

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTÉ DE GÉNIE DE LA CONSTRUCTION

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



# *Mémoire de Fin d'Études*

En vue de l'obtention du diplôme  
Du Master Professionnel en Génie Mécanique  
Spécialité : Énergétique  
Option : Froid, Chauffage et Climatisation

## Thème

**Etude et simulation de la ventilation  
naturelle en été à caractère d'habitation  
Cas de la ville Tigzirt**

Proposé et dirigé par :  
M<sup>r</sup> S. FOUCHANE

Réalisé par :  
M<sup>r</sup> Boualem AMOURA  
M<sup>elle</sup> Lidya Akli

*Promotion : 2019/2020*

# Remerciements

*Ce travail est le fruit de la combinaison d'efforts de plusieurs personnes. Je remercie tout d'abord le tout puissant qui, par sa grâce m'a permis d'arriver au bout de mes efforts en me donnant la santé, la force, le courage et en me faisant entourer des merveilleuses personnes dont je tiens à remercier ;*

*Mon Directeur de mémoire, M' **Sidali FOUCHANE** pour son encadrement sans faille, son soutien moral, sa rigueur au travail, ses multiples conseils, ses orientations et sa disponibilité malgré ses multiples occupations ;*

*Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail ;*

*Tous les enseignants de **Génie Mécanique** de l'Université de Mouloud MAMMERRI – Tizi-Ouzou-, pour leurs enseignements de qualité et leurs conseils qui m'ont permis de poursuivre mon itinéraire académique jusqu'à présent ;*

*Nos Parents et Nos frères et sœurs pour leurs aides et encouragement durant tous nos parcours ;*

*Nos camarades, ami(e)s et connaissances ;*

*Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'accomplissement de ce travail.*

# Dédicace

Grâce à « **Dieu** » qui m'a tracé le chemin et m'a donné le pouvoir et le courage de continuer jusqu'à la fin, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

À mes très chers **Parents**

*Je vous dois ce que je suis aujourd'hui grâce à votre amour, à votre patience et vos innombrables sacrifices. Que ce travail, soit pour vous une petite compensation et reconnaissance envers ce que vous avez fait d'incroyable pour moi. Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longue vie afin que je puisse à mon tour vous combler.*

À mes très chères sœurs **Cylia, Katia** et mon frère **JUBA**

*Aucune dédicace ne serait exprimée assez profondément ce que je ressens envers vous. Je vous dirais tout simplement, un grand merci, je vous aime autant.*

À mon binôme **Boualem**

*Avec qui j'ai passé Une année formidable ou l'on partager des moments de joie et de malheur.*

À mes très chers **ami(e)s**

**À tous ceux qui me sont chers et qui sont aujourd'hui absents.**

**Lidya AKLI**

# Dédicace

Grâce à « **Dieu** » le tout puissant de m'avoir donné le courage, la santé, et m'a accordé son soutien durant les périodes les plus difficiles, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

À tous ceux qui me sont chers

À ceux qui ont fait de moi ce que je suis

Mes très chers **Parents** pour qui je n'oublierai jamais leur grande affection ;  
leur soutien et leurs encouragements.

À mes chers **Frères Rabah, Sofiane et Karim et Sœurs Karima et Samira** ;  
pour leurs aides et encouragement durant tout mon parcours.

À ma binôme **Lidya** ; avec qui j'ai passé Une année formidable ou l'on partager  
des moments de joie et de malheur.

À tous mes amis.

À tous mes collègues.

À tous ma famille.

À tous ceux qui me sont chers et qui sont aujourd'hui absents.

**Boualem AMOURA**

## *Table des matières*

<b>Liste des tableaux</b> .....	i
<b>Liste des figures</b> .....	v
<b>Nomenclature</b> .....	vii
<b>Notions des apports</b> .....	viii
<b>Indices</b> .....	ix
<b>Lettres Grecs</b> .....	xi
<b>Abréviation</b> .....	xi
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I: Généralité sur le confort thermique et la ventilation</b> .....	<b>3</b>
I.1. Introduction .....	3
I.2. Le confort .....	3
I.3. Que signifie confort thermique ? .....	4
I.3.1. Confort thermique .....	4
I.3.2. Les paramètres affectant le confort thermique .....	5
I.3.2.a. Paramètres liés à l'ambiance (Les paramètres objectifs) .....	5
I.3.2.b. Paramètres liés à l'individu (Les paramètres subjectifs) .....	6
I.3.2.c. Paramètres liés aux gains thermiques internes .....	7
I.4. Les approches du confort thermique .....	8
I.4.1. Les échanges thermiques du corps humain .....	8
I.4.1.a. Les échanges de chaleur par conduction .....	8
I.4.1.b. Les échanges de chaleur par convection .....	8
I.4.1.c. Les échanges de chaleur par rayonnement .....	9
I.4.1.d. Les échanges de chaleur par évaporation .....	9
I.4.2. L'aspect psychologique du confort thermique .....	9
I.5. Importance de la ventilation .....	9
I.6. Ventilation .....	10
I.6.1. Objectifs de ventilation .....	11
I.6.2. Les systèmes de ventilation .....	12
I.6.2.a. La ventilation naturelle .....	12
I.7. Quand les installations de ventilation sont-elles nécessaires ? .....	15
I.8. La ventilation mécanique .....	15
I.8.1. La ventilation mécanique contrôlée simple flux .....	17

I.8.1.a. La VMC simple flux par extraction -----	17
I.8.1.b. La ventilation mécanique par soufflage seul-----	17
I.8.1.c. La ventilation mécanique répartie (VMR)-----	18
I.8.2. La VMC double flux -----	18
I.8.2.a. La ventilation mécanique double flux centralisée-----	18
I.8.2.b. La VMC double flux par pièces séparées -----	19
I.8.2.c. La ventilation mécanique ponctuelle (VMP)-----	19
I.9. Conclusion -----	19
<b>Chapitre II: Le bilan thermique -----</b>	<b>20</b>
II.1. Introduction -----	20
II.2. Données du projet d'étude-----	20
II.2.1. Données climatiques-----	20
II.2.1.a. La région climatique-----	20
II.2.1.b. Données géométriques et emplacements de l'appartement -----	21
II.2.1.c. Données des matériaux de construction de l'appartement -----	21
II.3. Calcul du bilan thermique de l'appartement en été -----	22
II.3.1. Apports de chaleur extérieurs -----	22
II.3.1.a. Apports à travers les parois opaques -----	23
II.3.1.b. Apports à travers les parois vitrées -----	24
II.3.1.c. Apports de chaleur internes-----	25
II.4. Application-----	25
II.4.1. Données relatives au site-----	26
II.4.2. Calcul du coefficient global de transmission-----	26
II.5. Etude de local-----	28
II.5.1. Séjour -----	28
II.6. Tableau récapitulatif-----	43
II.7. Conclusion -----	45
<b>Chapitre III: Formulation mathématique et numérique -----</b>	<b>46</b>
III.1. Introduction -----	46
III.2. Équations générales et modélisation de la turbulence -----	46
III.2.1. Équations instantanées -----	46
III.2.1.a. Équation de continuité-----	47
III.2.1.b. Équations de conservation de quantité de mouvement -----	47
III.2.1.c. Équation d'énergie -----	47

III.3. Caractéristique de l'écoulement turbulent -----	48
III.3.1. Modèles de turbulence -----	48
III.3.1.a. Modèle $k-\varepsilon$ -----	48
III.3.2. Les nombres adimensionnels-----	49
III.3.2.a. Nombre de Reynolds -----	49
III.3.2.b. Le nombre de Prandtl-----	49
III.3.2.c. Nombre de Nusselt-----	50
III.4. Les différentes techniques de résolution des équations aux dérivées partielles-----	50
III.4.1. Méthodes des différences finies-----	50
III.4.2. Méthode des éléments finis-----	51
III.4.3. Méthode des volumes finis -----	52
III.5. Présentation des logiciels Gambit et Fluent -----	53
III.5.1. Préprocesseur Gambit -----	53
III.5.1.a. Fenêtre d'outils d'opération -----	53
III.5.1.b. Construction de la géométrie-----	54
III.5.1.c. Génération de maillage-----	54
III.5.1.d. Incorporation des conditions aux limites -----	55
III.6. Code Fluent -----	55
III.6.1. Interface du code Fluent -----	55
III.6.2. Condition aux limites utilisée par le code Fluent-----	57
III.6.3. Modèle numérique utilisée par le code Fluent-----	57
III.7. Conclusion -----	58
<b>Chapitre IV: Simulation -----</b>	<b>59</b>
IV.1. Introduction-----	59
IV.2. But de l'étude-----	59
IV.3. Partie spécifique de l'étude-----	59
IV.3.1. Séjour fermée-----	60
IV.3.2. Séjour avec fenêtre Sud et porte Ouest -----	61
IV.3.2.a. Etude de température -----	63
IV.3.2.b. Etude de vitesse -----	64
IV.3.2.c. Etude de pression -----	66
IV.3.3. Séjour avec deux fenêtres et une porte-----	67
IV.3.3.a. Le flux entre par la fenêtre en mur Sud-----	67
IV.3.3.b. Le flux entre par la fenêtre en mur Est -----	72

IV.4. Conclusion -----	78
<b>Conclusion générale</b> -----	<b>79</b>
<b>Références</b> -----	<b>81</b>

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau II.1.</b> Dimensions des fenêtres.-----	21
<b>Tableau II.2.</b> Coefficient de transmission. -----	27
<b>Tableau II.3.</b> Apports de chaleur par introduction d'air extérieur. -----	29
<b>Tableau II.4.</b> Apports infiltrations d'air. -----	29
<b>Tableau II.5.</b> Apports internes. -----	30
<b>Tableau II.6.</b> Apports par occupants. -----	30
<b>Tableau II.7.</b> Apports dus aux machines et appareillages.-----	31
<b>Tableau II.8.</b> Apports dus aux Eclairage. -----	31
<b>Tableau II.9.</b> Apports sensibles. -----	31
<b>Tableau II.10.</b> Les apports effectifs sensibles. -----	31
<b>Tableau II.11.</b> Les apports effectifs latents. -----	32
<b>Tableau II.12.</b> Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.-----	34
<b>Tableau II.13.</b> Apports infiltrations d'air. -----	35
<b>Tableau II.14.</b> Apports internes.-----	35
<b>Tableau II.15.</b> Apports par occupants.-----	35
<b>Tableau II.16.</b> Apports dus aux machines et appareillages. -----	36
<b>Tableau II.17.</b> Apports dus aux Eclairage.-----	36
<b>Tableau II.18.</b> Apports sensibles. -----	36
<b>Tableau II.19.</b> Apports effectifs sensibles. -----	37
<b>Tableau II.20.</b> Apport effectifs latents. -----	37
<b>Tableau II.21.</b> Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.-----	39
<b>Tableau II.22.</b> Apports infiltrations d'air. -----	40
<b>Tableau II.23.</b> Apports internes.-----	40
<b>Tableau II.24.</b> Apports par occupants.-----	40
<b>Tableau II.25.</b> Apports dus aux machines et appareillages. -----	41
<b>Tableau II.26.</b> Apports dus aux Eclairage.-----	41
<b>Tableau II.27.</b> Apports effectifs sensibles.-----	42
<b>Tableau II.28.</b> Apports effectifs latents.-----	42
<b>Tableau II.29.</b> Tableau récapitulatif -----	44

## *Liste des figures*

<b>Figure I.1.</b> Champs de confort dans le diagramme de l'air humide -----	5
<b>Figure I.2.</b> Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires -----	7
<b>Figure I.3.</b> Gains thermiques internes d'un espace -----	8
<b>Figure I.4.</b> ventilation par une seule façade -----	13
<b>Figure I.5.</b> Ventilation transversale -----	13
<b>Figure I.6.</b> La ventilation par tirage thermique -----	14
<b>Figure I.7.</b> Installation a simple extraction -----	16
<b>Figure I.8.</b> Installation combinant alimentation et extraction -----	16
<b>Figure II.1.</b> Composant des murs extérieurs. -----	22
<b>Figure III.1.</b> Trois nœuds du maillage mono dimensionnel. -----	52
<b>Figure III.2.</b> Un domaine discrétisé en éléments finis. -----	53
<b>Figure III.3.</b> Interface de Gambit. -----	54
<b>Figure III.4.</b> Les déférents outils d'opération sur Gambit. -----	55
<b>Figure III.5.</b> Les outils de construction d'une géométrie. -----	55
<b>Figure III.6.</b> Les outils de maillage d'une géométrie. -----	55
<b>Figure III.7.</b> Les outils de conditions aux limites d'une géométrie. -----	56
<b>Figure III.8.</b> Interface de versions de Fluent. -----	57
<b>Figure III.9.</b> Fenêtre de la résolution. -----	57
<b>Figure IV.1.</b> Le plan de séjour. -----	61
<b>Figure IV.2.</b> a) La géométrie du local étudié et simulé, b) Courbe de résidus, c) Contours des températures et d) Diagramme des températures. -----	62
<b>Figure IV.3.</b> La géométrie du séjour à simuler. -----	63
<b>Figure IV.4.</b> Les courbes de résidus. -----	63
<b>Figure IV.5.</b> Contours de la température. -----	64
<b>Figure IV.6.</b> Diagrammes de température. -----	64
<b>Figure IV.7.</b> Contours de vitesse. -----	65
<b>Figure IV.8.</b> Vecteurs vitesses. -----	65
<b>Figure IV.9.</b> Diagrammes des vitesses selon y. -----	66
<b>Figure IV.10.</b> Contours de la pression. -----	67
Figure IV.11. Diagrammes des pressions. -----	67
<b>Figure IV.12.</b> Géométrie du local à simuler. -----	68
<b>Figure IV.13.</b> Les Courbes des résidus. -----	69
<b>Figure IV.14.</b> Contours de température. -----	69
<b>Figure IV.15.</b> Diagrammes de température. -----	70
<b>Figure IV.16.</b> Contours de vitesse. -----	71
<b>Figure IV.17.</b> Vecteurs de vitesse. -----	71
<b>Figure IV.18.</b> Diagrammes des vitesses. -----	72
<b>Figure IV.19.</b> Contours de la pression. -----	72
<b>Figure IV.20.</b> Diagrammes des pressions. -----	73
<b>Figure IV.21.</b> La géométrie de séjour simulé. -----	74
<b>Figure IV.22.</b> Les courbes des résidus. -----	74
<b>Figure IV.23.</b> Contours des températures. -----	75

<b>Figure IV.24.</b> Diagrammes de température.-----	75
<b>Figure IV.25.</b> Contours de vitesse. -----	76
<b>Figure IV.26.</b> Profil de vectrices vitesses.-----	76
<b>Figure IV.27.</b> Diagrammes des vitesses. -----	77
<b>Figure IV.28.</b> Contours de pression. -----	78
<b>Figure IV.29.</b> Diagrammes de pression. -----	78

## *Nomenclature*

<b>Symbol</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité</b>
K	Coefficient de transmission surfacique	W/m <sup>2</sup> . °C
Kmoy.	Coefficient de transmission surfacique moyen	W/m <sup>2</sup>
Kg	Coefficient de transmission surfacique global	W/m <sup>2</sup> . °C
Kw	Coefficient de transmission thermique de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre	W/m <sup>2</sup> . °C
Kg	Coefficient surfacique en partie centrale du vitrage	W/m <sup>2</sup> . °C
Kf	Coefficient surfacique moyen de la menuiserie	W/m <sup>2</sup> . °C
Kp	Coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque	W/m <sup>2</sup> . °C
Kmr,tot	Coefficient surfacique moyen de la façade rideau	W/m <sup>2</sup> . °C
Kmri	Coefficient surfacique moyen du module i	W/m <sup>2</sup> . °C
Kwn	Coefficient de transmission surfacique du vitrage nu	W/m <sup>2</sup> . °C
Kl	Coefficient de transmission linéique	W/m.° C
S	Surface intérieure de la paroi	m <sup>2</sup>
He	Coefficient extérieur d'échanges superficiels	W/m <sup>2</sup> .°C
tbi	Température intérieure de base	°C
tbe	Température extérieure de base	°C
R	Résistance thermique	m <sup>2</sup> .°C/W
C	Capacité thermique massique	J/kg.°C
Z	Différence de niveau entre le niveau de la face supérieure du plancher et le niveau du sol	m

Tau	Coefficient de réduction de température	–
Vh	Volume habitable du local ou hors œuvre	m <sup>3</sup>
Qs	Débit supplémentaire dû au vent	m <sup>3</sup> /h
Qvréf	Débit de ventilation extrait de référence	m <sup>3</sup> /h
Qvmin	Débit de ventilation extrait minimal de référence	m <sup>3</sup> /h
Qvmax	Débit de ventilation extrait maximal de référence	m <sup>3</sup> /h
P	pression atmosphérique	Pa
Po	Perméabilité à l'air d'un ouvrant sous une différence de pression de 1 Pa	m <sup>3</sup> /h. m <sup>2</sup>
PV	Perméabilité à l'air d'un volume sous une différence de pression de 1 Pa	m <sup>3</sup> /h
PL	Perméabilité à l'air d'un logement sous une différence de pression de 1 Pa	m <sup>3</sup> /h
Ev	Coefficient d'exposition au vent	–

### *Notions des apports*

<b>Symbole</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité</b>
A	Apports calorifiques	W
AE	Apports calorifiques effectifs	W
AI	Apports calorifiques internes	W
APO	Apports calorifiques par une paroi opaque	W
AREN	Apports calorifiques dus au renouvellement d'air	W
AINF	Apports calorifiques dus aux infiltrations d'air extérieur	W
AT	Apports calorifiques totaux	W
AV	Apports calorifiques à travers les parois vitrées	W
AVE	Apports par rayonnement solaire à travers les parois vitrées	W
AVT	Apports par transmission à travers les parois vitrées	W
Aabs	Apports absorbé	W
Atra	Apports traversant	W
BF	Facteur de by-pass	-
C	Coefficient de correction (selon les cas)	-
CS	Coefficient de simultanéité	-
E	Ecart diurne	°C

DH	Degré hygrométrique	-
ENT	Enthalpie	kJ/kgas
EAT	Ecart annuel de température	°C
FS	Facteur solaire	-
HR	Humidité relative	%
HS	Humidité spécifique d'air	gvap./kga s
I	Rayonnement	W/m <sup>2</sup>
K	Coefficient surfacique de transmission calorifique	W/m <sup>2</sup> .°C
L	Latitude	degré
M	Masse rapportée à la surface du plancher	kg/m <sup>2</sup>
N	Coefficient d'amortissement	-
PC	Pouvoir calorifique	J/m <sup>3</sup>
PP	Pression partielle de vapeur d'eau	Pa
TH	Température humide de l'air	°C
TO	Temps officiel	h
TR	Température de rosée	°C
TS	Température sèche de l'air	°C
TSV	Temps Solaire Vrai	h
V	Volume	m <sup>3</sup>
VS	Volume spécifique	m <sup>3</sup> /kgas

### *Indices*

<b>Symbole</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité</b>
A	Coefficient réglementaire .....	W/m <sup>2</sup> .°C
Alt	Altitude.....	m
C	Coefficient réglementaire .....	W/m <sup>2</sup> .°C
E	épaisseur .....	m
e'	Coefficient réglementaire.....	W/m <sup>2</sup> .°C
H	Coefficient d'échange superficiel .....	W/m <sup>2</sup> .°C
K	Coefficient linéique d'émission calorifique.....	W/m.°C
M	Masse .....	kg
Qm	Débit massique .....	kg/s

Qv	Débit volumique.....	m <sup>3</sup> /s
Qvo	Débit volumique d'infiltration pour un ouvrant.....	m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>
R	Résistance thermique d'échanges superficiels.....	m <sup>2</sup> .°C/W
Z	Différence de niveau (paroi en contact avec le sol) .....	m
A	Facteur d'absorption	-
Λ	Conductivité thermique	W/m.°C

<b>Symbole</b>	<b>Signification</b>
DTR	Document thermique règlementaire
PCM	Matériau a changement de phase
AI	Apports internes
PH	Paroi horizontale
PH	Paroi horizontale
PH	Paroi horizontale
PV	Paroi verticale
PVI	Paroi vitrée
An	air neuf
Inf	d'infiltration
L	Latent
Lnc	local non climatisé
Max	Maximal
Min	Minimal
réf. S	référence sensible
Sup	supérieur

## *Lettres Grecs*

<b>symboles</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité</b>
$\Delta T_S$	Différence de températures sèches.....	°C
$\Delta t_e$	Différence de température équivalente.....	°C
$\Delta t_{es}$	Différence de température équivalente non corrigée (conditions standard) pour une paroi ensoleillée .....	°C
$\Delta t_{em}$	Différence de température équivalente non corrigée (conditions standard) pour une paroi l'ombre	°C
	$\beta$ : Coefficient de la dilatation	
	$\varepsilon$ : taux de dissipation de l'énergie cinétique	
	$\mu$ : viscosité dynamique [Kg/m. s]	
	$\Gamma$ : Coefficient de diffusion	
	$\Phi$ : Grandeur quelconque	
	Re : Nombre de Reynolds.	
	Pr : Nombre de Prandtl.	
	Nu : Nombre de Nusselt.	

## *Abréviation*

EDP : équation à la dérivée partielle.

MDF : Méthode des différences finies.

MEF : Méthodes des éléments finies.

MVF : Méthodes des volumes finies.

CFD: Computational Fluid Dynamics.

Gambit: Geometry and Mesh building intelligent Toolkit.

## *Introduction générale*

Depuis la nuit des temps, l'être humain n'a eu de cesse de développer des stratégies et des techniques pour se protéger des agressions climatiques. Exposé à un environnement thermique, le corps humain peut éprouver une sensation de neutralité thermique, de tiédeur ou de fraîcheur. Dans des conditions extrêmes, il peut avoir chaud ou froid mais si l'exposition aux conditions climatiques extrêmes est prolongée dans le temps, le corps humain peut plonger dans une hyperthermie ou hypothermie mettant ainsi sa vie en péril [1]. L'Habitat et la Thermique sont les plus anciennes préoccupations de l'Homme, sa première grande découverte, « le feu » en est la preuve [2].

L'histoire du premier climatiseur remonte à l'époque des Romains. En effet, les romains avez eu la judicieuse idée d'utiliser un tunnel sous terrain pour provoquer une arrivée d'air extérieur, c'est ainsi qu'ils arrivaient à conserver une température ambiante en hiver comme en été. Mais c'est qu'en 1902 que la notion de climatisation moderne apparut aux Etats-Unis grâce à l'invention de Willis H carrier et l'apparition des fluides frigorigènes [3]. La période 1946-1975 est caractérisée par l'essor et le développement des machines thermiques. En effet, cette période a été marquante pour l'essor du confort thermique dans les bâtiments et l'habitat en général, période durant laquelle certains freins et autres obstacles à l'extension du confort vont être levés, lui permettant de devenir un véritable enjeu, tant économique que social [4].

Actuellement, avec l'évolution des modes de vie, le confort thermique dans un habitat est devenu une nécessité, du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant [1]. Le confort thermique ne peut être atteint que pour une perception presque neutre, c'est-à-dire ne pas avoir chaud et ne pas avoir froid. L'ASHRAE (association internationale de génie climatique) spécifie les normes de confort du corps dans son ensemble en termes de température opératoire. Ces dernières varient avec les saisons, à 50 % d'humidité relative, ces températures s'étalent de 23 à 26 °C en été, et de 20 à 23,5 °C en hiver [1].

De nos jours, la conception du bâtiment est orientée dans un cadre réglementaire tout en visant un compromis entre coût énergétique et confort. L'ensemble des parties d'un bâtiment sont soumises à une étude du transfert thermique, qui représente les échanges de chaleur entre le milieu intérieur et le milieu extérieur. Une connaissance des sources de chaleur internes et externes au bâtiment est indispensable pour évaluer la distribution et la stratification thermique au sein du bâtiment pendant les différentes saisons de l'année. Cela permet une gestion de la facture énergétique. D'autre part, la diminution de ces échanges thermiques permet de maintenir

une température ambiante agréable à l'intérieur du bâtiment en économisant au maximum l'énergie possible.

La qualité de l'air à l'intérieur d'un habitat est aussi importante pour la santé de l'être humain. L'air intérieur contient souvent des polluants de natures différentes et de sources nombreuses et variées, parmi ces sources, on peut citer, la présence et les activités humaines (lessiver, nettoyer, cuisiner, transpirer, ...) produisant une vapeur d'eau qui humidifie l'atmosphère de la maison, les produits (détergents et autres) utilisés quotidiennement et la qualité de l'air à l'extérieur. L'exposition des occupants à ces polluants à long terme peut avoir des effets néfastes voire irréversibles sur la santé (Les preuves tirées de la littérature montrent qu'un environnement intérieur médiocre augmente considérablement le taux de maladies respiratoires, d'allergies et d'asthme). Face à cette situation potentiellement dangereuse, la ventilation est l'une des solutions primordiales pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. L'objectif est alors, produire un renouvellement d'air suffisant pour évacuer les polluants (vapeurs, odeurs et autres impuretés) émis et d'introduire de l'air neuf non pollué dans les zones d'occupation.

C'est dans ce contexte que nous proposons une étude thermique et ventilation naturelle et dynamique (mécanique) d'une maison individuelle. Etablir un bilan thermique permet d'estimer au plus juste la consommation d'énergie d'un bâtiment (maison), même si celui-ci n'est pas encore sorti de terre. Les matériaux et équipements choisis sont déterminants. Sur un bâtiment existant, l'étude thermique renseigne sur la consommation d'énergie actuelle et les actions à mener pour la réduire. Cette étude permettra de proposer des solutions pour une nouvelle distribution des sources de chaleur internes pour améliorer les conditions de sa qualité de vie, de favoriser ses productions et d'aider à son développement.

L'objectif majeur de notre projet de la fin d'étude est de faire un bilan thermique estival d'une maison individuelle en tenant compte de la ventilation ainsi que la simulation numérique de l'écoulement laminaire et turbulent d'un mouvement de l'air.

Le présent manuscrit est scindé en quatre grands chapitres, en plus d'une introduction et conclusion générales. Dans le premier chapitre, quelques généralités sur le confort thermique seront présentées ainsi que la ventilation naturelle et mécanique. Dans le deuxième chapitre comportera le calcul d'un bilan thermique d'un local. Dans le troisième chapitre, la modélisation du problème et présentation de logiciel Gambit et le code du calculer Fluent seront présentées. Enfin, au cours du dernier chapitre, la présentation des résultats numériques avec des interprétations.

## Chapitre I: Généralité sur le confort thermique et la ventilation

### I.1. Introduction

L'être humain est souvent confronté à des problèmes d'adaptation aux conditions climatiques qui règnent autour de lui. Dans la plupart des régions de notre univers, les températures peuvent selon les cas atteindre des valeurs insupportables, très hautes ou très basses. Ces valeurs influent sur les conditions de base intérieures et les rendent hors des conditions de bien-être. L'humidité est un autre facteur déterminant qui joue un rôle important à la création d'un environnement provenant des occupants et par conséquent, l'échange thermique entre la peau et l'ambiance diminue d'une façon considérable donc un refroidissement insuffisant du corps. Ceci va engendrer une sensation de malaise.

Le remède de ce malaise est la ventilation, c'est un moyen capable de créer un micro climat de confort dans local donné en assurant certaines conditions dites conditions de confort.

### I.2. Le confort

C'est le maintien de la température d'un local entre des limites déterminées répond à trois objectifs distincts :

- Le confort thermique des occupants ;
- La conservation des biens abrités ;
- La conservation des bâtiments et de leurs installations.

Le confort est une notion subjective, ces conditions varient d'une personne à l'autre il permet de réaliser l'équilibre entre les occupants et l'air ambiant.

La zone de confort reste très personnelle puisqu'elle dépend des individus, de leur accoutumance et de leur état physiologique. Cependant l'influence des facteurs âge, sexe et appartenance à un groupe ethnique sur la sensation de confort reste faible

Toutefois, les définitions théoriques de confort s'accordent toutes sur l'importance du confort thermique [5].

## I.3. Que signifie confort thermique ?

### I.3.1. Confort thermique

Le confort thermique est une sensation liée à la chaleur qui est propre à chacun. En hiver, un bon confort thermique doit garantir une sensation suffisante de chaleur. En été, il doit limiter cette chaleur pour éviter les surchauffes.

Quels sont les différents critères qui influencent ce confort thermique et comment obtenir un « bon » confort thermique ?

Le confort thermique est traditionnellement lié à 6 paramètres [6] :

- 1) Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de  $36,7^{\circ}\text{C}$ . Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
- 2) L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- 3) La température ambiante de l'air  $T_a$ .
- 4) La température moyenne des parois  $T_p$ .
- 5) L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température  $t_a$  et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
- 6) La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas  $0,2\text{ m/s}$ .

À partir de ces paramètres cités ci-dessus on peut définir sur le diagramme de l'air humide des zones acceptables pour l'être humain qui lui donne une sensation de confort, dans la climatisation ces zones sont appelées champs de confort

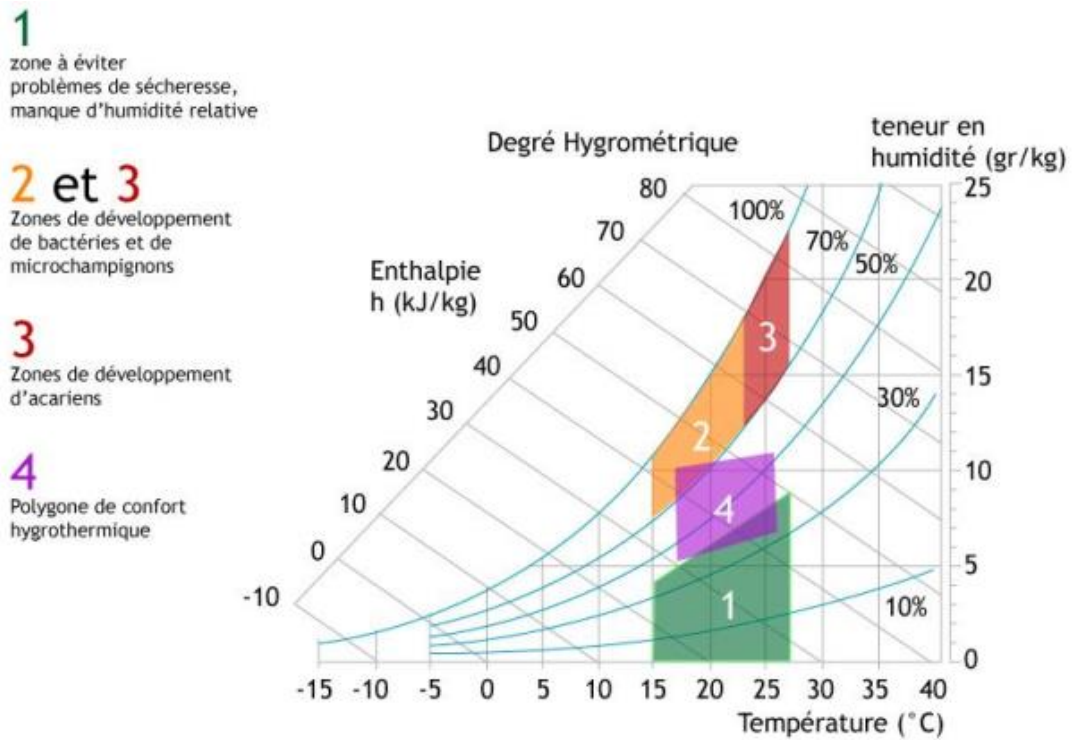


Figure I.1. Champs de confort dans le diagramme de l'air humide [7].

### I.3.2. Les paramètres affectant le confort thermique

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres :

- ✓ **Les paramètres physiques d'ambiance**, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air ;
- ✓ **Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples**, on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu ;
- ✓ **Les Paramètres liés aux gains thermiques internes**, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que système de chauffage. (Éclairages, appareils électriques, postes informatiques...) [8].

#### I.3.2.a. Paramètres liés à l'ambiance (Les paramètres objectifs)

##### a- La température de l'air ambiant

La température de l'air, ou température ambiante ( $T_a$ ), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas

uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe [8].

#### **b- La vitesse de l'air :**

La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s [9].

Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassant pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération. Elle peut, en revanche, être tenue pour responsable de l'apparition d'inconforts locaux, liés à la présence de courants d'air froids ou chauds localisés.

#### **c- L'humidité relative de l'air :**

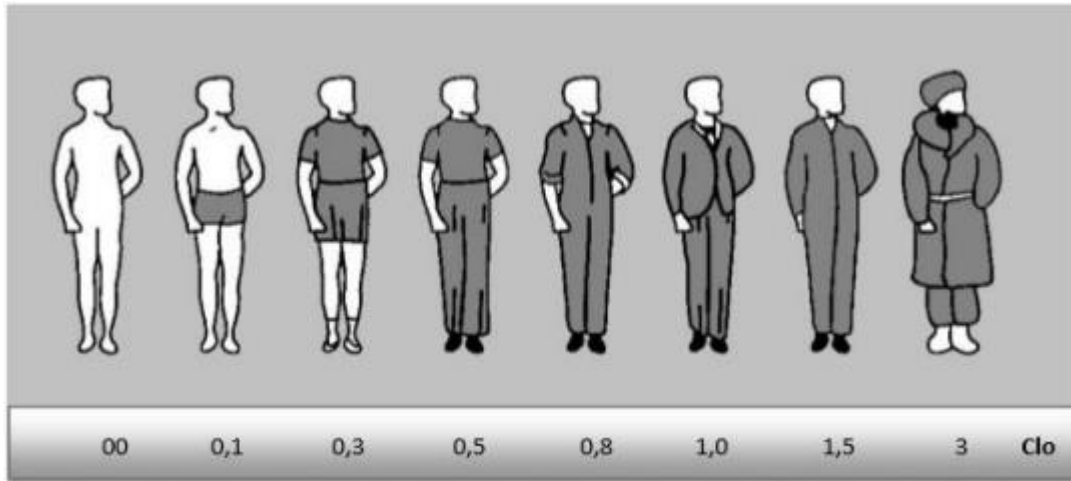
L'humidité relative de l'air influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur.

Selon Liébard A, entre 30% et 70%, l'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration, le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort [10].

### **I.3.2.b. Paramètres liés à l'individu (Les paramètres subjectifs)**

#### **a- La vêtue**

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimental, à travers leurs résistances thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.



**Figure I.2.** Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires [11].

La vêtue a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêtue, exprimé en Clo, caractérisant la résistance thermique d'un vêtement (figure I.2)

La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement [12].

#### **b- L'activité :**

L'activité est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu, définissant directement le métabolisme de l'individu, c'est-à-dire la quantité de chaleur produite par le corps humain. Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de conditions météorologiques très favorables. Il est à noter toutefois que, dans le cas d'une activité classique de bureau, les plages de variation du métabolisme demeurent limitées.

#### **I.3.2.c. Paramètres liés aux gains thermiques internes**

Le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes (figure I.3), on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'action architecturaux sont limités. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure [13].

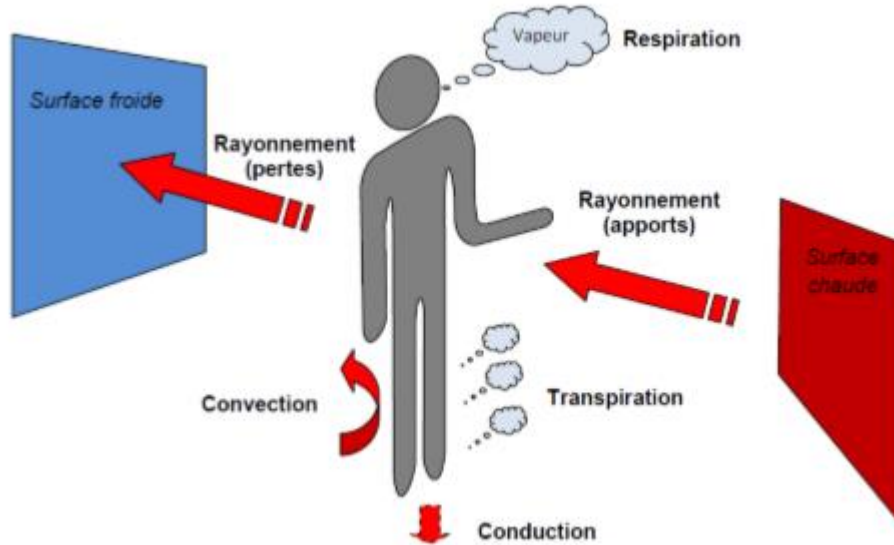


Figure I.3. Gains thermiques internes d'un espace [13].

## I.4. Les approches du confort thermique

### I.4.1. Les échanges thermiques du corps humain

Le corps humain en tant que système ouvert, est en interaction permanente avec son environnement via des échanges cutanés et respiratoires. La production de chaleur métabolique produite dans le corps peut être mise à profit d'une élévation de la température interne, ou bien être dissipée à l'extérieur.

Ces échanges thermiques suivent cinq modes différents qui sont : la conduction, la convection, le rayonnement, l'évaporation et la respiration.

#### I.4.1.a. Les échanges de chaleur par conduction

La conduction concerne l'échange de chaleur par contact direct entre certaines parties du corps et une surface de température différente (le sol, les parois ou le mobilier). Par exemple un matériau effusif plus froid que la peau, par contact « pompe » de la chaleur au corps humain en donnant une sensation de froid.

#### I.4.1.b. Les échanges de chaleur par convection

La convection est le transfert de chaleur entre la peau et l'air qui l'entoure. Elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée, peau ou vêtement. Si la température de la peau est supérieure à la température de l'air ; la peau va se refroidir. Dans le cas contraire, elle va se réchauffer.

#### **I.4.1.c. Les échanges de chaleur par rayonnement**

L'échange par rayonnement est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. Il s'agit principalement d'échanges, entre la surface du corps et les surfaces de la pièce. Ainsi, des inconforts froids peuvent être perçus par rayonnement à proximité des parois froides (exemple : mur mal isolé, fenêtre simple vitrage).

#### **I.4.1.d. Les échanges de chaleur par évaporation**

Nous distinguons deux types d'évaporation cutanée, à savoir perspiration et transpiration.

La perspiration est un phénomène d'évaporation diffusive continue liée à la présence permanente d'eau sur la peau. La quantité d'eau évaporée par perspiration est fonction des conditions hygrométriques de l'air ambiant, mais avoisine 11 g/h par m<sup>2</sup> de peau.

La transpiration (sudation) est un processus de régulation qui se déclenche dès lors que le corps n'est plus en équilibre thermique.

### **I.4.2. L'aspect psychologique du confort thermique**

Au-delà des aspects physiques et physiologiques du confort thermique, un certain nombre de phénomènes et de paramètres non thermiques apparaissent dans l'évaluation du confort thermique d'un occupant. La sensation que chacun peut avoir du confort dépend de nombreux paramètres intrinsèques à l'individu tels que l'âge, le sexe, le poids, la fatigue et l'état de santé, auxquelles s'ajoutent les facteurs socioculturels.

D'autres paramètres liés davantage à l'ambiance générale dans le local où se situe l'individu, comme la couleur par exemple, peut également influencer la perception du confort.

## **I.5. Importance de la ventilation**

Il est vital d'aérer nos maisons, le renouvellement d'air est un réapprovisionnement en oxygène qu'on épuise en respirant. L'atmosphère à l'intérieur de la maison se charge de dioxyde de carbone à chaque fois que l'oxygène diminue. Cette cumulation de dioxyde de carbone est la raréfaction d'oxygène, rendent l'air irrespirable et nécessitent une aération permanente par la ventilation. L'excès de CO<sub>2</sub> et le déficit en O<sub>2</sub>, est une source de malaise si ce n'est pas un danger pour les êtres vivants, comme c'est aussi une source probable de dysfonctionnement pour certains appareils ménagers.

Tout un confort est assuré par la ventilation, car elle ne se limite pas à l'apport d'air, Elle permet aussi d'éliminer pas mal de nuisances et de parasites. La cuisson et les bains produisent

une vapeur d'eau qui humidifie l'atmosphère de la maison. Cette humidité est aussi une source de nuisance donc la ventilation est la solution pour éviter cette condensation dans la cuisine et dans la salle des eaux et sur les ponts thermiques mal isolés.

La corrosion et les moisissures prolifèrent en milieu aqueux, ce qui entraîne une dégradation du logement et ses différents équipements, sur tous les endroits touchés par l'humidité que ce soit du bois ou d'autres matériaux métalliques mal protégés.

Ce genre de dégradation provoque des désagréments néfastes pour la santé, généralement il en résulte des maladies respiratoires, tel que l'asthme, et des allergies respiratoires.

Les allergènes sont aussi produits par les moisissures, leur présence dans un domicile augure une mauvaise santé des résidents.

En saison chaude, il est nécessaire de trouver le bon compromis pour une ventilation adéquate. Le renouvellement d'air ne doit pas se faire d'une manière aléatoire ; l'air frais de l'extérieur est un besoin, non seulement il améliore la qualité de l'air à l'intérieur de la maison, il a aussi l'avantage de favoriser le rafraîchissement du domicile. Tant que le bâtiment se refroidit dans cet échange d'air avec l'extérieur, il n'y a pas de raison pour s'inquiéter, dès que le processus inverse génère le réchauffement interne, il faut limiter le renouvellement d'air.

## **I.6. Ventilation**

La ventilation est le processus par lequel l'air intérieur est renouvelé par admission d'air neuf et par évacuation d'air vicié, à l'aide de moyens naturels ou mécaniques, dans le but d'assurer le confort des occupants. Les besoins en ventilation d'un bâtiment d'habitation donné sont conditionnés par de multiples facteurs, susceptibles de varier d'une habitation à l'autre. Les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur, le vent et les appareils qui évacuent ou introduisent de l'air sont autant de facteurs susceptibles d'influer sur la pression d'air d'une habitation, phénomène associé aux déplacements d'air à l'intérieur. Par ailleurs, les améliorations apportées aux méthodes de construction récentes des habitations les ont rendues plus étanches à l'air.

De même, un nombre grandissant de maisons existantes a fait l'objet d'améliorations au niveau de l'isolation, d'installation de fenêtres et de portes à haut rendement énergétique, etc.

Dans bon nombre de ces maisons, l'infiltration d'air par les portes et les fenêtres, ainsi que par les orifices de l'enveloppe, ne suffisent généralement plus à assurer une ventilation suffisante et

uniformément distribuée dans les pièces habitables de la maison. L'apport de la ventilation mécanique devient alors une mesure complémentaire envisageable.

La ventilation intérieure est une des facteurs très importante pour l'hygiène de l'homme et son bien-être. Elle a une influence directe sur le corps humain par l'effet physiologique de la pureté de l'air et de ses mouvements et indirecte par la température de l'air ambiant et son degré d'humidité [14].

Dans la littérature, la ventilation naturelle est définie comme étant le mouvement d'air qui s'effectue à travers un espace sans l'influence d'appareillage mécanique.

C'est l'action de produire une circulation ou un courant d'air et assurer sa répartition dans le milieu considéré. Elle est provoquée par la différence de pression entre deux orifices du gros œuvre dues aux mouvements du vent sur et autour de l'enveloppe et par la différence entre la température intérieure et celle extérieure [15].

### **I.6.1. Objectifs de ventilation**

Les installations de ventilation servent surtout à assurer l'hygiène des hommes et des animaux dans les locaux qu'ils occupent. Dans les habitations, les bureaux et les usine la ventilation assure les fonctions suivantes :

- Renouveler l'oxygène,
- Maintenir un équilibre de la concentration du gaz carbonique.
- Réduire la chaleur, les odeurs désagréables et l'humidité,
- Evacuer les fumées de cigarette (et autres industrielle).
- Evacuent les gaz contaminants et dangereux contenus dans l'air.

L'air atmosphérique contient environ 21% d'oxygène et des traces de gaz carbonique 0.03% mais l'air expiré par l'homme ne contient plus que 16% d'oxygène et 4% de gaz carbonique. Lorsqu'un appareil de chauffage à combustible (poêle, par exemple) est placé dans un local clos, les quantités de gaz carbonique et de monoxyde de carbone (CO) émises pourraient provoquées, à terme, l'asphyxie des occupants : la ventilation de la pièce est donc nécessaire.

## I.6.2. Les systèmes de ventilation

On présente dans ce paragraphe les principaux systèmes de ventilation mis en œuvre dans les maisons individuelles. On distingue en effet la ventilation naturelle, la ventilation mécanique. Ces systèmes de ventilation peuvent être asservis pour un meilleur contrôle des débits d'aération et des ambiances intérieures.

### I.6.2.a. 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...) [16]

La ventilation a pour vocation de faciliter l'aération des locaux en évacuant l'air vicié et en le renouvelant par l'air frais. Elle est assurée par des entrées d'air et des évacuations (conduits verticaux à tirage naturel). Ce système, fonctionne par tirage thermique naturel.

La ventilation naturelle reste une procédure difficilement contrôlable suite à ses inconvénients. La déperdition thermique en hiver est le problème majeur de ce type de ventilation. Le ventilateur récupérateur de la chaleur est considéré comme une solution pour récupérer les calories perdues. Son coût énergétique est très modéré.

Mais une ventilation judicieuse d'une construction répond à divers enjeux énergétiques du confort, de santé des occupants, mise en œuvre technique, de conception architecturale et de maintenance. L'utilisateur est un facteur déterminant lors d'une conception d'une ventilation naturelle et influence sur la qualité des résultats.

**NB** : On désigne par ventilation naturelle d'un espace tout procédé permettant une aération et un rafraîchissement passif des locaux, qui est en parfaite adéquation avec les problématiques de durabilité et de réduction des consommations énergétiques des bâtiments.

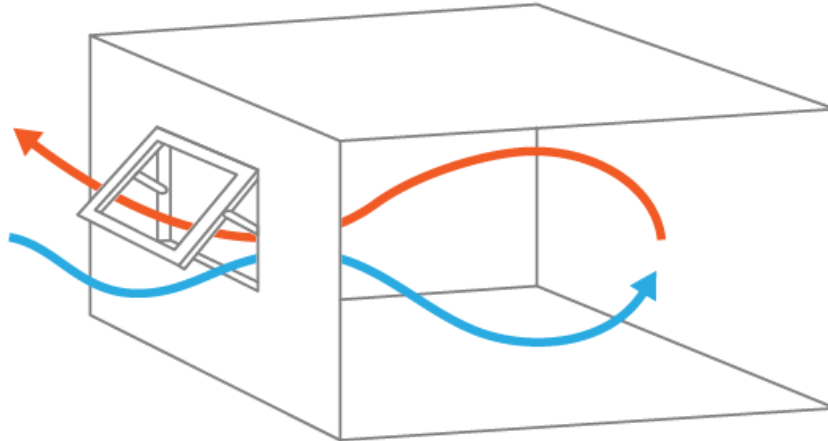
- ❖ **Ventiler** : apporter de l'air frais et évacuer l'air humide et vicié d'une pièce de façon permanente ;
- ❖ **Aérer** : est l'action de renouveler des quantités relativement importantes d'air, de manière non permanente, en ouvrant les portes et/ou les fenêtres.

### ↳ Les stratégies de la ventilation naturelle

Il existe plusieurs stratégies de la ventilation naturelle, les trois les plus importantes sont :

#### ✿ La ventilation par une seule façade

C'est le mode le plus simple de la ventilation naturelle dont l'air extérieur entre par une ouverture et sort de la même ouverture ou d'une autre ouverture sur la même façade.

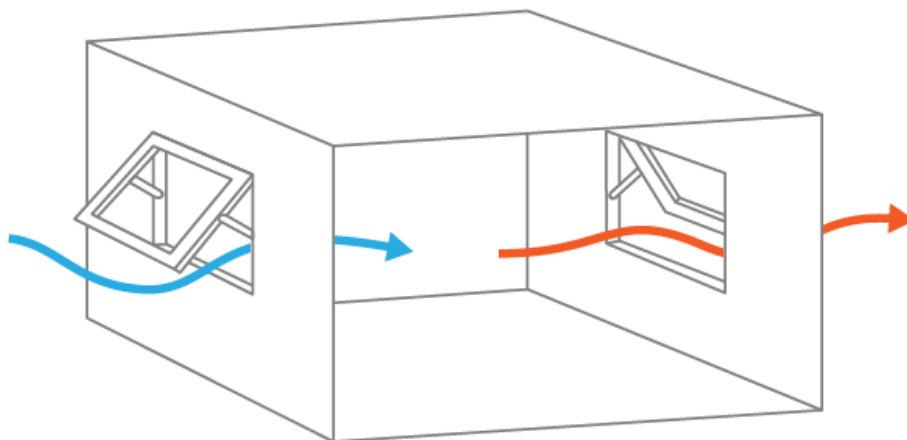


**Figure I.4.** ventilation par une seule façade [17].

Pour que cette stratégie soit efficace, il faut que la surface d'ouvrant corresponde à environ 1/20 de la surface du plancher à ventiler, la hauteur d'ouvrant d'au moins 1.5 m et la profondeur de la pièce à ventiler est à 2.5 fois la hauteur sous plafond [18].

#### ✿ La ventilation transversale

La ventilation transversale est la meilleure stratégie de la ventilation naturelle. Il s'agit d'un passage de l'air à travers deux ouvertures sur deux façades opposées dont une est disposée dans une zone de surpression alors que l'autre est dans une zone de dépression [15].

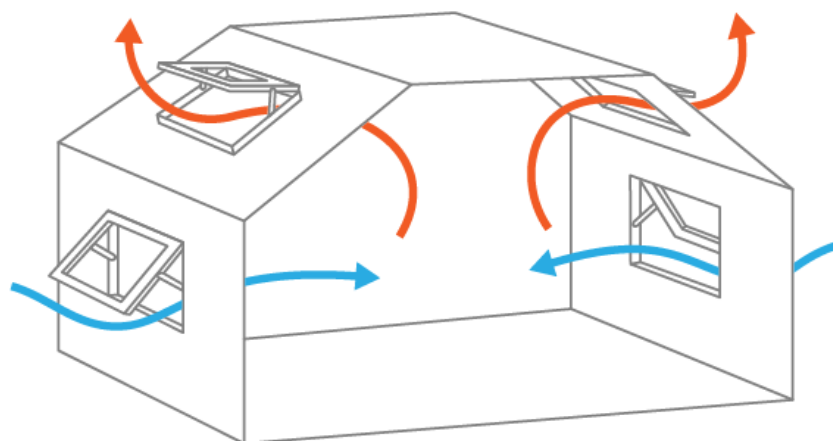


**Figure I.5.** Ventilation transversale [17].

Ce type de ventilation dépend de la vitesse de vent, c'est variable suivant le climat local, et l'absence des obstacles à l'intérieur de l'espace à ventiler. Malgré les avantages liés à cette stratégie de ventilation, il faut se protéger de ces inconvénients, la gêne de courant d'air et la déperdition thermique en hiver [15].

#### ✱ Le tirage thermique (effet de cheminée)

Lorsque la ventilation transversale n'est pas possible, la ventilation mono-façade n'est pas suffisante ou vu l'absence total du vent, il reste le tirage thermique pour bénéficier d'une ventilation naturelle avec le minimum des inconvénients. « Il résulte des forces ascensionnelles de masses d'air chauffées placées dans un environnement plus froid » [19].



**Figure I.6.** La ventilation par tirage thermique [17].

Il s'agit de la poussée d'Archimède "... l'air chaud à tendance à monter et l'air froid à descendre ». Ce principe repose sur la stratification de l'air chaud évacué par un orifice en haut des pièces humides en laissant une dépression en partie basse. Une entrée d'air neuf en bas des pièces principales permet à l'air extérieur neuf d'occuper le vide en traversant le logement. Cela permet d'assurer une ventilation naturelle.

Il est efficace en été (durant la nuit) car l'inertie thermique des bâtiments entretient souvent des écarts de température d'au moins 10 °C entre l'intérieur et l'extérieur [15].

La pression motrice causée par le tirage thermique est en rapport direct avec la hauteur du conduit de ventilation et avec la différence de la température entre l'intérieur et l'extérieur.

#### • Principe

Pour aérer un bâtiment, le moyen le plus simple est la ventilation naturelle, qui utilise la différence de pression entre l'intérieur de l'édifice, la façade exposée au vent et celle qui est à l'abri.

Cette différence de pression engendre une entrée d'air. Selon ce principe, la ventilation dans les locaux d'habitation ou les bureaux est généralement assurée par une perte d'air à travers de petits interstices dans les murs des bâtiments, en particulier autour des fenêtres et des portes. Pour aérer un local, on ménage une ouverture dans sa partie basse (en dépression) et dans sa partie haute (en surpression) : il y a appel d'air. Ainsi, si la température extérieure est inférieure à l'extérieur de la pièce, l'air pénètre par l'ouverture basse et sort par l'ouverture haute. Ce système de ventilation est parfois assuré par une série de conduits insérés dans les murs, terminés par des bouches d'aération et éventuellement équipés de filtres. Les ingénieurs estiment que, pour une ventilation adéquate, l'air d'une pièce doit être totalement renouvelé de deux à trois fois par heure. Pour assurer une telle ventilation, il est généralement nécessaire d'équiper les locaux de dispositifs mécaniques permettant d'augmenter le débit naturel de l'air. Il s'agit alors d'une ventilation forcée.

### **I.7. Quand les installations de ventilation sont-elles nécessaires ?**

Celle-ci est surtout importante pour l'homme. Les constructions, les conditions environnantes et les processus de travail actuels ne permettent pas toujours d'obtenir un climat ambiant acceptable avec une ventilation naturelle. Ainsi, par exemple, des installations de ventilation peuvent être nécessaires dans les cas suivants :

- En cas de bruits extérieurs très élevés ou d'air extérieur vicié.
- Dans des locaux dont la profondeur est supérieure à 6 m.
- Dans des locaux "aveugles", c'est-à-dire sans fenêtres.
- Dans des tours de bureaux.
- Dans des grands magasins.
- En cas de forte production calorifique interne.
- Pour évacuer des substances nocives (gaz, vapeurs), l'humidité ou des odeurs [20].

### **I.8. La ventilation mécanique**

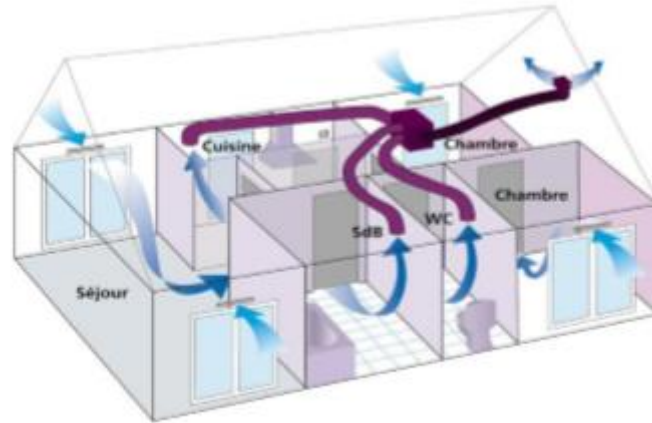
La ventilation mécanique désigne tout dispositif comportant au moins un équipement motorisé d'évacuation et/ou d'alimentation forcée d'air. Elle a pour rôle de faciliter l'aération des pièces en évacuant l'air vicié et/ou en le renouvelant par de l'air frais provenant de l'extérieur.

La plupart des auteurs font état de trois types de système, soit :

- Le système à simple extraction ;
- Le système à simple alimentation ;
- Le système équilibré, c'est-à-dire celui combinant alimentation et extraction.

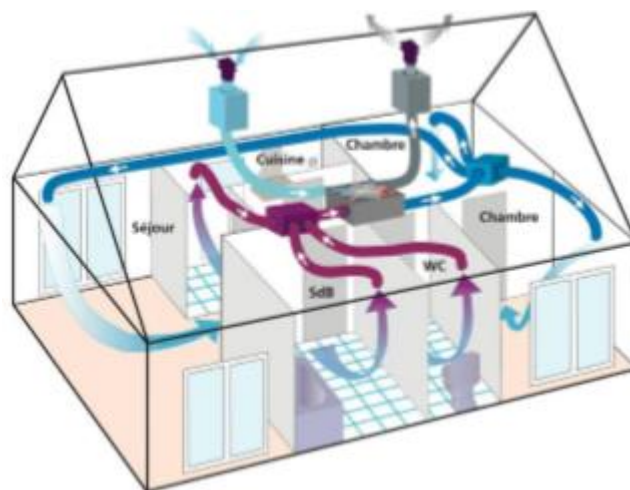
- **Le système (ou installation) à simple extraction**

Un ou plusieurs ventilateurs expulsent l'air, l'admission d'air de compensation étant assuré par les infiltrations ;



**Figure I.7.** Installation à simple extraction [21].

- **Le système (ou installation) à simple alimentation (ou système à simple admission) :** un ou plusieurs ventilateurs introduisent l'air neuf à l'intérieur de l'immeuble ou local, l'extraction d'air se faisant par les orifices de l'enveloppe du bâtiment ;
- **Le système combinant alimentation et extraction (ou système équilibré ou installation équilibrée) :** un ventilateur expulse l'air vicié et un autre ou le même ventilateur assure l'alimentation en air neuf ;



**Figure I.8.** Installation combinant alimentation et extraction [21].

Cependant, d'autres types de système ou d'installation peuvent s'y ajouter :

- **Le système sans moteur (ou passif)** : un ventilateur disposé sur le toit fonctionne grâce à l'effet du vent ainsi qu'à l'effet de cheminée. Aujourd'hui, ce système n'est cependant utilisé que pour la ventilation du vide sous toit (entre toit ou comble), n'assurant donc pas la ventilation des espaces habitables ; ... et, plus récemment ;
- **Le système hybride** : technologie en développement, ce principe comprend deux systèmes de ventilation auto nomes, qui permettent de combiner les forces motrices naturelles (tirage thermique et pression éolienne) et mécaniques.

### **I.8.1. La ventilation mécanique contrôlée simple flux**

La ventilation mécanique consiste à recourir à des systèmes mécaniques pour apporter et/ou extraire l'air des bâtiments. On distingue différents systèmes de ventilation mécanique simple flux [22].

#### **I.8.1.a. La VMC simple flux par extraction**

On utilise des entrées d'air naturelles (fixes ou auto-réglables) dans les pièces principales pour l'arrivée de l'air et des bouches d'extraction mécanique dans les pièces de service d'où l'air vicié est évacué au moyen d'un ventilateur généralement central. 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 [23]. Il nécessite en revanche un dimensionnement et une mise en œuvre adéquats ainsi qu'une maintenance régulière.

La ventilation mécanique par extraction permet d'extraire les polluants à la source d'émission, généralement située dans les pièces de service. Le logement est mis en dépression par rapport à l'extérieur, réduisant ainsi les transferts d'humidité à travers les parois. Toutefois cette dépression accroît les infiltrations et le risque d'intrusion des polluants extérieurs et du sol.

La VMC simple flux par extraction constitue le système de base de la réglementation en matière de ventilation des logements.

#### **I.8.1.b. La ventilation mécanique par soufflage seul**

L'air neuf est mécaniquement insufflé dans les pièces principales. L'air vicié est évacué par des bouches d'extraction naturelles dans les pièces de service et à travers les défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Ce système met le bâtiment en surpression par rapport à l'extérieur et limite ainsi le transfert des polluants de l'air extérieur et les infiltrations d'air par les défauts d'étanchéités. Il présente également l'intérêt de permettre le filtrage et le préchauffage de l'air neuf avant sa distribution dans les pièces.

En revanche, la ventilation mécanique par soufflage est généralement considérée comme étant inapproprié à l'usage résidentiel où son utilisation reste assez rare. En effet, la surpression augmente les risques de transfert de l'humidité et de condensation dans les parois, mettant ainsi en danger la pérennité de la structure du bâti. De plus, le soufflage seul ne permet pas d'extraire les polluants à la source d'émission [22].

### **I.8.1.c. La ventilation mécanique répartie (VMR)**

Dans ce système, l'air vicié est extrait dans les pièces de service par des ventilateurs individuels fonctionnant en continu ou commandés par hygrostat. Ces ventilateurs sont soit montés en façade, soit dotés d'un conduit individuel de rejet d'air. L'air neuf entre dans le bâtiment via des entrées d'air auto-réglables.

## **I.8.2. La VMC double flux**

### **I.8.2.a. La ventilation mécanique double flux centralisée**

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.

Ce dispositif permet une meilleure maîtrise des débits d'air neuf insufflés dans les pièces principales, ainsi que des risques de courants d'air froid par la possibilité de préchauffage de l'air neuf. La VMC double flux peut en effet intégrer un récupérateur de chaleur sur l'air extrait en vue du préchauffage de l'air neuf insufflé. Son utilisation est par conséquent répandue dans les pays froids. Il présente également l'avantage de permettre le filtrage de l'air neuf avant sa distribution dans les pièces. Les polluants sont en outre extraits à la source.

L'équilibre du système, c'est-à-dire entre le débit total extrait et le débit total insufflé, reste un atout majeur pour l'efficacité du système. Si le système est équilibré, son influence sur les infiltrations et/ou exfiltrations reste limitée [24]. En revanche, en cas de déséquilibre, une légère dépression dans le bâtiment est favorable à l'extraction des polluants et empêche l'humidité de pénétrer la structure du bâti, mais présente l'inconvénient de favoriser les infiltrations [25]. En cas de surpression, les risques sont similaires à ceux d'un système à insufflation seule.

En plus, une très bonne étanchéité de l'enveloppe est requise afin de réduire les infiltrations d'air et de garantir l'efficacité du système. Ce système nécessite toutefois une maintenance régulière, en particulier par le désencrassement des filtres à particules et des plaques de l'échangeur de

chaleur, pour assurer une bonne qualité de l'air soufflé et les performances énergétiques du système

### **I.8.2.b. La VMC double flux par pièces séparées**

Elle se compose d'un ventilateur double flux individuel doté d'un échangeur de chaleur et monté en façade de chaque pièce principale. Un système identique ou un système d'extraction simple peut être installé dans les pièces de service. Dans le cas d'une extraction simple dans les pièces de service, ces dernières doivent être dotées d'orifices haut et bas pour l'arrivée de l'air neuf en vue de l'équilibre des débits d'air dans le bâtiment [22].

### **I.8.2.c. La ventilation mécanique ponctuelle (VMP)**

La ventilation mécanique « ponctuelle » double flux (VMP double flux) est une stratégie qui allie deux systèmes de ventilation que sont la VMC simple flux et la VMC double flux. Cette stratégie permet de créer un « déséquilibre » au sein du logement. Elle consiste à mettre en œuvre d'une part un système double flux dans un local à savoir l'insufflation d'air neuf et l'extraction d'air vicié du même local. D'autre part on réalise la VMC simple flux dans le reste du logement, c'est-à-dire des entrées d'air dans les pièces de vie et une extraction mécanique dans les pièces de service [22].

## **I.9. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe ventilation naturelle et ces différents types afin de justifier le choix des constructeur et chercheurs de se converti vers l'utilisation de cette technique de ventilation qui permettre à la fois d'assurer un bon confort thermique et à diminuer la consommation énergétique.

## Chapitre II: Le bilan thermique

### II.1. Introduction

Ce chapitre est dédié à calculer le bilan thermique à l'aide d'un document qui est nommé DTR. Ce dernier est un document technique réglementaire qui a pour objet de fixer les méthodes de détermination des apports calorifique et des déperditions thermique, vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été et d'hiver des bâtiments. Les informations présentées ci-dessous ont été essentiellement prises de la référence [26].

### II.2. Données du projet d'étude

Notre travail de fin d'étude porte sur la ventilation d'un appartement situé à Tigzirt wilaya de TIZI OUZOU, les données nécessaires pour réaliser l'étude de ce projet sont regroupées de la façon suivante :

- Données climatique du lieu
- Données géométriques et emplacements de l'appartement
- Données des matériaux de construction de l'appartement

La méthode et les données normatives (nom nationale) sur laquelle on réalise notre étude est globalement basée sur les deux documents techniques suivants :

DTR C3-2 : Documents Technique Règlementaire, il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermique des logements pour le problème d'hiver

DTR C 3-4 : Documents Technique Règlementaire, il prendra en compte les méthodes des calculs relatifs aux problèmes d'été telle que : les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments et les méthodes de vérification de conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments.

Ces documents avec d'autres très important brochures sont réalisées par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment de la minière de l'habitat ....

#### II.2.1. Données climatiques

##### II.2.1.a. La région climatique

Les zones climatiques considérer dans la DTR C3-4 sont les suivantes :

Zone A : Comprend le rivage de la mer et parfois le versant Nord des chaines côtières.

Zone B : Comprend la plaine dernier le rivage de la mer vallées entre les chaine côtières et l'atlas tellien ; au sein de cette zone, on distingue une sous-zone B'

Zone C : Comprend les Haut-plateaux compris entre l'atlas tellien et l'atlas Saharien

- Zone D : Comprend le Sahara au sein de laquelle on distingue une sous-zone D' Le tableau suivant définit les climatiques en fonction de l'altitude du lieu.

L'altitude de la ville de Tigzirt, lieu où se trouve la maison à étudier est environ 150 m au-dessus de la mer, donc elle appartient à la Zone climatique A.

EAT est la différence de température entre la température de base « été » et la température de base « hiver ».

La température intérieure de base choisie pour l'appartement est 21°C. Cette valeur de température inclus dans le champ de confort, elle est obtenue du document DTR C3- 4.

### II.2.1.b. Données géométriques et emplacements de l'appartement

L'immeuble choisi est une maison de type F3 d'une surface totale 70.07 m<sup>2</sup>, elle est composé d'une salle de séjour, 2 chambres, cuisine, salle de bains et WC.

### II.2.1.c. Données des matériaux de construction de l'appartement

#### a- Les fenêtres

Le coefficient global de surface vitrée :  $kv = 5 \text{ W/m}^2$

**Tableau II.1.** Dimensions des fenêtres.

Longueur (m)	1.40	2.00
Largeur (m)	1.20	1.50
Surface (m <sup>2</sup> )	1.68	3.00

#### b- Les portes

Le coefficient global :  $k=5.8\text{w/m}^2\text{°C}$ .

Longueur : 2.10 m,      Largeur : 1 m,      Surface : 2.10 m<sup>2</sup>

#### c- Les murs

Le coefficient global est donné par :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \left( \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\alpha_i} \right) + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{II.1})$$

Où

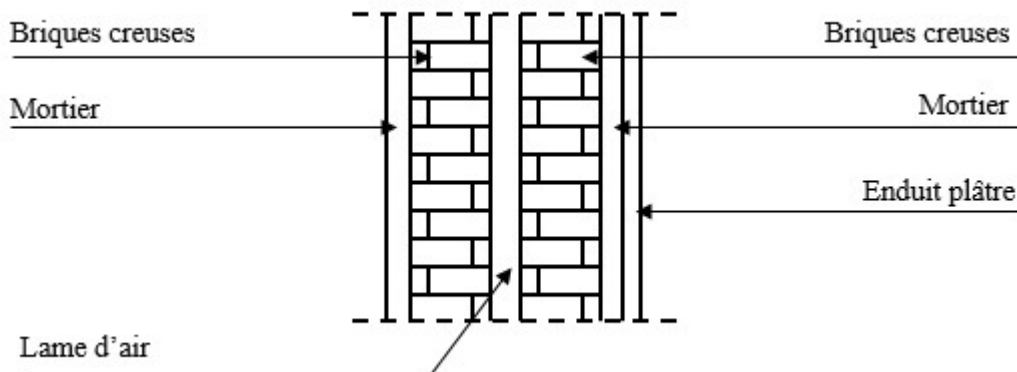
-  $h_i$  : Le coefficient superficiel de transmission par convection interne en [Kcal/hm<sup>2</sup>°C]

-  $h_e$  : Le coefficient superficiel de transmission par convection externe en [Kcal/hm<sup>2</sup>°C]

- $e_i$  : Épaisseur de chaque couche de paroi en [m]
- $\alpha_i$  : Coefficient de conductivité thermique en thermique en [Kcal/hm<sup>2</sup>°C]

Les coefficients K<sub>vn</sub> des vitrages nus sont donnés dans le tableau suivant :

- **Types de murs extérieurs**



**Figure II.1.** Composant des murs extérieurs.

### II.3. Calcul du bilan thermique de l'appartement en été

Le calcul réglementaire est mené en faisant l'hypothèse que les locaux concernés sont conditionnés (même si ces locaux n'ont pas été prévus pour l'être). Cette hypothèse est adoptée aussi pour le calcul des apports calorifiques d'un local, pour le calcul des apports calorifiques effectifs et pour la détermination de la puissance frigorifique.

Les conditions intérieures du local conditionné sont considérées constantes. Les apports de chaleur par les parois opaques extérieures tiennent compte de la différence de température entre les faces des parois, de l'ensoleillement, de l'amortissement et du déphasage dans la paroi du flux de chaleur induit.

Les apports de chaleur par ensoleillement dus aux parois vitrées, ainsi que les gains internes, sont calculés en considérant qu'une partie de ces gains est amortie par les parois opaques internes et externes. On considère le régime permanent pour déterminer les apports calorifiques à travers les parois intérieures.

#### II.3.1. Apports de chaleur extérieurs

Les apports calorifiques sensibles  $A_s$  et latents  $A_l$  sont donnés par :

$$A_s = A_{PO} + A_V + A_{I_s} + A_{INF_s} \quad [W] \quad (II.2)$$

$$A_I = AI_1 + AINF_1 \quad [W] \quad (II.3)$$

où :

- APO (en W) représente les apports par les parois opaques
- AV (en W) représente les apports à travers les parois vitrées
- AI<sub>s</sub> et AI<sub>l</sub> (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports internes
- AINF<sub>s</sub> et AINF<sub>l</sub> (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air.

### II.3.1.a. Apports à travers les parois opaques

Les apports de chaleur à travers une paroi opaque à un instant t, APO(t), sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = 1.2 \times K_{été} \times Sint \times \Delta te(t) [W] \quad (II.4)$$

Où :

- 1.2 (sans dimension) est un coefficient majorateur tenant compte des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques),
- K<sub>été</sub> (en W/m<sup>2</sup>.°C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été DTR3-2. La formule de K<sub>été</sub> est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{1}{K_{été}} = \sum R + 1/h_i + 1/h_e \quad (II.5)$$

- Sint (en m<sup>2</sup>) est la surface intérieure totale de la paroi considérée ; pour les toitures en pente, on prendra la projection horizontale de la surface,
- Δte(t) (en °C) est la différence équivalente de température à l'heure t. La différence de température équivalente Δte(t) est donnée par :

1) Pour la paroi ensoleillée :

$$\Delta t(t) = \Delta tes(t) + C\Delta te + \frac{\alpha}{0.9} [\Delta tem(t) - \Delta tes(t)] \frac{I_{t,b}}{I_{t,b(40)}} \quad [^{\circ}C] \quad (II.6)$$

2) Pour la paroi à l'ombre 24 h / 24 :

$$\Delta te(t) = \Delta tes(t) + C\Delta te \quad [^{\circ}C] \quad (II.7)$$

- Δtes(t) (en °C) est la différence de température équivalente à l'heure t en considérant que la paroi est à l'ombre ; les valeurs de Δtes(t). Pour les parois verticales, et par le tableau 3.3 pour les parois horizontales.

- $C_{\Delta t_e}$  (en  $^{\circ}\text{C}$ ) est un facteur de correction dû, d'une part, à la différence maximale  $\Delta T_{S \max}$  de la température sèche de l'air entre l'extérieur et l'intérieur pour le mois considéré, et d'autre part, à l'écart diurne de base  $E_b$  pour le mois considéré.
- $\alpha$  est le facteur d'absorption de la paroi.
- $\Delta t_{em}(t)$  (en  $^{\circ}\text{C}$ ) est la différence équivalente de température à l'heure  $t$  pour l'orientation de la paroi considérée ; les valeurs de  $\Delta t_{em}(t)$  sont données par le tableau pour les parois verticales, et par le tableau 3.3 pour les parois horizontales.
- $I_{t,b}$  (en  $\text{W}/\text{m}^2$ ) est le rayonnement total de base pour le mois, la latitude et l'orientation considérés.
- $I_{t,b}(40)$  (en  $\text{W}/\text{m}^2$ ) est le rayonnement total de base pour le mois de Juillet, la latitude  $40^{\circ}$  Nord et pour l'orientation considérée.
- Pour le facteur d'absorption  $\alpha$  de la paroi face extérieure de couleur claire (blanc, crème),  $\alpha=0,5$  et  $E_b = 20^{\circ}\text{C}$ .

### II.3.1.b. Apports à travers les parois vitrées

Les apports à travers les parois vitrées intérieures AVT (t) sont dus uniquement à la différence de température de part et d'autre de la paroi. Ils sont donnés par :

$$AVT(t) = K_{été} \times S_{ouv} \times [(TS_e(t) - C_{inc}) - TS_{b,i}] \quad [\text{W}] \quad (\text{II.8})$$

Où :

- $K_{été}$  (en  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée.
- $S_{ouv}$  (en  $\text{m}^2$ ) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque,
- $TS_e(t)$  (en  $^{\circ}\text{C}$ ) est la température extérieure sèche à l'heure  $t$ .
- $C_{inc}$  est un coefficient correcteur.
- $TS_{b,i}$  (en  $^{\circ}\text{C}$ ) est la température intérieure sèche de base pour le local considéré.

a) - Les gains à travers les parois vitrées extérieures AV (t) sont donnés par :

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t) \quad (\text{II.9})$$

Où :

- AVT (t) (en W) représente les gains dus au gradient de température à travers les parois vitrées. Ils sont donnés par :

$$AVT(t) = 1.2 \times K_{été} \times S_{ouv} \times [TS_e(t) - TS_{b,i}] \quad (\text{II.10})$$

- AVE (t) (en W) représente les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées. Ils sont donnés par l'équation suivante :

$$AVE(t) = [SV_{ens} \times I_t + (SV - SV_{ens}) \times I_d] \times FS \times N_{PVI}(t) \quad [\text{W}] \quad (\text{II.11})$$

Où :

- 1.2 (sans dimension) est un coefficient majorateur tenant compte des apports à travers les ponts thermiques.
- Kété (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée.
- Souv (en  $m^2$ ) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque.
- TSe (t) (en  $^\circ C$ ) est la température extérieure sèche à l'heure t.
- TSb,i (en  $^\circ C$ ) est la température intérieure de base.
- SV (en  $m^2$ ) est la surface totale vitrée.
- SVens (en  $m^2$ ) est la surface vitrée ensoleillée.
- SV - SVens (en  $m^2$ ) est la surface vitrée à l'ombre.
- It (en  $W/m^2$ ) est le rayonnement total maximal réel.
- Id (en  $W/m^2$ ) est le rayonnement diffus maximal réel.
- NPVI (t) représente le coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement à travers les parois vitrées à l'heure t considérée.
- FS est le facteur solaire du vitrage.

### II.3.1.c. Apports de chaleur internes

Les apports de chaleur internes  $AI(t)$  à l'instant t sont donnés par la formule :

$$AI(t) = \sum_j (CS_j \times AI_{s,j} \times N_{AI,j}) + \left( \sum (CS_j \times AI_{l,j}) \right) \quad [W] \quad (II.7)$$

Où

- $AI_{s,j}$  (en W) représente la partie sensible de l'apport interne j.
- $AI_{l,j}$  (en W) représente la partie latente de l'apport interne j.
- $CS_j$  est le coefficient de simultanéité relatif à l'apport interne j.
- $N_{AI,j}$  est le coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne j.

## II.4. Application

Le calcul est effectué pour l'ensemble du local (supposé conditionner) à 15 h TSV, pour le mois de Juillet. Le calcul consiste à déterminer les paramètres suivants :

- Calcul des apports par les parois opaques extérieures (APO(t)).
- Calcul des apports par les parois vitrées (AV(t)).
- Calcul des charges internes et externes du local.
- Vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des locaux.

### II.4.1. Données relatives au site

Le projet est un logement d'une superficie de 70,07m<sup>2</sup>, implanté à TIGZIRT.

➤ Les paramètres géographiques sont :

- Altitude : 150 m.
- Latitude : 36°EST 04° Nord.
- Orientation du local : Nord

➤ Les paramètres thermiques de base sont :

- Zone climatique « A », Alt < 500 m.

➤ Les conditions de base extérieures :

- La température de base extérieure sèche : Tsbe = 34°C
- L'écart annuel de température EAT = 31°C.
- L'écart diurne Eb = 9°C.
- Humidité spécifique : HS<sub>b,e</sub> = 14.5 gvap/kgas.

➤ Les conditions de base intérieures :

- La température intérieure : Ti = 24°C.
- L'humidité relative intérieure : Hri = 45%.
- Humidité spécifique : g = 11 g/kg.

### II.4.2. Calcul du coefficient global de transmission

➤ *Calcul des résistances thermiques (R)*

- Mortier e = 0.02 m et λ = 1.4 W/m. °C

$$R = e / \lambda = 0.02 / 1.4 = 0.014 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- Brique e = 0.1 m et λ = 0.65 W/m. °C

$$R = e / \lambda = 0.1 / 0.65 = 0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- lame d'air e = 0.05 m et λ = 0.26 W/m. °C

$$R = e / \lambda = 0.05 / 0.26 = 0.19 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- Brique  $e = 0.1$  m et  $\lambda = 0.65$  W/m.°C

$$R = e / \lambda = 0.1 / 0.65 = 0.15 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- mortier  $e = 0.01$  m et  $\lambda = 1.4$  W/m.°C

$$R = e / \lambda = 0.01 / 1.4 = 0.007 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- plâtre  $e = 0.01$  m,  $\lambda = 0,35$  W/m.°C

$$R = e / \lambda = 0.01 / 0.35 = 0.03 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

La résistance superficielle est donnée par :

$$1/h_e + 1/h_i = 0.14 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Le coefficient global de transmission peut être calculé alors en utilisant la formule donnée par l'équation (II.5), comme suit :

$$1/K = [(0.014 + 0.15 + 0.19 + 0.15 + 0.007 + 0.03 + 0.14)] = 0.69 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} .$$

$$K = 1.45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}.$$

**Tableau II.2.** Coefficient de transmission.

Désignation	Composition	e (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	1/h <sub>i</sub> +1/h <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	1/K (m <sup>2</sup> °C/W)	K (W/m <sup>2</sup> °C)
Mur	Mortier	0.02	1.4	0.014	0.14	0.69	1.45
	Brique	0.1	0.65	0.15			
	Lame d'air	0.05	0.26	0.19			
	Brique	0.1	0.65	0.15			
	Mortier	0.01	1.4	0.007			
	Plâtre	0.01	0.35	0.03			
Porte					5.8		
Fenêtre					5.8		

## II.5. Etude de local

Cette partie est consacrée à l'exposition des résultats obtenus en fonction de l'exécution des calculs mentionnés précédemment sur les murs du salon et le résumé des résultats obtenus dans les autres pièces locales est présenté dans l'annexe B.

### II.5.1. Séjour

#### a) Mur est

- *Apports à travers les parois opaques*

$$APO(t) = 1.2 \times K_{\text{été}} \times S_{\text{int}} \times \Delta T_{\text{E}}(t)$$

$$\Delta t_{\text{e}}(t) = \Delta t_{\text{es}}(t) + C\Delta t_{\text{e}} + \frac{\alpha}{0.9} \times [\Delta t_{\text{em}}(t) - \Delta t_{\text{es}}(t)] \times \frac{I_{\text{t,b}}}{I_{\text{t,b}}(40)}$$

$$\Delta t_{\text{e}}(t) = 7.2 + 2.6 + 1 \times (-7.2) \times 1$$

$$\Delta t_{\text{e}}(t) = 2.6 \text{ °C}$$

$$S_{\text{int}} = 13.72 \text{ m}^2 \quad .K_{\text{été}} = 1.45 \text{ W/K}^{\circ}\text{m}^2 \quad E_{\text{b}} = 9 \text{ °C C} \quad C\Delta t_{\text{e}} = 2.6 \text{ °C}$$

$$\Delta t_{\text{em}}(15\text{h}) = 0 \text{ °C} \quad \Delta t_{\text{es}}(15\text{h}) = 7.2 \text{ °C.} \quad I_{\text{t,b}} = 516 \text{ W/m}^2 \quad I_{\text{t,b}}(40) = 516 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$APO(15\text{h}) = 62.07 \text{ W}$$

$$APO(\text{sol}) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV(t))*

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t)$$

$$AV(t) = 0 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT(t))*

$$S_{\text{ouv}} = 0 \text{ m}^2 ;$$

$$AVT(15\text{h}) = 0 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE(t))*

$$AVE(15\text{h}) = 0 \text{ W}$$

- *Apports de chaleur par introduction d'air extérieur*

$$\text{ARENS}(t) = 0,320 \times Q_{\text{van}} \times (T_{\text{se}}(t) - T_{\text{sb},i})$$

$$\text{ARENL}(t) = 0,797 \times Q_{\text{van}} \times \text{Max} [(H_{\text{sb},e} - H_{\text{sb},i}); 0]$$

Pour un nombre d'occupants : N= 4 personnes,

$Q_{\text{van min}} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$  et par occupant

$$\text{ARENS}(15\text{h}) = 0,320 \times (4 \times 25) \times (34 - 24)$$

$$\text{ARENS}(15\text{h}) = 320 \text{ W}$$

$$\text{ARENL}(t) = 0.797 \times 100 \times \text{Max} [(14.5 - 11), 0]$$

$$\text{ARENL}(t) = 278.94 \text{ W}$$

**Tableau II.3.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	4	3.93	100	10	320	3.5	278.94

- *Apports dus aux infiltrations d'air*

$$\text{AINFS}(t) = 0.320 \times Q_{\text{vinf}} \times (T_{\text{se}}(t) - T_{\text{sb},i})$$

$$\text{AINFL}(t) = 0.797 \times Q_{\text{vinf}} \times \text{Max} [(H_{\text{sb},e}(t) - H_{\text{sb},i}); 0]$$

$$\text{Souv} = 0 \text{ m}^2.$$

$$Q_{\text{v inf}} = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{AINFS}(t) = 0 \text{ W}$$

$$\text{AINFL}(t) = 0 \text{ W}$$

**Tableau II.4.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFS (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	4	0	0	10	0	3.5	0

- *Apports internes*

$$AI(t) = \sum_j (Cs_j \times AIs_j \times NAI_j) + \sum_j (CS_j \times AIL_j) \quad (II.8)$$

**Tableau II.5.** Apports internes.

Chambre I	Asoc	Asm	Ase	AIs	AIL
Mur NORD	134.9	71.25	36	242.15	120

- *Apport de chaleur par les occupants*

$$A_{soc} = C_{so} \times A_{iso} \times NAI_o$$

$$A_{Loc} = C_{so} \times A_{Lo}$$

Avec:  $A_{is} = 71$  (W/personne)     $A_{Lo} = 60$  (W/personne)     $C_{so} = 0.5$      $NAI_o = 0.95$

$$A_{soc} = 4 \times 0.5 \times 71 \times 0.95$$

$$A_{soc} = 134.9W$$

$$A_{Loc} = 4 \times 60 \times 0.5$$

$$A_{Loc} = 120 W$$

**Tableau II.6.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	A <sub>soc</sub> (W)	A <sub>Loc</sub> (W)	A <sub>Loc</sub> (W)	Aoc totale
Logement	4	71	0.5	0.95	134.9	60	120	254.9

- *Apports dus aux machines et appareillages*

$$A_{sm} = C_{sm} \times A_{ism} \times NAI_m$$

$$A_{lm} = C_{sm} \times A_{Lm}$$

Machine :

Télévision ( $A_{ism} = 150W$ /télévision et  $A_{ilm} = 0W$ / télévision)

$$A_{Ll} = W$$

$$A_{Is} = 71.25 W$$

**Tableau II.7.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Television	1	150	0.5	0.95	71.25	0	71.25

- **Apports dus aux éclairages**

$$A_{Ise} = \Sigma (W_n \times C_{me} \times C_{cr})$$

Lampes à incandescence :  $W_n = 25 \text{ W/m}^2$ ,  $C_{cr} = 0.6$ ,  $C_{me} = 1.2$   $N = 2$

$$A_{Ise} = 2 \times 25 \times 1.2 \times 0.6$$

$$A_{Ise} = 36 \text{ W}$$

**Tableau II.8.** Apports dus aux Eclairage.

Local	N	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	2	25	1.2	0.6	36

- **Les apports sensibles**

$$A_s = A_{PO} + A_V + A_{Is} + A_{INFs}$$

$$A_s = 304.15 \text{ W}$$

**Tableau II.9.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	62.07	0	242.15	0	304.15

- **Les apports latents**

$$A_l = 120 \text{ W}$$

- **Les apports effectifs**

$$A_{Es} = (C_{Das} \times A_s) + (BF \times A_{RENS})$$

$$A_{Es} = (1.05 \times 304.15) + (0.4 \times 320)$$

$$A_{Es} = 447.2$$

**Tableau II.10.** Les apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENS	AEs

Logement	1.05	304.15	0.4	320	447.2
----------	------	--------	-----	-----	-------

$$AEI = (C_{Dal} \times AI) + (BF \times ARENI)$$

$$AE_L = (1.05 \times 120) + (0.4 \times 278.94)$$

$$AEI = 237.57 \text{ W}$$

**Tableau II.11.** Les apports effectifs latents.

Local	CPas	AI	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	120	0.4	278.94	237.57

- **Les apports totaux**

$$ATs = (C_{Das} \times As) + ARENs$$

$$ATs = 650.75 \text{ W}$$

- ✓ **Vérification réglementaire**

- $APO (15 \text{ h}) + AV (15 \text{ h}) \leq 1,05 \times Aréf (15 \text{ h}) (W)$

Avec :

$$Aréf = Aréf,PH + Aréf,PV + Aréf,PVI (W)$$

- $Aréf_{réf,PV} = \Sigma (c \times Sint \times \Delta TS_{réf,PV})$

$$Aréf_{réf,PV} = \Sigma (1.2 \times 13.72 \times 5.89)$$

$$Aréf_{réf,PV} = 96.97 \text{ W}$$

- $A_{réf,PVI} = AVE_{réf} + AVT_{réf} \quad [W]$

$$AVE = [SVens It + (SV - SVens) Id]FS N PVI,réf$$

$$AVE (15h) = 0 \text{ W}$$

- $AVT = e \times Souv \times \Delta TS_{réf,PVI}$

$$AVT(15h) = 0 \text{ W}$$

D'où :

- $Aréf = Aréf, PH + Aréf, PV + Aréf, PVI$

$$Aréf = 0 + 96.97 + (0+0)$$

$$A_{\text{réf}} = 96.97 \text{ W}$$

$$1,05 \times A_{\text{réf}} (15 \text{ h}) = 101.82 \text{ W}$$

- $A_{\text{PO}} (15\text{h}) + A_{\text{V}} (15\text{h}) = 62.07 \text{ W}$

D'où  $A_{\text{PO}} (15 \text{ h}) + A_{\text{V}} (15 \text{ h}) \leq 1,05 \times A_{\text{réf}} (15 \text{ h})$  Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

### b) Mur SUD

- *Apports à travers les parois opaques*

$$A_{\text{PO}}(t) = 1.2 \times K_{\text{été}} \times S_{\text{int}} \times \Delta T_{\text{E}}(t)$$

$$\Delta T_{\text{E}}(t) = \Delta t_{\text{es}}(t) + C\Delta t_{\text{e}} + \frac{\alpha}{0.9} \times [\Delta T_{\text{em}}(t) - \Delta t_{\text{es}}(t)] \times \frac{I_{\text{t,b}}}{I_{\text{t,b}}(40)}$$

$$\Delta T_{\text{E}}(t) = 13.9 + 2.6 - 1 \times 13.9 \times 0.71$$

$$\Delta T_{\text{E}}(t) = 6.53^\circ\text{C}$$

$$S_{\text{int}} = 6.94 \text{ m}^2 \quad .K_{\text{été}} = 1.45 \text{ W/K}^\circ\text{m}^2 \quad E_{\text{b}} = 9^\circ\text{C} \quad C\Delta t_{\text{e}} = 2.6^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{em}} (15 \text{ h}) = 0^\circ\text{C} \quad \Delta t_{\text{es}} (15\text{h}) = 13.9^\circ\text{C}. \quad I_{\text{t,b}} = 155.5 \text{ W/m}^2 \quad I_{\text{t,b}} (40) = 217 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'où

$$A_{\text{PO}} (15\text{h}) = 78.85 \text{ W}$$

$$A_{\text{PO}} (\text{sol}) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$A_{\text{V}} (t) = A_{\text{VT}} (t) + A_{\text{VE}} (t)$$

$$A_{\text{V}} (t) = 357.05 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$S_{\text{ouv}} = 3 \text{ m}^2 ;$$

$$A_{\text{VT}}(t) = 1.2 \times K_{\text{été}} \times S_{\text{ouv}} \times [T_{\text{se}}(t) - T_{\text{sb},i}]$$

$$A_{\text{VT}}(t) = 208.8 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$F_{\text{s}} = 0.45, \quad N_{\text{pvi}} (15\text{h}) = 0.68, \quad I_{\text{d,b}} = 48.5, \text{ W/m}^2, \quad I_{\text{d}} = 50.37$$

$It,b=155.5W/m^2$  d'ou:  $It=161.5W/m^2$  Avec:

- $C_{cadre} = 1, \quad C_{limp} = 0.92, \quad C_{alt} = 1.0035, \quad C_{ros} = 0.9$
- $AVE(t) = [S_{vens} \times It + (SV - SV_{ens}) \times Id] \times F_s \times N_{pvi}(t)$
- $AVE(15h) = [3 \times 161.5 + (0) \times 50.37] \times 0.45 \times 0.68$
- $AVE(15h) = 148.25 W$

• **Apports de chaleur par introduction d'air extérieur**

$$ARENS(t) = 0.320 \times Q_{van} \times (T_{se}(t) - T_{sb,i})$$

$$ARENL(t) = 0.797 \times Q_{van} \times \text{Max} [(H_{sb,e} - H_{sb,i}); 0]$$

Pour un nombre d'occupants :  $N=4$  personnes,

$Q_{van \text{ min}} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$  et par occupant

$$ARENS(15h) = 0.320 \times (4 \times 25) \times (34 - 24)$$

$$ARENS(15h) = 320 W$$

$$ARENL(t) = 0.797 \times 100 \times \text{Max} [(14.5 - 11); 0]$$

$$ARENL(t) = 278.94W$$

**Tableau II.12.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	4	2.8	100	10	320	3.5	278.94

• **Apports dus aux infiltrations d'air**

$$AINF_S(t) = 0.320 \times Q_{Vinf} \times (T_{se}(t) - T_{sb,i})$$

$$AINF_L(t) = 0.797 \times Q_{Vinf} \times \text{Max} [(H_{sb,e}(t) - H_{sb,i}); 0]$$

$S_{ouv} = 3m^2$ .  $Q_{vo \text{ inf}} = 14.5 m^3$

$Q_{v \text{ inf}} = 43.5 m^3/h$

$$AINFS(t) = 139.2 W$$

$$AINFL(t) = 121.34 W$$

**Tableau II.13.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	4	3	43.5	10	139.2	3.5	<b>121.34</b>

- *Apports internes*

$$AI(t) = \sum_j (C_{sj} \times A_{Isj} \times N_{AIj}) + \sum_j j(C_{Sj} \times A_{ILj}) \quad \text{II.9}$$

**Tableau II.14.** Apports internes.

Chambre I	Asoc	Asm	Ase	Ais	AI <sub>L</sub>
Mur SUD	134.9	71.25	36	242.15	120

- *Apport de chaleur par les occupants*

$$A_{soc} = C_{so} \times A_{Iso} \times N_{AIo}$$

$$A_{Loc} = C_{so} \times A_{ILO}$$

$$\text{Avec: } A_{is} = 71 \text{ (W/personne)} \quad A_{IL} = 60 \text{ (W/personne)} \quad C_{so} = 0.5 \quad N_{AIo} = 0.95$$

$$A_{soc} = 4 \times 0.5 \times 71 \times 0.95$$

$$A_{soc} = 134.9 \text{ W}$$

$$A_{Loc} = 4 \times 60 \times 0.5$$

$$A_{Loc} = 120 \text{ W}$$

**Tableau II.15.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale (W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	4	71	0.5	0.95	134.9	60	120	254.9

- *Apports dus aux machines et appareillages*

$$A_{sm} = C_{sm} \times A_{ism} \times N_{AIsm}$$

$$A_{lm} = C_{sm} \times A_{llm}$$

Machine :

Télévision ( $A_{ism} = 150\text{W}/\text{télévision}$  et  $A_{ilm} = 0\text{W}/\text{télévision}$ )

$A_{lL} = 0\text{W}$

$A_{Is} = 71.25\text{ W}$

**Tableau II.16.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Television	1	150	0.5	0.95	71.25	0	71.25

• *Apports dus aux éclairages*

$$A_{Ise} = \Sigma (W_n \times C_{me} \times C_{cr})$$

*Lampes à incandescence* :  $W_n = 25\text{ W}/\text{m}^2$ ,  $C_{cr} = 0.6$ ,  $C_{me} = 1.2$   $N=2$

$$A_{Ise} = 2 \times 25 \times 1.2 \times 0.6$$

$$A_{Ise} = 36\text{W}$$

**Tableau II.17.** Apports dus aux Eclairage.

Local	N	$W_n$ (w)	$C_{me}$	$C_{cr}$	$A_{Ise}$ (w)
Logement	2	25	1.2	0.6	36

• Les apports sensibles

$$A_s = A_{PO} + A_V + A_{Is} + A_{INFs}$$

$$A_s = 945.55\text{ W}$$

**Tableau II.18.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	78.85	357.05	370.45	139.2	945.55

• *Les apports latents*

$$A_l = 120\text{ W}$$

- *Les apports effectifs*

$$AEs = (C_{Das} \times As) + (BF \times ARENs)$$

$$AEs = (1.05 \times 945.55) + (0.4 \times 320)$$

$$AEs = 1120.82 \text{ W}$$

**Tableau II.19.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	945.55	0.4	320	1120.82

$$AEI = (C_{Dal} \times AI) + (BF \times ARENI)$$

$$AEI = (1.05 \times 120) + (0.4 \times 278.94)$$

$$AEI = 237.57 \text{ W}$$

**Tableau II.20.** Apport effectifs latents.

Local	CPas	AI	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	60	0.4	278.94	237.57

- *Les apports totaux*

$$ATs = (C_{Das} \times As) + ARENs$$

$$ATs = 1312.82 \text{ W}$$

- ✓ *Vérification réglementaire*

- $APO(15 \text{ h}) + AV(15 \text{ h}) \leq 1.05 \times Aréf(15 \text{ h}) \text{ (W)}$

Avec :

$$Aréf = Aréf,PH + Aréf,PV + Aréf,PVI \text{ (W)}$$

- $A_{réf,PV} = \Sigma (c \times Sint \times \Delta T_{réf,PV})$

$$A_{réf,PV} = \Sigma (1.2 \times 6.94 \times 9.81)$$

$$A_{réf,PV} = 81.69 \text{ W}$$

- $A_{réf,PVI} = AVE_{réf} + AVT_{réf} \quad [\text{W}]$

$$AVE_{réf} = [SVens \times It + (SV - SVens) \times Id] \times FS_{réf} \times N_{PVI,réf}$$

$$AV_{\text{réf}}(15h) = [3 * 535.92 + (0) * 50.37] * 0.45 * 0.68$$

$$AV_{\text{réf}}(15h) = 491.97 \text{ W}$$

- $AV_{\text{Tréf}} = e \times \text{Souv} \times \Delta T_{\text{Sréf}}, \text{PVI}$

$$AV_{\text{Tréf}}(15h) = 4.2 \times 3 \times 7$$

$$AV_{\text{Tréf}}(15h) = 88.2 \text{ W}$$

D'où :

$$A_{\text{réf}} = 0 + 81.69 + (491.97 + 88.2)$$

$$A_{\text{réf}} = 661.86 \text{ W}$$

$$1.05 \times A_{\text{réf}}(15 \text{ h}) = 694.95 \text{ W}$$

- $APO(15h) + AV(15h) = 435.9 \text{ W}$

D'où  $APO(15 \text{ h}) + AV(15 \text{ h}) \leq 1.05 \times A_{\text{réf}}(15 \text{ h})$ , Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

### c) Mur ouest

- *Apports à travers les parois opaques*

$$APO(t) = 1.2 \times K_{\text{été}} \times S_{\text{int}} \times \Delta T_{\text{E}}(t)$$

$$\Delta t_{\text{e}}(t) = \Delta t_{\text{es}}(t) + C\Delta t_{\text{e}} + \frac{\alpha}{0.9} \times [\Delta t_{\text{em}}(t) - \Delta t_{\text{es}}(t)] \times \frac{I_{\text{t,b}}}{I_{\text{t,b}}(40)}$$

$$\Delta t_{\text{e}}(t) = 10.6 + 2.6 + 1 \times (-10.6) \times 1$$

$$\Delta t_{\text{e}}(t) = 2.6 \text{ °C}$$

$$S_{\text{int}} = 3.64 \text{ m}^2 \quad .K_{\text{été}} = 1.45 \text{ W/K} \cdot \text{m}^2 \quad E_{\text{b}} = 9 \text{ °C} \quad C\Delta t_{\text{e}} = 2.6 \text{ °C}$$

$$\Delta t_{\text{em}}(15h) = 0 \text{ °C} \quad \Delta t_{\text{es}}(15h) = 10.6 \text{ °C} \quad I_{\text{t,b}} = 516 \text{ W/m}^2 \quad I_{\text{t,b}}(40) = 516 \text{ W/m}^2$$

$\alpha = 0.9$  (Couleur extérieur du logement)

D'où

$$APO(15h) = 16.46 \text{ W}$$

$$APO(\text{sol}) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV(t))*

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t)$$

$$AV(t) = 0 \text{ W}$$

- **Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))**

$$\text{Souv} = 0 \text{ m}^2 ;$$

$$AVT(15h) = 0 \text{ W}$$

- **Apport par ensoleillement (AVE (t))**

$$AVE(15h) = 0 \text{ W}$$

- **Apports de chaleur par introduction d'air extérieur**

$$\text{ARENS}(t) = 0,320 \times Q_{\text{van}} \times (T_{\text{se}}(t) - T_{\text{sb},i})$$

$$\text{ARENL}(t) = 0,797 \times Q_{\text{van}} \times \text{Max} [(H_{\text{sb},e} - H_{\text{sb},i}); 0]$$

Pour un nombre d'occupants : N= 4 personnes,

$Q_{\text{van min}} = 25 \text{ m}^3 / \text{h}$  et par occupant

$$\text{ARENS}(15h) = 0,320 \times (4 \times 25) \times (34 - 24)$$

$$\text{ARENS}(15h) = 320 \text{ W}$$

$$\text{ARENL}(t) = 0,797 \times 100 \times \text{Max} [(14,5 - 11), 0]$$

$$\text{ARENL}(t) = 278,94 \text{ W}$$

**Tableau II.21.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse- Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	4	3.93	100	10	320	3.5	278.94

- **Apports dus aux infiltrations d'air**

$$\text{AINF}_S(t) = 0,320 \times Q_{\text{Vinf}} \times (T_{\text{se}}(t) - T_{\text{sb},i})$$

$$\text{AINF}_L(t) = 0,797 \times Q_{\text{Vinf}} \times \text{Max} [(H_{\text{sb},e}(t) - H_{\text{sb},i}); 0]$$

$$\text{Souv} = 0 \text{ m}^2 .$$

$$Q_{\text{v inf}} = 0 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{AINFS}(t) = 0 \text{ W}$$

$$\text{AINFL}(t) = 0 \text{ W}$$

**Tableau II.22.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	4	0	0	10	0	3.5	<b>0</b>

- *Apports internes*

$$AI(t) = \sum_j (Cs_j \times AIs_j \times NAI_j) + \sum_j j(CS_j \times AIL_j) \quad (II.10)$$

**Tableau II.23.** Apports internes.

Chambre I	Asoc	Asm	Ase	AIs	AIL
Mur NORD	134.9	71.25	36	242.15	120

- *Apport de chaleur par les occupants*

$$A_{soc} = C_{so} \times A_{iso} \times NAI_o$$

$$A_{Loc} = C_{so} \times A_{Lo}$$

$$\text{Avec : } A_{is} = 71 \text{ (W/personne)} \quad A_{Lo} = 60 \text{ (W/personne)} \quad C_{so} = 0.5 \quad NAI_o = 0.95$$

$$A_{soc} = 4 \times 0.5 \times 71 \times 0.95$$

$$A_{soc} = 134.9W$$

$$A_{Loc} = 4 \times 60 \times 0.5$$

$$A_{Loc} = 120 W$$

**Tableau II.24.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	A <sub>soc</sub> (W)	ALoc (W)	A <sub>Loc</sub> (W)	Aoc totale
Logement	4	71	0.5	0.95	134.9	60	120	254.9

- *Apports dus aux machines et appareillages*

$$A_{sm} = C_{sm} \times A_{ism} \times NAI_m$$

$$A_{lm} = C_{sm} \times A_{Llm}$$

Machine :

Télévision ( $A_{ism} = 150\text{W}/\text{télévision}$  et  $A_{ilm} = 0\text{W}/\text{télévision}$ )

$$A_{iL} = W$$

$$A_{iS} = 71.25 \text{ W}$$

**Tableau II.25.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Television	1	150	0.5	0.95	71.25	0	71.25

• *Apports dus aux éclairages*

$$A_{ise} = \Sigma (W_n \times C_{me} \times C_{cr})$$

*Lampes à incandescence* :  $W_n = 25 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $C_{cr} = 0.6$ ,  $C_{me} = 1.2$   $N = 2$

$$A_{ise} = 2 \times 25 \times 1.2 \times 0.6$$

$$A_{ise} = 36 \text{ W}$$

**Tableau II.26.** Apports dus aux Eclairage.

Local	N	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	2	25	1.2	0.6	36

• *Les apports sensibles*

$$A_s = A_{PO} + A_V + A_{iS} + A_{iNFs}$$

$$A_s = 258.79 \text{ W}$$

**Tableau II-30.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AiNFs	As
Logement	16.64	0	242.15	0	258.79

• *Les apports latents*

$$A_l = 120 \text{ W}$$

• *Les apports effectifs*

$$A_{Es} = (C_{Das} \times A_s) + (BF \times A_{RENS})$$

$$AEs = (1.05 \times 258.79) + (0.4 \times 320)$$

$$AEs = 399.73 \text{ W}$$

**Tableau II.27.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	304.15	0.4	320	399.73

$$AEI = (C_{Dal} \times AI) + (BF \times ARENI)$$

$$AEI = (1.05 \times 120) + (0.4 \times 278.94)$$

$$AEI = 237.57 \text{ W}$$

**Tableau II.28.** Apports effectifs latents.

Local	CPas	AI	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	120	0.4	278.94	237.57

- **Les apports totaux**

$$ATs = (C_{Das} \times As) + ARENs$$

$$ATs = 591.73 \text{ W}$$

- ✓ **Vérification réglementaire**

- $APO (15 \text{ h}) + AV (15 \text{ h}) \leq 1,05 \times Aréf (15 \text{ h}) \text{ (W)}$

Avec :

$$Aréf = Aréf,PH + Aréf,PV + Aréf,PVI \text{ (W)}$$

- $Aréf_{réf,PV} = \Sigma (c \times Sint \times \Delta TS_{réf,PV})$

$$Aréf_{réf,PV} = \Sigma (1.2 \times 3.64 \times 5.89)$$

$$Aréf_{réf,PV} = 25.72 \text{ W}$$

- $A_{réf,PVI} = AVE_{réf} + AVT_{réf} \quad [\text{W}]$

$$AVE = [SV_{ens} It + (SV - SV_{ens}) Id] FS N PVI, réf$$

$$AVE (15h) = 0 \text{ W}$$

- $AVT = e \times Souv \times \Delta TS_{réf,PVI}$

$$AVT(15h) = 0 \text{ W}$$

D'où :

- $Aréf = Aréf, PH + Aréf, PV + Aréf, PVI$

$$Aréf = 0 + 25.72 + (0+0)$$

$$Aréf = 25.72 \text{ W}$$

$$1,05 \times Aréf (15 \text{ h}) = 27.01 \text{ W}$$

- $APO (15h) + AV (15h) = 16.64 \text{ W}$

D'où  $APO (15 \text{ h}) + AV (15 \text{ h}) \leq 1,05 \times Aréf (15 \text{ h})$  Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

## II.6. Tableau récapitulatif

Tableau II.29. Tableau récapitulatif

Pièce	Mur	APO	AV	Ais	AIL	Ainfs	AifL	As	Ats	Aref	(APO+AV)
Chambre1	Nord	162	0	370,15	60	0	0	431,08	612,63	74,37	162
	Est	46,87	199,94	370,15	60	77,95	27,28	635,21	826,97	391,34	246,81
	Sud	32,3	0	370,15	60	0	0	402,75	582,88	32,96	32,3
	<b>Total</b>	241,17	199,94	1110,45	180	77,95	27,28	1469,04	2022,48	498,67	441,11
Séjour	Est	62,07	0	242,15	120	0	0	304,15	650,75	96,97	62,07
	Sud	78,85	357,05	242,15	120	139,2	121,34	945,55	1312,82	661,86	435,9
	Ouest	16,46	0	242,15	120	0	0	258,79	591,73	25,72	16,46
	<b>Total</b>	157,38	357,05	726,45	360	139,2	121,34	1508,49	2555,3	784,55	514,43
Cuisine	Sud	98,62	450,05	1779,72	30	175,39	152,89	2503,78	2708,97	523,25	548,67
	Ouest	39,13	0	1779,72	30	0	0	1818,85	1989,79	90,82	39,13
	<b>Total</b>	137,75	450,05	3559,44	60	175,39	152,89	4322,63	4698,76	614,07	587,8
Wc	Ouest	15,2	0	18	0	0	0	33,2	34,2	35,28	15,2
	<b>Total</b>	15,2	0	18	0	0	0	33,2	34,2	35,28	15,2
SDB	Ouest	20,26	0	1443	0	0	0	1463,26	1536,42	47,04	20,26
	<b>Total</b>	20,26	0	1443	0	0	0	1463,26	1536,42	47,04	20,26
Chambre2	Ouest	50,67	0	265,48	30	0	0	313,15	408,8	117,6	50,67
	Nord Est	183,56	149,79	265,48	30	77,95	67,95	676,78	790,62	451,62	333,35
	Est	12,53	0	265,48	30	0	0	278,01	371,91	19,87	12,53
	<b>Total</b>	246,76	149,79	796,44	90	77,95	67,95	1267,94	1571,33	589,09	396,55
Appartement	<b>Total</b>	818,52	1156,83	7653,78	690	470,49	369,46	10064,6	12418,5	2568,7	1975,35

## II.7. Conclusion

Le calcul d'un bilan thermique permet de connaître avec précision la quantité d'énergie qu'il faudra pour refroidir un local, la justesse de ce calcul est primordiale non seulement pour le coût de l'installation, mais aussi pour son exploitation. Les éléments entrant en compte dans ce calcul sont nombreux, il faudra connaître la nature, l'exposition, la surface des murs, des parois vitrées, ces éléments étant multipliés par des coefficients variables selon l'altitude, le rayonnement solaire, la localisation géographique. D'autres éléments doivent être pris en compte comme le renouvellement d'air naturel ou mécanique, les divers ponts thermiques ainsi que les apports qui pondéreront le calcul par exemple l'éclairage, l'occupation humaine, les appareils ménagers. Etc.

## Chapitre III: Formulation mathématique et numérique

### III.1. Introduction

On considère que les écoulements d'air dans les locaux ventilés peuvent être laminaires ou turbulents. On suppose que l'écoulement est un écoulement bidimensionnel incompressible, et le transfert thermique se fait par convection de la paroi verticale qui est maintenue à la température chaude  $T_c$  vers l'autre paroi verticale qui maintenue la température froide  $T_f$ .

Les parois sont adiabatiques. La simulation numérique d'un écoulement d'air dans des locaux contient des ouvertures entrée et sortie de l'air nécessite à résoudre les équations différentielles aux dérivées partielles qui sont présenté ci-dessous.

### III.2. Équations générales et modélisation de la turbulence

#### III.2.1. Équations instantanées

Ces sont les équations de la mécanique des fluides dans le cas général : conservation de la masse conservation de la quantité de mouvement, conservation de l'énergie et Pour une formulation simple du problème, nous allons considérer quelques approximations entre autres les approximations de Boussinesq.

Nous supposons alors que l'influence de la variation de la masse volumique n'est prise en compte que par l'intermédiaire des forces de volume ; le fluide étant supposé newtonien, incompressible et l'écoulement stationnaire.

La masse volumique du fluide varie linéairement avec la température et est donnée par la relation suivante [27] :

$$\rho = \rho_0[1 - \beta(T - T_0)] \quad \text{III.1}$$

Où :

$\beta$  : coefficient de dilatation cubique

$\rho_0$  : masse volumique de référence.

$T_0$  : température de référence.

Les équations de base régissant l'écoulement et les transferts de chaleur sont données respectivement par :

### III.2.1.a. Équation de continuité

L'équation de continuité (en l'absence de terme sources volumiques) qui exprime la conservation de masse est donnée comme suit [27]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad \text{III.2}$$

Avec  $\rho$  la masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ ) et  $u$  la vitesse du fluide ( $\text{m/s}$ )

Pour un écoulement incompressible, et après simplification devient [27]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{III.3}$$

### III.2.1.b. Équations de conservation de quantité de mouvement

Les équations de la quantité de mouvement s'écrivent de la manière suivante [27]:

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

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

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + g \beta (T - T_f) \quad \text{III.6}$$

### III.2.1.c. Équation d'énergie

L'équation de l'énergie est obtenue à partir de premier principe de lathermodynamique, Son expression est la suivante [27] :

$$\frac{d}{dt} (\rho c_p T) = \Delta(\lambda T) + q + \beta T \frac{dP}{dt} + \mu \phi \quad \text{III.7}$$

Avec ;

$\frac{d}{dt} (\rho c_p T)$  La variation totale d'énergie.

$\Delta(\lambda T)$  La variation d'énergie par conduction

$\beta T \frac{dP}{dt}$  La variation d'énergie due à la compressibilité (pour un écoulement incompressible, elle est nulle).

$\mu\phi$  La dissipation irréversible due aux frottements visqueux.

Les coefficients:  $c_p$ ,  $\lambda$  et  $\beta$  sont respectivement, la capacité calorifique, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation isobare du fluide.

### III.3. Caractéristique de l'écoulement turbulent

#### III.3.1. Modèles de turbulence

Il existe différents niveaux de modèles, se distinguent par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour fermer le problème : on cite ainsi le modèle de turbulence à zéro, une ou deux équations. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à deux équations et plus particulièrement le modèle de turbulence k- $\epsilon$  standard qui est le plus répandu [28].

Trois modèles de turbulence sont disponibles dans le code Fluent :

- Le modèle k- $\epsilon$  standard ;
- Le modèle RSM ;
- Le modèle RNG k- $\epsilon$ .

##### III.3.1.a. Modèle k- $\epsilon$

Dans cette étude on a utilisé le modèle k- $\epsilon$  standard. Il est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation  $\epsilon$ .

Dans le modèle k- $\epsilon$  la viscosité turbulente est exprimée en fonction de k et  $\epsilon$  par la formule suivante [29] :

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad \text{III.8}$$

Où :

$\epsilon$  : appelé taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente.

$C_\mu$ : est une constante, dont sa valeur est égale à 0.09.

### III.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 :

#### III.3.2.a. Nombre de Reynolds

Deux nombres sans dimension caractérisent en général le régime turbulent. Tous les deux comparent, d'un point de vue général, les facteurs déstabilisateurs au facteur stabilisateur. Lorsque le rapport de ces deux forces est supérieur à une valeur critique, le régime d'écoulement est alors turbulent. Le premier est le nombre de Reynolds qui est le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité.  $U$  et  $L$  sont une vitesse et une longueur caractéristiques de l'écoulement et  $\nu$  la viscosité cinématique du fluide, il s'écrit [30] :

$$Re = \frac{U L}{\nu} \quad \text{III.9}$$

Avec :

$U$ : vitesse moyenne du fluide (m/s)

$L$  : dimension caractéristique de l'écoulement (m)

$\nu$ : viscosité cinématique du fluide (m<sup>2</sup>/s)

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.

#### III.3.2.b. Le nombre de Prandtl

Le Nombre de Prandtl  $Pr$  est le rapport de la viscosité cinématique  $\mu/\rho$  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 :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad \text{III.10}$$

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

### III.3.2.c. Nombre de Nusselt

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

$$Nu = \frac{h D}{\lambda} \quad \text{III.11}$$

## III.4. Les différentes techniques de résolution des équations aux dérivées partielles

Il existe plusieurs méthodes de résolutions des équations différentielles aux dérivées partielles caractérisant les problèmes physiques et parmi ces méthodes Les méthodes numériques. L'apparition des ordinateurs de plus en plus puissants, l'analyse numérique a regagné un intérêt certain, et les méthodes numériques qui font appel aux techniques de discrétisations sont régulièrement utilisées.

Ces méthodes numériques transforment les équations aux dérivées partielles en des équations algébriques dont la solution fournit l'approximation de l'inconnue en différents points situés aux nœuds géométriques correspondant à la discrétisation.

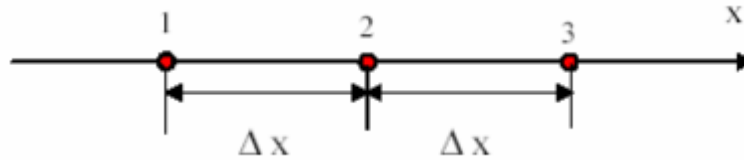
Parmi ces méthodes nous citons :

- La méthode des différences finies,
- La méthode des éléments finis,
- La méthode des volumes finis.

### III.4.1. Méthodes des différences finies

Les méthodes de différence finies sont largement répandues pour le calcul des problèmes de convection, puisqu'il est possible de résoudre même des problèmes relativement complexes avec ces méthodes. Les méthodes de différence finies peuvent être divisées en méthodes explicites ou implicites. Dans des méthodes explicites sont résolus une équation pour chacun des paramètres inconnus. Dans des méthodes implicites, chacun des paramètres inconnus participe à plusieurs équations. Le principe pour le calcul doit transformer l'équation différentielle en équation de différences.

Considérons le cas unidimensionnel dont l'inconnue est  $T$ , le maillage est celui de la figure III.1



**Figure III.1.** Trois nœuds du maillage mono dimensionnel.

Le développement de Taylor au voisinage du nœud 2 donne :

$$T_1 = T_2 - \Delta x \left( \frac{dT}{dx} \right)_2 + \frac{1}{2} (\Delta x)^2 \left( \frac{d^2T}{dx^2} \right)_2 \dots \dots \dots + \frac{(-1)^n}{n!} (\Delta x)^n \left( \frac{d^n T}{dx^n} \right)_2 \quad \text{III.12}$$

$$T_3 = T_2 + \Delta x \left( \frac{dT}{dx} \right)_2 + \frac{1}{2} (\Delta x)^2 \left( \frac{d^2T}{dx^2} \right)_2 \dots \dots \dots + \frac{(+1)^n}{n!} (\Delta x)^n \left( \frac{d^n T}{dx^n} \right)_2 \quad \text{III.13}$$

En se limitant au troisième terme on déduit de ces équations :

$$\left( \frac{dT}{dx} \right) = \frac{T_3 - T_1}{2 \Delta x} \quad \text{III.14}$$

$$\left( \frac{d^2T}{dx^2} \right) = \frac{T_1 - 2T_2 + T_3}{\Delta x^2} \quad \text{III.15}$$

En substituant ces dérivées dans l'équation différentielle on obtient l'équation aux différences finies au nœud 2. C'est une combinaison linéaire de l'inconnue au point considéré et aux points voisins.

La méthode aux différences finies permet d'obtenir des résultats satisfaisants dans de nombreux problèmes, comme elle possède la simplicité de la formulation numérique.

### III.4.2. Méthode des éléments finis

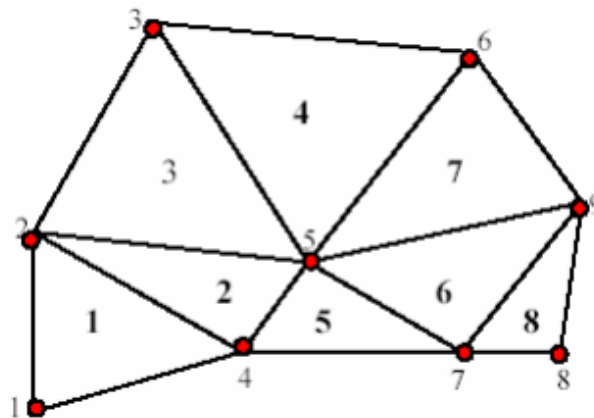
La méthode des éléments finis est une méthode très puissante pour la résolution des équations aux dérivées partielles surtout pour des géométries complexes et quelque soient les conditions physiques de fonctionnement.

À la différence des différences finies, la méthode des éléments finis consiste à utiliser une approximation simple de l'inconnue pour transformer les équations aux dérivées partielles en équation algébriques. Toutefois cette méthode ne s'applique pas directement aux équations aux dérivées partielles, mais à une formulation intégrale qui est équivalente au problème à résoudre en utilisant l'une des deux approches suivantes [31].

La méthode variationnelle qui consiste à minimiser une fonctionnelle qui représente, l'énergie du système étudié. Cette méthode n'est donc applicable que si on connaît une fonctionnelle équivalente au problème différentiel que l'on veut résoudre.

- ↗ La méthode des résidus pondérés ou méthode projective qui consiste à minimiser le résidu induit à l'approximation de la fonction inconnue.

À l'une ou à l'autre des deux méthodes on associe une subdivision du domaine de l'étude en éléments simples, appelés éléments finis comme il est indiqué sur la figure III.2, et à approximer une fonction inconnue sur chaque élément par des fonctions d'interpolation. Ces fonctions sont généralement des polynômes de Lagrange de degré un ou deux.



**Figure III.2.** Un domaine discrétisé en éléments finis.

### III.4.3. Méthode des volumes finis

La méthode de volumes finis est une méthode de discrétisation pour les lois de conservation. Elle résulte d'un choix au sens physique, basé sur l'écriture des bilans. Cette méthode consiste à discrétiser sur chaque cellule, appelée volume de contrôle, la forme intégrale du problème à résoudre à la place de sa forme différentielle considérée ; en différences finies. L'avantage de cette technique sur les différences finies est qu'elle s'adapte facilement à des géométries complexes comme c'est le cas dans de nombreux problèmes industriels. De plus, elle permet aisément de prendre en compte la présence d'obstacles (dans un domaine) et de traiter de façon naturelle les conditions aux limites. La difficulté essentielle qui peut être rencontrée est l'estimation des flux aux frontières de chaque volume de contrôle lors de la mise en œuvre de cette technique.

Le domaine d'étude est subdivisé en volumes élémentaires de telle manière que chaque volume entoure un nœud du maillage (celui des différences finies).

Pour calculer l'intégrale sur ce volume élémentaire, la fonction inconnue est représentée à l'aide d'une fonction d'approximation (linéaire, exponentielle) entre deux nœuds consécutifs, ensuite la forme intégrale est discrétisée dans le domaine d'étude.

Grâce à un libre choix de la fonction de liaison entre nœuds consécutifs, la procédure conduite à une solution plus précise que celle fournie par les différences finis.

### III.5. Présentation des logiciels Gambit et Fluent

#### III.5.1. Préprocesseur Gambit

C'est un préprocesseur intégré pour l'analyse en CFD (Computational Fluid Dynamics), il permet de générer un maillage structuré ou non structuré en coordonnées cartésiennes, polaires, cylindriques ou axisymétriques. Il peut réaliser des maillages complexes en deux ou trois dimensions avec des mailles de type rectangle ou triangle. Il peut être utilisé pour construire une géométrie et lui générer un maillage éventuellement, une géométrie d'un autre logiciel de CAO peut être importée dans ce préprocesseur. Les options de génération de Gambit offrent une flexibilité de choix. On peut décomposer la géométrie en plusieurs parties pour générer un maillage structuré. Sinon, Gambit génère automatiquement un maillage non structuré adapté au type de géométrie construite. Avec les outils de vérification du maillage, les défauts sont facilement détectés.

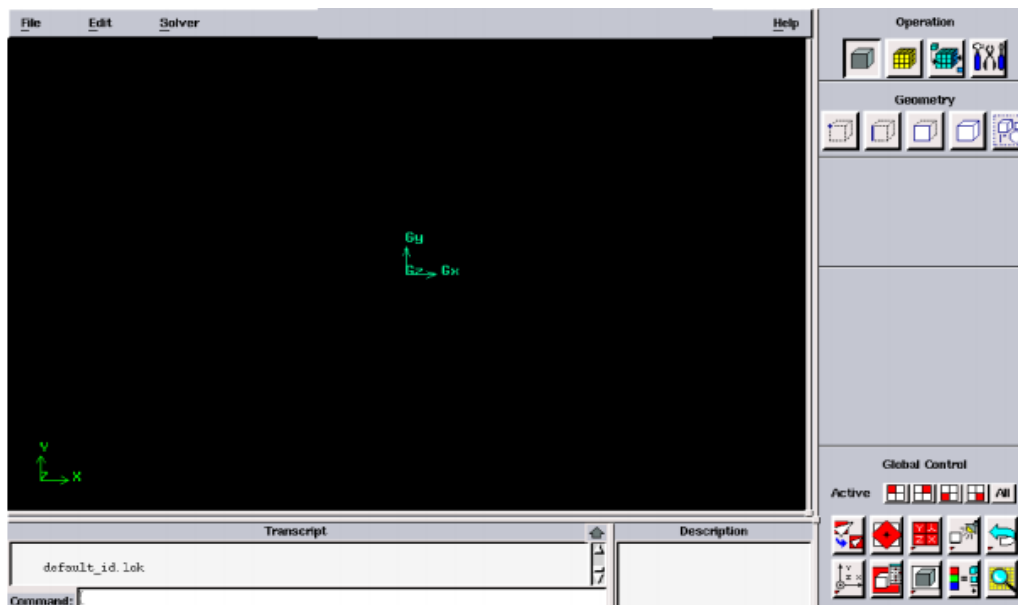


Figure III.3. Interface de Gambit.

##### III.5.1.a. Fenêtre d'outils d'opération

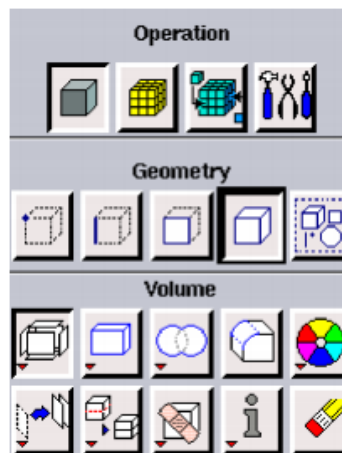
Chaque bouton de cette fenêtre correspond à une fonction bien définie figure III.4.



**Figure III.4.** Les différents outils d'opération sur Gambit.

### III.5.1.b. Construction de la géométrie

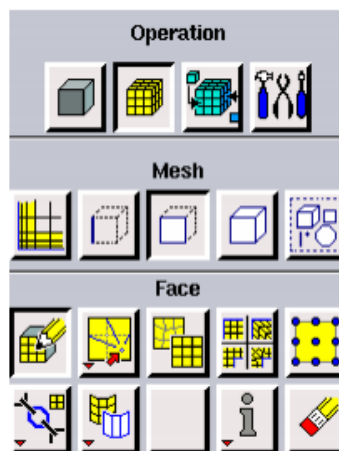
Elle est créée à partir des points, de côtés, de surfaces, de volumes ou d'un groupe de tous ces éléments. On peut effectuer des opérations d'union, d'intersection, de séparation d'effacement de décomposition figure III.5.



**Figure III.5.** Les outils de construction d'une géométrie.

### III.5.1.c. Génération de maillage

Cette fonction permet la génération de tous types de maillage, la manipulation du maillage généré et même la création d'une couche limite s'il y a lieu figure III.6.



**Figure III.6.** Les outils de maillage d'une géométrie.

### III.5.1.d. Incorporation des conditions aux limites

Plusieurs types de conditions aux limites sont disponibles selon le problème traité. À noter que l'espace maillé est pris par défaut comme étant fluide figure III.7.



**Figure III.7.** Les outils de conditions aux limites d'une géométrie.

## III.6. Code Fluent

Fluent est un programme informatique conçu pour la simulation des écoulements de fluide et du transfert de chaleur dans des géométries complexes.

Il présente une grande flexibilité des résultats et une adaptation avec n'importe quel type de maillage. Il permet le raffinement du maillage en fonction des conditions aux limites, des dimensions et même des résultats déjà obtenue. Cela est très utile dans la région à gradients importants (couches limites, couches à cisaillement libre).

Fluent écrit en langage C, il emploie toute la flexibilité et la puissance qu'offre ce langage. Il utilise l'architecture serveur client nécessaire au calcul parallèle sur plusieurs machines.

Fluent dispose d'un outil de graphisme pour l'affichage des résultats et leur exploitation. On peut aussi exporter les résultats vers un autre logiciel de graphisme, et l'option UDF permet de résoudre des équations additionnelles ou des termes sources additionnelles définies par l'utilisateur.

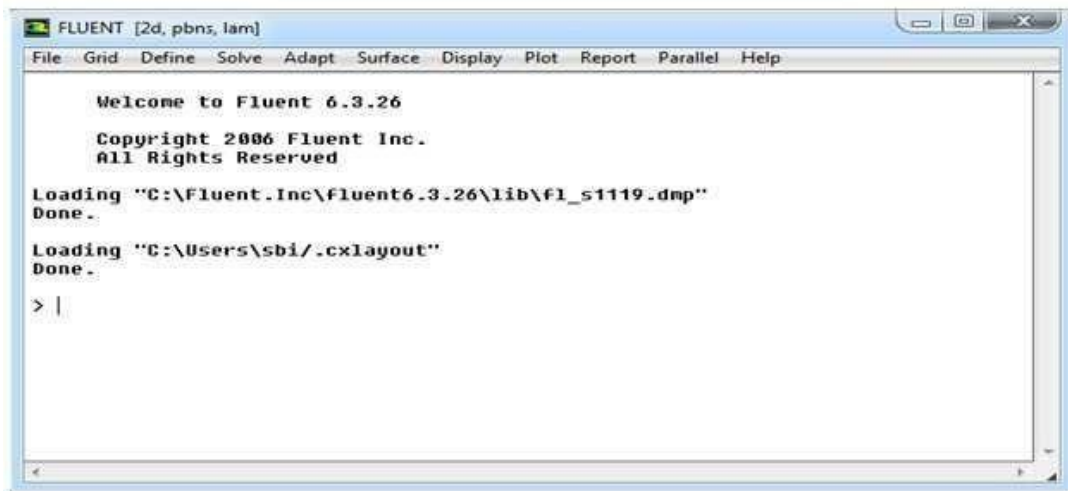
### III.6.1. Interface du code Fluent

On peut démarrer 4 versions de Fluent 2D, 3D, 2DDP et 3DDP ayant la même interface figure III.8.



**Figure III.8.** Interface de versions de Fluent.

- 2D (2 Dimensions) ;
- 2DDP (2 Dimensions Double Précision)
- 3D (3 Dimensions) ;
- 3DDP (3 Dimensions Double Précision).



**Figure III.9.** Fenêtre de la résolution.

Les fonctions figure III.9 disponibles pour la procédure numérique sont :

- ↗ **File** : pour les opérations concernant les fichiers : lecture, sauvegarde, importation... etc.
- ↗ **Grid** : pour la vérification et la manipulation du maillage et de la géométrie.
- ↗ **Define** : pour définir les phénomènes physiques, les matériaux et les conditions aux limites.
- ↗ **Solve** : pour choisir les équations à résoudre, les schémas de discrétisations, les facteurs de sous relaxation, les critères de convergence et pour initialiser et procéder au calcul.
- ↗ **Adapt** : pour l'adaptation du maillage selon plusieurs paramètres.

- ↗ **Surface** : pour créer des points, des lignes et des plans nécessaires à l’affichage des résultats.
- ↗ **Display et plot** : pour l’exploitation des résultats. Report : pour afficher des rapports contenant les détails du problème traité.
- ↗ **Parallel** : pour le calcul parallèle.
- ↗ **Help** : pour l’exploitation du contenu du code.

### III.6.2. Condition aux limites utilisée par le code Fluent

Pour le code Fluent les types disponibles des conditions aux limites sont classés comme suite :

**a) Conditions d’entrée et de sortie de l’écoulement** : Pression d’entrée (pressure inlet), vitesse de l’entrée (velocity inlet), débit massique à l’entrée (mass flow inlet), admission (intake), pression de sortie (pressure outlet) ; sortie (outflow), champ de pression lointain (pressure far-field), échappement (exhaust)

**b) Mur et condition du pole** : mur (wall), axe de symétrie (axis), conditions périodique, plan de symétrie (symétrie).

**c) Cellules des zones internes** : fluide ou solide (de différent type).

**d) Condition des faces internes** : ventilation, radiation, mur intérieur.

Mais si on parle d’une façon plus générale nous aurons quatre types de conditions aux limites ou chacun d’eux nécessite une étude approfondie :

- **À l’entrée du domaine** : la valeur de la variable est connue. ·
- **À la sortie du domaine** : soit qu’en connaît la valeur de la variable donnée ou on suppose que le régime est établi. ·
- **A la paroi** : soit on connaît la variable posée (la vitesse ou la température par exemple), soit on connaît d’autres grandeurs physiques (gradient de vitesse, flux thermique). ·
- **Sur l’axe de symétrie** : où le gradient de la variable posé suivant la direction perpendiculaire à l’axe de symétrie est nul.

### III.6.3. Modèle numérique utilisée par le code Fluent

Le code Fluent utilise la méthode des volumes finis pour discrétiser les équations de transport. Dans cette méthode, on intègre des équations de conservation que l’on applique sur chaque volume de contrôle élémentaire. À partir des variables connues aux centres des volumes,

---

on évalue les flux aux surfaces des volumes par interpolation. La grille est a priori quelconque, permettant ainsi de traiter des écoulements à géométrie complexe. Cette méthode donne de très bon résultat, car elle garantit la conservation des bilans massique et thermique sur tout le domaine étudié.

### **III.7. Conclusion**

À partir de ce chapitre, on aperçoit mieux les difficultés que l'on peut rencontrer lors de la modélisation numérique d'un problème en mécanique des fluides même très simple.

En effet, les étapes de la modélisation numérique : la création de la génération du maillage, l'implémentation du problème sous « Fluent ».

Par ailleurs, l'analyse des différents paramètres à régler qu'offre le logiciel « FLUENT » nous a autorisé d'adopter une méthode de résolution optimale.

La simulation de tout problème formulé via des équations aux dérivés partielles est de plus en plus répondue au niveau industriel.

## Chapitre IV: Simulation

### IV.1. Introduction

Dans ce chapitre on a présenté les différentes géométries du local que nous allons simulés, tous les dimensions du local sont en mètre, la longueur du local en tous les cas est 5.2 mètres et la hauteur est 2.8 mètres. Une largeur de 4.05 mètres et une superficie de 17.55 m<sup>2</sup>.

Nous avons opté dans cette étude pour l'utilisation du logiciel FLUENT version 6.2.16 et comme solveur, et le GAMBIT version 6.2.16 pour la description géométrique. GAMBIT est un logiciel de maillage 2D/3D, préprocesseur qui permet de mailler des domaines de géométrie de différentes formes d'un problème de CFD (Computational Fluid Dynamics). Ce logiciel permet de générer des fichiers (.Msh) pour Fluent. Ce dernier est un logiciel qui permet de résoudre et simuler des problèmes de mécanique des fluides et de transferts thermiques par la méthode des volumes finis.

### IV.2. But de l'étude

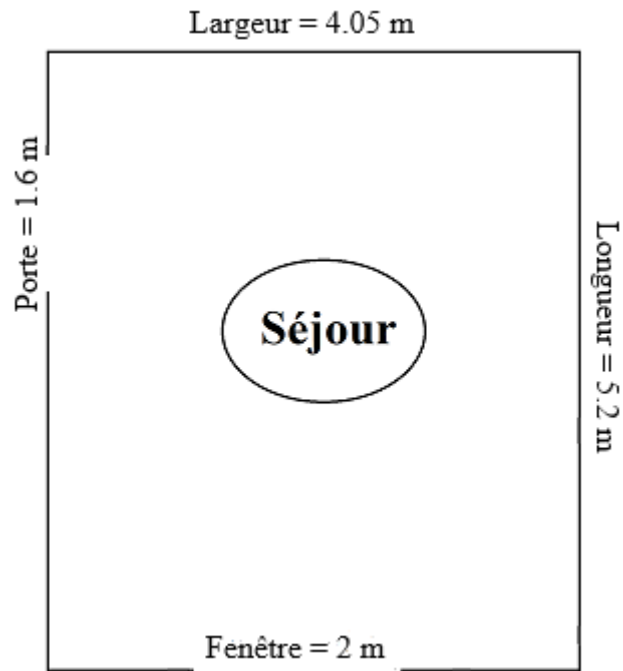
Le but de ce mémoire d'une façon générale est l'étude de l'influence de la Ventilation dans un local, car la température de l'air et le débit de chaleur jouant un rôle très important dans la circulation de l'air dans les locaux.

L'étude est basée sur la variation du flux de chaleur et l'adaptation de la géométrie du local pour la réalisation de la ventilation naturelle.

Il faut noter ici que pour des difficultés de simulation en 3D dans les logiciels de CFD on a préféré de négliger la profondeur (troisième dimension) et réaliser seulement une étude et simulation en 2DDP, car cette dernière donne des résultats très proche à celle effectué en 3D et satisfaisante pour comprendre la circulation naturelle de l'air dans le local.

### IV.3. Partie spécifique de l'étude

Cette section est consacrée pour présenter et réaliser trois cas de la simulation numérique du séjour de local étudié.



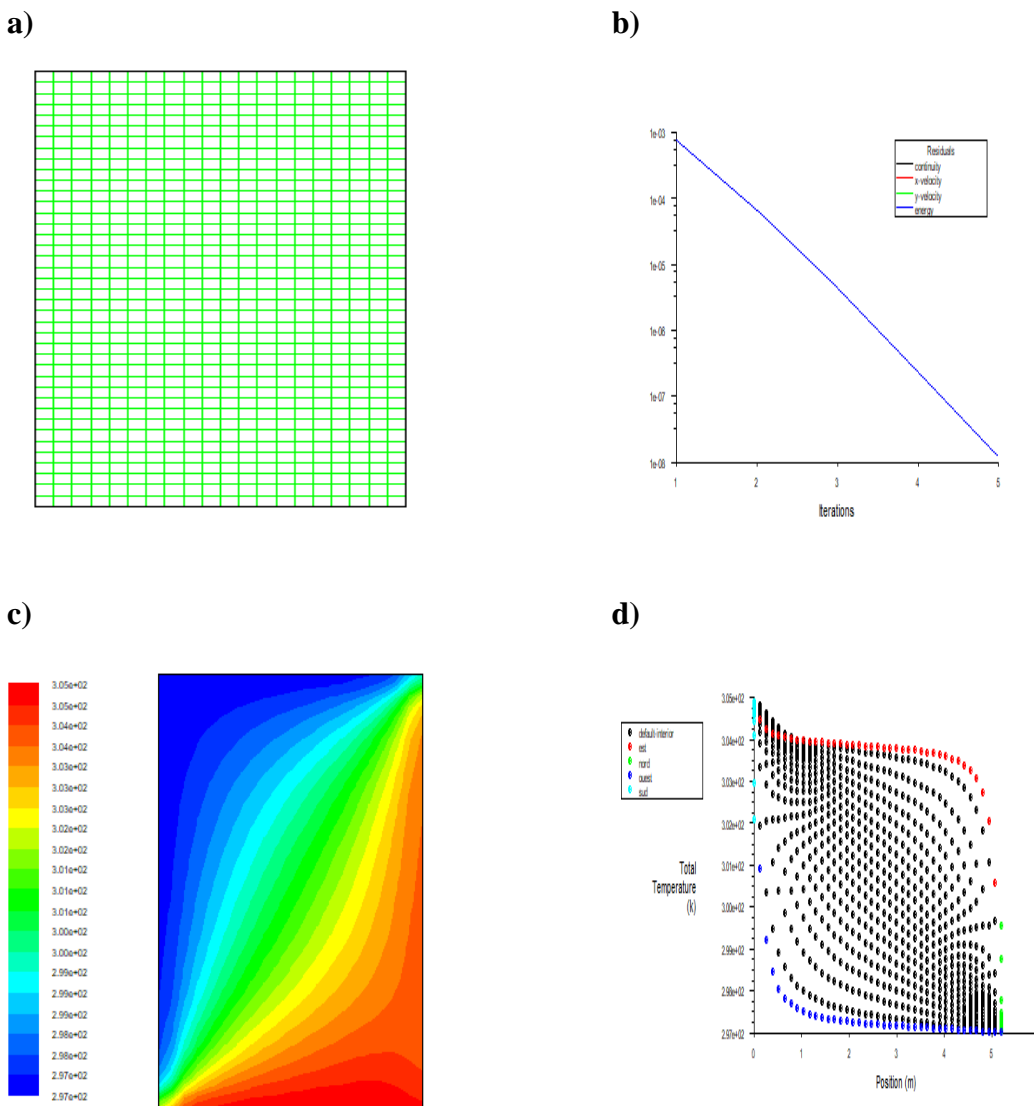
**Figure IV.1.** Le plan de séjour.

### IV.3.1. Séjour fermée

Pour ce premier cas, on s'intéresse à étudier notre séjour sans ouverture, veut dire qu'on réalisera une simulation numérique avec une géométrie fermée. Dans ce cas, on utilise les résultats obtenus de la densité de flux calculée pour chaque mur dans le chapitre 2, qui sont :

- Mur ouest  $\phi=1.2\text{W/m}^2$
- Mur sud  $\phi= 41.52\text{W/m}^2$
- Mur nord  $\phi=0 \text{W/m}^2$
- Mur est  $\phi= 4.52\text{W/m}^2$

La figure IV-2 représente la géométrie du séjour fermé étudié et simulé sur le code Fluent, la courbe de résidus obtenus après la convergence, contours des températures et diagramme des températures respectivement.



**Figure IV.2.** a) La géométrie du local étudié et simulé, b) Courbe de résidus, c) Contours des températures et d) Diagramme des températures.

D’après la figure de contours de températures et son diagramme, on remarque que la température dans le local varie selon les murs. En effet, la température est max du côté des deux murs extérieurs (sud et est), en particulier le mur sud à cause du flux qui est égal à  $\phi = 41.52 \text{ W/m}^2$ , et flux du mur qui est égal à  $\phi = 4.52 \text{ W/m}^2$ . La différence maximale de température entre les murs extérieurs et intérieurs est de  $(8 \text{ }^\circ\text{C/m})$ .

### IV.3.2. Séjour avec fenêtre Sud et porte Ouest

Pour ce deuxième cas, on s’intéresse à étudier notre séjour avec ouverture, veut dire qu’on réalisera une simulation numérique avec une géométrie qui a une fenêtre en mur Sud et une porte en mur Ouest, avec deux régimes d’écoulement. On utilise les résultats obtenus de la densité de flux calculée pour chaque mur dans le chapitre 2, qui sont :

- Flux ; Mur ouest  $\phi=1.2W/m^2$  ;
- Mur sud  $\phi=14.08W/m^2$  ;
- Mur nord  $\phi= 0W/m^2$  ;
- Mur est  $\phi= 4.52W/m^2$

Pour la vitesse, on suppose :

- La vitesse de l'air dans le régime laminaire  $V= 0.5m/s$ .
- La vitesse de l'air dans le régime turbulent  $V= 2.33 m/s$ .

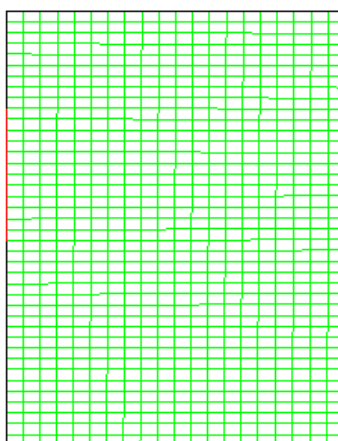


Figure IV.3. La géométrie du séjour à simuler.

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

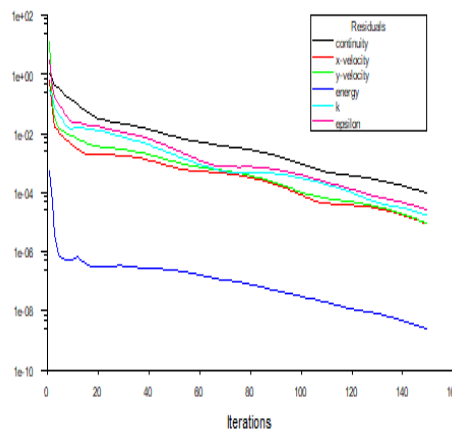
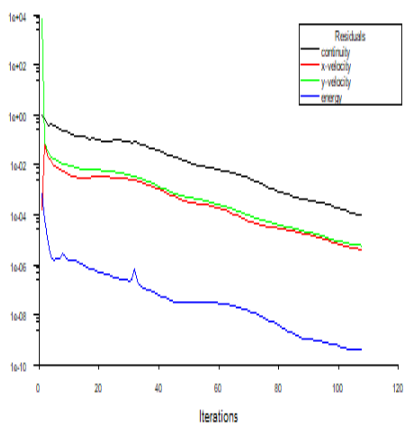


Figure IV.4. Les courbes de résidus.

IV.3.2.a. Etude de température

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

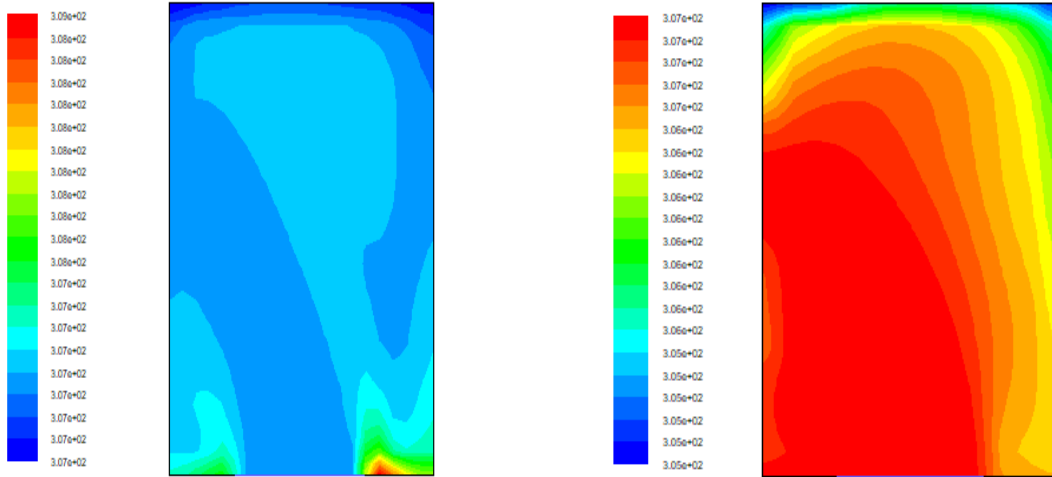
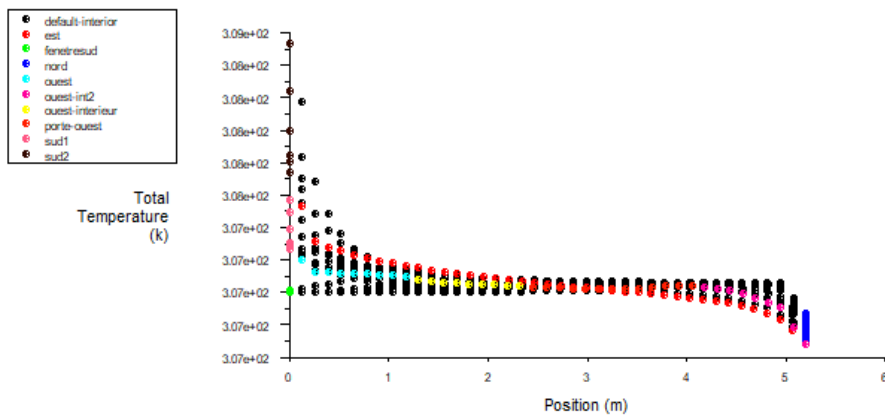
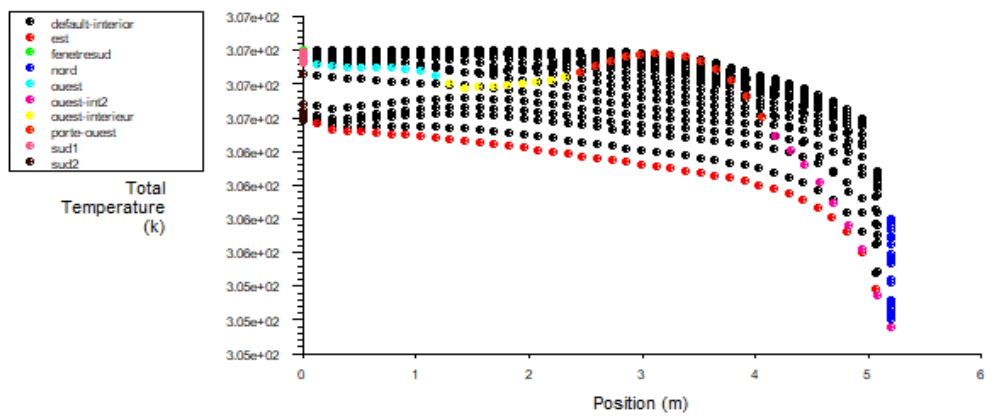


Figure IV.5. Contours de la température.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.6. Diagrammes de température.

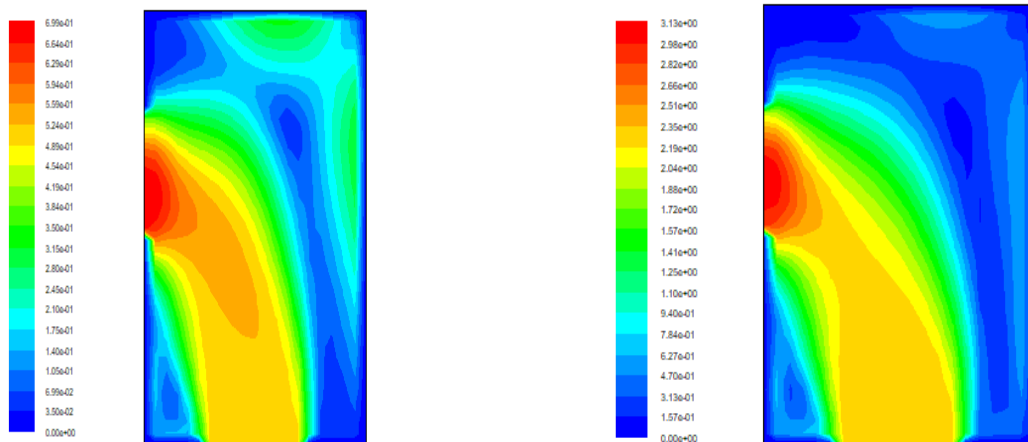
L'influence des ouvertures est efficace pour la circulation de l'air dans le séjour et donne les meilleures performances que celle de local fermée.

Dans le régime laminaire, on remarque que la distribution de la température du local est homogène au centre car la vitesse de l'air rentrant est faible mais la température reste un peu élevée dans les coins sud car la ventilation ne couvre pas les coins sud du séjour ou la température est plus élevée. Dans le cas turbulent l'air rentre de l'ouverture sur le mur sud avec une vitesse supérieure, ce qui a fait propager plus de l'air dans le séjour, dans ce cas la ventilation couvre les deux coins sud mais ne couvre pas les deux coins nord ou la température est un peu plus basse.

**IV.3.2.b. Etude de vitesse**

**a) Régime laminaire**

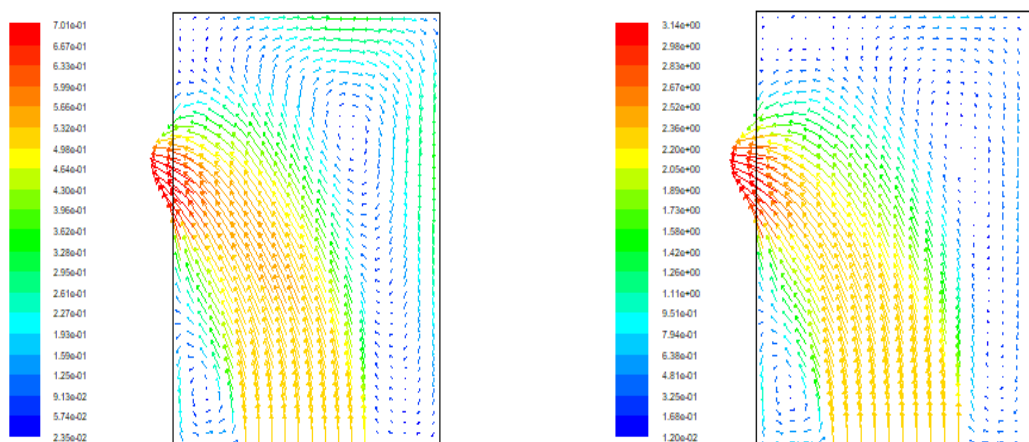
**b) Régime turbulent**



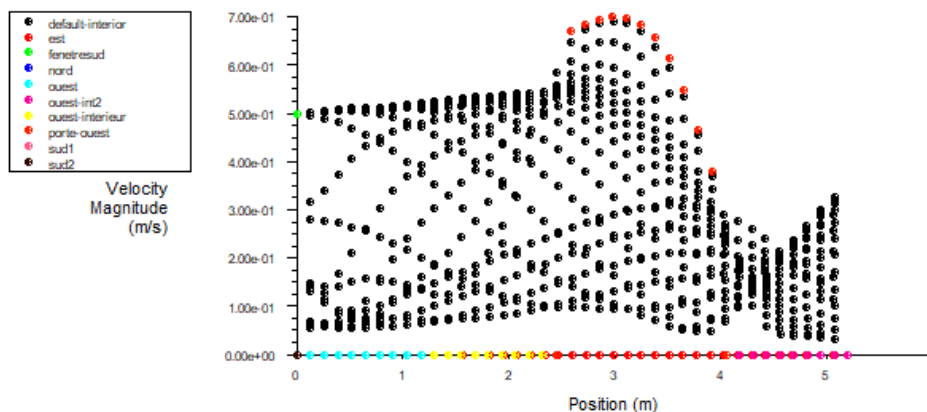
**Figure IV.7.** Contours de vitesse.

**a) Régime laminaire**

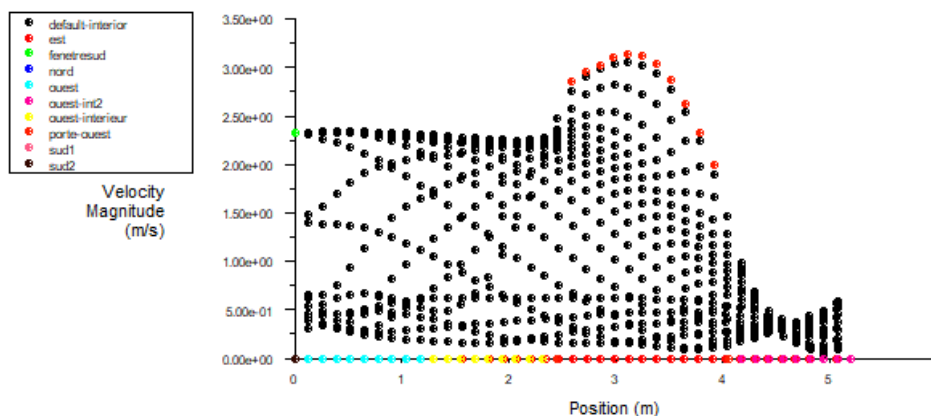
**b) Régime turbulent**



**Figure IV.8.** Vecteurs vitesses.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.9. Diagrammes des vitesses selon y.

Les figures ci-dessus montrent que l’air rentre de l’ouverture sur le mur sud et sort de la porte sur le mur ouest, en formant deux tourbillons, ce qui va assurer une meilleure ventilation du local.

On observe que dans le régime laminaire et turbulent la vitesse est au maximale à la sortie de la porte sur le mur ouest.

IV.3.2.c. Etude de pression

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

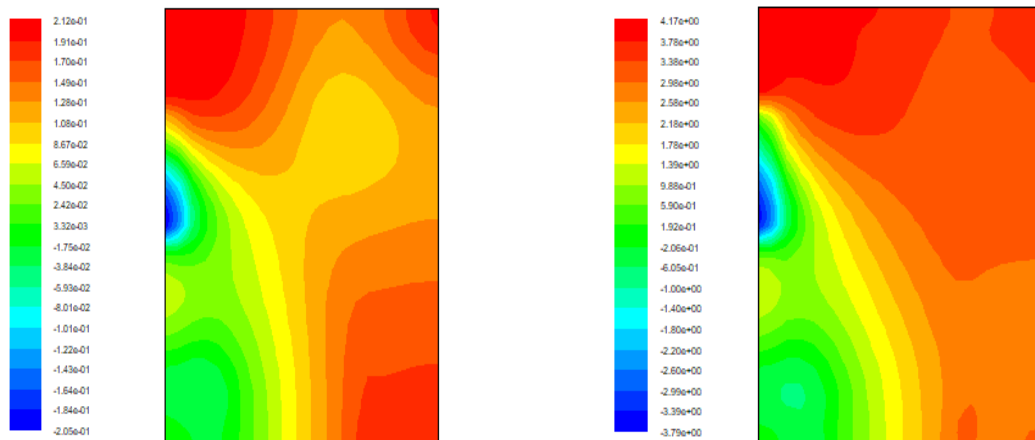
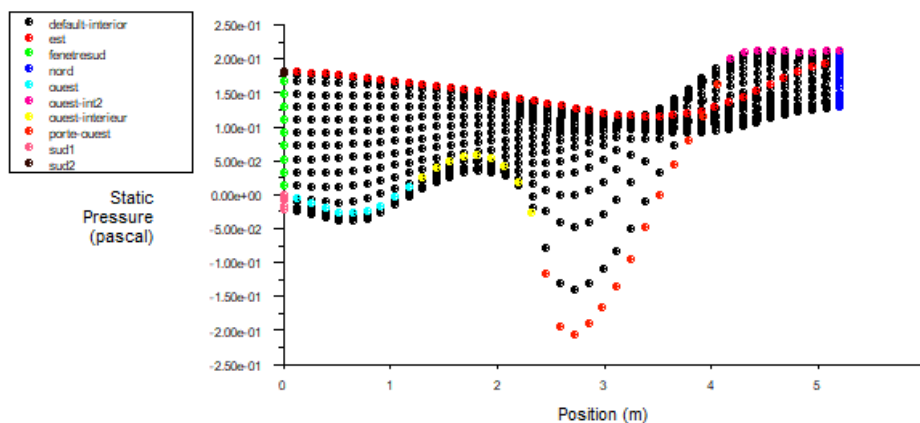
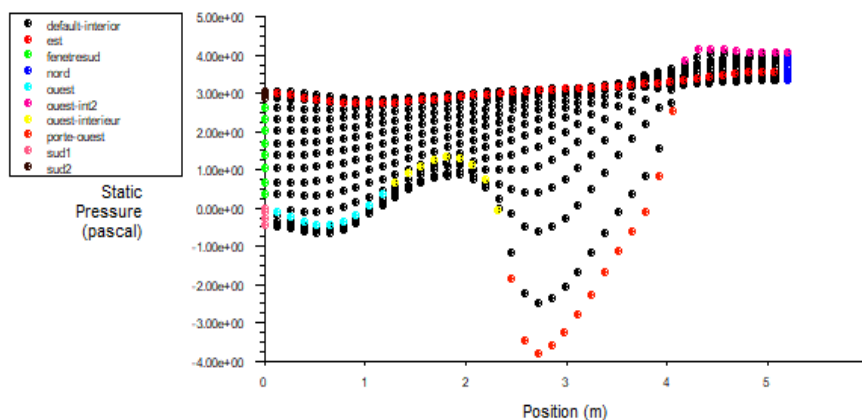


Figure IV.10. Contours de la pression.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.11. Diagrammes des pressions.

On observe sur ces figures que la pression est plus élevée dans les coins nord-est, nord-ouest et sud-est. L'influence de la fenêtre est efficace et donne les meilleures performances que celle de local fermée, mais on pense qu'avec plus d'ouvertures, on obtient un meilleur résultat est une solution parfaite pour dégager une grande quantité de chaleur.

### IV.3.3. Séjour avec deux fenêtres et une porte

Pour ce troisième cas, on s'intéresse à étudier notre séjour avec ouverture, veut dire qu'on réalisera une simulation numérique avec une géométrie qui a deux fenêtres, l'une en mur Sud, l'autre en mur Est et une porte en mur Ouest, avec deux régimes d'écoulement. On partage ce cas en deux exemples ou en premier lieu, on étudie le flux qui entre par la fenêtre en mur Sud ce et sort par d'autres ouvertures, et en deuxième lieu, on étudie le flux qui entre par la fenêtre en mur Est et sort par d'autres ouverture.

#### IV.3.3.a. Le flux entre par la fenêtre en mur Sud

Pour ce cas, on utilise les résultats obtenus de la densité de flux calculée pour chaque mur dans le chapitre 2, et on suppose :

- La vitesse de l'air dans le régime laminaire  $V= 1\text{m/s}$  ;
- La vitesse de l'air dans le régime turbulent  $V= 3\text{m/s}$ .

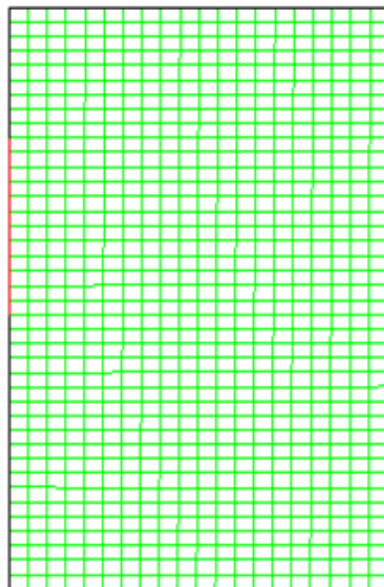


Figure IV.12. Géométrie du local à simuler.

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

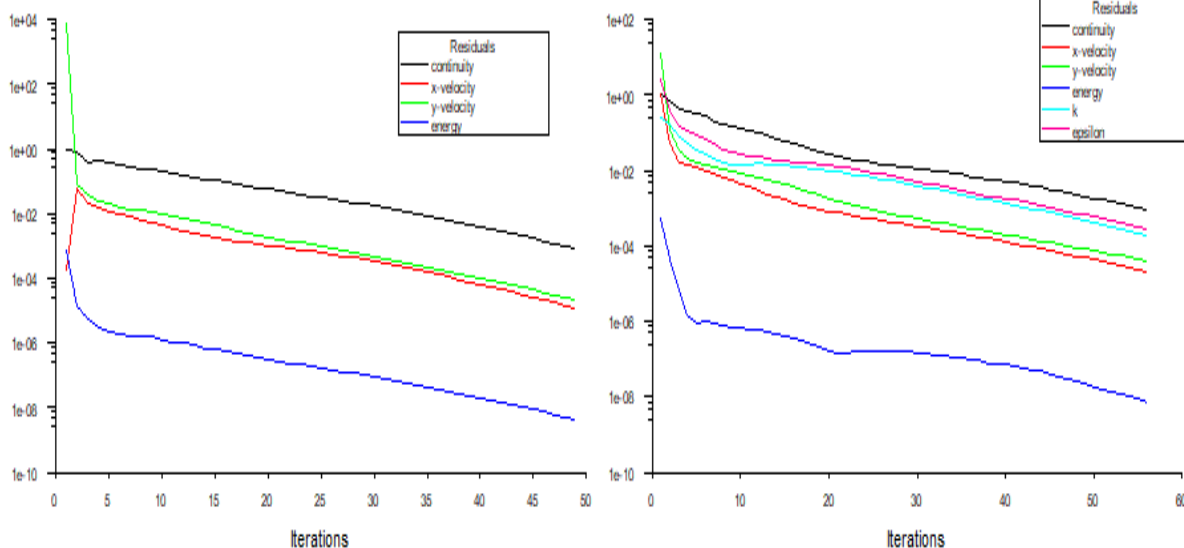


Figure IV.13. Les Courbes des résidus.

A- Etude de température

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

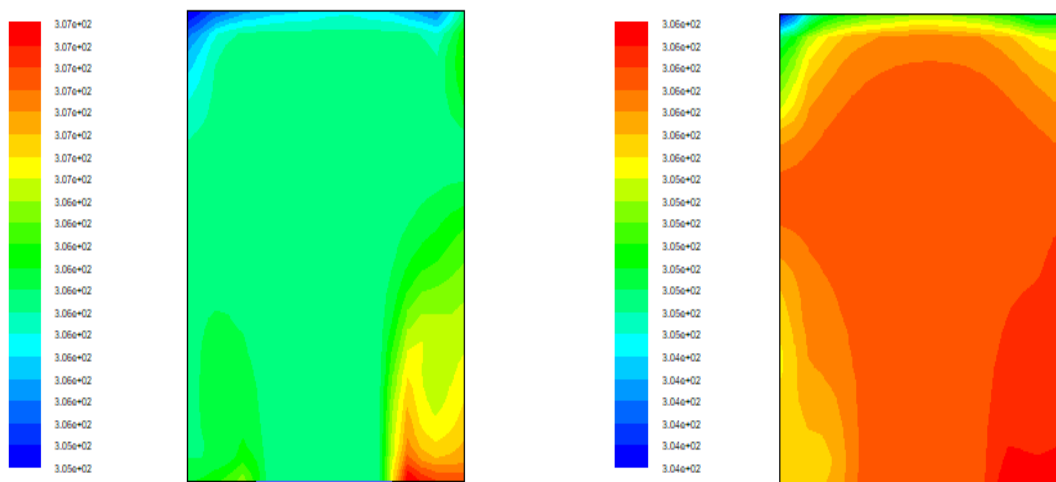
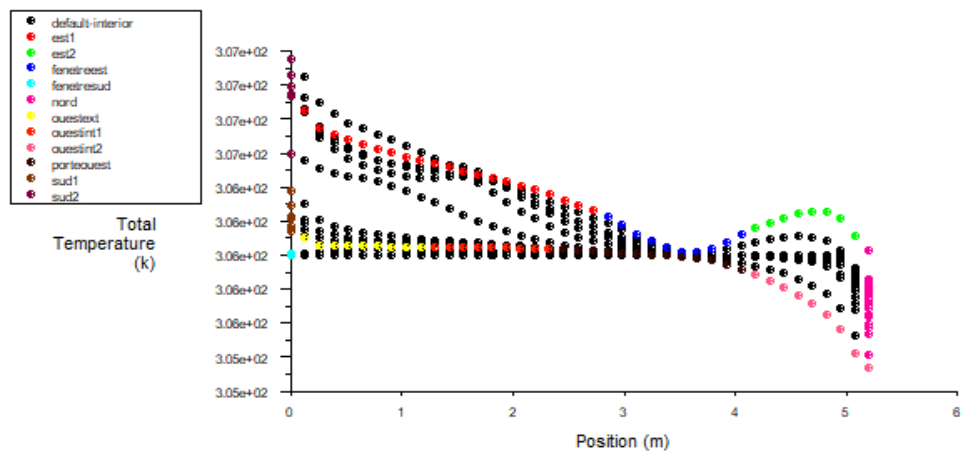
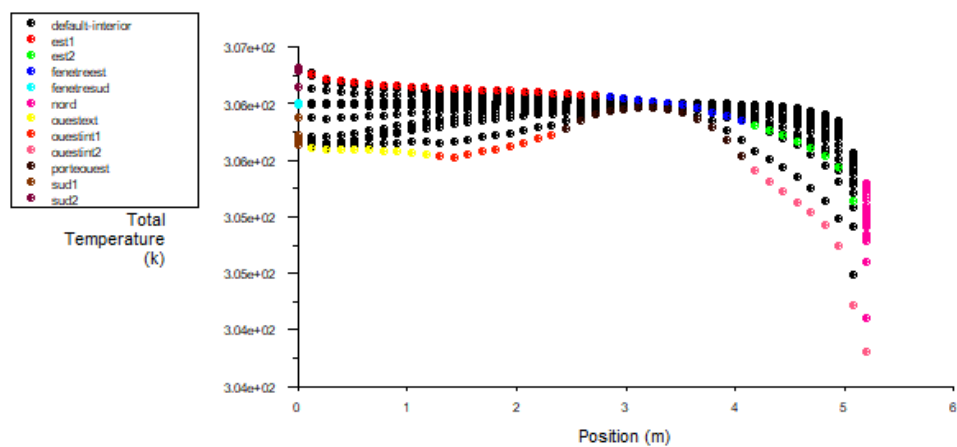


Figure IV.14. Contours de température.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.15. Diagrammes de température.

Les figures ci-dessus montrent que la température est homogène au centre et différente dans les coins parce que la ventilation ne couvre pas toutes les zones du séjour. On constate également que dans ce cas la température a diminué un peu par rapport aux cas précédents cela est dû à l'ouverture sur le mur est.

## B- Etude de vitesse

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

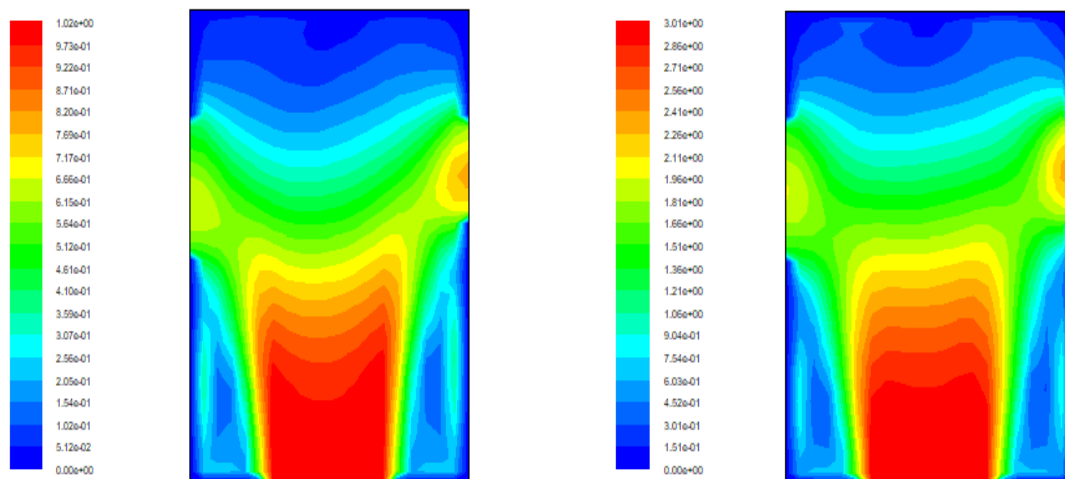


Figure IV.16. Contours de vitesse.

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

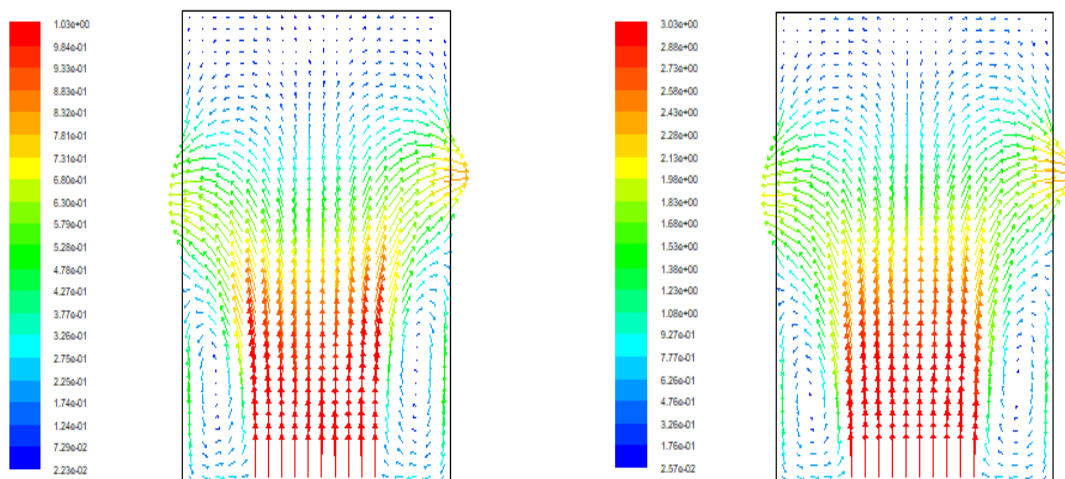
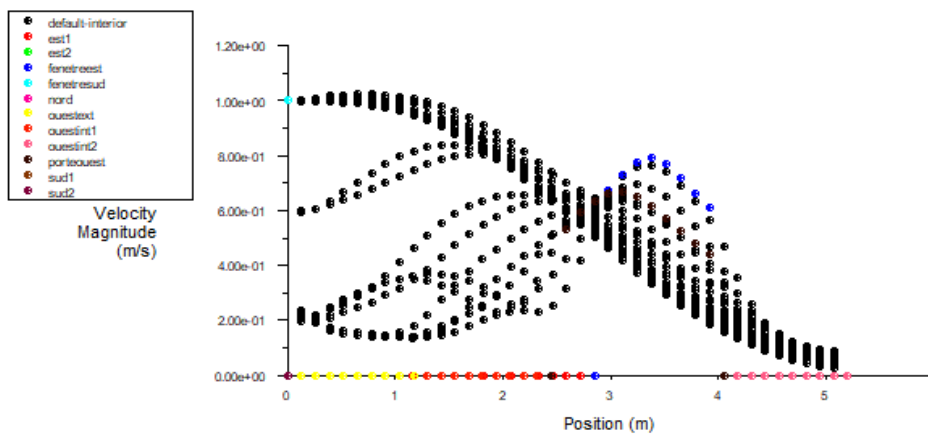
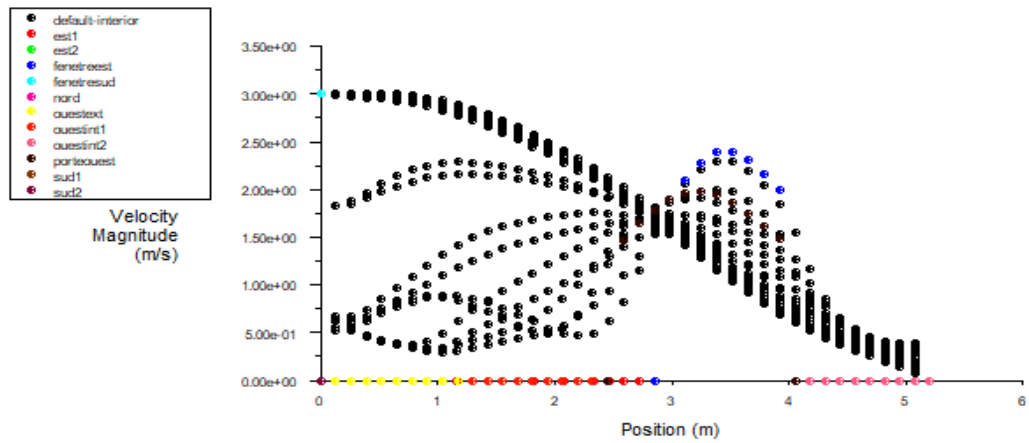


Figure IV.17. Vecteurs de vitesse.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.18. Diagrammes des vitesses.

La courbe de vitesse montre que l'air passe par la fenêtre sur le mur sud avec une vitesse maximale circulant dans le séjour avec une vitesse variable selon la position. L'écoulement de l'air forme deux petits tourbillons (à faible vitesse) dans les coins sud (c-à-d ces coins sont aérés) et sort par les deux ouvertures sur le mur est et le mur ouest. La vitesse est maximale à l'entrée de la fenêtre sur le mur sud pour les deux régimes turbulent et laminaire.

C- Etude de Pression

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

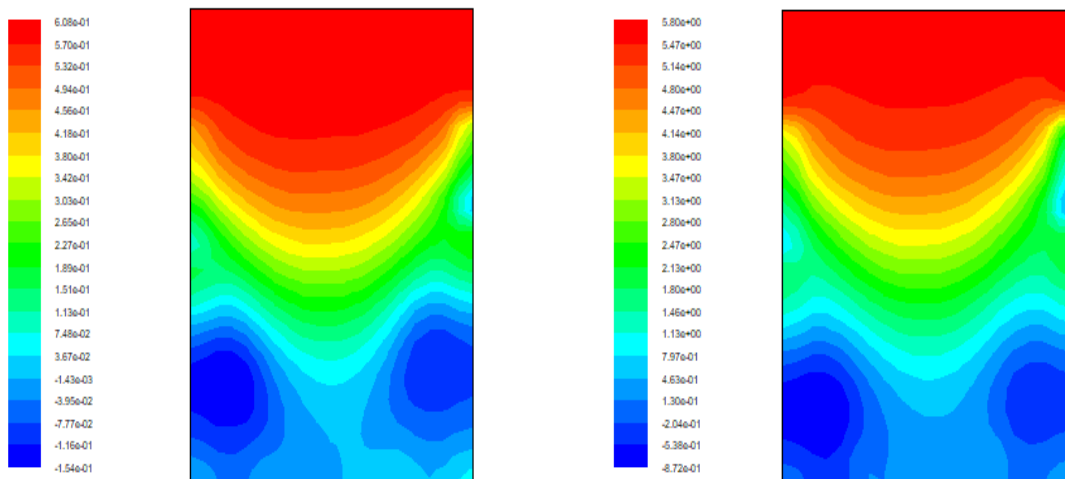
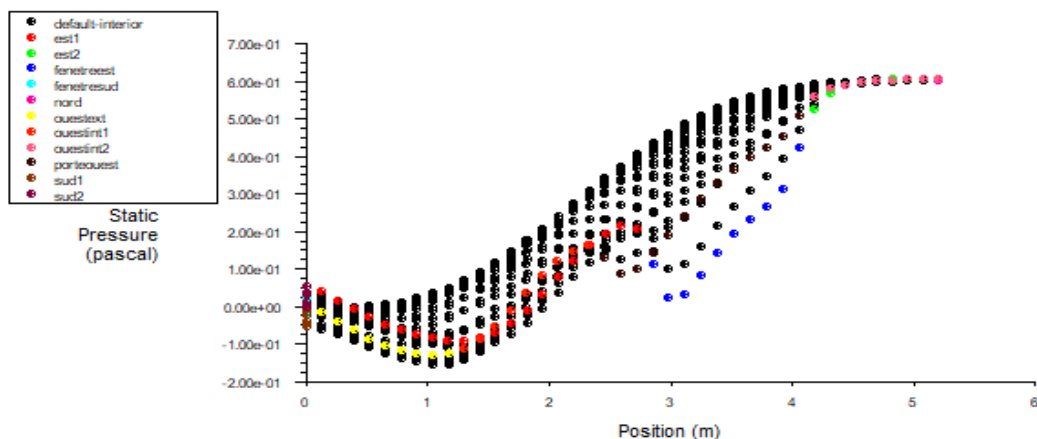
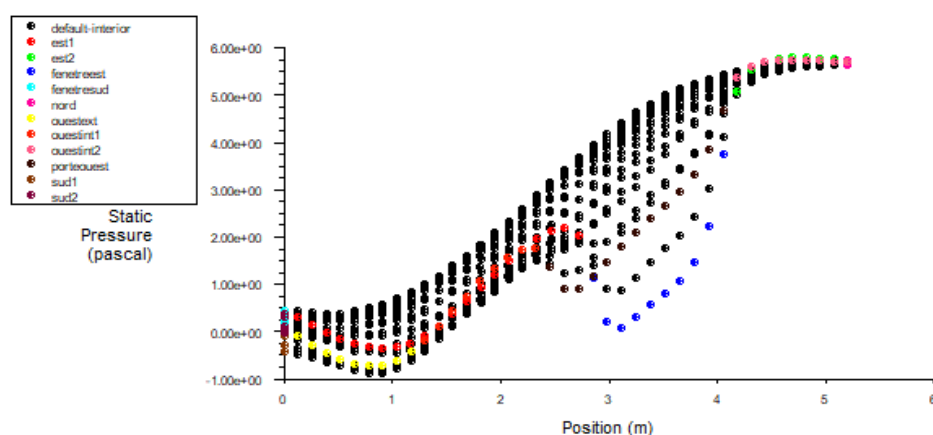


Figure IV.19. Contours de la pression.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.20. Diagrammes des pressions.

Dans ce cas, les figures ci-dessous nous montrent que la pression n'est pas uniforme. En effet, le tirage thermique crée une zone de dépression dans les coins sud-est et sud-ouest du séjour. Cependant, la pression reste maximale et concentrée sur une zone importante (grande) du côté du mur nord.

#### IV.3.3.b. Le flux entre par la fenêtre en mur Est

Pour ce cas, on utilise les résultats obtenus de la densité de flux calculée pour chaque mur dans le chapitre 2, qui sont :

- Mur ouest  $\phi=1.2\text{W/m}^2$  ;
- Mur sud  $\phi=14.08\text{W/m}^2$  ;
- Mur nord  $\phi=0\text{W/m}^2$  ;
- Mur est  $\phi=21.13\text{W/m}^2$ .

Et on suppose :

- La vitesse de l'air dans le régime laminaire  $V= 0.4\text{m/s}$  ;
- La vitesse de l'air dans le régime turbulent  $V= 3.9\text{m/s}$ .

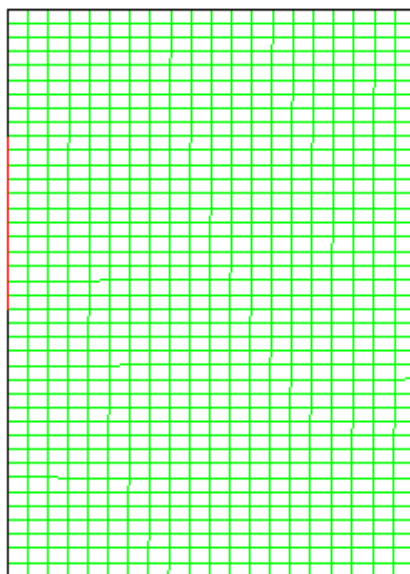


Figure IV.21. La géométrie de séjour simulé.

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

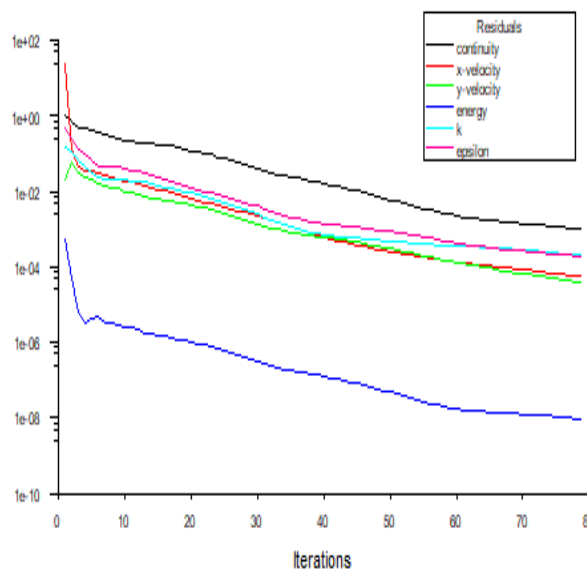
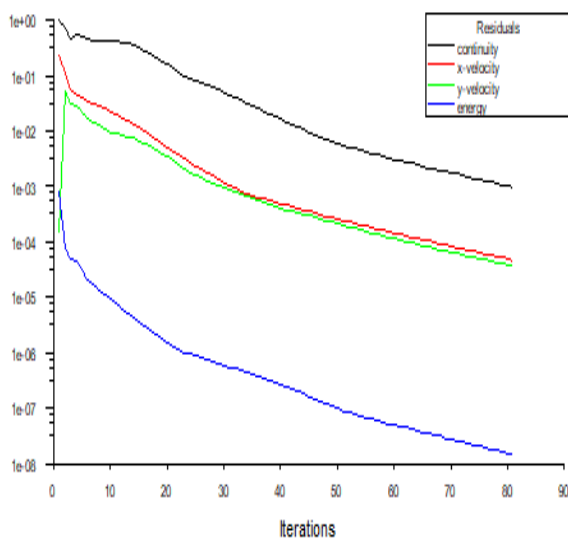


Figure IV.22. Les courbes des résidus.

A- Etude de température

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

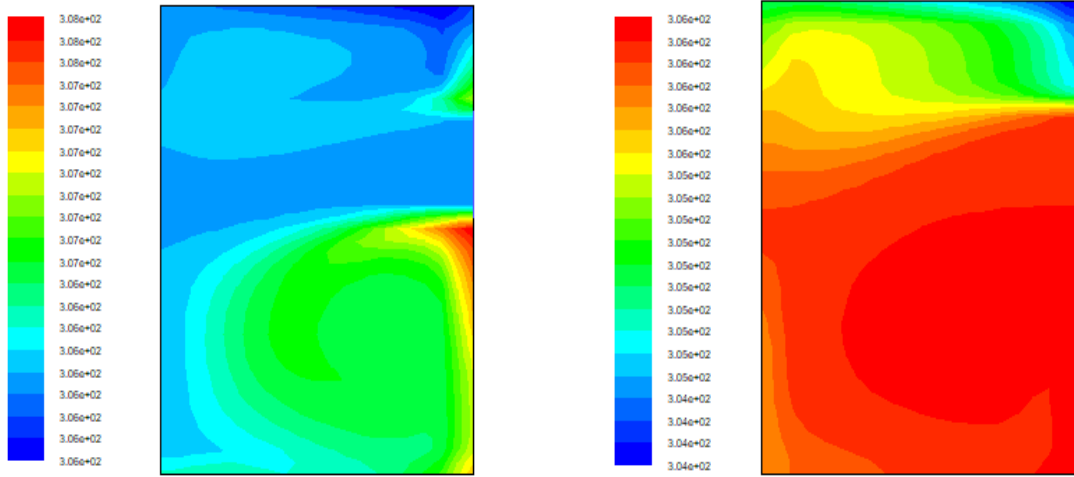
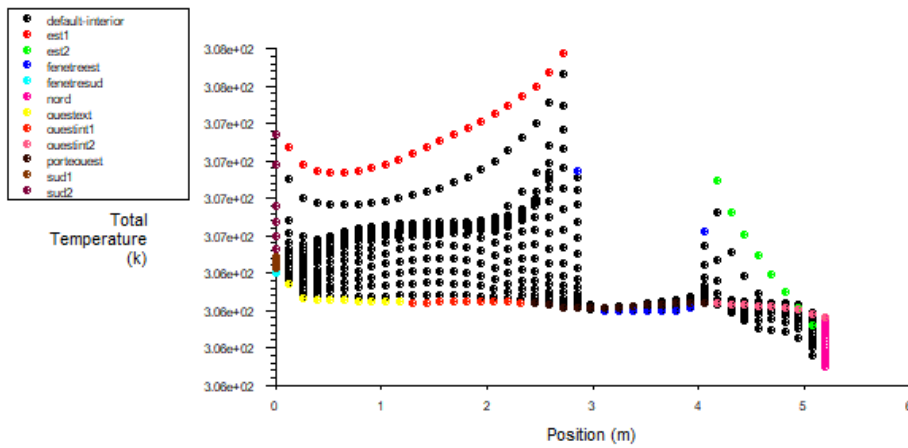
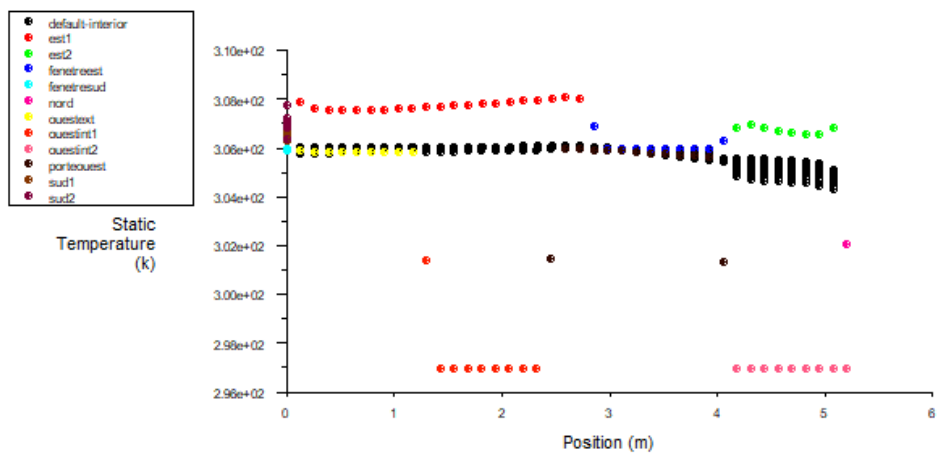


Figure IV.23. Contours des températures.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.24. Diagrammes de température.

Sur les figures ci-dessus le vent est infiltré par la fenêtre est sort dans la direction du sud et de la porte de l'ouest ce qui donne un meilleur confort sur ces côtés.

Dans le régime turbulent la température a légèrement baissé par rapport au régime laminaire vu que la vitesse d'infiltration du vent dans le régime turbulent est plus grande.

**B- Etude de vitesse**

**a) Régime laminaire**

**b) Régime turbulent**

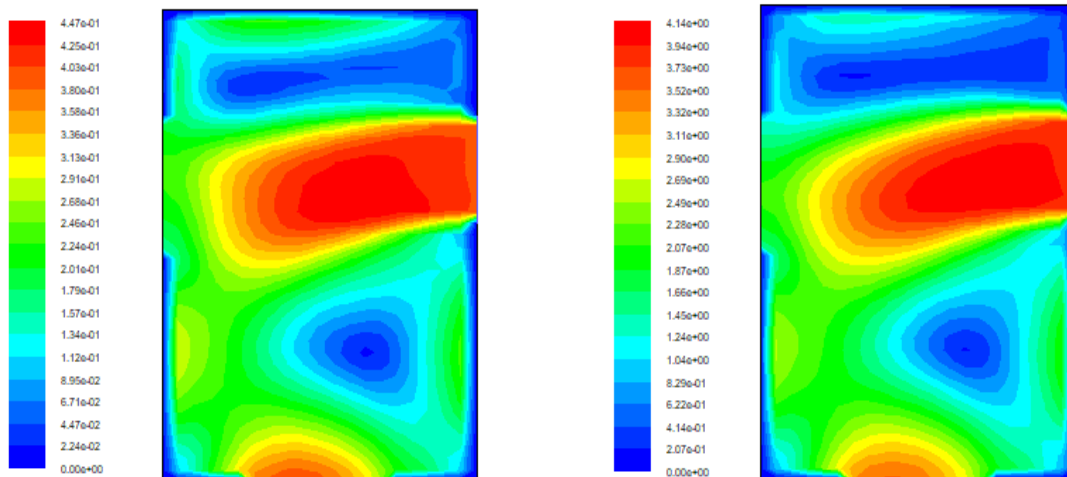


Figure IV.25. Contours de vitesse.

**a) Régime laminaire**

**b) Régime turbulent**

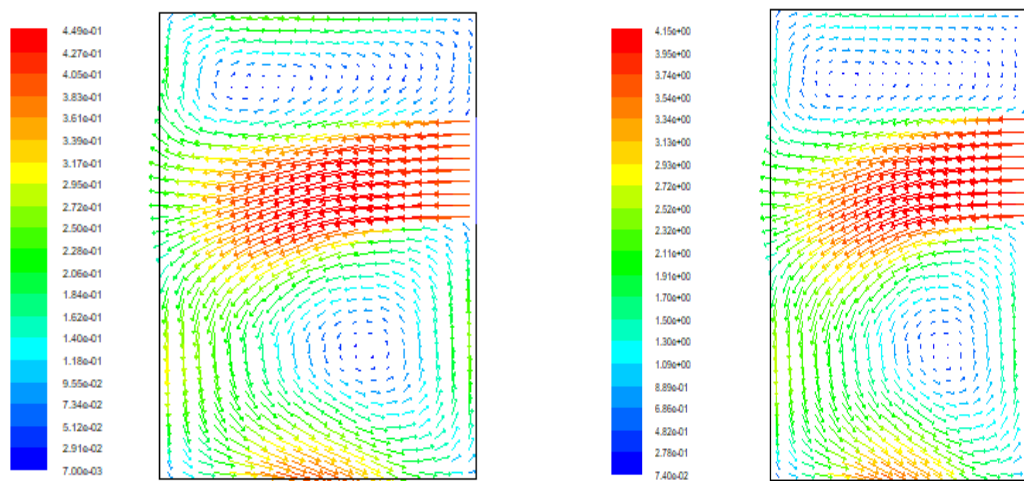
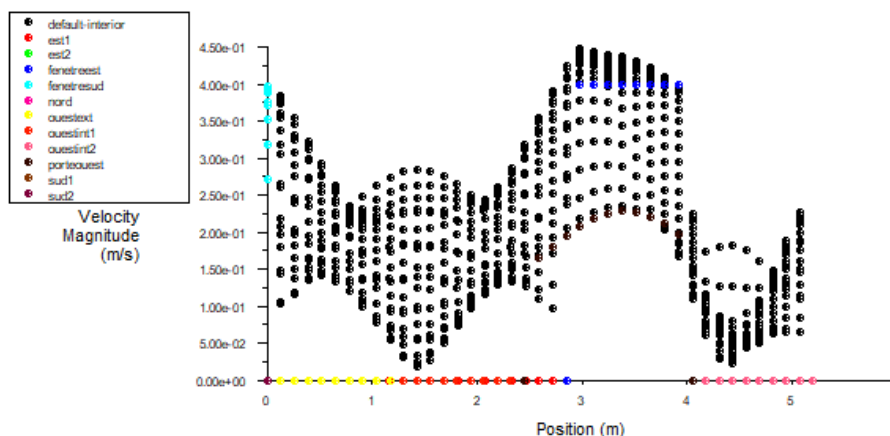
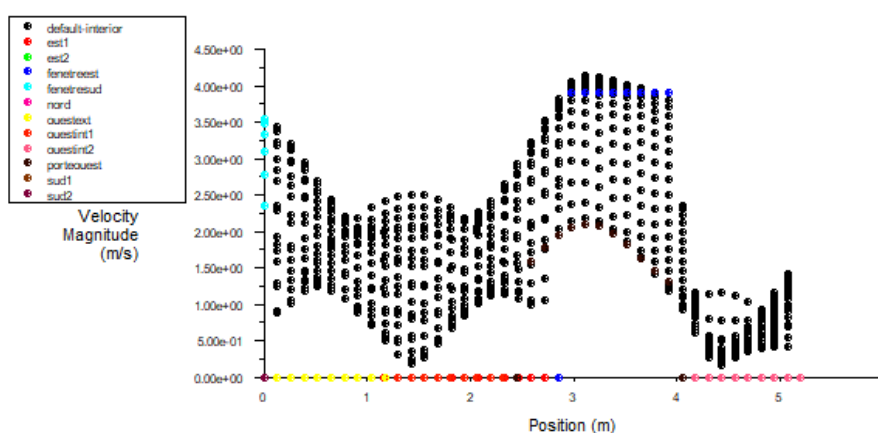


Figure IV.26. Profil de vectrices vitesses.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.27. Diagrammes des vitesses.

On peut observer sur les figures illustrant la vitesse que l’air rentre avec une vitesse constante et maximale de la fenêtre est. L’air infiltré circule avec une vitesse variable dans le séjour formant deux tourbillons (le 1<sup>er</sup> au nord et le 2<sup>ème</sup> au sud) ce qui assure une meilleure ventilation et sort de la porte ouest et de la fenêtre sud.

**C- Etude de pression**

a) Régime laminaire

b) Régime turbulent

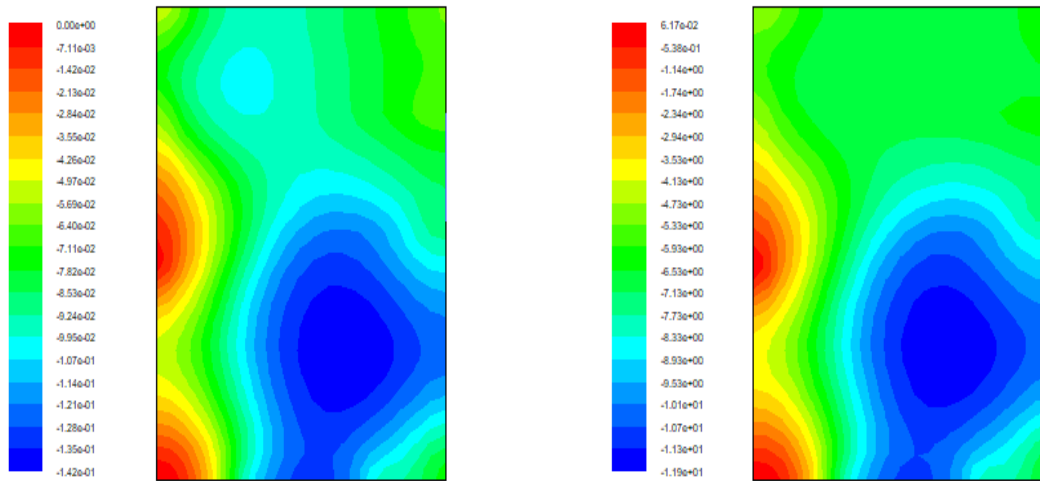
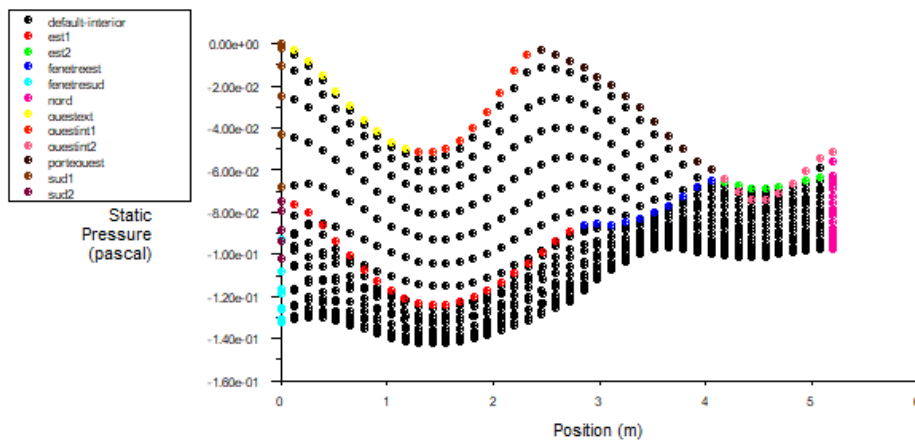
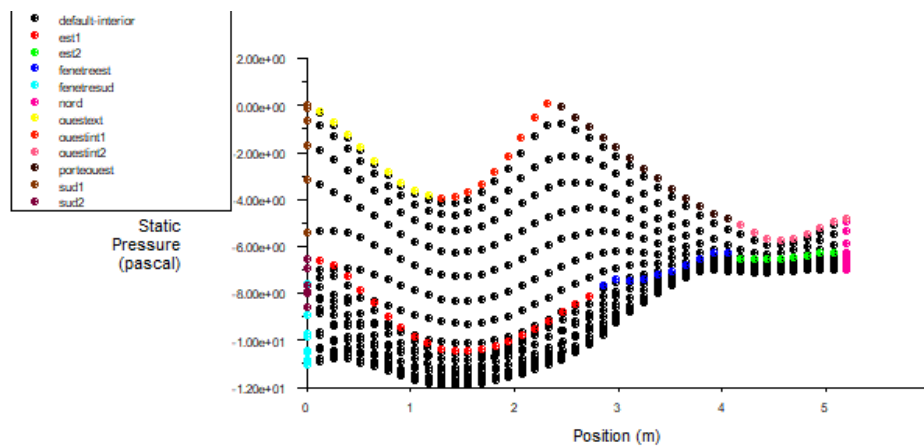


Figure IV.28. Contours de pression.



a) Régime laminaire



b) Régime turbulent

Figure IV.29. Diagrammes de pression.

Les figures ci-dessous nous montrent que la pression n'est pas uniforme dans le séjour. En effet, la pression est maximale à la sortie de la porte (mur ouest), ce qui est bénéfique puisque on remarque la création d'une zone de dépression au sud-est. Cependant, la pression est maximale également au coin sud-ouest, ce que signifie que cette modification n'est pas suffisante pour une meilleure ventilation.

#### **IV.4. Conclusion**

Cette modification n'est pas suffisante pour des températures très élevées, on a besoin d'autres modifications pour améliorer la zone de confort et plus précisément pour la circulation, la ventilation et le renouvellement de l'air. Néanmoins, c'est la meilleure des initiatives pour un meilleur confort dans notre étude. Envisagé des solutions alternatives comme une ventilation mécanique résoudra le problème de l'inconfort dans tous les coins et recoins de notre séjour.

### *Conclusion générale*

Dans un monde où les besoins énergétiques augmentent jour après jour en utilisant des sources épuisables pour assurer un confort thermique, c'est le temps de prendre conscience de la manière la plus efficace d'améliorer les ambiances intérieures en prendre en considération le climat et les exigences conceptuels et techniques.

En Algérie, le secteur résidentiel est le plus influencé par rapport aux autres secteurs suite à l'occupation continue du foyer. Cela va augmenter les besoins énergétiques en améliorant les ambiances intérieures afin de corriger les défauts d'étanchéité liées à la conception et à la réalisation des constructions.

Dans ce cadre, améliorer un confort thermique dans la zone littorale et plus précisément la ville de Tizirt en appliquant les exigences conceptuelles et techniques présentent le cas d'étude de ce travail de recherche.

La ventilation naturelle est une stratégie passive, sans moyen mécanique de maintenir un environnement intérieur confortable. Elle joue, également un grand rôle dans la réduction de la consommation énergétique. Le principe de base de la ventilation est le phénomène de convection naturelle due aux différences de température qui ont pour effet de provoquer le mouvement de l'air donc tirage de l'air.

Le calcul d'un bilan thermique permet de connaître avec précision la quantité d'énergie qu'il faudra pour chauffer et refroidir un local, la justesse de ce calcul est primordial non seulement pour le coût de l'installation mais aussi pour son exploitation. La modeste recherche que nous avons effectuée se fait à l'aide de DTR C3.4 pour le calcul des apports calorifique. Les éléments entrant en compte dans ce calcul sont nombreux, il faudra connaître la nature, l'exposition, la surface des murs, des parois vitrées, des plafonds, des sols. Ces éléments étant multipliés par des coefficients variables selon l'altitude, le rayonnement solaire et la localisation géographique. D'autres éléments doivent être pris en compte comme le renouvellement d'air naturel ou mécanique, les divers ponts thermiques ainsi que les apports qui pondéreront le calcul par exemple l'éclairage, l'occupation humaine, les appareils ménagers...Etc.

Afin de mener à bien ce projet, on a eu recours au logiciel Fluent pour réaliser une simulation numérique basée sur la méthode des volumes finis. En effet, ce logiciel offre l'avantage pour que nous montrions l'importance de la ventilation naturelle à travers des

propositions de changements sur la géométrie du local pour but d'améliorer le confort des occupants.

Enfin, l'étude de ce présent projet, présente des insuffisances en matière de prise en charge du confort intérieur ; pour remédier à ce problème, on pense d'ajouter une ventilation mixte qui se compose de la ventilation mécanique et la ventilation naturelle.

## Références

- [1] Bassam MOUJALLED, « Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés », thèse de doctorat en génie civil, Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 2007.
- [2] Françoise THELLIER\*, Françoise MONCHOUX, Jean-Pierre BEDRUNE « Le Confort dans le bâtiment : n'oublions pas l'habitant ! », La Revue 3EI, Édition SEE, 17 rue de l'Amiral amelin, 75783 PARIS Cedex 16.
- [3] Juslin KOFFI, « ANALYSE MULTICRITERE DES STRATEGIES DE VENTILATION EN MAISONS INDIVIDUELLES », thèse de doctorat en génie civil, Université de La Rochelle.
- [4] COLLARD PHILIPPE. Approche multicritère de l'évaluation de la qualité des ambiances intérieures : application aux bâtiments tertiaires. Thèse Génie Civil et Sciences de l'Habitat. Chambéry: Université de Savoie, 2001, 215 p.
- [5] « AMBIANCE THERMIQUE –UNITE : 5 facteur d'ambiance-M ATHUYT. Promotion 2003/2004 »
- [6] Site internet lien de page web : <https://www.energieplusesite.be/index.php?id=10250#c20964493+c2912>.
- [7] Site internet lien de page web : [http://ecoconstruction.rpn.univ-lorraine.fr/co/exercice1\\_1.html](http://ecoconstruction.rpn.univ-lorraine.fr/co/exercice1_1.html)
- [8] NEUF: « Climat intérieur/ confort, Santé, confort visuel » Revue européenne d'architecture N°77, P 12 novembre - décembre 1978.
- [9] LIEBARD, A. et De HERDE, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ». Ed. Le Moniteur. Paris p. 30a (2005).
- [10] SALOMON, T et BEDEL, S., « La maison des [méga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi ». Ed. Terre vivante. Mens, p. 25 (2004).
- [11] KELLOUA. T et BOUCHEHIDA. N, mémoire de fin d'étude « Simulation numérique de la climatisation en été d'un local », Université Abdel Hamid Ben Badis de Mostaganem, 2019.
- [12] THELLIER, Françoise. « L'homme et son environnement thermique – Modélisation ». Université de Paul Sabatier de Toulouse, p 65 (1999).
- [13] IZARD-L. « Architectures d'été construire : pour le confort d'été », Edition Edisud, p141 (1994).
- [14] Cabirol, T. et Roux, D. « Chauffage de l'habitat et énergie solaire ; 2. Chauffage solaire de l'habitat », édition Edisud. Aix-en-Provence. 1984.
- [15] Givoni, B. « L'homme, l'architecture et le climat », Edition le moniteur, Paris. 1978.
- [16] Site internet lien de page web : <https://www.polet.fr/solutions/aeration/>
- [17] Source Raoust, M. (Terao), et al [www.asso-iceb.org](http://www.asso-iceb.org).
- [18] Dutreix, A. « Bio climatisme et performances énergétiques des bâtiments », Edition Eyrolles environnement, Paris. 2010.
- [19] Avems, « Guide de la ventilation naturelle et hybride, conception, dimensionnement, mise en œuvre et maintenance ». 2010
- [20] Site internet lien de page web : <https://www.ventilationmecaniquecontrolee.com/ventil/>

- 
- [21] Tome I NOTIONS DE BASE (technique de chauffage structure et fonctions d'installation) préparé par Salvatore Morreale 7/9/2001.
- [22] Juslin Koffi. Analyse multicritère des stratégies de ventilation en maisons individuelles. Energie électrique. Université de La Rochelle, 2009. Français
- [23] Ribéron J., Kirchner S., Lucas J.-P., Etat de la ventilation dans les logements français. CSTB Division Santé, Rapport final – juillet 2008, Actions 2007.
- [24] Liddament M., A Guide to Energy-Efficient Ventilation. AIVC, march 1996.
- [25] Concannon P., Residential ventilation. AIVC Technical Note 57, 2002.
- [26] DTR C3.2 C3.4
- [27] Mohamed chaour, mémoire de magister : interaction des structures tourbillonnaires avec la couche limite dans une cavité différentiellement chauffée, université mentouri – constantine, 2010.
- [28] André Lallemand, Dynamique des fluide réels, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique BE 8 157.
- [29] Documentation FLUENT 6.1.22 united states of America 2003.
- [30] Lesieur, M. ; Turbulence, Presses Universitaires de Grenoble, 1994.
- [31] S.V.PATANKAR, Numerical Heat transfer and fluid Flow, Hemispher Publishing 1980.

## Annexe A

Tableau A. 1. Valeurs de la température extérieure de base.

Zone	Altitude (m)	$t_{be}$ (en °C)	Zone	Altitude (m)	$T_{be}$ (en °C)
A	< 300	6	C	500 à 1000	-2
	300 à 500	3			-4
	500 à 1000	1		$\geq 1000$	
	$\geq 1000$	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	5
	500 à 1000	1		$\geq 1000$	4
	$\geq 1000$	-1			
B'	< 500	0	D'	< 1000	5
	$\geq 500$	Voir zone B			

Tableau A. 2. Condition extérieur de base.

L'hiver				L'été		EAT (°C) $\Delta T$
Zone	L'altitude	Latitude	$T_{ex}$	$T_{ex}$	Humidité spécifique ( $g_{vap} / kg_{as}$ )	
A	alt < 500	36°EST 04° Nord	3	34	14.5	31

Tableau A. 3. Coefficients  $K_{vn}$  des vitrages.

Type de vitrage	Epaisseur de la lame d'air (en mm)	Nature de la menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
Vitrage simple	-	Bois	5.0	5.5
		Métal	5.8	6.5
	5 à 7	Bois	3.3	3.5
		Métal	4.0	4.3
	8 à 9	Bois	3.1	3.3
		Métal	3.9	4.2

Vitrage double	10 à 11	Bois	3.0	3.2
		Métal	3.8	4.1
	12 à 13	Bois	2.9	3.1
		Métal	3.7	4.0
Double fenêtre	Plus de 30	Bois	2.6	2.7
		Métal	3.0	3.2

## Annexe B

### Les résultats obtenus pour les pièces de local

#### 1- Chambre 1

##### a) Mur nord

- *Apports à travers les parois opaques*

$$\Delta t_e(t) = 7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_{int} = 13.3 \text{ m}^2 \quad .K_{été} = 1.45 \text{ W/K}^\circ\text{m}^2 \quad E_b = 9 \text{ }^\circ\text{C C} \quad C\Delta t_e = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{em} (15h) = 4.4 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t_{es} (15h) = 4.4^\circ\text{C.} \quad I_{t,b} = 48.5 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b} (40) = 47 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$APO (15h) = 162\text{W} , APO (sol) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$AV (t) = 0 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$Souv = 0 \text{ m}^2 ; \quad AVT(15h) = 0 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$AVE (15h) = 0 \text{ W}$$

**Tableau B. 1.** Apports renouvellement d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	2	3.93	50	10	160	3.5	139.47

**Tableau B. 2.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	2	0	0	10	0	3.5	<b>0</b>

**Tableau B. 3.** Apports internes.

Chambre I	Asoc	Asm	Ase	Als	AL
Mur NORD	67.45	285	18	370.45	60

**Tableau B. 4.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	A <sub>soc</sub> (W)	AI <sub>Loc</sub> totale (W)	A <sub>Loc</sub> (W)	Aoc totale
Logement	2	71	0.5	0.95	67.45	60	60	127

**Tableau B. 5.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Television	1	150	0.5	0.95	71.25	0	285
	Micro-ordinateur	1	450	0.5	0.95	213.75	0	

**Tableau B. 6.** Apports dus aux machines et appareillages.

Local	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 7.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	60.63	0	370.45	0	431.08

- **Les apports latents**

AI = 60 W

**Tableau B. 8.** Apports effectifs.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	431.08	0.4	160	516.63

**Tableau B. 9.** Apports effectifs latents.

Local	CPas	AI	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	60	0.4	139.47	118.78

- **Les apports totaux**

ATs = 612.63 W

✓ **Vérification réglementaire**

Aréf = 74.37 W

$1.05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h}) = 78.08 \text{ W},$

$\text{APO} (15\text{h}) + \text{AV} (15\text{h}) = 60.63 \text{ W}$

D'où  $\text{APO} (15 \text{ h}) + \text{AV} (15 \text{ h}) \leq 1.05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h})$  Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

## b) Mur est

- *Apports à travers les parois opaques*

$$DTe(t) = 2.6^{\circ}\text{C}$$

$$S_{int} = 10.36 \text{ m}^2 \quad .K_{été} = 1.45 \text{ W/K}^{\circ}\text{m}^2 \quad E_b = 9^{\circ}\text{C C} \quad C\Delta t_e = 2.6^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{em} (15h) = 0^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{es} (15h) = 7.2^{\circ}\text{C.} \quad I_{t,b} = 516 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b} (40) = 516 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$APO (15h) = 46.87 \text{ W} ; \quad APO (sol) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$AV (t) = 199.94 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$S_{ouv} = 1.68 \text{ m}^2 ; \quad AVT(t) = 116.92 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$F_s = 0.45, \quad N_{pvi} (15h) = 0.68, \quad I_{d,b} = 48.5, \text{ W/m}^2, \quad I_d = 50.37$$

$$I_{t,b} = 155.5 \text{ W/m}^2 \text{ d'ou: } I_t = 161.5 \text{ W/m}^2 \text{ Avec:}$$

- $C_{cadre} = 1, \quad C_{limp} = 0.92, \quad C_{alt} = 1.0035, \quad C_{ros} = 0.9$
- $AVE (15h) = 83.02 \text{ W}$

**Tableau B. 10.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	2	3.93	50	10	160	3.5	139.47

**Tableau B. 11.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	2	0	0	10	77.95	3.5	27.28

**Tableau B. 12.** Apports internes.

Chambre I	Asoc	Asm	Ase	AIs	AIL
Mur EST	67.45	285	18	370.45	60

**Tableau B. 13.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale (W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	2	71	0.5	0.95	55.1	60	73	133

**Tableau B. 14.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Television	1	150	0.5	0.95	71.25	0	285
	Micro-ordinateur	1	450	0.5	0.95	213.75	0	

**Tableau B. 15.** Apports dus aux Eclairage.

Local	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 16.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	46.87	199.94	370.45	77.95	635.21

**Tableau B. 17.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	Aes
Logement	1.05	635.21	0.4	160	730.97

**Tableau B. 18.** Apports effectifs latentes.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	60	0.4	139.47	118.78

- **Les apports totaux**

ATs = 826.97 W

- ✓ **Vérification réglementaire**

Aréf (15h) = 391.34 W

$1.05 \times \text{Aréf (15 h)} = 410.96 \text{ W}$

- $\text{APO (15h)} + \text{AV (15h)} = 246.81 \text{ w}$

D'où  $\text{APO (15 h)} + \text{AV (15 h)} \leq 1.05 \times \text{Aréf (15 h)}$ , Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

**c) Mur SUD**

- *Apports à travers les parois opaques*

$$\Delta T_e(t) = 6.63^\circ\text{C}$$

$$S_{\text{int}} = 2.8 \text{ m}^2 \quad .K_{\text{été}} = 1.45 \text{ W/K}^\circ\text{m}^2 \quad E_b = 9^\circ\text{C} \quad C\Delta T_e = 2.6^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{em}}(15\text{h}) = 0^\circ\text{C} \quad \Delta T_{\text{es}}(15\text{h}) = 13.9^\circ\text{C} \quad I_{t,b} = 155.5 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b}(40) = 217 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$APO(15\text{h}) = 32.30 \text{ W} ; \quad APO(\text{sol}) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$AV(t) = 0 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$\text{Souv} = 0 \text{ m}^2 ; \quad AVT(15\text{h}) = 0 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$AVE(15\text{h}) = 0 \text{ W}$$

**Tableau B. 19.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	2	2.8	50	10	160	3.5	139.47

**Tableau B. 20.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	2	0	0	10	0	3.5	0

**Tableau B. 21.** Apports internes.

Chambre I	Asoc	Asm	Ase	AI <sub>s</sub>	AI <sub>L</sub>
Mur NORD	67.45	285	18	370.45	60

**Tableau B. 22.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale (W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	2	71	0.5	0.95	67.45	60	60	127.45

**Tableau B. 23.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Television	1	150	0.5	0.95	71.25	0	285
	Micro-ordinateur	1	450	0.5	0.95	213.75	0	

**Tableau B. 24.** Apports dus aux Eclairage.

Local	Wn (w)	Cme	Ccr	AIse (w)
Logement	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 25.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	32.30	0	370.45	0	402.75

**Tableau B. 26.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	402.75	0.4	160	486.88

**Tableau B. 27.** Apports effectifs latentes.

Local	CPas	AI	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	60	0.4	139.47	118.78

- **Les apports totaux**

ATs = 582.88 W

- ✓ **Vérification réglementaire**

Aréf = 32.96 W

1.05 Aréf (15 h) = 34.60 W

, APO (15h) + AV (15h) = 32.30 W

D'où : APO (15 h) + AV (15 h) ≤ 1.05 × Aréf (15 h),

Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

## 2- Cuisine

### a) Mur SUD

- **Apports à travers les parois opaques**

$\Delta T_e(t) = 6.53^\circ\text{C}$

Sint = 8.68 m<sup>2</sup>

.Kété = 1.45 W/K°m<sup>2</sup>

Eb = 9 °C

CΔte = 2.6 °C

$\Delta t_{em} (1i\ 5h) = 0\ ^\circ C$      $\Delta t_{es} (15h) = 13.9\ ^\circ C$ .     $It,b = 155.5\ W/m^2$      $It,b (40) = 217\ W/m^2$

$\alpha = 0.9$  (Couleur extérieur du logement)

D'ou

$APO (15h) = 98.62\ W$ ,                       $APO (sol) = 0\ W$

- **Apports à travers les parois vitrées (AV (t))**

$AV (t) = 450.05\ W$

- **Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))**

$Souv = 1.68\ m^2$ ;               $Soup = 2.1$

$AVTv (t) = 116.92\ W$

$AVTp (t) = 146.16\ W$

- **Apport par ensoleillement (AVE (t))**

$It,b = 155.5\ W/m^2$  d'ou:  $It = 161.5\ W/m^2$  Avec:

- $C_{cadre} = 1$ ,     $C_{limp} = 0.92$ ,     $C_{alt} = 1.0035$ ,     $C_{ros} = 0.9$
- $AVEv (15h) = 83.02\ W$
- $AVEp (15h) = 103.77\ W$

**Tableau B. 28.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	1	8.68	25	10	80	3.5	69.73

**Tableau B. 29.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	Sv en (m <sup>2</sup> )	Sp en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h) v	qvinf (m <sup>3</sup> /h) p	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	1	1.68	2.1	24.36	30.45	10	175.39	3.5	152.89

**Tableau B. 30.** Apports internes.

Chambre I	Asoc	Asm	Ase	Ais	AI <sub>L</sub>
Mur SUD	33.72	1710	36	1779.72	30

**Tableau B. 31.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale (W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	1	71	0.5	0.95	33.72	60	30	63.72

**Tableau B. 32.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
CUISINE	Plaque chauffante	1	500	0.5	0.95	237.5	280	
	Réfrigérant	1	100	0.5	0.95	47.5	0	
	Cuisinière électrique	1	3000	0.5	0.95	1425	1500	1710

**Tableau B. 33.** Apports dus aux Eclairage.

Local	N	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	2	25	1.2	0.6	36

**Tableau B. 34.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	98.62	450.05	1779.72	175.39	2503.78

- *Les apports latents*

Al = 30 W

**Tableau B. 35.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	2503.78	0.4	80	2660.97

**Tableau B. 36.** Apport effectifs latents.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	30	0.4	69.73	59.39

- *Les apports totaux*

ATs = 2708.975 W

- ✓ *Vérification réglementaire*

Aréf = 523.25 W

$$1.05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h}) = 549.41 \text{ W}, \quad \text{APO} (15\text{h}) + \text{AV} (15\text{h}) = 548.67 \text{ W}$$

D'où  $\text{APO} (15 \text{ h}) + \text{AV} (15 \text{ h}) \leq 1.05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h})$ , Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

### b) Mur ouest

- *Apports à travers les parois opaques*

$$\Delta t_e(t) = 2.6 \text{ °C}$$

$$S_{int} = 8.65 \text{ m}^2 \quad .K_{été} = 1.45 \text{ W/K}^{\circ}\text{m}^2 \quad E_b = 9 \text{ °C C} \quad C\Delta t_e = 2.6 \text{ °C}$$

$$\Delta t_{em} (15\text{h}) = 0 \text{ °C} \quad \Delta t_{es} (15\text{h}) = 10.6 \text{ °C.} \quad I_{t,b} = 516 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b} (40) = 516 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$\text{APO} (15\text{h}) = 39.13 \text{ W}, \quad \text{APO} (\text{sol}) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$\text{AV} (t) = 0 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$\text{Souv} = 0 \text{ m}^2; \quad \text{AVT}(15\text{h}) = 0 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$\text{AVE} (15\text{h}) = 0 \text{ W}$$

**Tableau B. 37.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	1	8.68	25	10	80	3.5	69.73

**Tableau B. 38.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	1	0	0	10	0	3.5	<b>0</b>

**Tableau B. 39.** Apports internes.

CUISINE	Asoc	Asm	Ase	AI <sub>s</sub>	AI <sub>L</sub>
Mur NORD	33.72	1710	36	1779.72	30

**Tableau B. 40.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale (W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	1	71	0.5	0.95	33.72	60	30	63.72

**Tableau B. 41.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
CUISINE	Plaque chauffante	1	500	0.5	0.95	237.5	280	
	Réfrigérant	1	100	0.5	0.95	47.5	0	
	Cuisinière électrique	1	3000	0.5	0.95	1425	1500	1710

**Tableau B. 42.** Apports dus aux Eclairage.

Local	N	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	2	25	1.2	0.6	36

**Tableau B. 43.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	39.13	0	1779.72	0	1818.85

- *Les apports latents*

$$Al = 30 \text{ W}$$

**Tableau B. 44.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	1818.85	0.4	80	1941.79

**Tableau B. 45.** Apports effectifs latents.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	30	0.4	69.73	59.39

- *Les apports totaux*

$$ATs = 1989.79 \text{ W}$$

- ✓ *Vérification réglementaire*

$$Aréf = 90.82 \text{ W}$$

$$1.05 \text{ Aréf (15 h)} = 95.36 \text{ W}, \quad \text{APO (15h) + AV (15h)} = 39.13 \text{ W}$$

D'où  $\text{APO (15 h) + AV (15 h)} \leq 1,05 \times \text{Aréf (15 h)}$  Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

### 3- WC

#### a) Mur ouest

- *Apports à travers les parois opaques*

$$\Delta t_e(t) = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_{int} = 3.36 \text{ m}^2 \quad .K_{été} = 1.45 \text{ W/K}^\circ\text{m}^2 \quad E_b = 9 \text{ }^\circ\text{C C} \quad C\Delta t_e = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{em} (15h) = 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t_{es} (15h) = 10.6 \text{ }^\circ\text{C}. \quad I_{t,b} = 516 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b} (40) = 516 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'où

$$\text{APO (15h)} = 15.20 \text{ W}, \quad \text{APO (sol)} = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$\text{AV (t)} = 0 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$\text{Souv} = 0 \text{ m}^2; \quad \text{AVT(15h)} = 0 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$\text{AVE (15h)} = 0 \text{ W}$$

**Tableau B. 46.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	0	8.68	25	10	0	3.5	0

**Tableau B. 47.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	1	0	0	10	0	3.5	0

**Tableau B. 48.** Apports internes.

CUISINE	Asoc	Asm	Ase	AI <sub>s</sub>	AI <sub>L</sub>
Mur NORD	0	0	18	18	0

**Tableau B. 49.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale (W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	0	71	0.5	0.95	0	60	0	0

- *Apports dus aux machines et appareillages*

Asm= 0

**Tableau B. 50.** Apports dus aux Eclairage.

Local	N	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	1	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 51.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	15.20	0	18	0	33.20

- *Les apports latents*

Al = 0 W

**Tableau B. 52.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	33.20	0.4	0	34.86

**Tableau B. 53.** Apports effectifs latents.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	0	0.4	0	0

- *Les apports totaux*

ATs = 34.20 W

✓ *Vérification réglementaire*

Aréf = 35.28 W

$1,05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h}) = 37.04 \text{ W},$

$\text{APO} (15\text{h}) + \text{AV} (15\text{h}) = 15.20 \text{ W}$

D'où  $\text{APO} (15 \text{ h}) + \text{AV} (15 \text{ h}) \leq 1,05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h})$  Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

#### 4- Salle de bain

##### a) Mur ouest

- *Apports à travers les parois opaques*

$$\Delta t_e(t) = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_{int} = 4.48 \text{ m}^2 \quad .K_{été} = 1.45 \text{ W/K}^\circ\text{m}^2 \quad E_b = 9 \text{ }^\circ\text{C C} \quad C\Delta t_e = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{em} (15h) = 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t_{es} (15h) = 10.6^\circ\text{C}. \quad I_{t,b} = 516 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b} (40) = 516 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$APO (15h) = 20.26 \text{ W}; \quad APO (sol) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$AV (t) = 0 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$S_{ouv} = 0 \text{ m}^2; \quad AVT(15h) = 0 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$AVE (15h) = 0 \text{ W}$$

**Tableau B. 54.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS (W)	Hbe-Hbi	ARENL (W)
Logement	0	4.48	25	10	0	3.5	0

**Tableau B. 55.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	1	0	0	10	0	3.5	0

**Tableau B. 56.** Apports internes.

CUISINE	Asoc	Asm	Ase	Ais	AL
Mur NORD	0	1425	18	1443	0

**Tableau B. 57.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale (W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	0	71	0.5	0.95	0	60	0	0

**Tableau B. 58.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
SDB	Machine a laver	1	3000	0.5	0.95	1425	1500	1425

**Tableau B. 59.** Apports dus aux Eclairage.

Local	N	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise (w)
Logement	1	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 60.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	20.26	0	1443	0	1463.26

- Les apports latents**

Al = 0 W

**Tableau B. 61.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	1463.26	0.4	0	1536.42

**Tableau B. 62.** Apports effectifs latents.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	0	0.4	0	0

- Les apports totaux**

ATs = 1536.42 W

✓ **Vérification réglementaire**

Aréf = 47.04 W

1.05 Aréf (15 h) = 49.39 W,

APO (15h) + AV (15h) = 20.26 W

D'où APO (15 h) + AV (15 h) ≤ 1,05 × Aréf (15 h) Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

## 5- Chambre 2

### a) Mur ouest

- *Apports à travers les parois opaques*

$$\Delta t_e(t) = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_{int} = 11.2 \text{ m}^2 \quad .K_{été} = 1.45 \text{ W/K}^\circ\text{m}^2 \quad E_b = 9 \text{ }^\circ\text{C} \quad C\Delta t_e = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{em} (15h) = 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t_{es} (15h) = 10.6^\circ\text{C}. \quad I_{t,b} = 516 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b} (40) = 516 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$APO (15h) = 50.67 \text{ W}, \quad APO (sol) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$AV (t) = 0 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$S_{ouv} = 0 \text{ m}^2; \quad AVT(15h) = 0 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$AVE (15h) = 0 \text{ W}$$

**Tableau B. 63.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS(W)	Hbe-Hbi	ARENL(W)
Logement	1	12.07	25	10	80	3.5	69.74

**Tableau B. 64.** Apports dus aux infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	1	0	0	10	0	3.5	<b>0</b>

**Tableau B. 65.** Apports internes.

Chambre 2	Asoc	Asm	Ase	AI <sub>s</sub>	AI <sub>L</sub>
Mur NORD-Est	33.73	213.75	18	265.48	30

**Tableau B. 66.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale(W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	1	71	0.5	0.95	55.1	60	73	133

**Tableau B. 67.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Micro-ordinateur	1	450	0.5	0.95	213.75	0	213.75

**Tableau B. 68.** Apports dus aux Eclairage.

Local	Wn (w)	Cme	Ccr	AIs(w)
Logement	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 69.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	50.67	0	265.48	0	313.15

- *Les apports latents*

Al = 30 W

**Tableau B. 70.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	313.15	0.4	80	360.80

**Tableau B. 71.** Apport effectifs latents.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	30	0.4	69.74	59.39

- *Les apports totaux*

ATs = 408.80 W

- ✓ *Vérification réglementaire*

Aréf = 117.6 W

$1,05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h}) = 123.48 \text{ W},$

$\text{APO} (15 \text{ h}) + \text{AV} (15 \text{ h}) = 50.67 \text{ W}$

D'où  $\text{APO} (15 \text{ h}) + \text{AV} (15 \text{ h}) \leq 1,05 \times \text{Aréf} (15 \text{ h})$  Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

## b) Mur nord est

- *Apports à travers les parois opaques*

$$DTe(t) = 8.74^{\circ}\text{C}$$

$$S_{int} = 12.07 \text{ m}^2 \quad .Kété = 1.45 \text{ W/K}^{\circ}\text{m}^2 \quad E_b = 9^{\circ}\text{C} \quad C\Delta t_e = 2.6^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{em} (15h) = 6.1^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{es} (15h) = 4.4^{\circ}\text{C} \quad I_{t,b} = 406.5 \text{ W/m}^2 \quad I_{t,b} (40) = 400 \text{ W/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \text{ (Couleur extérieur du logement)}$$

D'ou

$$APO (15h) = 183.56 \text{ W} ; \quad APO (sol) = 0 \text{ W}$$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$$AV (t) = 149.79 \text{ W}$$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$$AVT(15h) = 116.92 \text{ W}$$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$$F_s = 0.45, \quad N_{pvi} (15h) = 0.68, \quad I_{d,b} = 48.05 \text{ W/m}^2, \quad I_{t,b} = 48.5 \text{ W/m}^2,$$

$$AVE (15h) = 32.87 \text{ W}$$

**Tableau B. 72.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS(W)	Hbe-Hbi	ARENL(W)
Logement	1	12.07	25	10	80	3.5	69.74

**Tableau B. 73.** Apports infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs(W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	1	1.68	24.36	10	77.95	3.5	<b>67.95</b>

**Tableau B. 74.** Apports internes.

Chambre 2	Asoc	Asm	Ase	AI <sub>s</sub>	AI <sub>L</sub>
Mur NORD-Est	33.73	213.75	18	265.48	30

**Tableau B. 75.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale(W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	1	71	0.5	0.95	55.1	60	73	133

**Tableau B. 76.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Micro-ordinateur	1	450	0.5	0.95	213.75	0	213.75

**Tableau B. 77.** Apports dus aux Eclairage.

Local	Wn (w)	Cme	Ccr	AIs(w)
Logement	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 78.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	183.56	149.79	265.48	77.95	676.78

- *Les apports latents*

$$Al = 30 \text{ W}$$

**Tableau B. 79.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	676.78	0.4	80	742.62

**Tableau B. 80.** Apport effectifs latents.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	30	0.4	69.74	59.39

- *Les apports totaux*

$$ATs = 790.62 \text{ W}$$

- ✓ *Vérification réglementaire*

$$Aréf = 451.62 \text{ W}$$

$$1.05 \text{ Aréf (15 h)} = 474.20 \text{ W,}$$

$$\text{APO (15h) + AV (15h)} = 333.35 \text{ W}$$

D'où  $\text{APO (15 h) + AV (15 h)} \leq 1.05 \times \text{Aréf (15 h)}$ , Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

c) **Mur est**

- *Apports à travers les parois opaques*

$$\Delta te(t) = 2.6 \text{ °C}$$

$S_{int} = 2.77 \text{ m}^2$        $.K_{été} = 1.45 \text{ W/K}^\circ\text{m}^2$        $E_b = 9 \text{ }^\circ\text{C C}$        $C\Delta t_e = 2.6 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $\Delta t_{em} (15h) = 0 \text{ }^\circ\text{C}$        $\Delta t_{es} (15h) = 7.2^\circ\text{C}$ .       $I_{t,b} = 516 \text{ W/m}^2$        $I_{t,b} (40) = 516 \text{ W/m}^2$   
 $\alpha = 0.9$  (Couleur extérieur du logement)

D'ou

$APO (15h) = 12.53 \text{ W}$  ;       $APO (sol) = 0 \text{ W}$

- *Apports à travers les parois vitrées (AV (t))*

$AV (t) = 0 \text{ W}$

- *Apport due au gradient de température (par transmission) (AVT (t))*

$Souv = 0 \text{ m}^2$  ;       $AVT(15h) = 0 \text{ W}$

- *Apport par ensoleillement (AVE (t))*

$AVE (15h) = 0 \text{ W}$

**Tableau B. 81.** Apports de chaleur par introduction d'air extérieur.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvan (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	ARENS(W)	Hbe-Hbi	ARENL(W)
Logement	1	2.77	25	10	80	3.5	69.74

**Tableau B. 82.** Apports dus aux infiltrations d'air.

LOCAL	Nbr occupants	S en (m <sup>2</sup> )	qvinf (m <sup>3</sup> /h)	Tse-Tsbi	AINFs (W)	Hbe-Hbi	AINFL (W)
Logement	1	0	0	10	0	3.5	0

**Tableau B. 83.** Apports interne.

Chambre 2	Asoc	Asm	Ase	AIs	AI <sub>L</sub>
Mur NORD-Est	33.73	213.75	18	265.48	30

**Tableau B. 84.** Apports par occupants.

LOCAL	Nbr occupants	Aiso (W/personne)	Cso	NAIo	Asoc (W)	AILOc totale(W)	Aloc (W)	AOc totale
Logement	1	71	0.5	0.95	55.1	60	73	133

**Tableau B. 85.** Apports dus aux machines et appareillages.

LOCAL	Type	Nbr	As/app	Cs	Nai	Asm(W)	Alm(W)	Asm T (W)
Logement	Micro-ordinateur	1	450	0.5	0.95	213.75	0	213.75

**Tableau B. 86.** Apports dus aux Eclairage.

Local	Wn (w)	Cme	Ccr	Aise(w)
Logement	25	1.2	0.6	18

**Tableau B. 87.** Apports sensibles.

Local	APO	AV	Ais	AINFs	As
Logement	12.53	0	265.48	0	278.01

- *Les apports latents*

$$Al = 30 \text{ W}$$

**Tableau B. 88.** Apports effectifs sensibles.

Local	CPas	As	BF	ARENs	AEs
Logement	1.05	278.01	0.4	80	323.91

**Tableau B. 89.** Apport effectifs latents.

Local	CPas	Al	BF	ARENI	AEI
Logement	1.05	30	0.4	69.74	59.39

- *Les apports totaux*

$$ATs = 371.91 \text{ W}$$

- ✓ *Vérification réglementaire*

$$Aréf = 19.87 \text{ W}$$

$$1,05 \times Aréf (15 \text{ h}) = 20.87 \text{ W}, \quad APO (15 \text{ h}) + AV (15 \text{ h}) = 12.53 \text{ W}$$

D'où  $APO (15 \text{ h}) + AV (15 \text{ h}) \leq 1,05 \times Aréf (15 \text{ h})$  Donc l'exigence réglementaire est vérifiée.

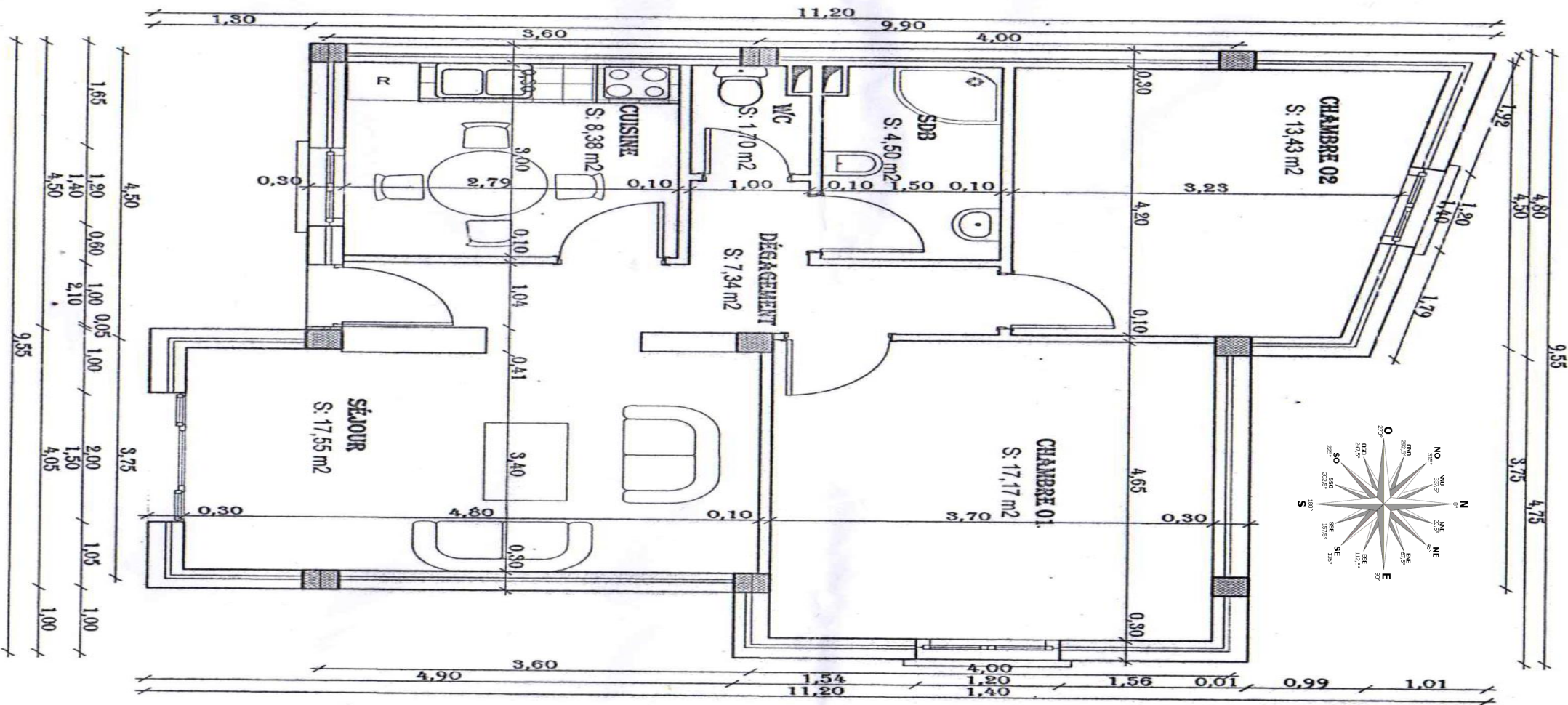


Figure B. 1. Plan de local