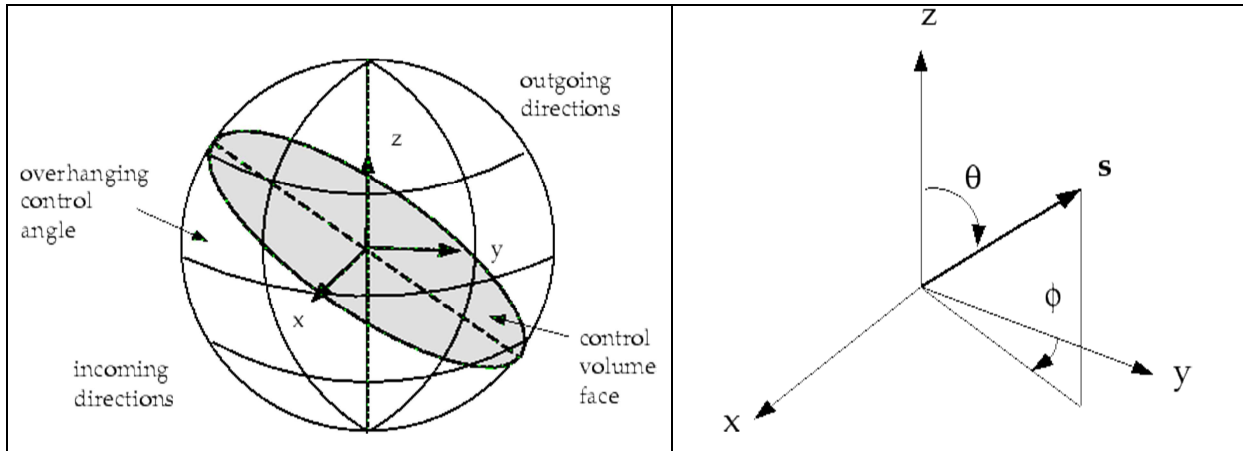
$$\Phi_{sortant} = (1 - \epsilon_r) \times \Phi_{entrant} + n_0^2 \times \epsilon_r \times \sigma \times T_s^4 \quad (\text{III.23})$$

$I_{entrant}$  : est l'intensité radiative entrante dans la direction  $s$  à la position  $r$ .

$\vec{r}$  : Le vecteur normal.

$T_s$  : est la température de la surface.

Chaque octant de l'angle solide est discrétisé en  $N_\theta \times N_\phi$  angles. Les angles  $\theta$  et  $\phi$ , sont respectivement l'angle polaire et l'angle azimutal. Dans le modèle de rayonnement DO, la solution de simulation dépend de la finesse de la discrétisation des angles  $\theta$  et  $\phi$ .



**Figure III.1:** Discretisation angulaire

### III.7 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté brièvement la méthode des volumes finis, les étapes de discrétisation du modèle mathématique, ainsi que la résolution des équations algébriques. Une résolution numérique bidimensionnelle des équations de conservation de la masse, de quantité de mouvement et de l'énergie a été mise en œuvre pour simuler la circulation de l'air et le champ de température dans la couche d'air située entre la vitre et l'absorbeur. La résolution est effectuée par le code CFD « FLUENT », basé sur la méthode des volumes finis. Les résultats obtenus par ce code sont présentés dans le chapitre IV.

## IV.1 Introduction

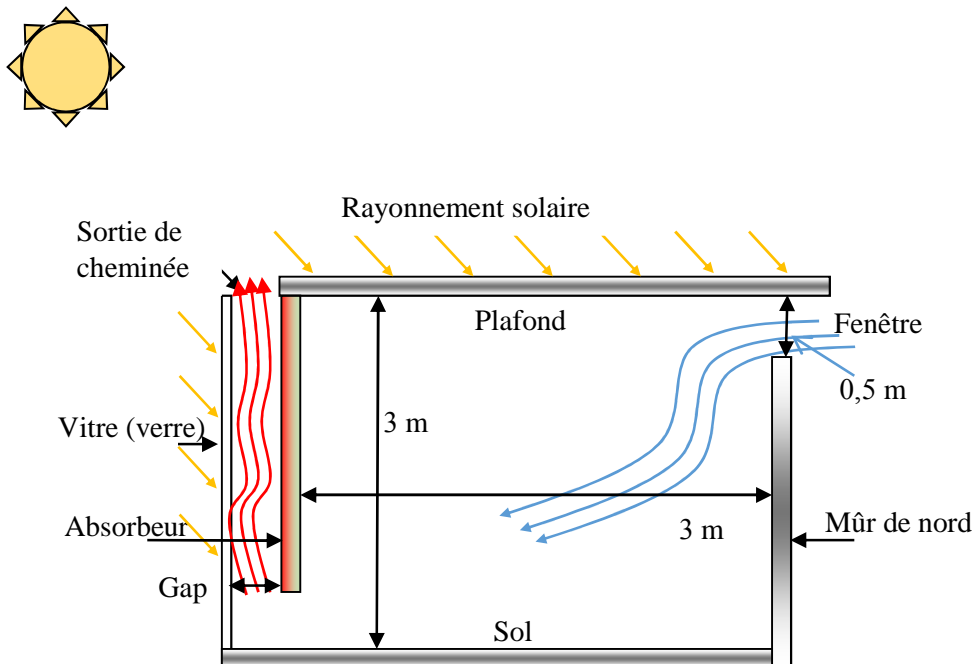
La cheminée solaire est une technique de ventilation naturelle qui a le potentiel d'économiser l'énergie dans les bâtiments ainsi que de maintenir une qualité intérieure confortable.

L'objectif de cette étude consistait à examiner les effets de la cheminée solaire murale (mur trombe) sur la distribution du flux d'air et les conditions thermiques dans une pièce de  $27 \text{ m}^3$  de volume. CFD Fluent a été utilisée pour modéliser une cheminée solaire sans et avec une canalisation souterraine (puits canadien) pour les trois sites géographiques : Alger, M'Sila et Ouargla. La cheminée solaire a été modélisée en deux dimensions (2D) avec des conditions aux limites différentes dépendantes aux conditions climatiques comme température, rayonnement, ... des sites précédents. Les données expérimentales et numériques de la littérature ont été utilisées pour valider le modèle actuel, et les résultats concordent très bien.

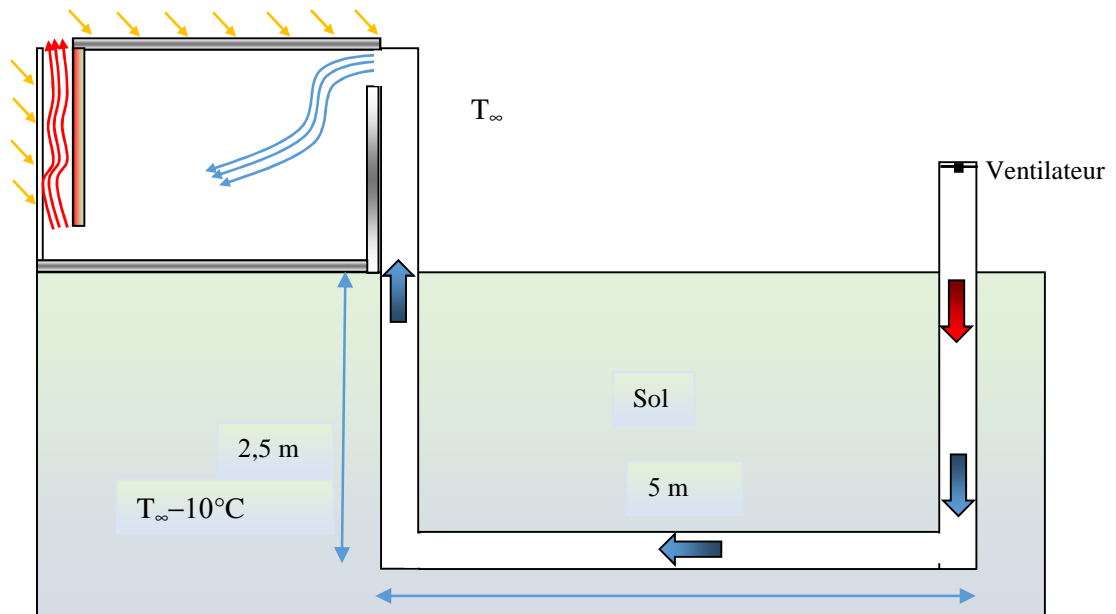
## IV.2 Les Géométries proposées

Les travaux actuels se concentrent beaucoup plus sur les performances de la cheminée solaire murale (mur trombe), et le concept de base du système de cheminée est illustré à la Fig. 1. En particulier, une attention particulière est consacrée au développement d'un diamètre hydraulique qui intègre l'effet du gap de la cheminée. La hauteur d'entrée. Il a été montré par Akbarzadeh et al. [7]

### IV.2.1 Conditions aux limites

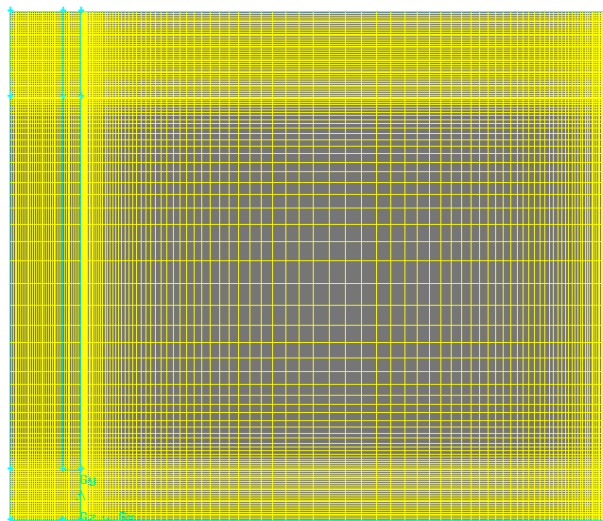


**Figure IV.1 :** conception d'une pièce équipée d'une cheminée solaire plus une fenêtre de ventilation  
La figure IV.1 montre la pièce d'étude avec les conditions aux limites.



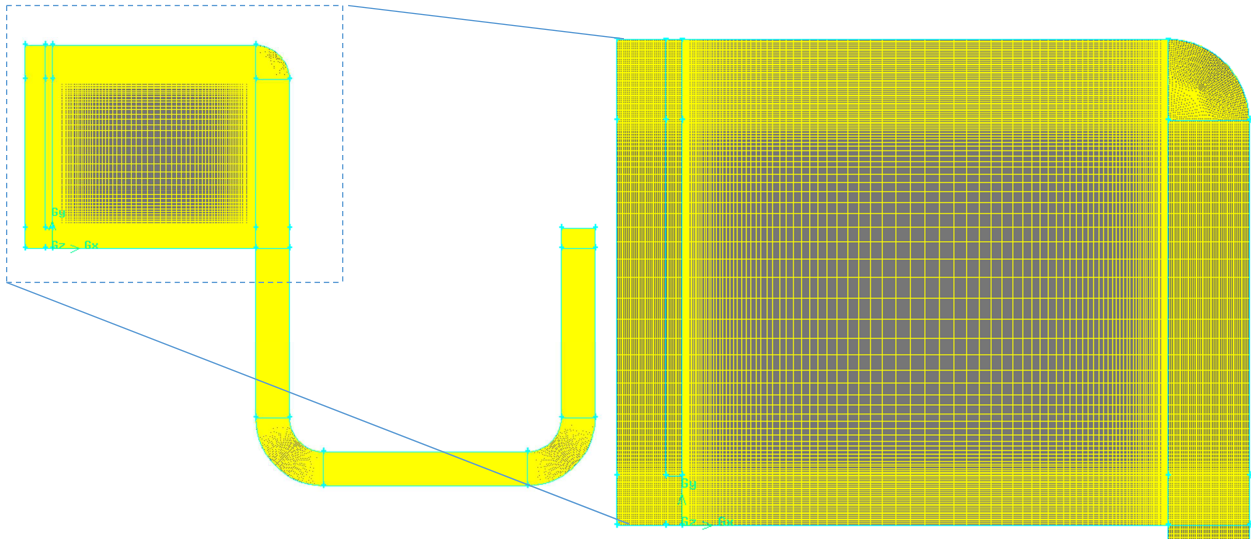
**Figure IV.2 :** une pièce équipée d'une cheminée plus une ouverture d'aération plus une canalisation souterraine

La figure IV.1 montre la pièce d'étude avec les mêmes conditions aux limites sauf pour la fenêtre va être remplacée par une canalisation souterraine de 10 m de longueur et 50 cm de diamètre, se termine par une ouverture se trouve à 1 m de hauteur et équipée d'un ventilateur (voir la figure IV.2).



**Figure IV.3 :** réalisation de la pièce par logiciel Gambit

Une fois la géométrie est créée, on a fait le maillage. Il s'agit d'un maillage régulier et progressif. Le modèle de la pièce et pièce plus tube souterrain a été maillé avec le type structuré et tous les maillages sont générés avec le logiciel Gambit. La représentation du maillage sont présentés dans les figures IV.3 et IV.4.



**Figure IV.4 :** réalisation de la pièce avec une canalisation souterraine avec logiciel Gambit

Nous avons adopté un maillage bien raffiné près des parois de l'espace de l'air et les parois de la pièce.

## IV.2.2 Les propriétés thermophysiques

Les paramètres d'étude sont très importants, pour cela, il faut connaître les propriétés du fluide (l'air) et les propriétés du solide (le verre, brique, béton et aluminium) donc :

**Tableau IV.1:** Propriétés thermophysiques

	Propriétés	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp(J/kg/K)	k(W/K/m)	$\mu$ (kg/m/s)
<b>Paramètres</b>	air	$353/(T+273)$	1008	$7,57 \times T \times e^{-5} + 0,0242$	$(0,0046 \times T + 1,7176) \times e^{-5}$
	brique	1800	878	1,15	-
	béton	2300	878	1,75	-
	verre	2700	840	0,78	-
	absorbeur	2707	896	204	-
	Tube de canalisation	2707	896	204	-

## IV.2.3 Hypothèses simplificatrices

Les hypothèses simplificatrices retenues dans l'étude sont les suivantes:

- Le fluide utilisé est un fluide newtonien, incompressible et qui satisfait à l'hypothèse de Boussinesq.

- La masse volumique varie linéairement avec la température et elle est donnée par la relation suivante :

$$\rho = \rho_0[1 - \beta \times (T - T_0)]$$

- L'écoulement du fluide au sein de la pièce est stationnaire et bidimensionnel.
- Les propriétés thermophysiques du fluide sont constantes dans l'intervalle de température étudiée.

Afin de ne pas être gêné par des problèmes de divergences, on doit partir d'un état initial qui est proche de la réalité. A l'instant  $t=0$ , le fluide est supposé comme suit:

- La vitesse horizontale  $u = 0,5$  m/s.
- La vitesse verticale  $v = 0$ .
- La température  $T = T_0$  (conditions climatiques).

Les limites	Les conditions
Parois nord	Parois isotherme
Absorbeur	Parois
Plafond	Adiabatique : $\dot{Q} = 0$ W/m <sup>2</sup>
Vitre	Flux solaire: $\dot{Q} = 1000$ W/m <sup>2</sup>
Cheminée	Pressure Outlet
Fenêtre	Velocity Inlet : $u = 0,5$ m/s

### IV.3 Présentation et interprétation des résultats

L'air, la brique, le verre et le ciment sont utilisés comme fluide caloporteur et matériau de la construction des parois respectivement. Elle représente le cas d'étude de M. Maerefat et al [x] et les propriétés thermo-physiques de l'air et de la paroi de la pièce sont regroupées dans le tableau (IV.1).

La figure IV.8 représente l'évolution de la pression, la température et la vitesse d'écoulement d'air en fonction de l'intensité solaire pour une pièce carré de coté 3 m équipée de mur trombe. Nous avons pris deux situation l'une dispose un tube de canalisation souterraine et l'autre sans tube de canalisation souterraine.

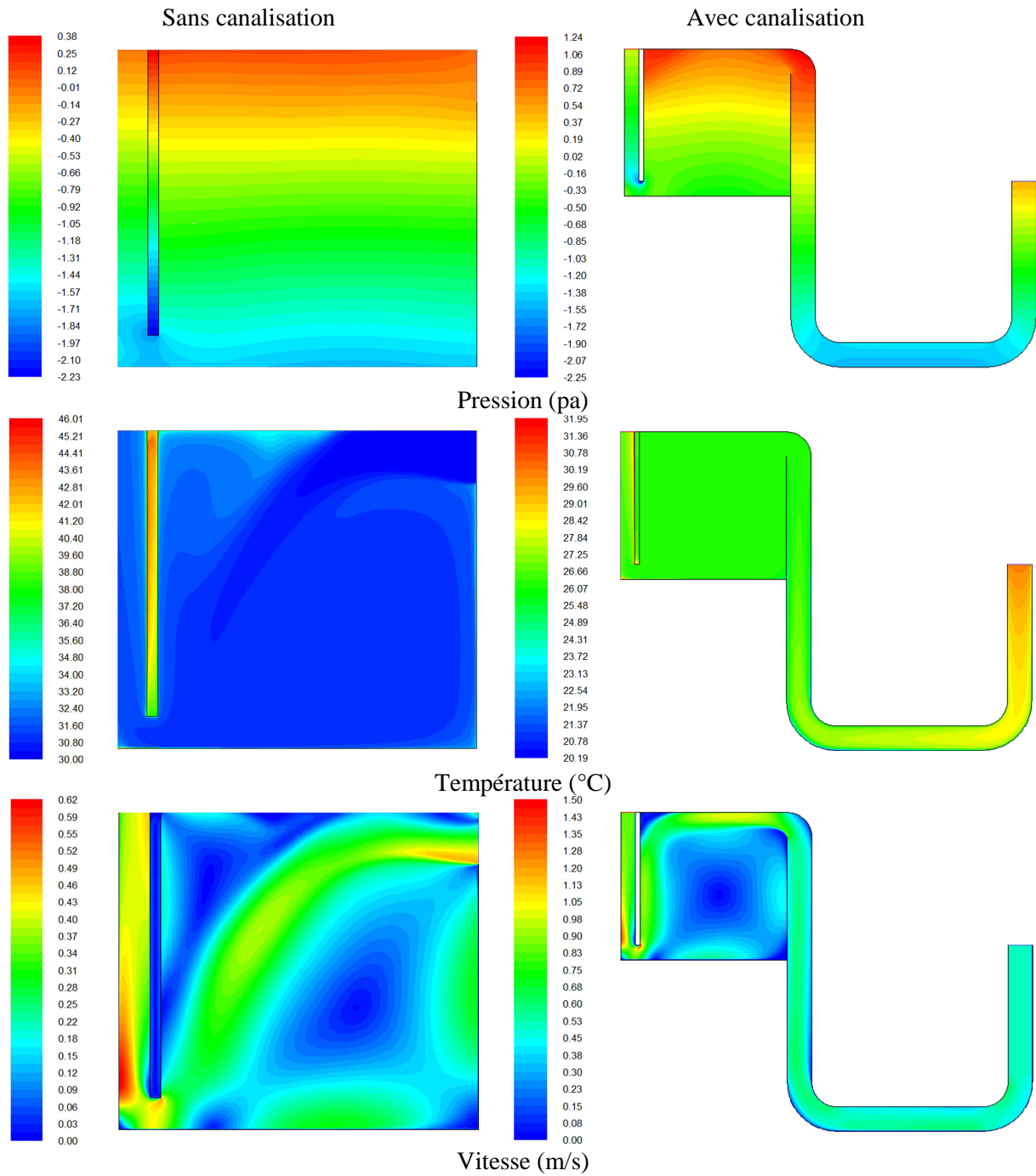


Figure IV.2 : présentation des champs de : pression, température et vitesse pour Alger durant l'été à la température 30 °C.

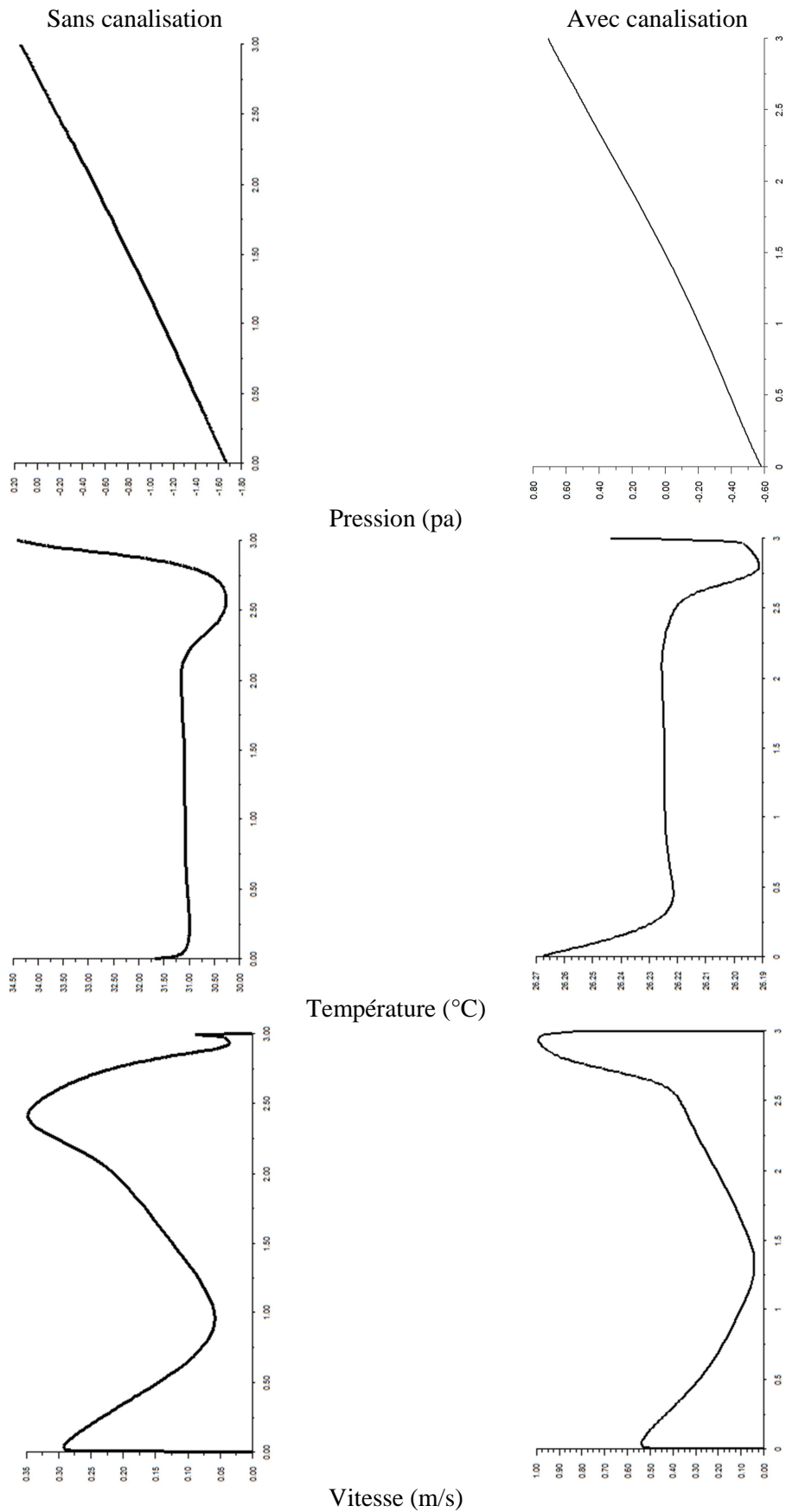


Figure IV.2 : présentation des profils au milieu  $x = 1,5$  m de la pièce de : pression, température et vitesse pour Alger durant l'été à la température  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

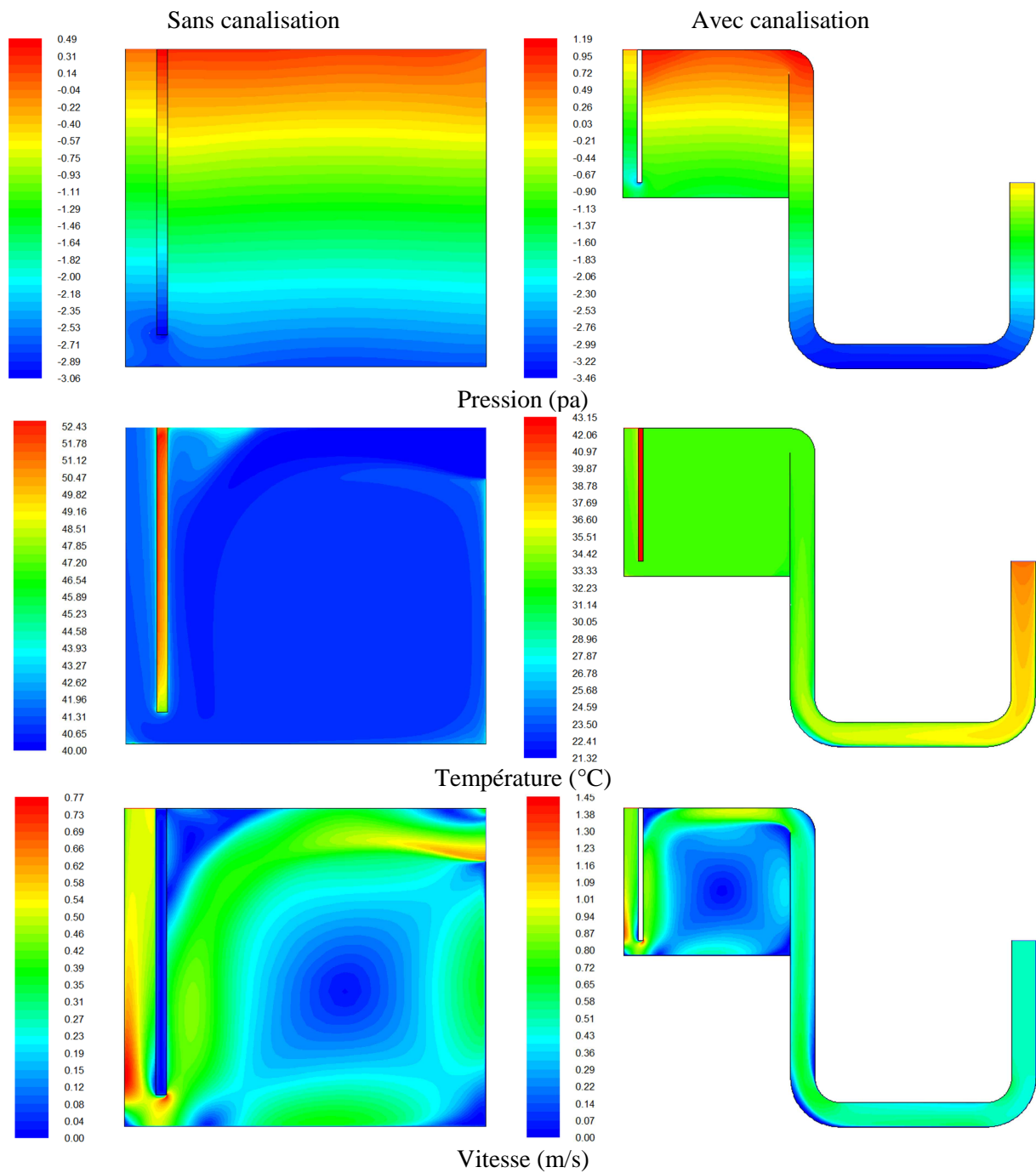
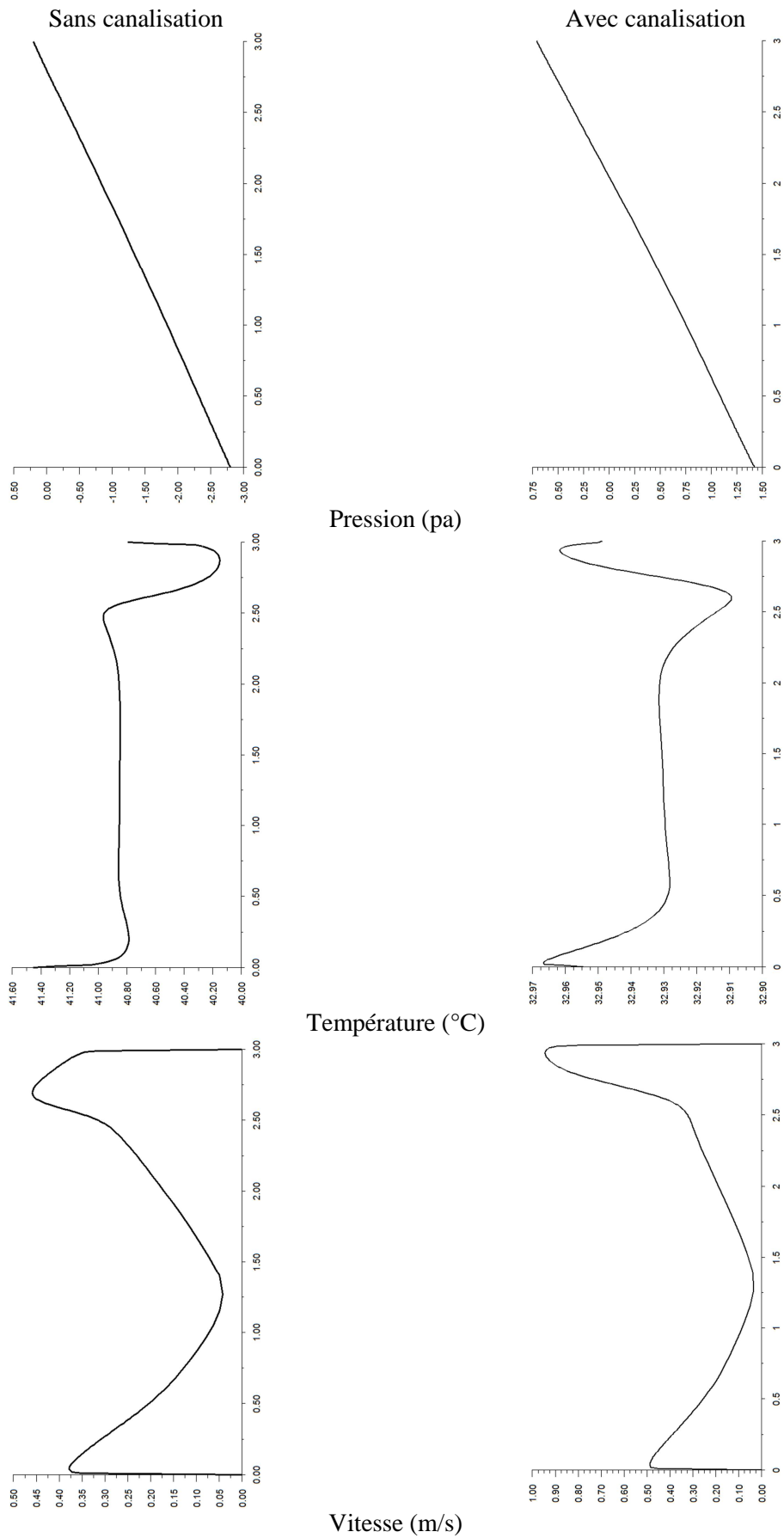


Figure IV.3 : présentation des champs de : pression, température et vitesse pour M'Sila durant l'été à la température 40 °C.



**Figure IV.4 :** présentation des profils au milieu  $x = 1,5$  m de la pièce de : pression, température et vitesse pour Alger durant l'été à la température 40 °C.

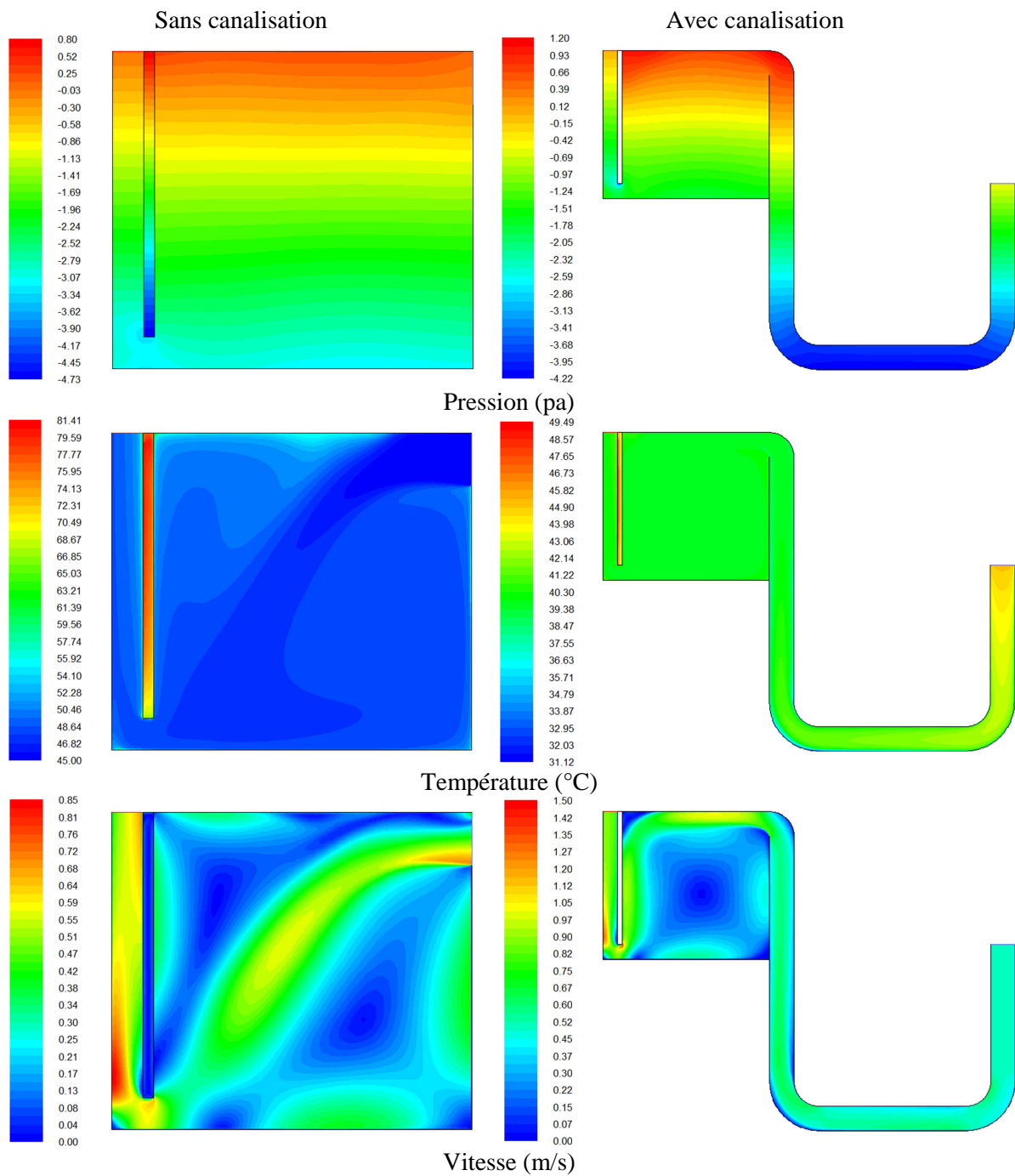


Figure IV.3 : présentation des champs de : pression, température et vitesse pour Ouargla durant l'été à la température 45 °C.

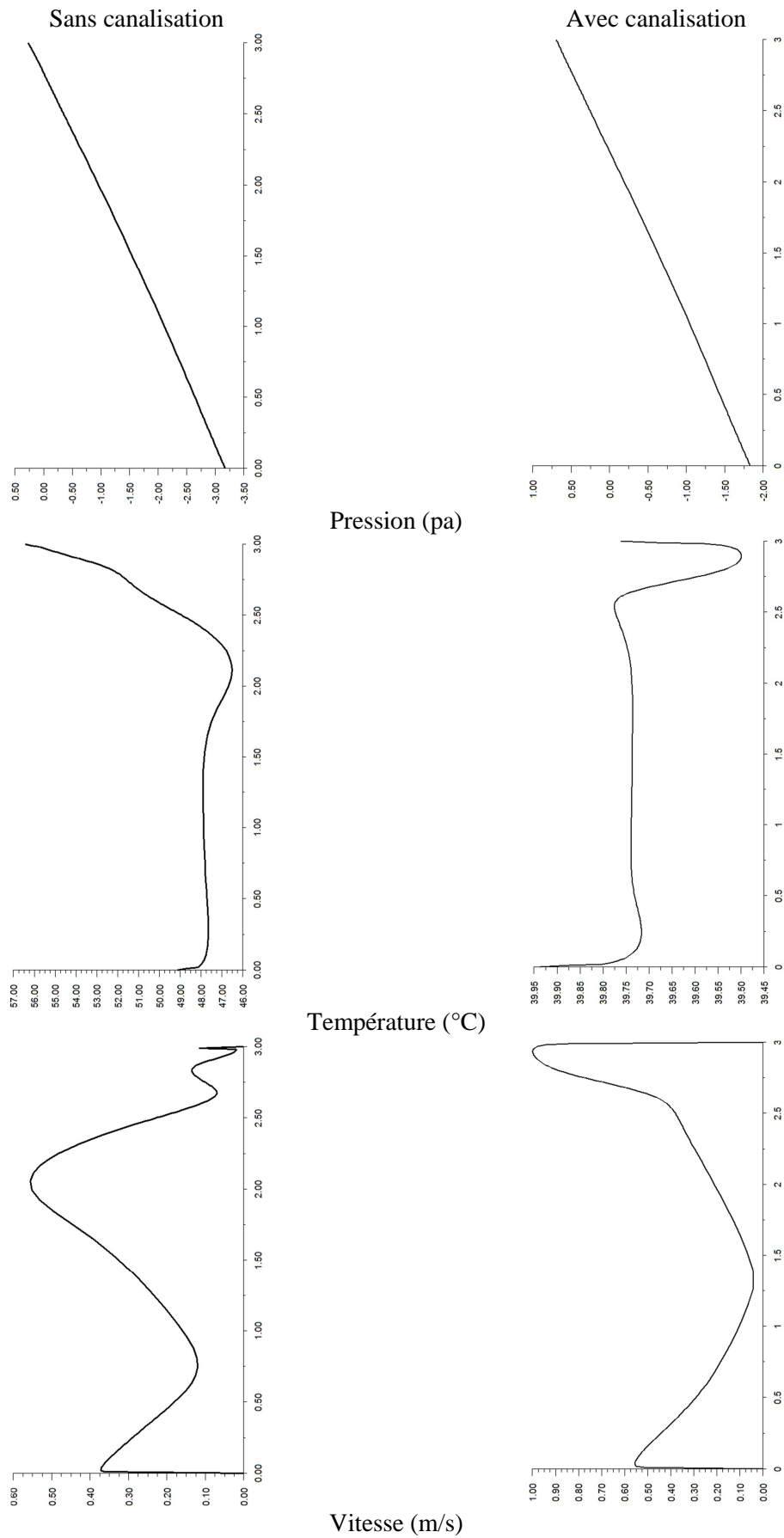


Figure IV.4 : présentation des profils au milieu  $x = 1,5$  m de la pièce de : pression, température et vitesse pour Ouargla durant l'été à la température  $45^{\circ}\text{C}$ .

## **V.4 Conclusion**

Dans ce travail de chapitre, on a présenté une simulation numérique d'une pièce carrée, avec et sans canalisation souterraine en utilisant le code de calcul Fluent pour obtenir les distributions des paramètres physique suivants: pression, températures et la vitesse d'écoulement de l'air, sous trois conditions climatiques différentes, et pour avoir une idée surtout sur les performances thermique de la pièce.

Nous observons selon les résultats de la simulation un rapport de réduction de température pour les trois sites est donné comme suit :

- 17% Alger,
- 20% M'Sila, et
- 25% Ouargla.

Grâce au deuxième système c'est à dire la pièce avec le tube de canalisation souterraine.

Le système mur-cheminée solaire (mur trombe) a été étudié en utilisant le Fluent. Des modèles laminaires et turbulents ont été utilisés pour mieux comprendre comment le débit dans le système de cheminée solaire change avec une dimension de 3 m d'hauteur de la cheminée et un gap de 30 cm entre la vitre et la paroi qui porte l'absorbeur. Bien que l'on puisse affirmer que les résultats 2D rapportés sont suffisants et nécessitent moins de ressources de calcul, pour des bâtiments plus réalistes qui ne sont pas conçus de manière symétrique, une modélisation 3D sera nécessaire pour des prédictions précises du transfert de chaleur et du flux d'air dans les conceptions de bâtiments complexes.

L'utilisation de murs trombes et de tube de canalisation souterraine permet une réduction des besoins de refroidissement. Une diminution de la consommation estimée à 17%, 20% et 25% respectivement pour les villes d'Alger, M'Sila et Ouargla est obtenue pour une pièce équipée par un mur solaire (mur trombe) avec un tube de canalisation souterraine.

- [1] **K.Mahdi**, « Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique », mémoire de magister, université Mentouri, Constantine 1, 2009.
- [2] **K.Mahdi**, « Production d'hydrogène par électrolyse sous chauffage solaire par un concentrateur paraboloidale », thèse de doctorat en sciences, université frères Mentouri, Constantine 1, 2015.
- [3] Techno-Science.net. Mise à jour : 08-11-2006. Miroir. Site Web sur INTERNET. « <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=2985> », Dernière consultation : le 09-11-2006.
- [4] **M. Belaribi**, « Étude et Conception Assistée par Ordinateur D'un Système De Réfrigération par Voie Solaire », Thèse de Magister, Université de Tlemcen, 2000.
- [5] **R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz**, « Le Rayonnement Solaire, Conversion Thermique et Applications », Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1983.
- [6] **B. Stine, M. Geyer**, « Power from the Sun », Lyle centre for regenerative studies, 2001.
- [7] **KE. Cox, KD. Williamson Jr**, « Hydrogen: its technology and implications; vol. I, Hydrogen production technology », CRC Press, 1979.
- [8] **A. Damien**, « Hydrogène par électrolyse de l'eau », Technique de l'ingénieur, J 6366.
- [9] **N. Nbemba-Kiele**, « Assemblage membrane-électrodes exempt de métaux précieux pour l'électrolyse de l'eau à électrolyte polymère solide », Thèse de doctorat de l'université Paris Sud 11, 2010.
- [10] **W.B. Stine, R.B. Diver**, « A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology. Albuquerque », Sandia National Laboratories, Livermore, 1994.
- [11] **J.A. Duffie, and J.W. Beckman**, « Solar Engineering of Thermal Processes », Wiley 2<sup>ed</sup>, Inc, 1991
- [12] **R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz**, « Le Rayonnement Solaire, Conversion Thermique et Applications », Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1983.
- [13] **O. Zikanov**, « Essentil computational fluid dynamics », John Wiley & Sons, 2010.
- [14] **L. M. Jiji**, « Heat Convection », Springer, 2009.
- [15] **C. Hirsch**, « Numerical Computation of Internal and External Flows : The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics », Butterworth-Heinemann, 2<sup>nd</sup> Edition, 2007.

- [16] **S. Patankar**, « Numerical Heat transfer and Fluid Flow (Hemisphere Series on Computational Methods in Mechanics and Thermal Science) », CRC Press, 1<sup>st</sup> Edition, 1980.
- [17] **S.V. Patankar**, and **D. Brian Spalding**, « A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows », International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 15, pp, 1787-1806.,1972,
- [18] **T. Wendelin**, **A. Dobos**, **A. Lewandowski** « SolTrace: A Ray-Tracing Code for Complex Solar Optical Systems », **Technical Report** NREL/TP-5500-59163, 2013.
- [19] **Y. Jannot**, «Thermique solaire», polycopié, 2008.
- [20] [www.cder.dz](http://www.cder.dz)
- [21] [www.meteomanz.com](http://www.meteomanz.com)
- [22] [www.GoldenSoftware.com](http://www.GoldenSoftware.com)
- [23] **R.Kharchi**, « Etude énergétique de Chauffage,Rafrâichissement et Eau Chaude Sanitaire d'une Maison Type en Algérie », thèse de doctorat, 2013.
- [24] Efficacité Energétique dans les Bâtiments, Transformer le Marché, World Business Council for Sustainable Development, rapport international du WBCSD 2009.
- [25] **D. R. Brooks**, « Monitoring Solar Radiation and Its Transmission Through the Atmosphere », 2004.
- [26] [www.pages.drexel.edu/~brooksdrr/DRB\\_web\\_page/papers](http://www.pages.drexel.edu/~brooksdrr/DRB_web_page/papers).
- [27] **M. Maerefat**, **A.P. Haghghi**, <Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney>, Renewable Energy, Vol.35, 2316-324, 2010.

## ملخص

أظهرت الدراسة الحالية أن التبريد السلبي يستخدم كأسلوب منخفض الطاقة لإزالة الحرارة الداخلية غير المرغوب فيها من المبنى خلال المواسم الحارة. هناك العديد من الطرق للترويج لتقنية التبريد هذه، وفي الدراسة الحالية، تم تقديم استخدام مدخنة شمسية مع أنبوب تحت الأرض. اخترنا ثلاثة مواقع مختلفة، الجزائر، المسيلة و ورقلة، لنرى تأثير الظروف المناخية على توزيع تدفق الهواء في غرفة ذات أبعاد محدودة للغاية. استخدمنا تقنية Fluent لإظهار توزيع درجة حرارة الهواء داخل الغرفة المجهزة بمدخنة شمسية ومزودة بأنبوب تحت الأرض. أخيرًا، تمت مناقشة تحسينات التصميم المحتملة من خلال مراقبة التدفق والظروف الحرارية للجزء.

## Résumé

La présente étude a montré que le refroidissement passif est utilisé comme technique à faible consommation d'énergie pour éliminer la chaleur intérieure indésirable d'un bâtiment pendant les saisons chaudes. Il existe de nombreuses façons de promouvoir cette technique de refroidissement, et dans la présente étude, l'utilisation d'une cheminée solaire avec un tube de canalisation souterraine est introduite. Nous avons choisi trois sites différents Alger, M'Sila et Ouargla, pour voir l'influence des conditions climatiques sur la distribution du flux d'air dans une pièce avec des dimensions bien limitée. Nous avons utilisé le Fluent pour montrer la distribution de la température de l'air à l'intérieur de la pièce équipé d'une cheminée solaire et couplée avec une canalisation souterraine. Enfin, les améliorations potentielles des conceptions ont été discutées en observant le flux et les conditions thermiques de la pièce.

## Abstract

The present study has shown that passive cooling is used as a low-energy technique to remove unwanted indoor heat from a building during hot seasons. There are many ways to promote this cooling technique, and in the present study, the use of a solar chimney with an underground pipe tube is introduced. We chose three different sites Algiers, M'Sila and Ouargla, to see the influence of climatic conditions on the distribution of air flow in a room with very limited dimensions. We used the Fluent to show the temperature distribution of the air inside the room equipped with a solar chimney and coupled with an underground pipe. Finally, potential design improvements were discussed by observing the flow and thermal conditions of the part.