

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : Architecture  
Ref : .....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم: الهندسة المعمارية  
المرجع: .....

Mémoire présenté en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Magister en : Architecture**

**Option : Ville et Architecture au Sahara**

**Intitulé**

**L'impact de la hauteur sous plafond sur la ventilation naturelle et  
la conservation des énergies non renouvelables  
(Cas de l'habitat collectif dans la ville de Laghouat)**

Présenté par :

**Dohsi ep. Benaissa Khadidja**

Soutenu publiquement le 12/07/2017

**Devant le jury composé de :**

Dr. Moummi Abdelhafid  
Dr. Bencheikh Hamida  
Dr. Djelloul Amel  
Dr. Badda Yacine

Professeur  
Maitre de Conférences 'A'  
Maitre de Conférences 'A'  
Maitre de Conférences 'A'

Président  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur

Université de Biskra  
Université de Laghouat  
Université de Biskra  
Université de Biskra

# *Dédicaces*

*Je dédie mon travail à l'âme de mon cher père TAHAR DOHSI, qui a été le premier à m'encourager à aller si loin, Il m'a inculqué le goût du savoir, de la rigueur et de l'ambition. Parce que tu m'avais toujours soutenu, même aux plus forts moments de ta maladie, J'ai voulu mener à terme tout mon cursus pour que tu sois fier de moi. Merci papa, merci pour tout.*

*A la lumière de ma vie, ma chère mère pour ces dures sacrifices et pour son soutien, que Dieu te garde et te protège.*

*A mon mari et ma très aimable petite famille pour leur accompagnement et leur encouragement.*

*A ma petite perle ZAHRA DJOURI.*

# *Remerciements*

*Au début de ce mémoire, je tiens à remercier d'abord DIEU le tout puissant qui m'a procuré par sa bénédiction, la santé, le courage et la puissance.*

*Je tiens à remercier sincèrement Monsieur BENCHEIKH HAMIDA, qui en tant qu'encadreur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire spécialement à mon âme sœur Mme Chakali Meriem, Mr Mokkadem Mahmoud, Mr Laroui Mohamed, Mr Mezaouekh Lakhdar, Mr Bencheikh Abderrezak.*

*Mes remerciements s'adressent également à mes professeurs de post graduation pour leur don pendant mon année théorique Mr Belakehal A, Mr Mazouz S, Mr Zemmouri N, Mr Ferhi A, Mr Dakhia, Mr Hamouine, Mr Khenfer M.*

*Mon époux Imad qui m'a toujours encouragé à finir ce travail.*

*Ma chère sœur Rokaia et mes chers frères pour leur présence et leur soutien. Ma mère, ma belle-mère et mon beau père pour l'aide qui m'ont contribué.*

*J'exprime mes gratitudes à tous le personnel du LACOMOFA, du département d'architecture de Biskra et de Laghouat.*

*Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.*

# Table des matières

1. Introduction générale.....	01
2. Problématique.....	02
3. Hypothèses de la recherche .....	03
4. Objectifs de la recherche.....	03
5. Méthodologie et outils de travail.....	04
6. Structure du mémoire .....	04

## Première partie : Corpus théorique

### Chapitre I----- Recherches et revues bibliographiques

<b>Introduction</b> .....	05
<b>1- La consommation mondiale de l'énergie</b> .....	05
<b>2- La consommation énergétique des différents secteurs en Algérie</b> .....	06
2-1- la consommation du gaz naturel.....	08
2-2- la consommation de l'électricité.....	08
<b>3- La ventilation dans le bâtiment</b> .....	08
3-1- principe de la ventilation naturelle.....	10
3-2- concept de la ventilation naturelle en architecture.....	11
3-3- débit de ventilation.....	12
3-4- types de ventilation naturelle.....	12
3-4-1- ventilation traversante.....	12
3-4-2- ventilation de simple exposition.....	13
3-4-3- ventilation par tirage thermique.....	14
<b>4- Les anciennes méthodes et techniques de la ventilation naturelle utilisées dans l'habitat</b> .....	14
4-1- le moucharabieh.....	14
4-2- les types de percements sur les façades.....	15
<b>5- Les techniques du mouvement d'air</b> .....	15
5-1- les tours à vent.....	16
5-2- les dômes.....	16
5-3- les cours.....	17

<b>6- Techniques modernes de ventilation naturelle</b> .....	18
6-1- ventilation d'un seul côté : mono exposé.....	18
6-1-1- ouverture unique en façade.....	18
6-1-2- deux ouvertures en façade.....	19
6-2- ventilation par atrium.....	21
6-3- ventilation par façade double peau.....	23
6-4- ventilation par puits canadiens.....	24
<b>7- Amélioration de ventilation par systèmes passifs</b> .....	24
<b>Conclusion</b> .....	26

## Chapitre II ----- Méthode de prédiction de la ventilation naturelle

<b>Introduction</b> .....	27
<b>1- Les méthodes de prédiction de la performance de la ventilation naturelle</b> .....	27
2-1- Méthodes analytiques.....	27
2-2- Méthodes empiriques.....	28
2-3- Méthodes expérimentales à petite échelle.....	29
2-4- Méthodes expérimentales à grandes échelle.....	30
2-5- Méthodes multizones.....	31
2-6- Méthodes zonales.....	32
2-7- Méthodes CFD.....	33
<b>2- Les différents exemples de prédiction par EnergyPlus</b> .....	35
2-1- L'effet de volume d'air échangé sur la température intérieure.....	35
2-2- Système de refroidissement dans la toiture.....	38
<b>Conclusion</b> .....	42

## Chapitre III ----- Habitat et réglementations

<b>Introduction</b> .....	43
<b>1- La crise de l'habitat en Algérie</b> .....	43
<b>2- Conception d'un habitat économique</b> .....	45
2-1- une maison compacte et ouverte au soleil.....	45
2-1-1- un bâtiment compact.....	46
2-2- une isolation renforcée.....	46
2-2-1- le choix d'isolants performants.....	46

2-2-2- les différents types d'isolations.....	47
2-3- des fenêtres performantes.....	47
2-4- le traitement des ponts thermiques.....	49
2-5- une parfaite étanchéité à l'air.....	50
2-6-une ventilation performante.....	51
2-6-1- le confort d'été.....	51
2-7- des apports internes réduits.....	52
2-7-1- les protections solaires du bâtiment.....	52
2-7-2- l'inertie thermique.....	53
2-7-3- la réduction des apports internes.....	54
2-7-4- l'utilisation de la fraîcheur du soir et de la nuit.....	54
2-7-5- le bon usage des fenêtres.....	55
2-7-6- l'utilisation de la fraîcheur du sol.....	55
<b>3- Evolution de la typologie architecturale des façades dans les zones arides.....</b>	<b>56</b>
3-1- Interprétation de la façade dans la maison ksar.....	56
3-2- Interprétation de la façade coloniale.....	57
3-3- la façade et ses composants présents.....	58
<b>4- Réglementations des dimensions d'ouvertures et hauteur sous-plafond.....</b>	<b>59</b>
4-1-La hauteur sous plafond des espaces.....	59
4-1-1- Réglementation au niveau mondial.....	59
4-1-2- Réglementation au niveau national.....	62
4-2- Réglementation sur les ouvertures.....	62
4-2-1- Réglementation au niveau national.....	62
<b>Conclusion.....</b>	<b>63</b>

## **Deuxième partie : Cas d'étude**

### **Chapitre IV--Présentation de l'environnement et du cas d'étude et évaluation numérique.**

<b>Introduction.....</b>	<b>64</b>
<b>1- Bioclimat et ensoleillement de la ville de Laghouat .....</b>	<b>64</b>
1-1- Situation de la ville de Laghouat.....	64
1-2- Analyse des éléments du climat .....	65
1-3- Le diagramme bioclimatique de Givoni.....	69
<b>2- Présentation du cas d'étude .....</b>	<b>70</b>

2-1- site : localisation .....	70
2-2- Composition du cas d'étude.....	70
<b>3- Présentation du logiciel.....</b>	<b>71</b>
3-1- Description du logiciel .....	71
3-2- Structure de EnergyPlus.....	72
3-2-1- avantages du logiciel EnergyPlus.....	73
3-2-2- L'utilisation du Openstudio.....	73
3-3- Objectifs de la simulation.....	74
<b>4- L'évaluation numérique.....</b>	<b>75</b>
4-1- Le 1 <sup>er</sup> scénario : la hauteur sous-plafond.....	75
4-1-1- La ventilation naturelle.....	77
4-1-2- Système actif.....	80
4-2- Le 2 <sup>e</sup> scénario : l'orientation de l'espace.....	82
4-2-1- La ventilation naturelle.....	82
4-2-2- Système actif.....	85
4-3- Le 3 <sup>e</sup> scénario : le nombre des fenêtres .....	88
4-3-1- La ventilation naturelle.....	89
4-3-2- Système actif.....	92
4-4- Le 4 <sup>e</sup> scénario : les dimensions de la fenêtre.....	95
4-4-1- La ventilation naturelle.....	96
4-4-2- Système actif.....	99
<b>5- Etude économique de la consommation d'énergies dans la période de chauffage et la période de climatisation.....</b>	<b>102</b>
5-1- La période hivernale (utilisation de chauffage) .....	102
5-1-1- cas de la hauteur sous plafond H=2.90m.....	102
5-1-2- cas de la hauteur sous plafond H=2.40m.....	102
5-2- La période estivale (utilisation de climatisation) .....	102
5-2-1- cas de la hauteur sous plafond H=2.90m.....	102
5-2-2- cas de la hauteur sous plafond H=2.40m.....	103
<b>Conclusion .....</b>	<b>103</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>105</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>107</b>

# Liste des Figures

## Chapitre I :

Figure I. 1 : Consommation finale par produits des secteurs .....	07
Figure I.2: Structure de la consommation finale par secteur d'activité .....	07
Figure I-3 : la consommation du gaz naturel par secteur d'activité.....	08
Figure I-4 : la consommation de l'électricité par secteur d'activité .....	08
Figure I.5: Effet de la conception du bâtiment et ses alentours sur l'efficacité du rafraichissement naturel.....	09
Figure I. 6 : effet du gradient de température sur la ventilation .....	09
Figure I.7: principe de la ventilation due au vent.....	10
Figure I.8: Effet du vent sur le bâtiment isolé.....	11
Figure I.9: influence de la direction du vent sur le bâtiment.....	11
Figure I.10: Ventilation traversante.....	13
Figure I.11 : Ventilation de simple exposition.....	13
Figure I.12: Ventilation par tirage thermique .....	14
Figure I.13 : Détails de moucharabieh à Alep en Syrie.....	15
Figure I.14: Trou isolé d'un bâtiment à Al Hajjarayn, Wadi dawan au Yémen .....	15
Figure I.15: Tour à vent pour refroidissement passif dans l'architecture Iranienne .....	16
Figure I-16 : Les différents cas de fonctionnement des Dômes.....	17
Figure I-17 : Habitat cour, Maison de la palmeraie à Ghardaïa.....	18
Figure I-18 : Ventilation mono-exposée ouverture simple.....	18
Figure I-19 : Ouvrant de ventilation naturelle avec grille pare-pluie.....	19
Figure I-20 : Ventilation mono-exposée ouverture double.....	20
Figure I-21 : Structures absorbantes dans un atrium.....	22
Figure I-22 : Différents modes de fonctionnement d'une façade double peau.....	23
Figure I-23 : Fonctionnement du puit canadien.....	24
Figure I-24 : Vue en plan de la cheminée solaire.....	25
Figure I-25 : Coupe verticale sur la cheminée solaire.....	25

## Chapitre II :

Figure II-1: Schéma des régimes de ventilation stable dans une pièce chauffée par une source distribuée à la base et ventilés par deux ouvertures.....	28
Figure II-2 : Photo d'un modèle à petite échelle rempli avec de l'eau pour la visualisation d'écoulement d'un bâtiment de deux étages avec un atrium commun.....	30
Figure II-3 : Des mesures expérimentales dans une section d'une grande échelle, cabine avion bi-couloirs. . (a) Une section de cabine d'avions de ligne. (b) distribution de la vitesse de l'air mesurée à une coupe transversale.....	31
Figure II-4 : Airflow dans un immeuble calculée par un modèle multizone, CONTAM.....	32
Figure II-5 : Un exemple de résultats obtenus en utilisant un modèle de zone. (a) Les zones utilisées 18 pour la chambre. (b) Comparaison des températures calculées par le modèle zonal et en CFD dans chaque zone.....	33
Figure II-6 : numéros de document publié 2002-2007 dans les principales revues en utilisant CFD pour prédire la performance de ventilation dans les bâtiments occupés par des êtres humains.....	34
Figure II-7 : La répartition du flux d'air et de contaminants dans une coupe à travers les deux diffuseurs dans une salle blanche obtenue en utilisant un modèle RANS. (a) la distribution des vecteurs de vitesse. (b) la distribution de la concentration des contaminants.....	35
Figure II-8 : Variation de la température intérieure pour des taux de ventilation naturelle nocturne variable et de vitesse du vent de 3 m/s.....	36
Figure II-9 : Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et un taux de ventilation naturelle nocturne $V = 0.00225 \text{ m}^3/\text{s}$ (ou 0.9 V/h).....	36
Figure II-10 : Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et du taux de ventilation naturelle nocturne $v = 0.0045 \text{ m}^3/\text{s}$ (ou 1.8 v/h).....	37
Figure II-11 : Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et du taux de ventilation naturelle nocturne $v = 0.009 \text{ m}^3/\text{s}$ (ou 3.6v/h).....	37
Figure II-12 : Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et du taux de ventilation naturelle nocturne $v = 0.018 \text{ m}^3/\text{s}$ (ou 7.2 v/h).....	38
Figure II-13 : Description du modèle: Cellule (A) avec système de refroidissement, Cellule (B) sans système de refroidissement.....	39
Figure II-14 : Comparaison entre les températures intérieures dans la cellule (A) et (B) sans ventilation nocturne.....	40
Figure II-15 : Comparaison entre les températures intérieures dans la cellule (A) et (B) avec ventilation nocturne.....	41
Figure II-16 : les températures intérieures dans la cellule (A) Avec et sans ventilation nocturne.....	41
<b>Chapitre III :</b>	
Figure III-1 : maison exposée au soleil.....	45
Figure III-2 : Les déperditions thermiques dans un bâtiment mal isolé.....	47
Figure III-3 : une isolation thermique par l'extérieur.....	48

Figure III-4: une isolation thermique répartie.....	48
Figure III-5: Les ponts thermiques dans un bâtiment.....	49
Figure III-6 : l'étanchéité à l'air.....	50
Figure III-7 Un rafraîchissement de l'air en été par puits canadien.....	52
Figure III-8 : Les protections solaires d'un bâtiment.....	53
Figure III-9 : Le système complet de l'inertie thermique dans une habitation.....	54
Figure III-10 : La surventilation nocturne d'été.....	55
Figure III-11 : Un rafraîchissement de l'air en hiver et en été par puits canadien.....	56
Figure III-12 : façade dans le vieux ksar de Tafilelt.....	56
Figure III-13 : façade d'une maison du vieux ksar de Béchar.....	57
Figure III-14 : les ouvertures dans la construction coloniale à Laghouat.....	58
Figure III-15 : La hauteur sous plafond dans la réglementation australienne.....	60
Figure III-16 : La hauteur suggéré pour les chambres.....	61

#### **Chapitre IV :**

Figure IV-1 : carte géographique de l'Algérie.....	65
Figure IV-2 : les zones climatiques en Algérie.....	66
Figure IV-3 : Variation des Températures de l'air extérieur.....	67
Figure IV-4 : Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire pour la ville de Laghouat.....	68
FigureIV-5: Rose des vents de la ville de Laghouat.....	68
FigureIV-6 : Variation de l'Humidité relative (Période : 2004-2013).....	69
FigureIV-7 : diagramme psychrométrique de Givoni.....	69
FigureIV-8: schéma de la situation du projet dans la ville.....	70
FigureIV-9 : schéma du plan de masse du projet en précisant le bâtiment.....	71
FigureIV-10 : plan du bloc consacré en précisant la chambre.....	71
Figure IV-11 : Structure du logiciel Energyplus.....	72
Figure IV-12: interface du sketchup.....	73
Figure IV-13: bâtiment existant modélisé avec sketchup 16.....	74
Figure IV-14: zone étudié du bâtiment choisi, modélisé avec sketchup 16.....	75
Figure IV-15 : h=2.90m, zone étudié du bâtiment choisi, modélisé avec sketchup 16.....	76
Figure IV-16 : h=2.40m, zone étudié du bâtiment choisi, modélisé avec sketchup 16.....	76

Figure IV-17 : Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne.....	77
Figure IV-18 : Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne.....	78
Figure IV-19 : Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne.....	79
Figure IV-20 : Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne.....	79
Figure IV-21 : Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage.....	80
Figure IV-22 : Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage.....	81
Figure IV-23 : Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec système de climatisation.....	81
Figure IV-24 : Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en été, avec système de climatisation.....	82
Figure IV-25 : Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les quatre cas en hiver, avec ventilation diurne.....	83
Figure IV-26 : Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en hiver, avec ventilation diurne.....	84
Figure IV-27 : Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les quatre cas en été, avec ventilation nocturne.....	84
Figure IV-28 : Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en été, avec ventilation nocturne.....	85
Figure IV-29 : Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en hiver, avec système de chauffage.....	86
Figure IV-30 : Comparaison entre les consommations énergétiques dans les quatre cas en hiver, avec système de chauffage.....	86
Figure IV-31 : Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en été, avec système de climatisation.....	87
Figure IV-32 : Comparaison entre les consommations énergétiques dans les quatre cas en été, avec système de climatisation.....	88
Figure IV-33 : Cas d'une seule fenêtre, modélisé par Sketchup2016.....	88
Figure IV-34: Cas de deux fenêtres, modélisé par Sketchup2016.....	89
Figure IV-35: Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne.....	89
Figure IV-36: Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne.....	90

Figure IV-37: Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne.....	91
Figure IV-38: Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne.....	91
Figure IV-39: Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage.....	92
Figure IV-40: Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage.....	93
Figure IV-41: Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec système de climatisation.....	94
Figure IV-42: Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en été, avec système de climatisation.....	95
Figure IV-43: Cas d'une fenêtre moyenne, modélisé par Sketchup2016.....	96
Figure IV-44: Cas d'une fenêtre large, modélisé par Sketchup20016.....	96
Figure IV-45: Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les trois cas en hiver, avec ventilation diurne.....	97
Figure IV-46: Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en hiver, avec ventilation diurne.....	97
Figure IV-47: Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les trois cas en été, avec ventilation nocturne.....	98
Figure IV-48: Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en été, avec ventilation nocturne.....	99
Figure IV-49 : Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en hiver, avec système de chauffage.....	99
Figure IV-50 : Comparaison entre les consommations énergétiques dans les trois cas en hiver, avec système de chauffage.....	100
Figure IV-51 : Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en été, avec système de climatisation.....	101
Figure IV-52 : Comparaison entre les consommations énergétiques dans les trois cas en été, avec système de climatisation.....	101

## Liste des Tableau

Tableau I. 1 Consommation finale par secteur d'activité.....	06
Tableau II-1 : Caractéristique des matériaux utilisés dans la toiture.....	39



# **RESUME**

La ventilation naturelle est toujours un des éléments essentiels du confort thermique dans le bâtiment, afin d'assurer le rafraîchissement et le renouvellement d'air des espaces internes surtout pour le secteur résidentiel.

Avec le souci du non durabilité des énergies fossiles et non renouvelables et la demande graduelle du logement en Algérie la conservation énergétique est devenue un enjeu majeur surtout dans les zones arides du pays comme la ville de Laghouat.

Notre travail est basé sur l'étude de l'enveloppe du bâtiment et particulièrement la hauteur sous plafond des espaces intérieurs et son influence sur la ventilation naturelle et la conservation des énergies non renouvelables et le rôle de la fenêtre sur ces deux phénomènes.

Afin de répondre à nos objectifs visés dans notre recherche et dans le but de tester l'infirmité ou l'affirmation de nos hypothèses, ce travail est fondé sur deux parties majeures. Une recherche théorique et une autre pratique. Dans la partie théorique, une recherche globale est élaborée afin de recueillir les données qui concernent la problématique posée. La partie pratique est basée sur le travail numérique, où on a pris un cas de logement collectif de la ville de la Laghouat qui se caractérise par un climat aride, le deuxième est un cas virtuel.

L'évaluation numérique est faite sous forme d'une simulation par le logiciel EnergyPlus selon plusieurs scénarios (hauteur sous plafond, paramètres des fenêtres), dans le but de comparer les résultats de la température de l'air intérieur, le débit d'air interne et la consommation énergétique de l'électricité et du gaz des cas choisis. Cette comparaison nous a mené à confirmer quelques hypothèses et infirmer autres.

## **Mots clés :**

La hauteur sous plafond, habitat collectif, la ventilation naturelle, la conservation des énergies non renouvelables, confort thermique, climat chaud et aride.

## **ABSTRACT**

Natural ventilation is one of the principal elements of thermal comfort in the building to refreshing and changing air the internal residential spaces.

The unsustainability of fossil energy and the big demand of housing in Algeria, energy conservation has become an essential issue especially in arid zones as the city of Laghouat.

Our work is based on the study of the envelope of the building and particularly the ceiling height of the interior spaces and its influence on the natural ventilation and conservation of non-renewable energies and the role of the window on these two phenomena.

In order to meet our objectives in our research and in order to test the invalidation or affirmation of our hypotheses, this work is based on two major parts. A theoretical and practical. In the theoretical part, a global research is elaborated in order to collect the data which concern the problematic. The practical part is based on simulation, where we took a case of collective housing in Laghouat which is characterized by an arid climate, the second is a virtual case.

The numerical evaluation is done in the form of a simulation by the EnergyPlus software according to several scenarios (ceiling height, window parameters), in order to compare the results of the indoor air temperature, the air flow and energy consumption of electricity and gas of the selected cases. This comparison led us to confirm some hypotheses and invalidate others.

### **Keywords:**

Ceiling height, collective housing, natural ventilation, conservation of non-renewable energy, thermal comfort, dry and warm climate.

## المخلص

التهوية الطبيعية تعتبر عنصرا أساسيا من عناصر الراحة الحرارية في المباني لضمان تبريد وتجديد الهواء في الفضاءات الداخلية وخاصة بالنسبة للسكن.

مع الانشغالات الأخيرة بسبب نقص الطاقة غير المتجددة، والطلب المتزايد على السكن في الجزائر. أصبح الحفاظ على الطاقة قضية مصيرية وخاصة في المناطق الجافة مثل مدينة الأغواط

ويستند عملنا في هذا البحث على دراسة غلاف المبنى وخصوصا دور ارتفاعات المساحات الداخلية والنوافذ ومدى تأثيرها على التهوية الطبيعية والحفاظ على الطاقة غير المتجددة.

لتحقيق الأهداف المسطرة في بحثنا ومن أجل تأكيد أو نفي الفرضيات المطروحة، قسمنا هذا العمل الى جزئين

رئيسيين. القسم النظري والقسم التطبيقي. في الجزء النظري، تم وضع بحث شامل يجمع البيانات المتعلقة بالإشكالية المطروحة. ويستند الجزء العملي على العمل التجريبي، حيث يتم دراسة حالة من السكن الجماعي في مدينة الأغواط التي تتميز بمناخ جاف، والحالة الثانية افتراضية.

تم انجاز هذه التجارب باستعمال برنامج المحاكاة في إطار عدة سيناريوهات من اجل مقارنة وتحليل النتائج (درجة حرارة الهواء في الداخل وتدفق الهواء بالإضافة الى استهلاك الطاقة من الكهرباء والغاز).

### الكلمات المفتاحية:

ارتفاع السقف، السكن الجماعي، التهوية الطبيعية، الحفاظ على الطاقة الغير متجددة، الراحة الحرارية، المناخ الحار والجاف.

# **Partie Introductive**

## INTRODUCTION GENERALE

La crise financière actuelle, l'épuisement et le cout des énergies utilisées (fossiles), les changements climatiques et les exigences écologiques actuelles, tous ces facteurs exigent des nouvelles pensés qui mènent à une conception de qualité et qui répond aux enjeux majeurs actuels, surtout dans le domaine énergétique.

A l'échelle nationale, le secteur résidentiel est considéré comme étant le secteur le plus énergivore, il représente 42% de la consommation. (Aprue, 2013) Pour cela la problématique énergétique se pose particulièrement dans ce secteur, surtout quand on parle des zones chaudes et arides en Algérie où la ventilation mécanique surtout la climatisation en été consomme une grande quantité électrique.

La fonction essentielle d'une habitation est d'assurer une ambiance intérieure bien adoptée à nos besoins et à notre confort. L'habitant place souvent son confort avant les économies d'énergie. (F.Boudali Errebai & Al, 2012). Ces opinions poussent le concepteur à optimiser le maximum du confort en réalisant des solutions économes en matière d'énergie.

Dans le but d'utiliser au mieux l'énergie à disposition dans les bâtiments, il convient donc de planifier la construction et les installations de façon à consommer moins d'énergie tout en assurant un confort convenable (F.Boudali Errebai & Al, 2012), dont la ventilation est l'une des solutions les plus efficaces qui garantit un état de confort.

D'une façon générale, la ventilation est utilisée pour maintenir un niveau acceptable de qualité de l'air intérieur (ventilation hygiénique) et rafraîchir (surventilation ou ventilation pour le rafraîchissement), afin de réduire ou annuler les besoins de climatisation active (Marcello Caciol, 2010).

D'après les notions bioclimatiques, les éléments constituant l'enveloppe du bâtiment jouent un rôle essentiel sur la ventilation naturelle et la consommation énergétique tel que (le volume de l'enveloppe, les ouvertures, les matériaux, etc...).

## **PROBLEMATIQUE**

Les villes algérienne connaissent une crise majeure en matière d'habitat, le grand souci est de construire rapidement et en grande quantité pour résoudre ce problème. Dans tout ça le confort thermique n'est pas pris en considération par les concepteurs.

Actuellement la conservation des énergies fossiles est devenue une priorité majeure en minimisant la consommation d'énergie. Le contrôle du renouvellement d'air et de la ventilation naturelle permet de maintenir la qualité de l'air et de rafraîchir les espaces surtout dans les zones chaudes arides.

Le volume du bâti influe sur le confort thermique et particulièrement la ventilation naturelle et l'énergie électrique et gazière, où la hauteur sous plafond est l'un des éléments qui caractérise le volume de l'espace dans l'habitat. Parmi les espaces les plus importants dans l'habitat et particulièrement l'habitat collectif ce sont les espaces servis et précisément la chambre, où l'habitant fait plusieurs activités.

En Algérie, selon l'article 47 du journal officiel n°51, la hauteur minimale nette sous plafond est de 2.90 m. par contre en France et selon l'article R111-2 du code de la construction et de l'habitation, la surface et le volume habitables d'un logement doivent être de 14 m<sup>2</sup> et de 33 m<sup>3</sup> au moins par habitant. C'est-à-dire environ 2.35 m de hauteur. Cette différence dans réglementation des hauteurs (2.35-2.90) nous pousse à poser la question **pourquoi ?**

**Quelle est l'impact de la hauteur sous-plafond sur la consommation énergétique et sur la ventilation naturelle ?**

**Quelle est la hauteur optimale pour une consommation réduite tout en assurant un bon confort thermique et aéraulique ?**

**Comment assurer une ventilation naturelle satisfaisante avec une hauteur sous-plafond minimale ?**

**Quel est la meilleure orientation qui offre un confort thermique satisfaisant et une consommation énergétique réduite dans une chambre à hauteur sous-plafond minimale ?**

**Quel est le nombre et la taille conforme des ouvertures avec une hauteur minimale ?**

## **HYPOTHESES**

Afin de répondre à nos problèmes posés, nous avons construit les hypothèses suivantes :

- 1- La hauteur sous-plafond réduite rend l'espace habité mieux ventilé.
- 2- Les espaces à hauteur sous-plafond minimale consomment moins d'énergie que les espaces à hauteur élevée.
- 3- L'orientation sud de la paroi extérieure est la plus confortable en hiver est consomme moins d'énergie.
- 4- En été l'orientation nord consomme moins d'énergie est un confort thermique satisfaisant.
- 5- Les grandes fenêtres n'offrent pas une bonne performance thermique contrairement aux petites ouvertures.
- 6- L'existence de plusieurs fenêtres dans l'espace habité augmente la consommation énergétique.

## **OBJECTIFS**

Afin de répondre à l'objectif du confort thermique dans l'espace habité et particulièrement la chambre, le concepteur doit tenir compte de :

- Un volume des pièces habitables qui prend en considération les apports énergétiques ;
- Une hauteur fonctionnelle et réglementaire ;
- Un espace qui assure une consommation énergétique réduite ;
- Un renouvellement d'air qui assure une bonne qualité de l'air dans l'espace et une qualité thermique satisfaisante.

L'objectif consiste à tester le comportement thermique et aéraulique des pièces habitées et la consommation énergétique d'électricité et du gaz des logements situés dans la ville de Laghouat vis-à-vis les conditions climatiques extérieures. Cela concerne l'étude de l'effet de la hauteur sous-plafond  $H$  des pièces habitable sur la température intérieure et la consommation énergétique dans les habitations. En vérifiant aussi les conditions qui s'adaptent avec la hauteur optimale, particulièrement l'orientation et les différents paramètres des ouvertures de l'espace.

## **APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE**

Afin de vérifier les hypothèses construites et atteindre les objectifs soulignés, notre méthodologie repose essentiellement sur la simulation.

L'étude numérique ou la simulation est l'outil informatique choisit pour vérifier les résultats qui nous permet d'avoir une bonne ventilation et une consommation réduite d'énergie tout en ayant la hauteur sous-plafond optimale.

## **STRUCTURE DE LA MEMOIRE**

Ce mémoire est composé de deux grandes parties, précédées par une partie introductive et suivies par une conclusion générale.

La première partie est la partie théorique, elle est présentée sous forme de trois chapitres qui englobent les connaissances ayant une relation avec la recherche :

- Le premier chapitre englobe une recherche et revue bibliographique concernant la consommation des énergies et les modes et les techniques de ventilation traditionnelles, modernes et passives utilisés dans l'habitat dans les zones chaudes et arides.
- Le deuxième chapitre est consacré aux méthodes de calcul et prédiction de ventilation dans les différents espaces dans l'habitat collectif.
- Le troisième chapitre présente une étude de la réglementation nationale et internationale concernant l'habitat collectif, la hauteur sous plafond et les ouvertures.

La deuxième partie présente le travail pratique, elle est composée d'un seul chapitre :

- Le quatrième chapitre est consacré à une présentation de l'environnement d'étude et ses caractéristiques climatiques, et ensuite la présentation du cas d'étude choisi pour notre travail d'évaluation numérique. La simulation numérique est faite à l'aide du logiciel EnergyPlus en le couplant avec sketchup avec le plugin OpenStudio.

**Chapitre 1**  
**Recherches et Revues**  
**Bibliographiques**

## INTRODUCTION

La ventilation naturelle est l'un des défis les plus complexes de la conception bioclimatique des édifices, car elle est tributaire de plusieurs paramètres variables dans l'espace et le temps. (Ait Kaci.Z ,2014).

Plusieurs travaux de recherche ont conclu qu'une façon de réduire la production d'énergie est de réduire la demande de climatisation ( F. Visser, A. Yeretian, 2013) , ( S. Bretz, H. Akbari, A. Rosenfeld, 1998) et (R.T.A. Prado, F.L. Ferreira, 2005), . Au lieu de compter entièrement sur des moyens mécaniques qui sont dépendants et généré essentiellement à partir de combustibles fossiles électricité, les architectes devraient investir du temps dans la recherche de stratégies passives pour atteindre la meilleure combinaison possible de faible consommation d'énergie et le contrôle climatique naturel pour leurs bâtiments ( F. Visser, A. Yeretian, 2013) .

### 1- La consommation mondiale de l'énergie

En 2013, environ 28 % de l'énergie mondiale finale est consommée par l'industrie, 27 % par les transports, et 36 % par le résidentiel, le tertiaire et l'agriculture. Les 9 % restants correspondent essentiellement au pétrole utilisé pour produire du plastique et au charbon utilisé pour produire de la fonte. (Secrétariat général du débat national sur la transition énergétique, 2013)

- La consommation mondiale de gaz naturel a progressé de +2,2 %, un rythme inférieur à la moyenne historique de +2,7 %.
- La croissance de la consommation a été supérieure à la moyenne sur 10 ans en Amérique du Sud et Amérique Centrale, et Afrique et en Amérique du Nord, où les États-Unis ont enregistré la plus forte augmentation au monde (+4,1 %). En Asie, la Chine et le Japon ont enregistré les deux plus importantes contributions après les États-Unis, enregistrant respectivement une augmentation de +9,9 % et de +10,3 %. Au niveau mondial, le gaz naturel a représenté 23,9 % de la consommation énergétique primaire.
- La production de gaz naturel a augmenté de +1,9 %. Là encore, les États-Unis ont enregistré la plus forte augmentation en volume (+4,7 %) et restent les premiers producteurs au monde. La Norvège (+12,6 %), le Qatar (+7.8%), et l'Arabie saoudite (+11,1 %) ont également enregistré des augmentations considérables, tandis que la

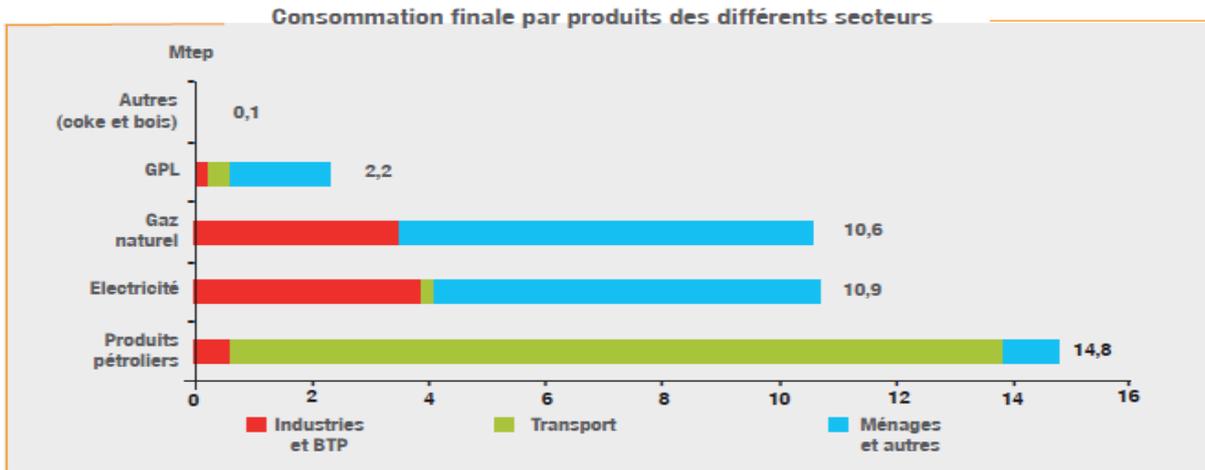
Russie (-2,7 %) a marqué la plus forte baisse en volume au niveau mondial.  
 - Les échanges de gaz naturel liquéfié ont reculé pour la première fois de l'histoire (0,9 %) tandis que les échanges par oléoduc ont légèrement augmenté (+0,5 %).

## 2- La consommation énergétique des différents secteurs en Algérie

Elle comprend les consommations d'énergie à usage final, ventilées selon les trois grands secteurs que sont 'l'industrie', 'le transport' et 'les ménages et autres' Elle a augmenté en 2013 de près de 2,2 Mtep pour atteindre 38,5 Mtep, reflétant une forte hausse de 6,0%.

**Tableau I-1 :** Consommation finale par secteur d'activité. **Source :** Bilan énergétique national, 2013, (p23).

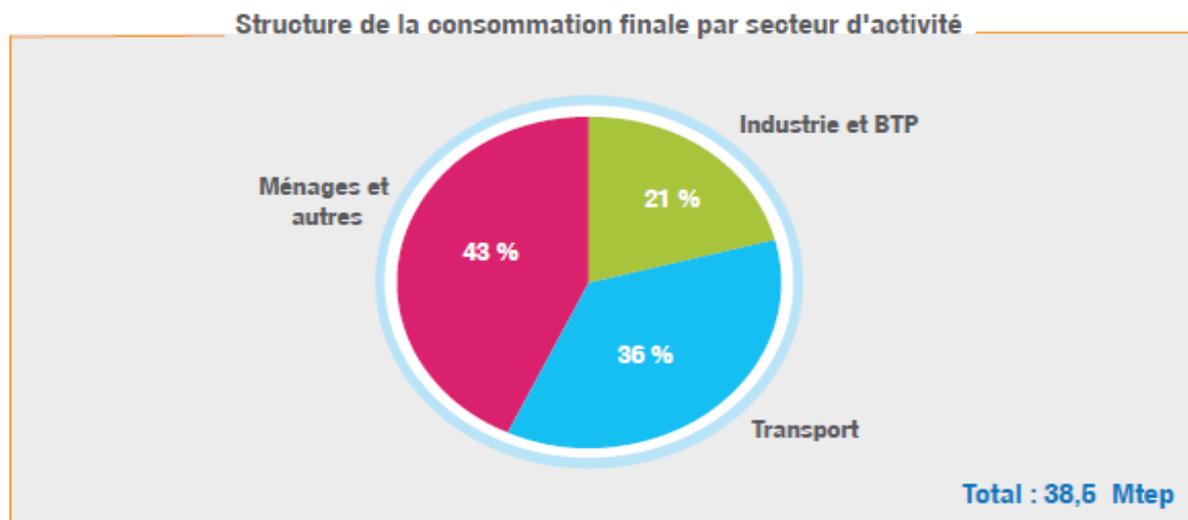
K tep	2012	2013	Evolution	
	Quantité		Quantité	(%)
<b>Industrie et BTP, dont :</b>	<b>7 939</b>	<b>8 229</b>	<b>+290</b>	<b>+3,7</b>
- Matériaux de construction	3 306	3 482	+176	+5,3
A- Cimenteries	1 483	2 072	+589	+39,7
B- Verreries	79	104	+24	+30,8
- ISMME	673	660	-13	-1,9
- BTP	375	346	-29	-7,6
- Industries Manufacturières	858	918	+60	+7,0
A -Industries Agroalimentaires	745	808	+64	+8,5
- Chimie	407	341	-66	-16,2
<b>Transport, dont :</b>	<b>13 371</b>	<b>13 889</b>	<b>+518</b>	<b>+3,9</b>
- Routier	12 636	13 132	+497	+3,9
- Aérien	531	548	+18	+3,3
<b>Ménages et autres, dont :</b>	<b>15 068</b>	<b>16 425</b>	<b>+1 358</b>	<b>+9,0</b>
- Résidentiel	11 077	12 269	+1 191	+10,8
- Agriculture	373	248	-125	-33,6
<b>Total</b>	<b>36 377</b>	<b>38 543</b>	<b>+2 166</b>	<b>+6,0</b>



**Figure I-1 :** Consommation finale par produits des secteurs. **Source :** Bilan énergétique national, 2013, (p24).

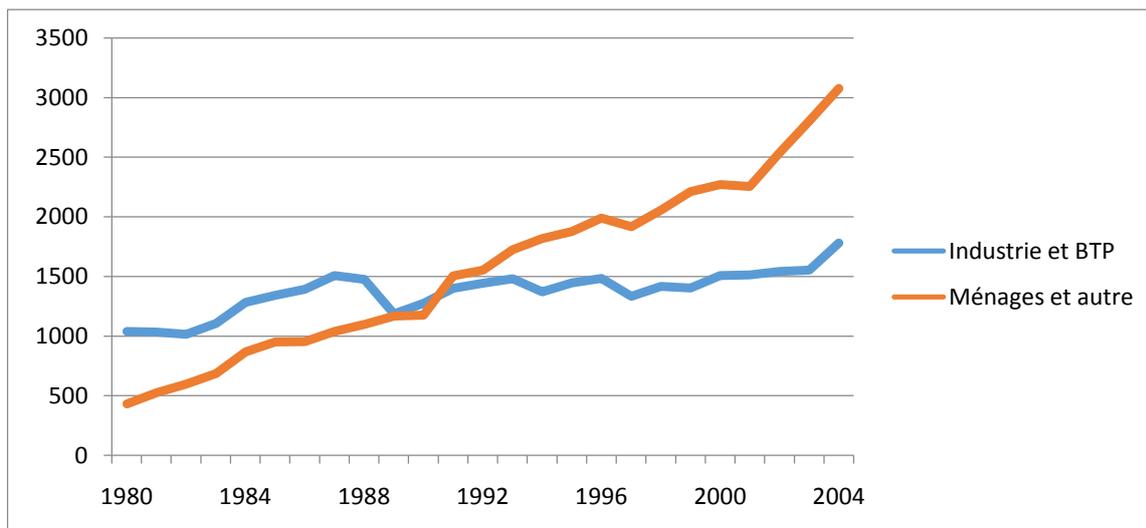
La structure de la consommation finale, par secteur d'activité, montre une prépondérance du secteur des "ménages et autres" (y compris agriculture et tertiaire), dont la part est passée de 41% à 43% en 2013. Ceci reflète l'amélioration des revenus et du niveau de vie des citoyens.

La consommation des «Ménages et autres» a atteint 16,4 Mtep en 2013, reflétant une forte hausse de (+9%), tirée par l'accroissement de la consommation du résidentiel. (Bilan énergétique national de l'année 2013)



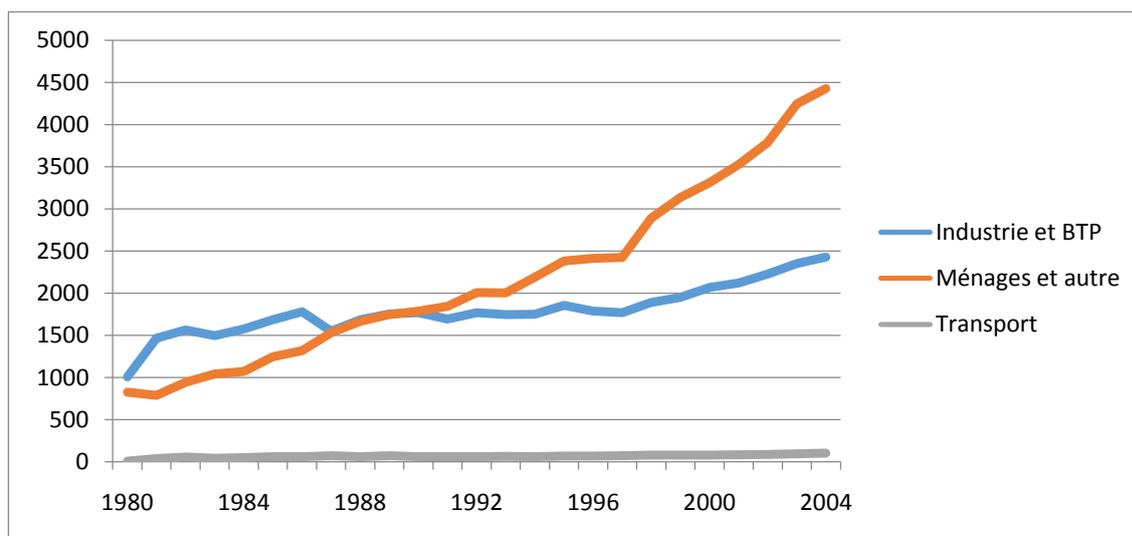
**Figure I-2 :** Structure de la consommation finale par secteur d'activité **.Source :** Bilan énergétique national 2013,( p23).

## 2-1- La consommation du gaz naturel



**Figure I-3 :** la consommation du gaz naturel par secteur d'activité .Source : (Bilan national énergétique 2013, p23).

## 2-2- La consommation de l'électricité

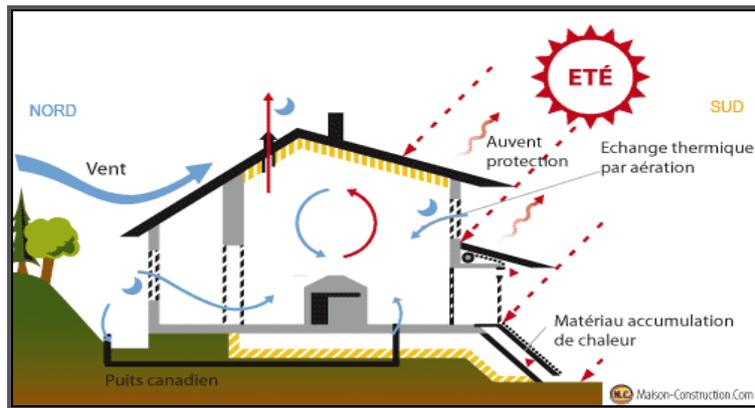


**Figure I-4 :** la consommation de l'électricité par secteur d'activité. Source : (Bilan national énergétique 2013, p23).

## 3- La ventilation dans le bâtiment :

Les écoulements d'air sont le résultat de différences de pression qui se créent autour et à l'intérieur des bâtiments. L'air s'écoule des hautes vers les basses pressions. Quand l'air extérieur est plus froid que celui situé à l'intérieur du bâtiment, la ventilation peut extraire les gains internes ou solaires durant la journée et peut fournir le bâtiment en air frais pendant la nuit si nécessaire.

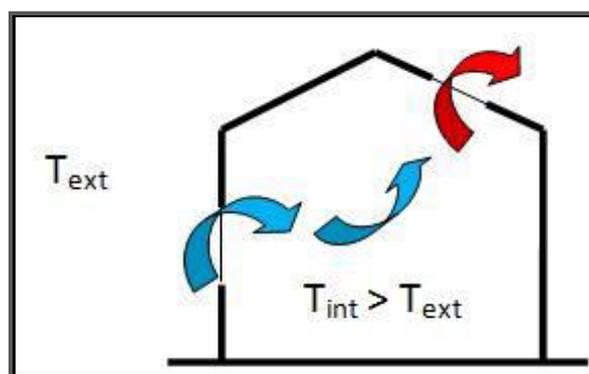
La conception du bâtiment et ses alentours ont tous deux une influence importante sur l'efficacité du rafraîchissement naturel (figure I-5).



**Figure I-5 :** Effet de la conception du bâtiment et ses alentours sur l'efficacité du rafraîchissement naturel. **Source:** (De Herde, A ; 2005)

Le débit d'air traversant le bâtiment est fonction de sa localisation, du dimensionnement et des caractéristiques des ouvertures, de l'effet d'obstacles internes à l'écoulement de l'air et des effets de la forme externe du bâtiment en relation avec la direction du vent. Les écoulements d'air dans les bâtiments doivent être considérés comme tridimensionnels. (De Herde, A ; 2005).

Pour que les forces de poussée puissent agir, il est nécessaire qu'il existe un gradient de température significatif entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment et une résistance minimale à l'écoulement de l'air (figure I-6). L'écoulement complet résulte de la combinaison du tirage thermique et des champs de pression dus au vent.



**Figure I-6 :** effet du gradient de température sur la ventilation. **Source:** (De Herde, A ; 2005)

La conception des systèmes de ventilation doit aussi prendre en compte l'éclairage naturel, les apports solaires, et des considérations de sécurité et de nuisance sonore.

On attribue à la ventilation dans les bâtiments les fonctions suivantes :

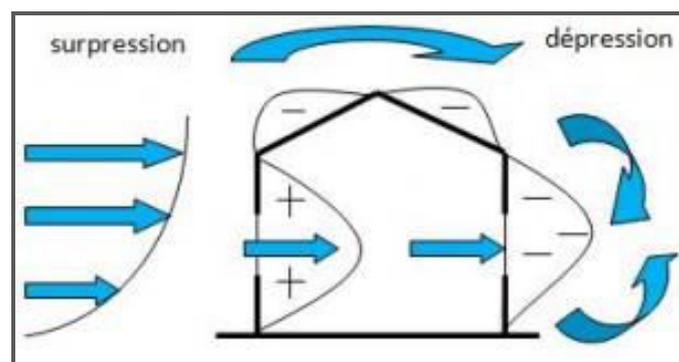
- Evacuer les surchauffes dues aux apports solaires ou internes instantanés
- Décharger thermiquement la masse du bâtiment surtout la nuit afin de diminuer les températures diurnes
- Améliorer la sensation de confort thermique (augmenter les échanges thermiques entre le corps et l'ambiance)
- Réduire les consommations d'énergie liées au système de conditionnement et aux ventilateurs
- Réduire les coûts de construction et d'utilisation des bâtiments quand elle est conçue soigneusement.

### 3-1- Principe de la ventilation naturelle :

A certaines époques de l'année, l'inertie thermique d'un bâtiment peut être insuffisante pour absorber le gain de chaleur provoqué par le rayonnement solaire. De ce fait, l'air ambiant surchauffe et crée un inconfort à l'intérieur du bâtiment : il est donc nécessaire de dissiper la chaleur superflue.

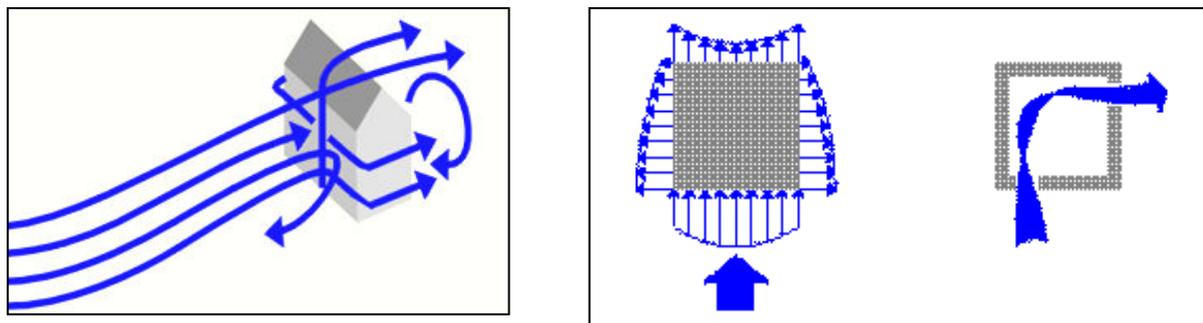
Dans nos régions, la chaleur est dissipée au moyen de courants d'air créés par des différences de pression. Celles-ci proviennent soit du vent, soit de l'écart entre la température intérieure et extérieure.

Lorsque le vent frappe un bâtiment, il crée une surpression sur la face exposée tandis que la face opposée est en dépression (figure I-7). C'est la direction du vent local qui détermine l'allure des différences de pression sur les façades du bâtiment.

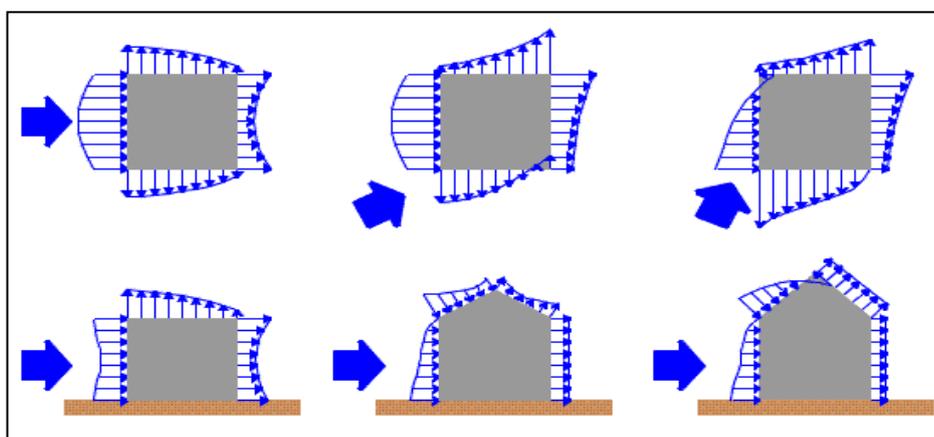


**Figure I-7** : principe de la ventilation due au vent. **Source:** (De Herde, A ; 2005).

Les exemples ci-dessous montrent en plan et en coupe les zones de surpression et de dépression d'un bâtiment de forme simple en fonction de la direction des vents.



**Figure I-8 :** Effet du vent sur le bâtiment isolé. **Source:** (Gratia E, 2004).



**Figure I-9 :** influence de la direction du vent sur le bâtiment. **Source:** (Gratia E, 2004).

### 3-2- Concept de la ventilation naturelle en architecture

Pour faire circuler l'air dans les bâtiments, la ventilation naturelle utilise les forces dues au vent et aux différences de masse volumique de l'air. Un bâtiment ventilé naturellement doit être conçu de façon à utiliser au mieux ces forces, en tenant compte des critères suivants :

- Le taux de renouvellement d'air doit être suffisant pour fournir suffisamment d'air neuf afin assurer la santé et le confort des occupants. Ceci est généralement le critère de dimensionnement retenu pour l'hiver,
- Pendant l'été, le taux de renouvellement d'air doit être suffisant pour permettre l'évacuation des gains de chaleur internes et maintenir des conditions de confort

acceptables. Les taux de ventilation d'été doivent en général être d'un ordre de grandeur supérieur à ceux nécessaires en hiver,

- Le débit d'air doit être distribué uniformément dans la zone d'occupation afin d'éviter les zones de sous ou sur rafraîchissement et assurer partout une bonne qualité d'air,
- En ventilation naturelle, les pressions motrices sont très faibles, typiquement inférieures à 10 pascals, aussi un dimensionnement très soigneux est-il nécessaire pour s'assurer que la circulation de l'air s'effectue bien comme prévu. Le trajet doit être aussi direct que possible car les forces disponibles ne peuvent pas en général surmonter des résistances présentées par des changements de direction.

### **3-3- Débit de ventilation**

Le débit d'une ventilation ( $m^3/h$ ) dépend des facteurs suivants :

- la perméabilité de l'ouverture en position fermée, qui est en fonction de la dimension de la baie et du type d'ouvrant
- la section de l'ouverture en position ouverte
- le gradient de pression entre les deux faces de l'ouverture considérée, du :
- au gradient de température d'air entre les entrées et sorties d'air, (ce gradient peut être créé par une différence de niveau entre les entrées et sorties d'air ou par des apports de chaleur localisés)
- à la vitesse d'air extérieur

### **3-4- Types de ventilation naturelle**

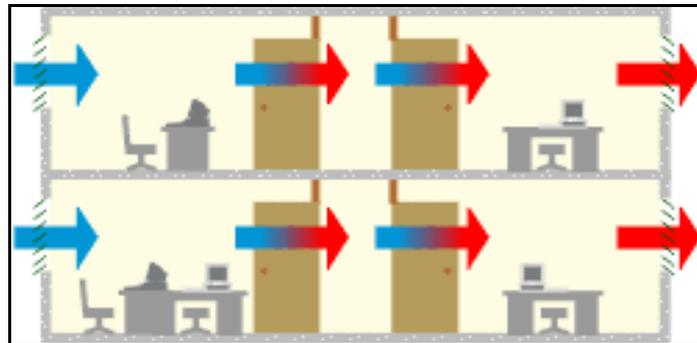
Il existe de nombreux types d'écoulement de ventilation naturelle dans les bâtiments, les trois principaux sont:(De Gidds, W. and W. H. Phaff ,1982)

- La ventilation traversante,
- La ventilation de simple exposition,
- La ventilation par tirage thermique.

#### **3-4-1- Ventilation traversante**

L'effet du vent sur un bâtiment se traduit par des pressions positives sur les façades au vent et au contraire des dépressions sur les façades sous le vent, créant ainsi un écart de pression significatif à travers l'ensemble du bâtiment qui conduit à l'établissement d'un débit d'air traversant dès lors que les façades sont perméables. On appelle ventilation traversante le scénario d'écoulement résultant de cette configuration, où l'air entre par une façade, traverse l'ensemble du bâtiment et ressort par une façade opposée. La ventilation traversante peut fournir les taux de renouvellement d'air les plus importants, et peut ventiler efficacement des

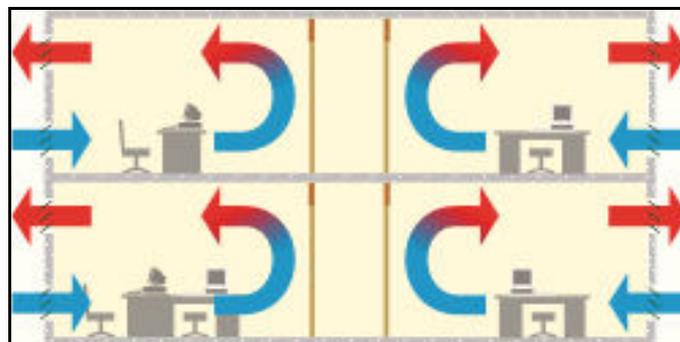
pièces bien plus profondes (cinq fois la hauteur sous plafond). On doit cependant la favoriser quand cela est possible, en assurant une circulation d'air peu perturbée par des obstacles entre les ouvertures situées de part et d'autre du bâtiment. (De Gidds, W. and W. H. Phaff ,1982) .



**Figure I-10 :** Ventilation traversante. **Source:** (Gratia E, 2004).

### 3-4-2- Ventilation de simple exposition

Pour la plupart des gens, la ventilation naturelle est associée à l'ouverture des fenêtres de façon à laisser l'air pénétrer naturellement dans les pièces. Ce mode de ventilation est d'ailleurs le plus naturel et demeure encore aujourd'hui certainement le plus utilisé, notamment dans les pays à climat tempéré et chaud où la ventilation naturelle est le premier mode de conditionnement des espaces. Le débit d'air circulant à travers l'ouvrant est dû aux effets combinés du vent et du tirage thermique. Le vent se caractérise comme nous l'avons dit précédemment par une composante moyenne de vitesse et des fluctuations. Dans le cas de la simple exposition, ce sont essentiellement les fluctuations qui interviennent pour créer un effet de pompage, mais l'effet dominant est souvent le tirage thermique. Si la température intérieure est supérieure à l'extérieure, l'effet de tirage thermique entraîne l'air extérieur plus froid (et donc plus lourd) dans les parties basses des ouvrants alors que l'air intérieur plus chaud (et donc plus léger) va sortir en partie supérieure des ouvrants. (Gratia ; 2007)

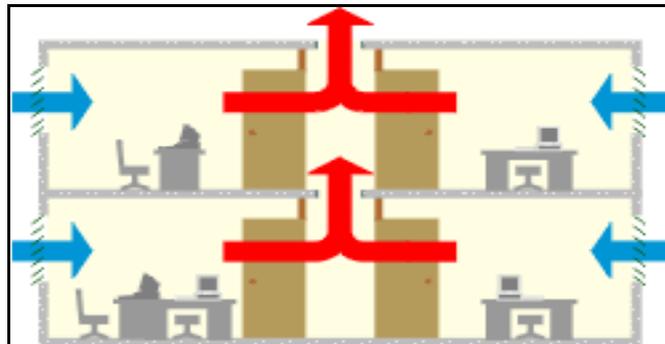


**Figure I-11 :** Ventilation de simple exposition. **Source:** (De Herde H, 2005).

### 3-4-3- Ventilation par tirage thermique

La ventilation par tirage thermique est parfois utilisée quand la ventilation traversante n'est pas possible et quand la ventilation par exposition simple n'est pas suffisante. Le tirage thermique est en général assuré par la différence de température entre l'air chaud intérieur et l'air plus frais de l'extérieur. Cependant, durant les périodes les plus chaudes de l'été, un bâtiment bien conçu avec une utilisation efficace de sa masse thermique et de la ventilation nocturne peut ne pas avoir une température intérieure bien supérieure à celle de l'air extérieure, et le tirage thermique risque d'être minimal. Néanmoins, pendant la nuit, quand la température extérieure chute, le tirage thermique peut être très efficace comme élément d'une stratégie de rafraîchissement nocturne.

La ventilation par tirage thermique peut aussi être aidée par le vent qui, en pratique, est sûrement la force motrice prédominante durant le jour. Même les jours très chauds, du vent est pratiquement toujours présent au Algérie, et son effet est souvent supérieur à celui du tirage thermique disponible. Ainsi, la plupart du temps un conduit vertical fournit une possibilité d'écoulement de l'air depuis les fenêtres situées sur une façade au vent (avec des pressions positives) à travers la pièce jusqu'à la zone de pression négative située en haut du conduit. (De Gidds, W. and W. H. Phaff 1982)



**Figure I-12 :** Ventilation par tirage thermique. **Source:** (De Herde H, 2005).

## 4- Les anciennes méthodes et techniques de la ventilation naturelle utilisées dans l'habitat

### 4-1- Le moucharabieh

Le moucharabieh figure (I-13), joue un rôle de cloisonnement entre extérieur et espace intermédiaire, c'est un écran à claire-voie de grande dimension, cloisonnant les éléments constructifs généralement en saillie des bâtiments et réalisé en bois ou en plâtre et en pierre par conséquent on obtient des propriétés thermiques différentes du fait des prestations thermiques de chaque matériau. Il procure à l'espace protégé un adoucissement de la lumière,

le passage de l'air et l'intimité. Le moucharabieh prend parfois toute la longueur de la façade. (Bencheikh, H,2007).



**Figure I-13** :Détails de moucharabieh à Alep en Syrie. **Source:** (<http://pictures.traveladventures.org/images/aleppo03> (2004))

#### 4-2- Les types de percements sur les façades

Les percements assurent en principe (simultanément ou séparément) la vue de l'intérieur vers l'extérieur, l'éclairage et l'aération, on distingue deux types de base de percement des maçonneries qui sont le trou isolé et le claustra, le premier réglable le second ne l'est pas et chacun procure une qualité d'éclairage appropriée, voir figure (I-14) (Bencheikh, H,2007).



**Figure I-14** : Trou isolé d'un bâtiment à Al Hajjarayn, Wadi dawan au Yémen. **Source :** <http://pictures.traveladventures.org/images/fr/wadidawan10>. (2004)

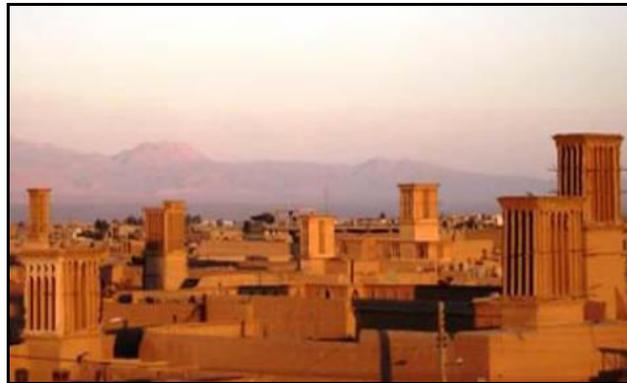
#### 5- les techniques du mouvement d'air

La ventilation est atténuée par la taille des villes contrairement à la pollution et l'échauffement de l'air. Les vents cycliques journaliers (brises de vallées, brises de terre, brise de mer) fonctionnent par paire de vents opposée et correspondent à des effets thermiques

différentiels. Ils peuvent engendrer des condensations utiles (stockage de froid) lorsqu'ils sont associés à l'inertie des masses des bâtiments.

### 5-1- Les Tours à vent

Dans les climats chaud et sec, l'écart de température entre le jour et la nuit pendant l'été est très grand. Les architectes Iraniens ont profités de cet écart de température pour refroidir les habitations. Parmi les systèmes de refroidissement passif nous notons l'utilisation des tours. Les tours sont construites en murs épais en argile de hauteur qui dépasse la hauteur du toit, dans la partie haute des tours il y a des trappes sur les quatre cotés. La tour est construite à côté d'un bassin d'eau, leur fonctionnement est identique à celle d'une cheminée solaire, le mouvement d'air naturel accéléré avec le passage de l'air sur la surface d'eau, l'air est humidifié et sa température baisse ce qui rend la température de l'espace agréable, Karakatsanis, Bahadori et Vickery, voir figure (I-15 )



**Figure I-15** : Tour à vent pour refroidissement passif dans l'architecture Iranienne. **Source** : <http://www.cyberarchi.com/actus&dossiers/batiments-publics/> (2004)

### 5-2- Les dômes

Ils sont surtout observés à El-oued par exemple. Ce sont des coupoles qui, ayant au sommet une fenêtre, recouvrent soit une partie de la maison soit la pièce principale d'un bâtiment. Les dômes présentent à la voûte céleste une surface de déperdition thermique très grande  $2 R^2$  ( $R$  le rayon du dôme) pour un maître couple moitié. Par contre dans la journée, seule une partie de ce maître couple reçoit les rayons solaires, c'est-à-dire une surface caprice inférieure à  $2 R^2$ . Les échauffements du dôme sont ainsi limités. Ces échauffements sont responsables des mouvements convectifs de l'air à l'intérieur du dôme, voir figure (I-16 , a) RunshengetMeir, Bahadori et Haghighat et Bahadori .

Le jour, lorsque le sommet du dôme est chaud, l'air intérieur au contact de ce dôme s'échauffe. Si les fenêtres et les portes du bâtiment ainsi que la fenêtre du dôme sont ouvertes, l'air à l'intérieur du bâtiment a tendance à monter ; ce mouvement ascendant est favorisé par l'air plus froid donc plus dense autour du bâtiment, qui pénètre à l'intérieur.

L'air chaud est alors entraîné et évacué par effet de cheminée à l'extérieur par la fenêtre du dôme. (Bencheikh, H,2007).

La nuit, la chaleur accumulée dans la journée par le dôme est échangée radiativement avec la voûte céleste et par convection avec l'air. La fenêtre supérieure étant fermée, l'air à l'intérieur du bâtiment monte par la partie centrale, se refroidit au contact du dôme, devient plus dense, et redescend par la partie latérale, voir figure (I-16 , b).

Si par contre dans une nuit sans vent, tous les volets sont ouverts, l'air à l'intérieur du bâtiment étant plus chaud, l'air froid de l'extérieur a tendance à descendre, pénétrer alors à l'intérieur par le sommet du dôme, y crée une forte pression et évacue l'air chaud de l'intérieur par les volets du bâtiment, voir figure (I-16 , c). (Bencheikh, H,2007).

Au cours des nuits où le vent souffle, l'évacuation de l'air chaud s'effectue dans le sens inverse. Sous l'effet de la pression de l'air extérieur, froid, très dense, accumulé au pied du bâtiment, le vent qui souffle, entraîne l'air chaud du bâtiment par la fenêtre du dôme.

Enfin, le dôme n'a pas un facteur de forme plus grand que les autres surfaces vis-à-vis du volume interne et donc son échauffement ne peut être ressenti. (Bencheikh, H,2007).

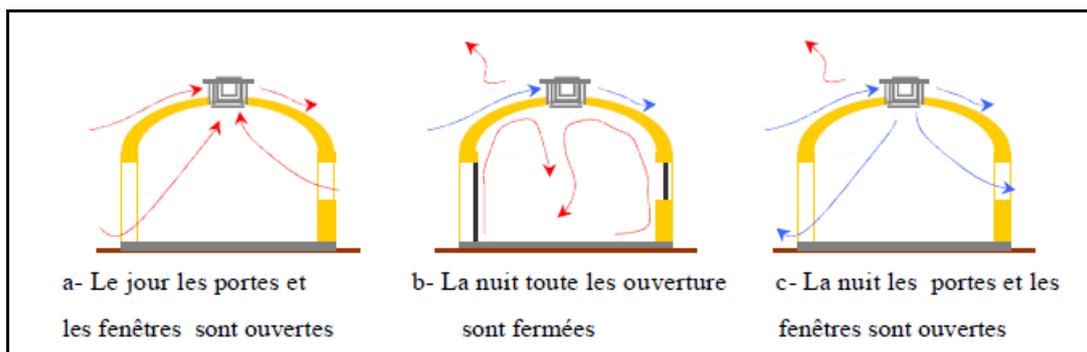


Figure I-16 : Les différents cas de fonctionnement des Dômes. **Source** : Bahadori, M. N. et Haghghat, F., 1985)

### 5-3- Les cours

Le bloc percé d'une cour ou la maison dotée d'un patio nous fait pénétrer jusqu'aux régions les plus torrides de la terre. Pour assurer leur intimité, il existe une grande diversité d'habitats sur cour avec plusieurs critères de différenciation. Le rapport de surface entre espaces couverts et découverts, les habitats plutôt aérés, les habitats compacts tolèrent une forte proportion de pièces, (Alaxandroff, 1982) voir figure (I-17).



**Figure I-17 :** Habitat cour, Maison de la palmeraie à Ghardaïa. **Source:** CORPUS, Architecture traditionnelle méditerranéenne (Maison de la Vallée du M'Zab).

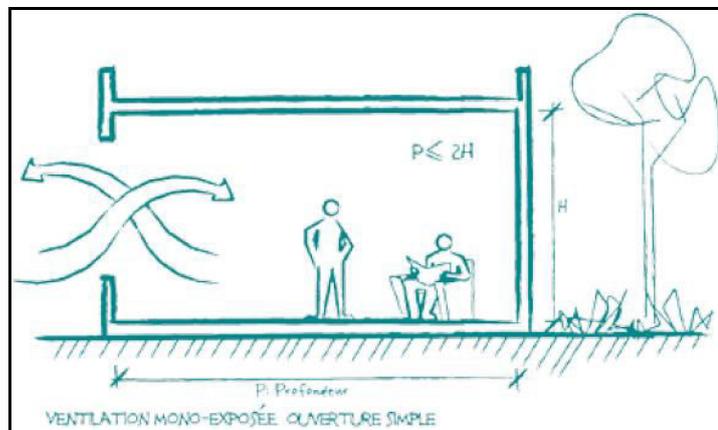
## 6- Techniques modernes de ventilation naturelle

### 6-1- Ventilation d'un seul côté : mono exposé

C'est le cas où il n'y a des ouvertures que d'un seul côté, généralement une seule façade de l'espace à ventiler, tandis que l'autre côté est cloisonné et sans ouvrants.

#### 6-1-1-Ouverture unique en façade

L'efficacité de cette configuration étant faible, il faut se limiter, en général, à une profondeur de la pièce inférieure ou égale à 2 fois la hauteur sous plafond. On considère qu'une profondeur de 6 mètres est le maximum pour avoir une ventilation efficace dans toute la zone. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012).



**Figure I-18 :** Ventilation mono-exposée ouverture simple . **Source :** « Natural ventilation in non-domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.



**Figure I-19** : Ouvrant de ventilation naturelle avec grille pare-pluie. **Source** : (Doc. Renson).

Cette stratégie présente l'avantage d'un contrôle aisé par l'occupant si elle repose sur l'ouverture de fenêtres. Elle n'est pas adaptée si la façade donne sur une rue bruyante, ou une source de pollution. Son efficacité est relativement assurée si et seulement si la hauteur de l'ouverture est grande, que ce soit par tirage thermique ou par effet du vent. Il est recommandé que l'ouvrant ait une hauteur d'au moins 1,5 m afin que l'air puisse rentrer par le bas de la fenêtre et sortir par le haut (théorie des grandes ouvertures verticales). Les ouvertures horizontales ne fonctionneront pas bien. En effet, il faut se rappeler que, dans ce cas, le facteur qui crée le débit est la différence de hauteur entre le point bas d'entrée de l'air et le point haut de sortie.

Logiquement, une ouverture horizontale offre très peu de potentiel et ne fonctionnera qu'avec le vent mais, même là, elle opposera plus de résistance qu'une ouverture verticale.

Pour prédire le débit de renouvellement d'air obtenu par l'ouverture d'une fenêtre, en conditions de tirage thermique (vent nul, pièce plus chaude que l'extérieur), on peut utiliser la formule :

$$Q[\text{m}^3/\text{h}] = 260 \times A \times (0,5H \times \Delta T)^{1/2}$$

$A$  = surface d'ouverture [ $\text{m}^2$ ] et  $H$  = hauteur de la fenêtre [m].

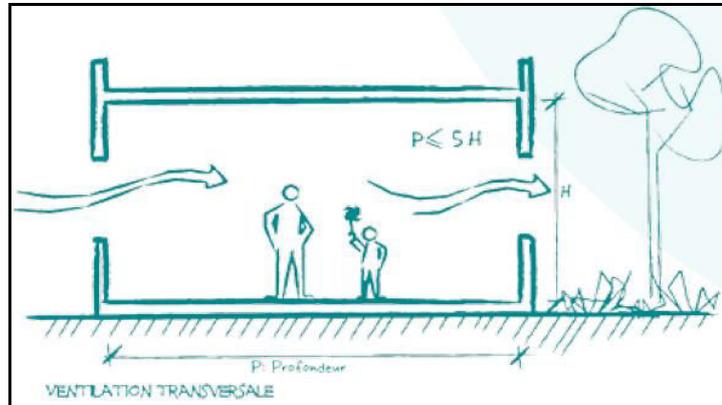
On peut également prévoir des ouvertures toute hauteur équipées de grilles pare pluie. Dans ce cas, dans la formule ci-contre, il faut minorer le débit par un coefficient de perte de charge lié à ces grilles. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012).

### **6-1-2-Deux ouvertures en façade**

Il est également possible d'avoir une ventilation mono-exposée avec deux ouvertures placées à une hauteur différente. Dans ce cas, le tirage thermique est renforcé, car il y a une séparation physique entre l'entrée et la sortie d'air, ce qui facilite la mise en place du débit

d'air. Comme précédemment, le tirage thermique dépend de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur, mais aussi de la distance verticale séparant les ouvertures.

Grossièrement, la profondeur de la pièce ne doit pas être supérieure à 2,5 fois la hauteur sous plafond, pour une hauteur entre l'entrée d'air et l'extraction d'environ 1,5. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012)



**Figure I-20 :** Ventilation mono-exposée ouverture double .**Source :** « Natural ventilation in non domestic buildings». Guide CIBSE, 2005.

Cette hauteur peut être atteinte en utilisant par exemple des grilles d'entrée et de sortie d'air, placées de part et d'autre de la hauteur de la fenêtre. En augmentant cette hauteur, on augmente le différentiel de pression entre l'ouverture haute et la basse. Une attention particulière doit être portée au placement de l'entrée d'air pour éviter les courants d'air froid en hiver. Il est possible de placer l'entrée d'air derrière un radiateur, ce qui a l'avantage de réchauffer directement l'air entrant. Cependant, il peut y avoir certains cas pour lesquels cela pose problème :

- A la mi-saison, les apports internes et solaires peuvent être suffisants pour couper le chauffage. Dans ce cas, il peut toujours y avoir un risque de gêne par courant d'air.
- Si les effets du vent sont importants et que la façade se trouve en dépression sous le vent, l'entrée d'air peut se transformer en sortie d'air (phénomène d'inversion des débits), dans ce cas, le radiateur chauffe l'extérieur !

On peut imaginer un dispositif permettant une limitation forte du débit, au strict minimum requis pour le renouvellement d'air, par exemple avec l'utilisation d'un cache amovible venant fermer l'ouverture.

Pour prédire le débit de renouvellement d'air obtenu par deux ouvrants, un en partie haute, un en partie basse, séparés par une hauteur  $H$ , en conditions de tirage thermique (vent nul, pièce plus chaude que l'extérieur), on peut utiliser la formule :

$$Q[\text{m}^3/\text{h}] = 520 \times A \times (H \times \Delta T)^{1/2}$$

Avec :

$A$  = surface du plus petit ouvrant [ $m^2$ ] et  $H$  = différence de hauteur entre les deux ouvrants [m].

$\Delta T$  = différence de température entre l'air de la pièce et l'air extérieur [ $^{\circ}C$ ].

En présence de grilles, le débit dans la formule ci-dessus doit être minoré par le coefficient de perte de charge de ces grilles. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012)

## **6-2- Ventilation par atrium**

L'atrium permet de remplir de nombreuses fonctions, en amenant de la lumière naturelle notamment. Il joue également un rôle dans la ventilation naturelle, car il agit comme une cheminée solaire géante. De plus, l'intérêt de l'atrium est que le volume de bâtiment que l'on peut ventiler naturellement est doublé par rapport au cas précédent de la cheminée placée sur un côté, puisque l'entrée d'air se fait des deux côtés du bâtiment, tandis que l'extraction se fait au milieu (effet équivalent à mettre une rangée de cheminées au centre du bâtiment).

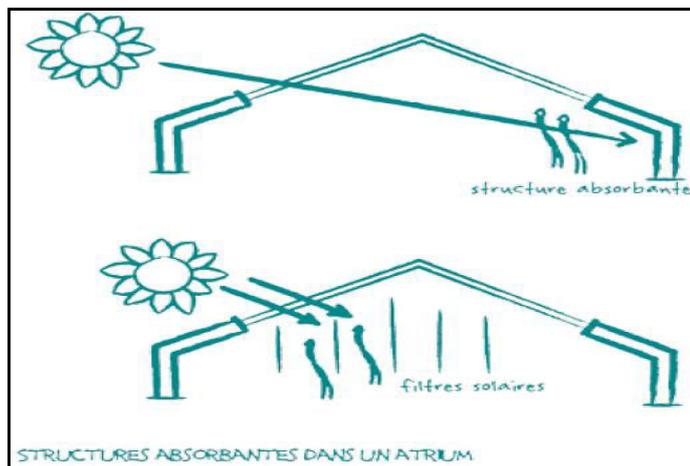
La stratification de l'air sur la hauteur de l'atrium est et doit être très importante, afin que le tirage thermique soit maximal. Il est très probable que les températures dans les niveaux supérieurs de l'atrium soient inconfortables pour les occupants. Cela est le cas si l'atrium est ouvert sur les étages, ou bien s'il permet la circulation entre des étages.

Diverses possibilités permettent de contourner ce problème. Dans certains cas, il faudra envisager de couper les étages supérieurs de l'atrium, et d'envisager un système de ventilation indépendant. Il est également possible d'incorporer des éléments dans la partie supérieure de l'atrium.

Ces éléments auront pour rôle d'absorber les rayonnements solaires en hauteur. Ils vont alors se réchauffer et diffuser la chaleur autour d'eux, donc en altitude. Les éléments absorbants peuvent être constitués :

- Des éléments de la structure (parois), qui joueront le rôle de masse thermique. Il faut alors intégrer des protections solaires permettant de limiter l'éclairement zénithal.

- Des cloisons ou volets (baffle solaire, volet) qui agissent en tant que dispositifs d'ombrages, empêchant les apports solaires directs à travers l'atrium vers les espaces occupés. Les cloisons peuvent être arrangées de manière à bloquer le rayonnement solaire direct, et ainsi éviter l'éblouissement, tout en permettant une vue du ciel et un éclairement par diffusion de la lumière. Cette stratégie est doublement efficace, car elle concentre les apports thermiques en hauteur, tout en les limitant en partie basse. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012)



**Figure I-21** : Structures absorbantes dans un atrium. **Source** : « Natural ventilation in non domestic buildings». Guide CIBSE, 2005

La hauteur de l'atrium doit être la plus élevée possible, car le débit généré pour la ventilation naturelle est fonction du produit hauteur x gradient de température. Le gradient de température étant variable et difficilement maîtrisable, il faut donc jouer sur le facteur de la hauteur de l'atrium.

La prise en compte du vent répond aux mêmes problématiques que pour les cheminées de ventilation.

Si les sorties d'air sont mal disposées, une grande surpression limitera les débits voire les inversera. Dans ce cas, il est possible de :

- Concevoir la sortie d'air de manière à ce que la pression induite par le vent favorise la ventilation pour toute direction de vent.

- Installer plusieurs sorties d'air contrôlées, actionnées automatiquement, de sorte qu'il y en ait en permanence une qui soit sous le vent. La sortie d'air sous le vent sera ouverte tandis que les autres se fermeront automatiquement.

Il est possible d'adapter une solution de ventilation naturelle assistée mécaniquement dans le cas de l'atrium, comme pour le cas des cheminées. En équipant les sorties d'air de ventilateurs extracteurs, il est possible de forcer la ventilation les jours où le débit naturel n'est pas suffisant, tels que les jours de grande chaleur. Un tel dispositif doit cependant être adapté à la réglementation relative à l'extraction des fumées. Enfin, les règles d'isolation s'appliquent ici tout comme pour les cheminées, notamment solaires. Il ne faut pas que les déperditions thermiques soient plus fortes que les apports solaires en hiver, et il faut pour cela utiliser un vitrage performant thermiquement, et qui laisse passer la lumière. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012).

### 6-3- Ventilation par façade double peau (FDP)

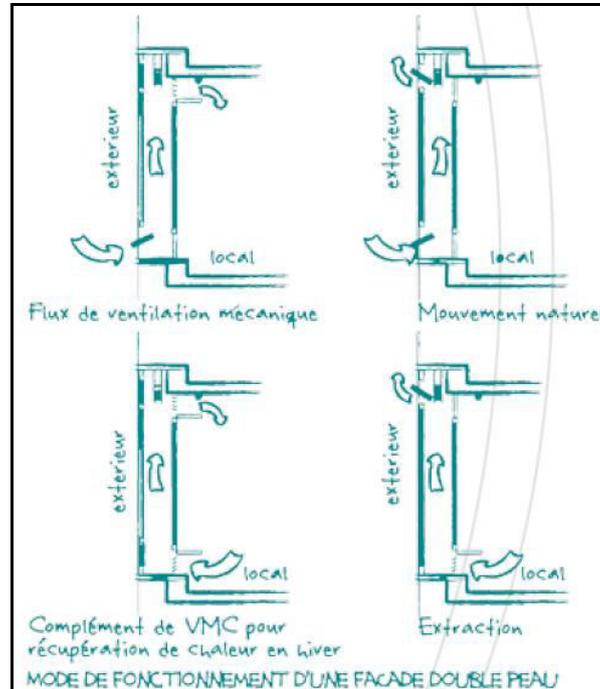
Ce choix de conception est judicieux lorsqu'il s'agit de répondre à un certain nombre de contraintes, tels qu'un grand pourcentage de vitrage, pas de dispositifs extérieurs d'ombrage, ou bien lorsque les matériaux de façade nécessitent d'être protégés des éléments.

Le principe permet en théorie d'apporter une bonne luminosité aux locaux sans compromettre les performances thermiques du bâtiment.

D'une manière générale, on considère qu'il n'est jamais bon du point de vue de la thermique d'été d'avoir une grande façade entièrement vitrée ou presque, même en double peau. Le choix d'une grande surface vitrée n'étant pas toujours discutable, l'option façade double peau est alors la meilleure alternative.

Toutes choses égales par ailleurs (surface vitrée notamment), la façade double peau est la solution la plus performante.

Une FDP est le plus souvent constituée de deux parois en verre avec des protections solaires entre les deux. La cavité constituée entre les deux unités vitrées est ventilée afin d'extraire les gains solaires et d'éviter qu'ils ne réchauffent l'intérieur du bâtiment. C'est notamment ce phénomène qui rend la façade double peau plus performante qu'une simple façade, fut-elle entièrement en triple vitrage. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012)



**Figure I-22 :** Différents modes de fonctionnement d'une façade double peau. **Source :** « Ventilating Facades », Ashrae journal, Avril 2009.

## 6-4- Ventilation par puits canadiens

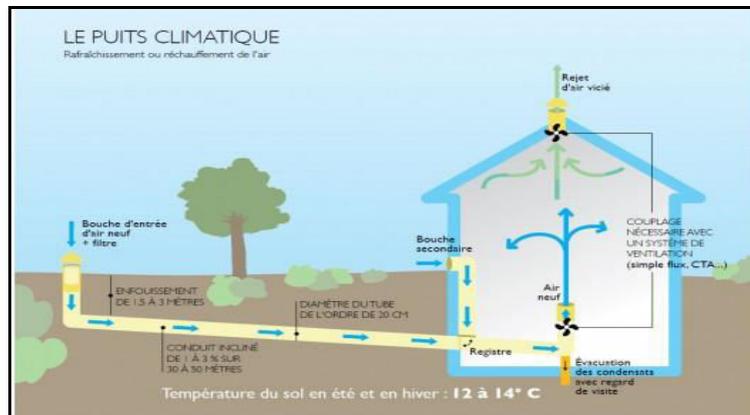
La ventilation par puits canadien peut fonctionner naturellement ou à l'aide d'un tirage par ventilateur.

Dans tous les cas l'air transite par de longs conduits qui passent dans la terre. Ceci permet de tempérer l'air par échange avec la terre : en hiver, l'air froid est réchauffé et en été l'air chaud est rafraîchi. Le système est basé sur le simple constat que la température de la terre est plus ou moins constante à partir d'une certaine profondeur. A deux mètres environ, elle se maintient autour de 15°C pendant l'été et de 5°C pendant l'hiver.

Cette solution convient aussi bien aux logements qu'aux bâtiments tertiaires. Elle est justifiée :

- En zone sud, pour rafraîchir les locaux et, en ce cas, il faudrait plutôt la qualifier de puits provençal ;
- En zone de bruit, lorsqu'il faut assurer le confort d'été sans pouvoir ouvrir les fenêtres ou des orifices spécifiques placés en façade ;
- Lorsqu'on veut éviter une installation double flux.

En hiver, une installation double flux avec un récupérateur très performant (rendement d'au moins 80 %) conduira à de plus faibles déperditions qu'un puits canadien. (ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012)



**Figure I-23** : Fonctionnement du puit canadien. **Source** : Ademe / ADG

## 7- Amélioration de ventilation par systèmes passifs

Les systèmes traditionnels de climatisation passive des habitations résultent des connaissances empiriques des habitants de ces régions. En vue de leur amélioration différents systèmes ont été étudiés et expérimentés ces dernières années. (Bencheikh, H, 2007).

Bouchair, a développé un système de refroidissement par ventilation utilisant une cheminée solaire. Le modèle expérimenté est une cellule réalisée dans le laboratoire dans des conditions climatiques artificielles. L'une des parois de la cheminée est composée de deux couches séparées par un vide d'air avec la possibilité d'augmenter la largeur de la cheminée,

figure (I-24). La face extérieure de la cheminée est chauffée par des barres électriques chauffantes, figure (I-25). Le but du système est de créer une ventilation par l'effet de cheminée. Pendant la journée la cheminée est fermée et le mur de la façade, par son inertie stocke la chaleur, pendant la nuit la cheminée est ouverte ce qui crée une différence de pression due à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la cheminée. Cette force gravitationnelle augmente la circulation de l'air à travers le local à ventiler.

La cheminée est fermée pendant la journée et ouverte pendant la nuit, donc la ventilation ne se fait pas pendant la journée, ce qui ne résoudra pas le problème dans la région de Laghouat en Algérie où la température de la nuit est acceptable, par contre la température de la journée est très élevée. (Bencheikh, H, 2007).

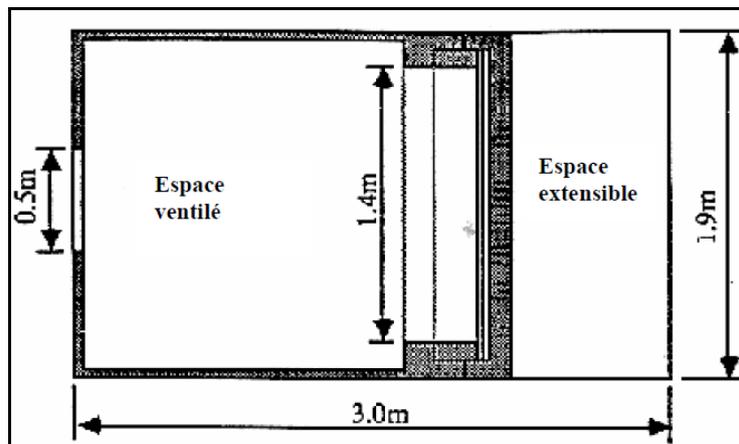


Figure I-24 : Vue en plan de la cheminée solaire. Source : Bouchair

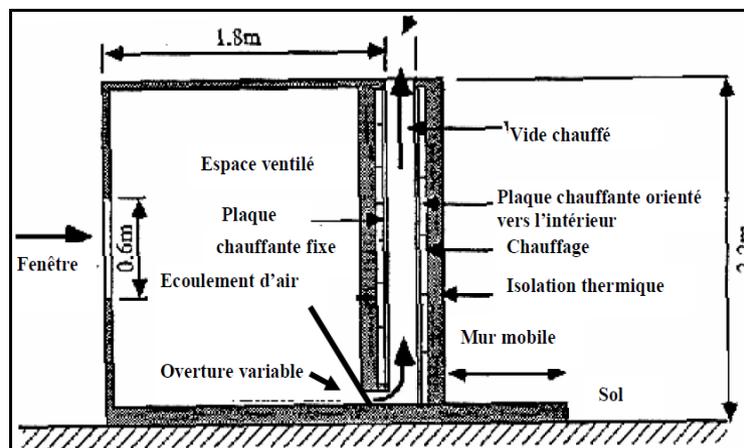


Figure I-25 : Coupe verticale sur la cheminée solaire. Source : Bouchair

## **Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis de faire ressortir plusieurs points

- La consommation énergétique au niveau mondial et national et ses soucis.
- Les types majeurs de la ventilation naturelle et ses techniques, ainsi que les méthodes anciennes et modernes utilisées afin d'atteindre une meilleure ventilation et leurs modèles de prédiction, tout en citant quelques systèmes d'amélioration de rafraîchissement passif.
- Les dispositions et les formes des bâtiments sont ceux qui conditionnent les distributions et les niveaux des pressions.
- La plus grande pression du vent se produit quand la direction des vents est perpendiculaire à la façade du bâtiment.

D'après Givoni, pour avoir une meilleure distribution du mouvement d'air et augmenter le débit d'air, les fenêtres doivent être placées à 45° à la direction du vent.

**Chapitre 2**

**Les Méthodes De**

**Prédiction De**

**Ventilation Naturelle**

## INTRODUCTION

L'importance de l'utilisation de la ventilation naturelle pour améliorer le confort et diminuer la consommation d'énergie de ces postes est démontrée. Une meilleure prise en compte de la ventilation naturelle dans les simulations du comportement énergétique du bâtiment apparaît alors indispensable pour en favoriser l'utilisation. Une analyse de travaux antérieurs démontre finalement l'intérêt de l'association de modèles de mécanique des fluides numérique aux modèles multizone de simulation du bâtiment à cet effet. (Wullens.S.. 2015)

Dans ce chapitre, on va essayer de donner une idée détaillée sur les méthodes et les modèles de développement de la ventilation naturelle.

### 1- Les méthodes de prédiction de la performance de la ventilation naturelle :

Les performances de ventilation peuvent être prédites par plusieurs méthodes qui ont évoluées avec le temps telles que, les solutions analytiques et empiriques, les mesures expérimentales et les simulations informatiques.

#### 1-1- Méthodes analytiques

Les modèles analytiques sont dérivées à partir des équations fondamentales de la dynamique des fluides et transfert de chaleur, telles que la masse, l'élan, l'énergie, et les équations de conservation chimique-espèces. Les modèles d'analyse utilisent des simplifications dans les deux conditions aux limites géométriques et thermo-fluides, afin d'obtenir une solution. Par conséquent, les équations finales obtenues pour un cas ne peuvent être utilisés pour un autre sans modification. Cependant, la méthodologie et les approximations pourraient être similaires pour les cas de différence. (Qingyan Chen, 2009).

Le modèle analytique calcule l'élévation de la température dans la chambre,  $\Delta T$ , avec un flux de chaleur réparti,  $Q_H$ , par :

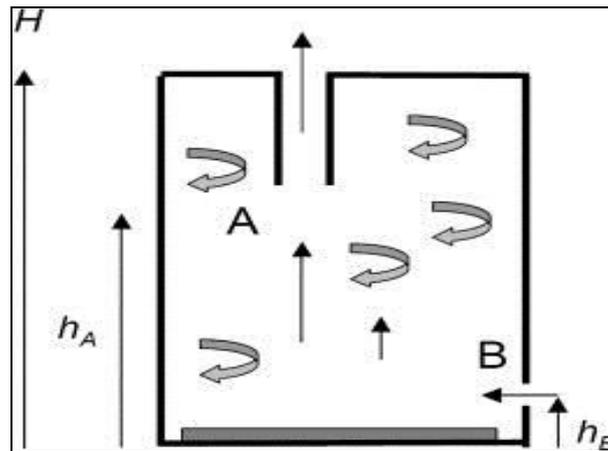
$$\Delta T = \left( \frac{Q_H^2}{\alpha \rho^2 C_p^2 A^{*2} g (H - h_B)} \right)^{1/3}$$

et le débit d'écoulement,  $V$ , par :

$$V = \left( \frac{A^{*2} (H - h_B) g \alpha Q_H}{\rho C_p} \right)^{1/3}$$

Où  $A^*$  est la surface effective des deux ouvertures,  $\alpha$  est un coefficient,  $\rho$  est la densité,  $C_p$  est la chaleur spécifique, et  $g$  est la gravité.

Un exemple des modèles analytiques est celui développé par Fitzgerald et Woods ( S.D. Fitzgerald, A.W. Woods ,2008) qui a étudié l'influence des piles sur les schémas de flux et de la stratification associé à la ventilation naturelle avec deux ouvertures comme indiqué dans la figure. II-1



**Figure II-1:** Schéma des régimes de ventilation stable dans une pièce chauffée par une source distribué à la base et ventilés par deux ouvertures. **Source :**(S.D. Fitzgerald, A.W. Woods 2008).

## 1-2- Méthodes empiriques

Comme pour les modèles analytiques, les modèles empiriques sont élaborés à partir des équations de conservation de la masse, de l'énergie, et des espèces chimiques. Dans de nombreux cas, les données de mesures expérimentales ou des simulations informatiques de pointe sont également utilisés dans le développement de modèles empiriques pour obtenir des coefficients qui font des modèles empiriques travaux dans un certain périmètre. En théorie, les modèles analytiques et empiriques ne diffèrent pas beaucoup. La perception est que les modèles empiriques peuvent utiliser plusieurs approximations que les modèles analytiques. (Qingyan Chen, 2009).

Calcule de la vitesse maximale,  $U_m$ , comme :

$$\left(\frac{U_m}{U_o}\right) = 2.96l_c^{-0.79}$$

Où  $U_0$  est la vitesse du jet d'alimentation et  $L_c$  est une longueur caractéristique. A noter que la constante de touche (2,96) a été obtenue de façon empirique. Ces formules empiriques peuvent être trouvées dans la plupart des manuels de conception et les guides de conception. Il est un symbole de maturité dans la pratique de l'ingénierie.

### **1-3- Méthodes expérimentales à petite échelle**

Les petits modèles expérimentaux utilisent les techniques de mesure de prévoir ou d'évaluer la performance de ventilation avec une échelle réduite des bâtiments ou des chambres. Il est beaucoup plus économique d'utiliser un modèle expérimental à petite échelle d'un bâtiment à grande échelle ou de la salle. On peut obtenir des performances réalistes de ventilation en mesurant directement conditions thermo-fluide dans un modèle à petite échelle si l'écoulement dans le modèle est similaire à ceux-ci dans la réalité. Afin d'atteindre similitude de flux entre un modèle expérimental à petite échelle et un vrai bâtiment ou une pièce, d'importants paramètres de l'écoulement sans dimension dans un modèle expérimental à petite échelle telles que le nombre de Reynolds, le nombre de Grashof, nombre de Prandtl, etc. doivent rester les mêmes que ceux dans le bâtiment réel ou chambre. Lorsque le transfert de chaleur est impliqué dans une chambre avec ventilation, il est difficile d'obtenir les mêmes nombres de Reynolds et de Grashof. Une possibilité est d'utiliser des liquides ayant une densité différente, tel que l'eau ou du Fréon pour simuler flottabilité thermique. Sinon, le modèle à petite échelle ne peut pas simuler le débit réel dans des bâtiments ou salles. Même si le débit de la petite échelle peut ne pas être la même que celle dans la chambre elle-même. (Qingyan Chen, 2009).

(S.R. Livermore, A.W. Woods, 2007) ont utilisé un petit réservoir acrylique de 31 cm de haut remplie d'eau, comme représenté sur la figure **II-2** pour étudier la ventilation naturelle d'un immeuble avec chauffage à de multiples niveaux. Le bâtiment avait deux étages reliés à un atrium commun sur la gauche. Les deux étages ont été chauffés et contenaient une série d'ouvertures pour représenter des zones de ventilation naturelle. La figure montre la direction d'écoulement à travers les ouvertures et à l'intérieur de la cuve en utilisant la technique de graphique d'ombre et renforcée par des colorants traceurs. Ils ont également développé des modèles analytiques pour calculer la hauteur de la flottabilité neutre et le sens d'écoulement. Les résultats du modèle analytique et le modèle à petite échelle étaient en accord étroit. Le groupe a utilisé la même technique pour étudier la stratification et les

oscillations produites par le pré-refroidissement au cours de la ventilation naturelle transitoire dans un bâtiment (T. Chenvidyakarn, A. Woods. 2007) .



**Figure II-2** : Photo d'un modèle à petite échelle rempli avec de l'eau pour la visualisation d'écoulement d'un bâtiment de deux étages avec un atrium commun. **Source:** (S.R. Livermore, A.W. Woods, 2007) .

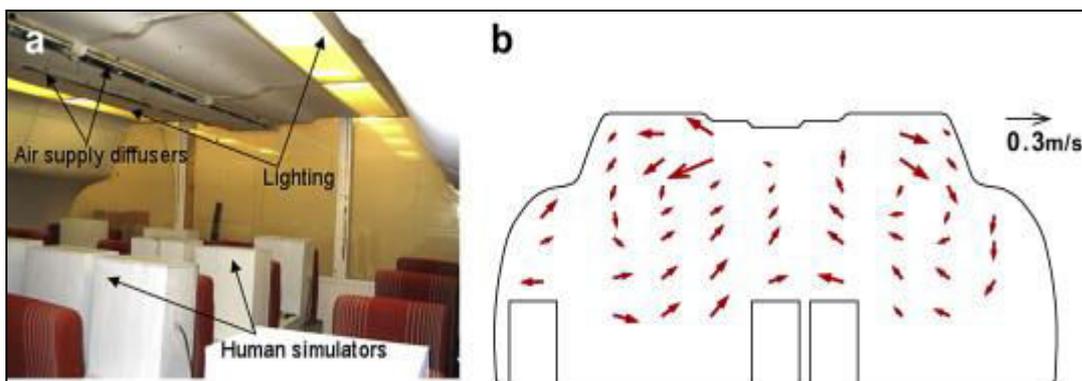
#### **1-4- Méthodes expérimentales à grandes échelle**

Les des modèles expérimentaux à grande échelle ont été largement utilisés pour prédire la performance de ventilation dans les bâtiments. Cependant, notre revue de la littérature a révélé que la tendance à utiliser à grande échelle les modèles expérimentaux était similaire à celui de l'aide à petite échelle modèle expérimental. Les modèles à grande échelle ont été principalement utilisés pour générer des données pour valider les modèles numériques, en particulier les modèles CFD.

Les des modèles expérimentaux à grande échelle peuvent être classées en deux catégories : expériences de laboratoire et des mesures in-situ.

Expérience en laboratoire utilise souvent une chambre environnementale pour imiter une pièce ou un bâtiment de plain-pied avec plusieurs petites pièces. Si les conditions de vent en plein air doivent être considérées, la chambre doit être placée dans un tunnel de vent, ce qui rendrait l'installation très coûteuse. Dans une chambre, les conditions aux limites thermo-fluides peuvent généralement être contrôlées. (Z. Zhang et al, 2009) a utilisé une chambre environnementale pour imiter une section d'un avion de ligne cabine bi-couloirs montré dans la figure **II-3 (a)**. Même un modèle expérimental à grande échelle souvent approchée

conditions aux limites thermo-fluide et la géométrie d'écoulement. Par exemple, Zhang et al. Passagers simulés par boîtes chauffées, car il pourrait être contraire à l'éthique d'employer beaucoup de gens comme des «passagers» dans la maquette de la cabine où le gaz traceur et de particules devaient être libérés pour la simulation du transport des contaminants. Néanmoins, l'installation expérimentale semblait plutôt réaliste. On peut utiliser un équipement approprié pour mesurer la performance de ventilation. Par exemple, Zhang et al. Anémomètres à ultrasons utilisés pour mesurer les distributions de vitesse de l'air, les distributions de température de l'air, et les contaminants simulés par un gaz traceur et mono-taille des particules. Les contaminants étaient supposés être des virus libérés par un passager d'une maladie infectieuse. Figure II-3 (b) représente la vitesse de l'air mesurée dans une section transversale de la cabine. (Qingyan Chen, 2009).

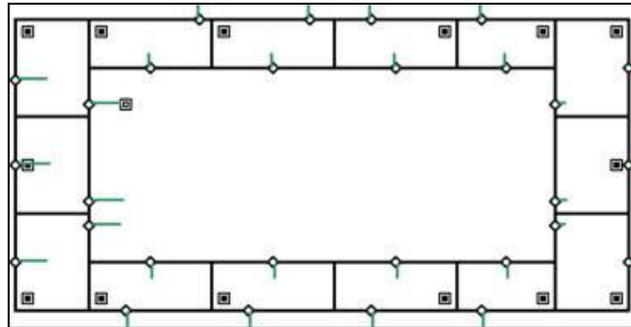


**Figure II-3** : Des mesures expérimentales dans une section d'une grande échelle, cabine avion bi-couloirs. . (a) Une section de cabine d'avions de ligne. (b) distribution de la vitesse de l'air mesurée à une coupe transversale. **Source** : (Z. Zhang et al ,2009)

### 1-5- Méthodes multizones

Les modèles de réseau multizone sont principalement utilisés pour prédire les taux de change de l'air et les distributions de flux d'air dans les bâtiments avec ou sans système de ventilation mécanique. Ils peuvent également être utilisés pour calculer l'efficacité de la ventilation, la demande d'énergie, le transport de polluants, et le contrôle de la fumée. Les modèles multizones résolvent des équations de conservation de masse, de l'énergie et de produits chimiques espèces. Cependant, les modèles supposent l'air de repos ou encore dans une zone de sorte que l'effet dynamique peut être négligé. Les modèles supposent en outre la température d'air uniforme, et la concentration de produits chimiques espèces dans une zone.

La figure **II-4** Montre un exemple de flux d'air calculé par CONTAM dans de nombreuses zones au deuxième étage d'un immeuble de trois étages. La longueur de la ligne indique la grandeur de la vitesse d'écoulement. Le chiffre représenté que l'air est venu de l'ouest à l'immeuble et a quitté le bâtiment à travers les trois autres façades. Il y avait des flux entre les différents espaces intérieurs (zones). (Qingyan Chen, 2009)

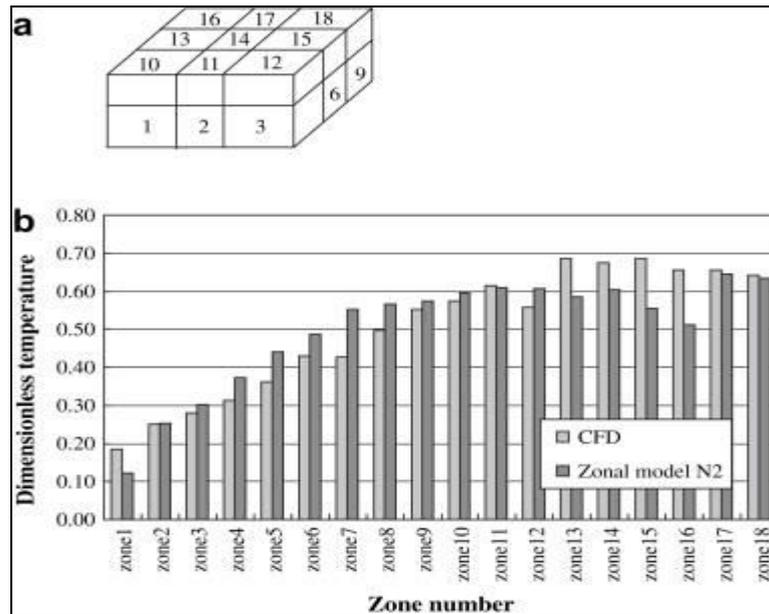


**Figure II-4 :** Airflow dans un immeuble calculée par un modèle multizone, CONTAM. Source : (Qingyan Chen, 2009)

### 1-6- Méthodes zonales

L'hypothèse bien de mélange utilisé dans les modèles multizones est pas valable pour les grands espaces intérieurs ou une chambre avec système de ventilation stratifié, tels que la ventilation par déplacement. Par conséquent, les modèles zonaux ont été utilisés pour remédier au problème de prédire les distributions de température de l'air. Des modèles de zone diviser une pièce en un nombre limité de cellules, typiquement inférieure à 1000 pour un espace à trois dimensions. Température de l'air est calculée dans chaque cellule pour déterminer la distribution non-uniforme dans l'espace.

(Song et al, 2008) a développé un modèle zonal en intégrant davantage avec des modèles dynamiques pour le transfert de la chaleur et de l'humidité et de la source / modèles de puits pour les polluants atmosphériques. Ils ont appliqué le modèle pour calculer la température de l'air dynamique, l'humidité et les concentrations de polluants dans une chambre avec un déplacement ventilation. Figure **II-5 (a)** représente 18 zones utilisées dans leur modèle zonal et figure **II-5 (b)** compare les températures de l'air dans ces zones avec les résultats correspondants CFD. La performance du modèle zonal est assez bonne. (Qingyan Chen, 2009)



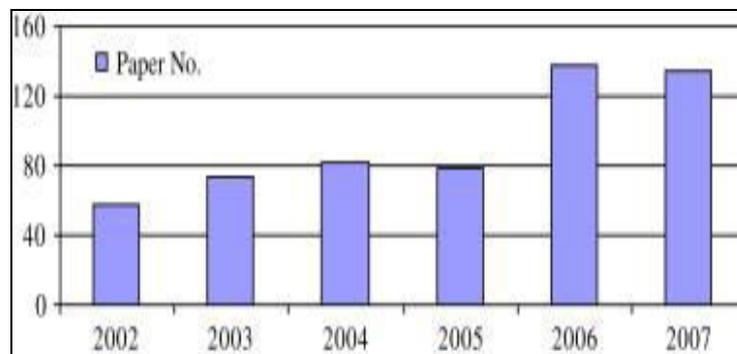
**Figure II-5** : Un exemple de résultats obtenus en utilisant un modèle de zone. **(a)** Les zones utilisées 18 pour la chambre. **(b)** Comparaison des températures calculées par le modèle zonal et en CFD dans chaque zone. **Source** : (F. Song et al, 2008)

### 1-7-Méthodes CFD

Les Computational Fluid Dynamics (CFD) résout numériquement un ensemble d'équations aux dérivées partielles pour la conservation de la masse, quantité de mouvement (équations de Navier-Stokes), l'énergie, les concentrations chimiques-espèces et les quantités de turbulence. La solution présente les distributions de champ de pression de l'air, vitesse de l'air, la température de l'air, la concentration de vapeur d'eau (humidité relative) et de contaminants, et des paramètres de turbulence pour les deux espaces intérieurs et extérieurs. Malgré certaines incertitudes dans les modèles, nécessitant des connaissances suffisantes sur la mécanique des fluides d'un utilisateur et exigeant un ordinateur de grande capacité, les modèles CFD sont devenus de plus en plus populaire dans la prédiction de la performance de ventilation due à l'augmentation rapide de la capacité informatique et le développement de l'utilisateur des interfaces de programme CFD -Friendly.

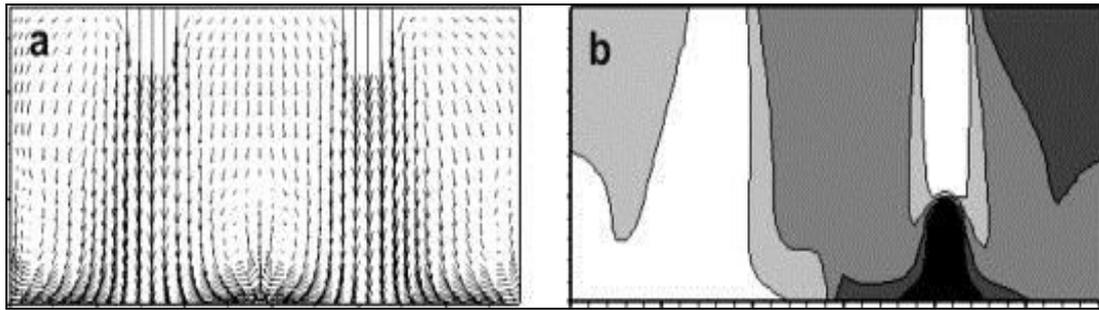
Les modèles CFD ont été largement utilisés pour étudier la qualité de l'air intérieur, le confort thermique, la sécurité incendie, la performance du système de CVC, etc. dans différents bâtiments (bâtiments commerciaux, bâtiments résidentiels, les écoles, les établissements de soins de santé, les bâtiments institutionnels et bâtiments industriels), métro installations, les véhicules publics de transport, les serres, les animaleries, etc.

Les applications CFD dans ces deux secteurs ne sont pas abordées dans ce document. Pour faire de cette revue soit gérable, les applications CFD dans les études de sécurité incendie dans les bâtiments ont été en outre exclus. Bien que le principe de la CFD pour les études de ventilation soit assez similaire à celle des enquêtes de sécurité incendie, l'échelle de temps concernant un problème et variation de température diffèrent sensiblement. Ainsi, cette étude a porté sur le domaine de la prédiction de la performance de ventilation générale dans les bâtiments pour les êtres humains. La figure **II-6** montre le nombre de papiers trouvés dans les grandes revues sur les applications CFD pour prédire la performance de ventilation. La figure illustre que les applications de CFD se multiplient. (Qingyan Chen, 2009).



**Figure II-6 :** numéros de document publié 2002-2007 dans les principales revues en utilisant CFD pour prédire la performance de ventilation dans les bâtiments occupés par des êtres humains. (Qingyan Chen, 2009).

La figure **II-7** montre un exemple de résultats obtenus par CFD ( Z. Zhang et al,2007) en utilisant un modèle RANS pour une chambre propre avec une source de contamination placé sous le droit diffuseur et environ 1 m au-dessus du sol. La figure **II-7 (a)** représente les vecteurs de vitesse dans une coupe à travers les deux diffuseurs de plafond et la figure **II-7 (b)** la distribution de la concentration de contaminant dans la section.



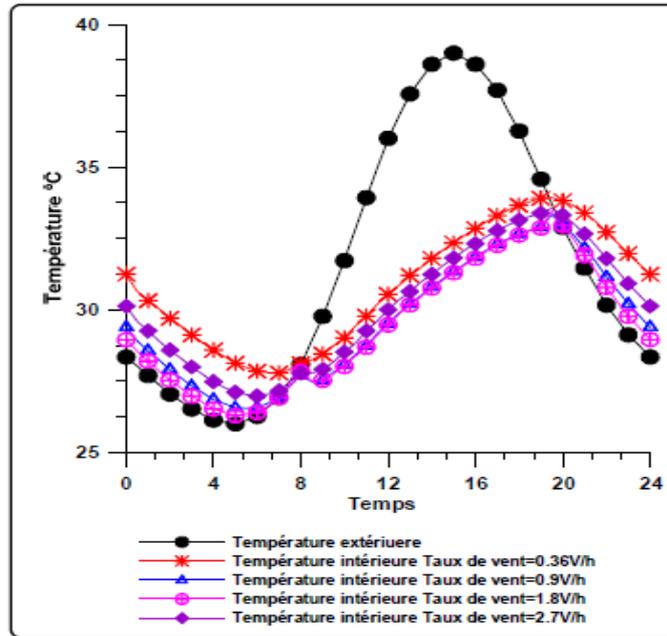
**Figure II-7** : La répartition du flux d'air et de contaminants dans une coupe à travers les deux diffuseurs dans une salle blanche obtenue en utilisant un modèle RANS. (a) la distribution des vecteurs de vitesse. (b) la distribution de la concentration des contaminants. **Source** : (Z. Zhang, Q. Chen. 2007) .

## 2- Les différents exemples de prédiction par EnergyPlus

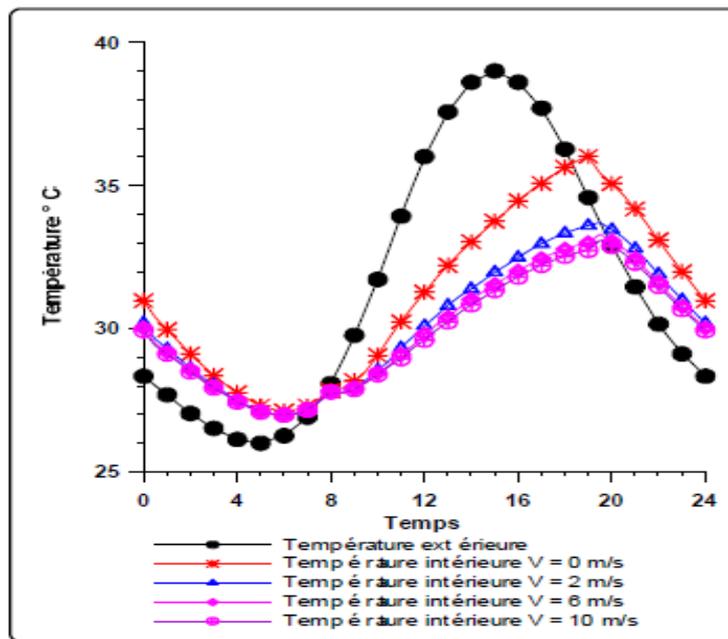
### 2-1- L'effet de volume d'air échangé sur la température intérieure

L'effet de volume d'air échangé sur la température intérieure est calculé une pour une vitesse du vent moyenne de 3m/s, et pour un taux de ventilation qui vari de 0.36, 0.9,1.8, 2.7, et de 3.6 volume d'air par heure (c.-à-d. 0.0009, 0.00225, 0.0045, 0.00675 m<sup>3</sup>/s et 0.009 m<sup>3</sup>/s). Les courbes de la figure **II-8** présentent les variations de la température intérieure pour une vitesse de vent de 3m/s et d'un taux de ventilation variable. On remarque que pour des taux de ventilation de 2.7, et 3.6 v/h : les températures intérieures ont presque les mêmes valeurs, la chute et l'augmentation brusque de la température au départ et l'arrêt de la ventilation. Ce qui est loin de la réalité, donc il fallait faire le calcul avec les taux de 0.36, 0.9, et 1.8 volume d'air par heure. Les figures (**II-9** , **II-10** , **II-11** , et **II-12** ), présentent les variations de température intérieure pour une vitesse du vent variable en changeant à chaque fois le taux de ventilation, pour montrer l'effet du taux de ventilation sur la température intérieure.

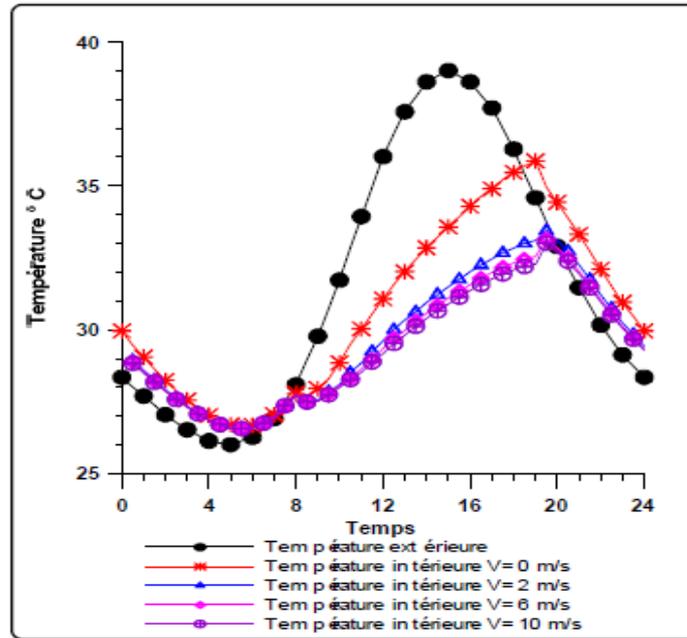
Après l'analyse des résultats obtenus par simulation de l'effet de la vitesse du vent et le taux de changement d'air sur la température intérieure, on remarque que l'écart entre les valeurs de la température intérieures mesurées et calculées est acceptable avec un taux de renouvellement d'air de 1.8 v/h et une vitesse de vent de 2m/s. (Bencheikh, 2007).



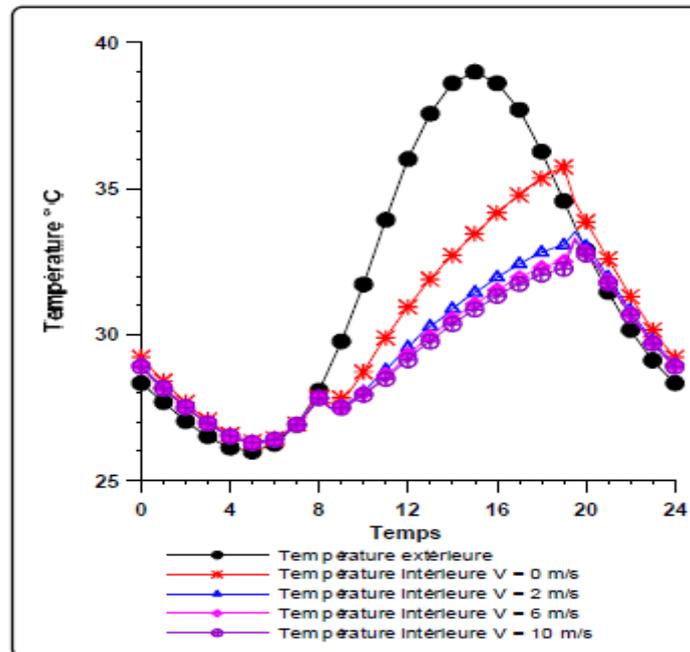
**Figure II-8** : Variation de la température intérieure pour des taux de ventilation Naturelle nocturne variable et de vitesse du vent de 3 m/s. **Source** : (Bencheikh, 2007).



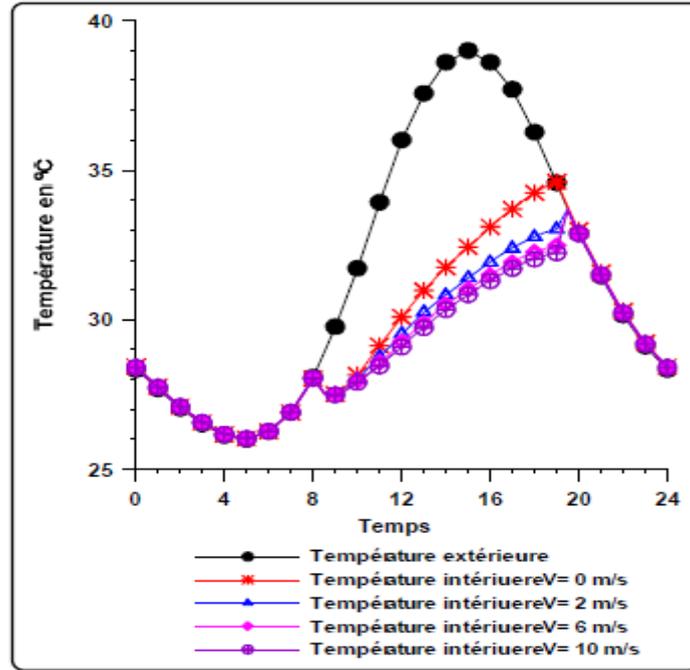
**Figure II-9** : Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et un taux de ventilation naturelle nocturne  $V = 0.00225 \text{ m}^3 / \text{s}$  (ou 0.9 V/h). **Source** : (Bencheikh, 2007).



**Figure II-10 :** Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et du taux de ventilation naturelle nocturne  $v = 0.0045m^3 /s$  ( ou 1.8 v/h ). **Source :** (Bencheikh, 2007).



**Figure II-11 :** Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et du taux de ventilation naturelle nocturne  $v = 0.009m^3 /s$  ( ou 3.6v/h). **Source :** (Bencheikh, 2007).



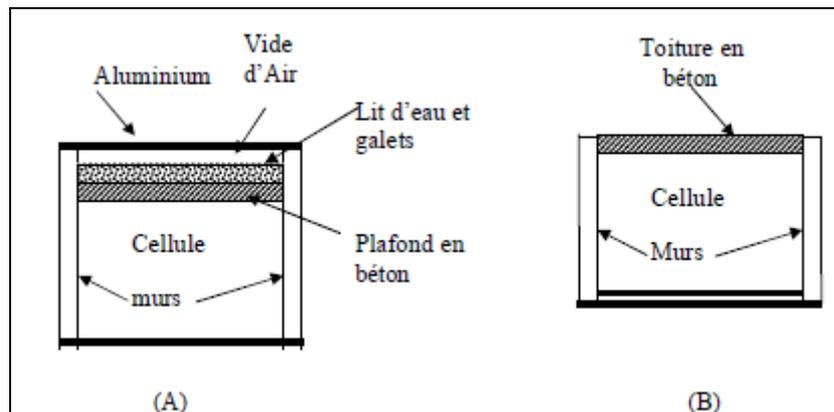
**Figure II-12 :** Variation de la température intérieure en fonction de la vitesse du vent et du taux de ventilation naturelle nocturne  $v = 0.018m^3 / s$  (ou 7.2 v/h). **Source :** (Bencheikh, 2007).

## 2-2-Système de refroidissement dans la toiture

Deux cellules sont étudiées, cellule (A) avec un système de refroidissement dans la toiture et cellule (B) avec une toiture en béton armé sans système de refroidissement voir figure II-13 (A, B). Cellule (A) est cube de 3m de dimension soit un volume de 15m<sup>3</sup>, les murs sont composés de l'extérieur à l'intérieur de 1.5cm de mortier, deux parois de brique de 15 et 10cm séparé par un vide d'air de 5cm et une couche de plâtre de 1.5cm , tableau (II-1) donne les caractéristiques physiques de matériaux et leur épaisseur. Dans le mur nord il y a une porte de 2.1\*1.00m et dans le mur côté sud il y a une fenêtre de 1.50 \*1.00m à simple vitrage en bois ouvrante pour permettre une ventilation naturel nocturne, donc la porte et la fenêtre sont fermées le jour et ouvertes la nuit à partir de 20.00h (l'heure où  $T_{ai} > T_{ae}$ ). La toiture est composée d'une dalle en béton armé sur laquelle sont disposés des galets et de l'eau contenue dans une enceinte étanche qui empêche toute perte d'eau. La face supérieure de l'enceinte est recouverte d'une tôle en aluminium peinte en couleur sélective froid (blanc) représentant l'absorber (condenseur). Figure (II-13) présente une description du système.

La cellule (B) est identique à la cellule (A) sauf que sa toiture est compose seulement d'une dalle en béton armé. La cellule (B) été étudié pour faire la comparaison entre la

température intérieure dans la cellule (A) est celle dans la cellule (B), dans le but de connaître l'efficacité du système de refroidissement.



**Figure II-13** : Description du modèle: Cellule (A) avec système de refroidissement, Cellule (B) sans système de refroidissement. **Source** : (Bencheikh, 2007).

**Tableau II-1** : Caractéristique des matériaux utilisés dans la toiture. **Source** : (Bencheikh, 2007).

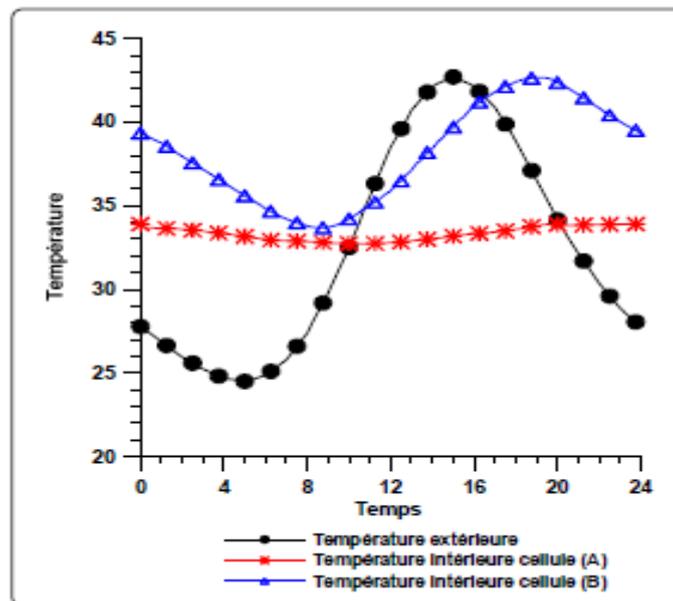
Elément	Matériels	Epaisseur (m)	Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	Chaleur spécifique (j/kg °k)	Conductivité (w/m°k)
Toiture	Béton armé	0.10	2400	1080	1.8
	Galet	0.10	2600	800	2.3
	Eau	0.07	1000	4175	0.613
	Vide d'air	0.1	1.2	1005	0.026
	Aluminium	0.005	2750	936	204

L'analyse des résultats théoriques obtenus par simulations montre, que les paramètres qui ont une grande influence sur l'efficacité du système sont, le volume des galets et air, l'épaisseur de la feuille d'aluminium et la largeur de la lame d'air dans la toiture.

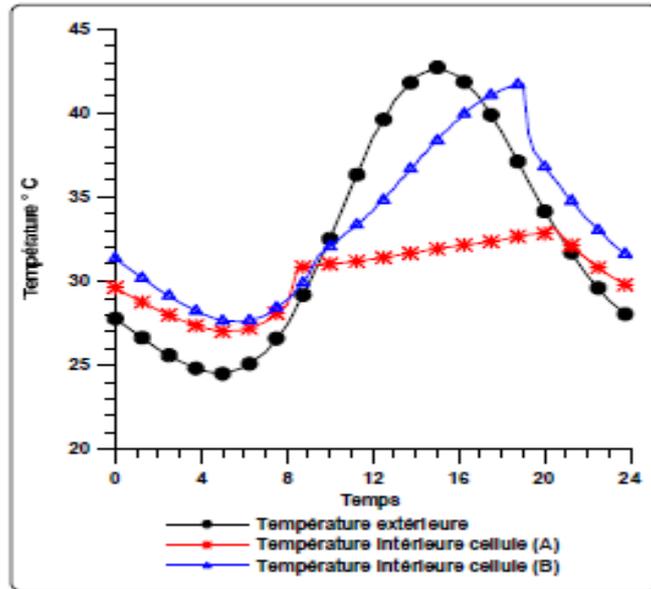
La simulation est faite sur les deux cellules (A) et (B), les cellules sont considérés situés à Laghouat sud centre de l'Algérie, latitude 33, 46,' longitude +2,56'et 746m d'altitude. Le jour choisi est le 26 juillet avec une température maximale et minimale de 42°C et 24.5°C.

Les courbes de la figure (II-14) présentent une comparaison entre la température intérieure dans la cellule (A) et (B) sans ventilation naturelle nocturne, d'après les courbes on remarque que le système de refroidissement peut réduire la température intérieure pendant la journée de 8°C comparée celle dans la cellule (B).

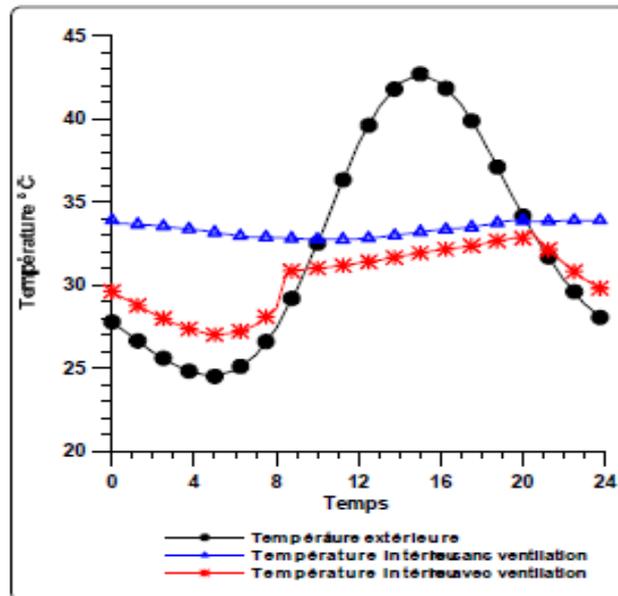
Les courbes de la figure (II-15) présentent une comparaison entre la température intérieure dans la cellule (A) et (B) avec ventilation naturelle nocturne, la ventilation est fait par l'ouverture d'une porte sur le mur nord de la cellule et d'une fenêtre sur le mur sud, la porte et la fenêtre seront ouverte dis que la température de l'air intérieure devient supérieure ou égale la température de l'air extérieure (du 21.00h jusqu'au 8.00h). On remarque que l'association de ventilation nocturne au système peut diminuer la température de l'air intérieure de 3 à 4 degrés dans la cellule (A), ce qui est présenté par les courbes de la figure (II-16).



**Figure II-14 :** Comparaison entre les températures intérieures dans la cellule (A) et (B) sans ventilation nocturne. **Source :** (Bencheikh, 2007).



**Figure II-15 :** Comparaison entre les températures intérieures dans la cellule (A) et (B) avec ventilation nocturne. **Source :** (Bencheikh, 2007).



**Figure II-16 :** les températures intérieures dans la cellule (A) Avec et sans ventilation nocturne. **Source :** (Bencheikh, 2007).

## **Conclusion**

Ce deuxième chapitre a présenté une revue de plusieurs méthodes qui sont utilisées afin de prédire les performances de la ventilation naturelle.

La première partie du chapitre a été consacrée à la description des différentes méthodes de prédiction à savoir : les méthodes analytique et empirique qui étudient la température et le débit à partir des équations de la mécanique des fluides et de transfert de chaleur, avec l'ajout d'autres approximations dans le modèle empirique. la méthode expérimentale à petite échelle utilise les techniques de mesure pour prévoir la performance de ventilation à échelle réduite des espaces, alors que la méthode expérimentale à grande échelle se fait soit sous forme de mesure au laboratoire ou bien mesure in-situ. Les méthodes multizones sont utilisées pour prédire le taux et le flux d'air, alors que les modèles zonaux sont utilisés pour prédire la distribution de la température. La méthode CFD est un modèle numérique qui est largement utilisé afin de vérifier la qualité de l'air, le confort thermique ...etc.

La deuxième partie explique le déroulement de quelques exemples de prédiction par le logiciel EnergyPlus afin de comprendre mieux son fonctionnement.

# **Chapitre 3**

## **Habitat et**

## **Réglementation**

## **INTRODUCTION :**

Le logement constitue un besoin fondamental pour l'Homme ; Charles Abrams le considère comme une nécessité vitale ; pour Robert Leroux le logement répond à trois fonctions : « la protection de l'individu contre le grand vent, la pluie, la neige, le plein soleil, la protection contre les agresseurs tels que les malandrins et la protection de l'intimité contre les indiscrets ». (R. Leroux , 1963 )

A l'échelle du bâti et de sa parcelle, les performances énergétiques des bâtiments varient également en fonction de leur typologie, de leur compacité et orientation. Les déperditions thermiques d'un bâtiment sont pour une grande part proportionnelles à la surface des parois en contact avec l'extérieur : 80 à 85 % des déperditions thermiques sont des déperditions surfaciques par les parois; les autres déperditions ont pour origine le renouvellement d'air et les "ponts thermiques". (Said Mazouz,2012) Ainsi, plus les bâtiments seront compacts et donc l'enveloppe extérieure réduite en surface, plus la performance énergétique du bâtiment sera meilleure.

### **1- La crise de l'habitat en Algérie**

L'habitat représente, dans les conditions actuelles, un critère d'analyse des changements intervenus depuis l'indépendance. (Serrab.C ,2006).

En effet en quelques quarante ans, une alternance de doctrines et politiques : du socialisme à l'économie de marché, de la municipalisation des sols au droit de propriété. Un tel basculement a été vécu douloureusement par une grande partie de l'opinion. C'est dans la combinaison de cette dynamique et de ce qu'elle a généré (croissance du salariat, avec émergence et extension de besoins sociaux multiples), les moyens mis en œuvre pour les concrétiser et les héritages immobiliers, qu'il convient de chercher à la fois les causes de la crise et les difficultés de plus en plus insupportables qui entravent le secteur de l'habitat.

Il semble indispensable d'aborder sommairement les conditions de la naissance et de l'aggravation de la crise du logement. (Serrab.C ,2006).

En 1985, l'Algérie souffrait déjà d'une pénurie grave en matière d'habitat ; le déficit était alors de l'ordre de 1 million de logements. « Pour remédier à cette situation, l'Etat prévoyait la construction de 100.000 logements/ an jusqu'en 1990 et 200.000 par an à partir de cette date, soit environ 2.000.000 de logements à construire pour l'an 2000 »

L'étude des solutions apportées au problème du logement et plus généralement de l'habitat ne pouvait se réduire à l'examen des investissements, des programmes de réalisation

mais devrait s'étendre à celui de l'accès au logement, en location ou en propriété. (Serrab.C ,2006).

En 94, le déficit de logement est estimé à près de 1.20 millions d'unités auquel s'ajoute une demande additionnelle jusqu'à l'an 2000, de près de 600.000 logements estimés sur la base d'un TOL voisin de 6.0. Ce déficit global résulte de plusieurs paramètres dont la faiblesse de production de logements par l'état suite à des insuffisances de ressources financières, entre autres.

Ainsi pour apprécier ce déficit, notons qu'au cours de la période 1988-93, près de 139.000 logements urbains publics ont été édifiés, soit avec une moyenne annuelle de 23.170 unités ; pendant cette même période, le nombre de ménages additionnel a été de 90.000, en moyenne par an ; aussi la production publique de logements ne couvre annuellement, que près de 17% des besoins effectifs. (Serrab.C ,2006).

Pendant cette période, le reste, c'est à dire les 83% des besoins annuels en logements ont été satisfaits par :

Des mouvements de plus en plus importants d'auto construction sur des supports fonciers d'initiative publique ou privée ; une partie de ces mouvements estimée à 30% est considérée illicite et sur des assiettes foncières sous équipées.

-Une cohabitation plus élevée des ménages tant dans les tissus anciens qu'ailleurs, et notamment chez les jeunes ménages ; rappelant que 55% du parc de logement en 1994 enregistre des TOL supérieurs à 9 qui l'un des plus élevé au monde ;

- Par le développement de bidonvilles dans certaines régions et ce, malgré les efforts de l'état pour la réalisation des programmes de construction en faveur des bidonvilles.

La crise persiste et charrie frustration et dépit et les données qui la matérialisent sont à divers points semblables à celles des années antérieures. (Serrab.C ,2006).

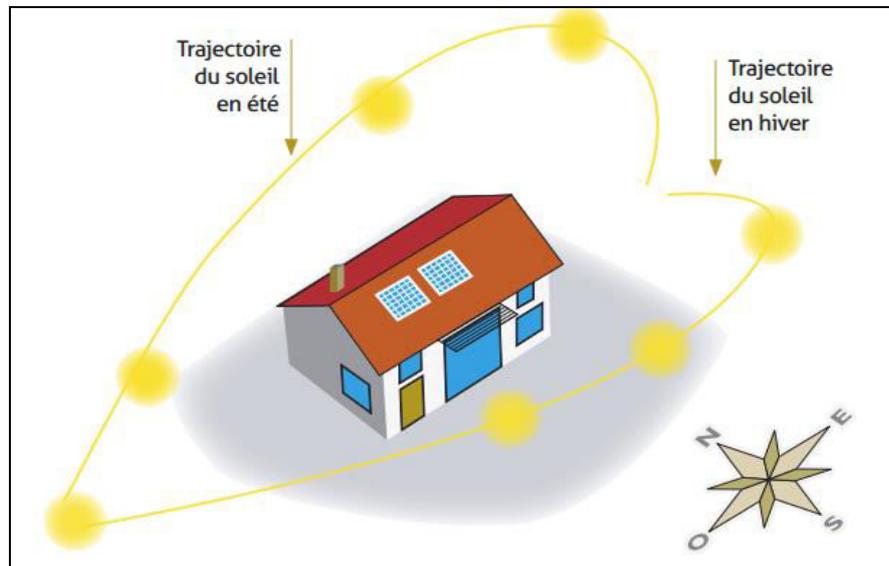
Dès lors le gouvernement a engagé en 2004 un programme de « 1 million de logements » dont le pari semblerait pénible, voire perdu à l'avance de l'avis de certains responsables (Jacquier C., 1993). Mais, l'enjeu ne serait-il pas de faire coïncider chaque offre de logement avec son segment de demande solvable dans un pays polarisé entre logement social et logement cher (Rocheffort M., 2000). Si bien que les logements sociaux ne constituent que 12% du programme lancé. D'un autre côté on se demande si l'administration a les capacités de production, de réalisation, de financement et de gestion pour réaliser ce programme avant 2009, à raison de 200 000 logements par an (Auslan P., 1986). Alors que le programme de 2001 peine encore à être achevé, l'on se demande sur les assurances des pouvoirs publics de la réalisation de 200 000 logements par an (Serrab.C ,2006).

## 2- Conception d'un habitat économique

Un bâtiment économe en énergie se caractérise par des besoins énergétiques très faibles (chauffage, eau chaude, ventilation, éclairage, électricité pour les appareils électroménagers, etc.). Ils peuvent même parfois être couverts par les apports du soleil et les apports liés à l'occupation du bâtiment et au fonctionnement des appareils électriques (bâtiments passifs ou à énergie positive). (Bourgogne Conseil régional,2010) .

### 2-1- Une maison compacte et ouverte au soleil

Une orientation adaptée aux contraintes du bâtiment permet de réduire les consommations de chauffage et d'éclairage. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte dans le choix de l'orientation : la destination des pièces, les besoins en lumière naturelle, l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour chauffer le bâtiment ou, au contraire, la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe, l'intérêt d'utiliser les vents pour rafraîchir le bâtiment en été ou, au contraire, la nécessité de s'en protéger en hiver. (Bourgogne Conseil régional,2010).



**Figure III-1 :** maison exposée au soleil. **Source :** (Bourgogne Conseil régional,2010)

La première règle pour recueillir le maximum de chaleur est d'orienter le bâtiment au sud pour bénéficier des apports du soleil (sans que ce soit une condition essentielle). L'énergie solaire traverse les vitres et pénètre à l'intérieur du bâtiment où elle est alors

emmagasinée dans les matériaux accumulateurs à forte inertie, dans les sols, les parois ou certains mobiliers.

Idéalement, on disposera côté sud, là où le soleil sera le plus présent, les pièces à vivre ou espaces de vie tels que la salle de séjour, la salle à manger et les chambres. Les espaces secondaires comme la cuisine, la salle de bains et les WC seront ordonnés côté nord, là où le bâtiment est le plus frais – formant ainsi une zone tampon.

Mais il n'est pas toujours possible de choisir l'orientation sud. Il existe des situations où le bâtiment doit obéir à d'autres logiques. C'est le cas des réhabilitations où la mauvaise orientation pourra être compensée par un renforcement de l'isolation, l'installation de fenêtres plus performantes et/ou le recours à des capteurs solaires. (Bourgogne Conseil régional, 2010).

### **2-1-1- Un bâtiment compact**

Les déperditions thermiques des bâtiments, dues aux différences de température entre l'intérieur (stables) et les conditions extérieures (variables), se situent principalement au niveau de l'enveloppe. Pour un même volume, les déperditions seront plus importantes à mesure qu'augmente la surface de l'enveloppe, dite surface déperditive. Ce rapport entre volume et surface déperditive s'appelle compacité (V divisé par S).

De la compacité dépend le niveau de déperditions thermiques et par là même la consommation d'énergie. Plus la compacité est grande et moins les déperditions thermiques vers l'extérieur sont importantes. En réduisant la surface, en utilisant des formes architecturales compactes, on évite les déperditions thermiques excessives et on diminue les besoins en énergie. Pour des raisons énergétiques, il est nécessaire de chercher à minimiser la surface de déperdition tout en maximisant le volume habitable, ce qui se traduit par une forte compacité.

Une maison mitoyenne constitue un avantage surtout si elle a plusieurs étages. Pour une maison individuelle, la compacité sera de 1. Pour une maison individuelle à plusieurs étages, elle sera de 1,5. Une maison mitoyenne aura un rapport de 2 et une maison mitoyenne sur quatre étages de 2,5. (Bourgogne Conseil régional, 2010)

## **2-2 Une isolation renforcée**

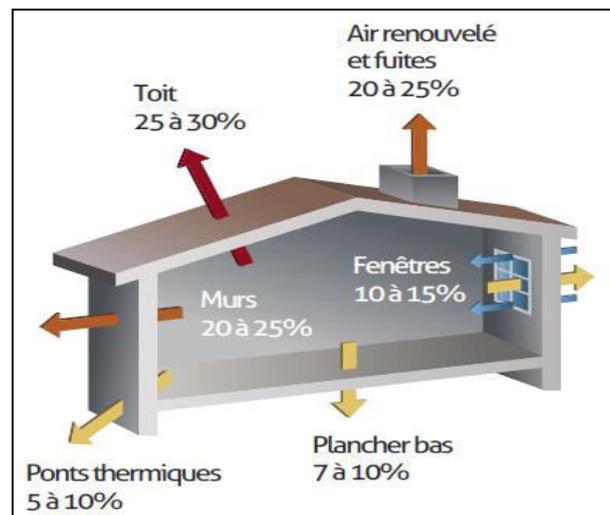
### **2-2-1- Le choix d'isolants performants**

La perte de chaleur à travers une paroi, un plancher ou un toit est mesurée par son coefficient de transmission thermique U, exprimé en  $W/m^2.c^{\circ}$ . Plus U est petit, meilleure est la performance thermique du matériau.

Le tableau au verso du document donne les performances à atteindre dans la mise en œuvre des parois (murs, planchers et toiture), selon le niveau de consommation souhaité :

entre 50 et 80 kWh/m<sup>2</sup>/an pour un bâtiment basse énergie, moins de 15 pour un bâtiment très basse énergie ou positif.

Des coefficients de transmission thermique faibles ne peuvent être obtenus qu'avec des matériaux performants, sous peine d'avoir une épaisseur d'isolant beaucoup trop importante. (Bourgogne Conseil régional,2010)

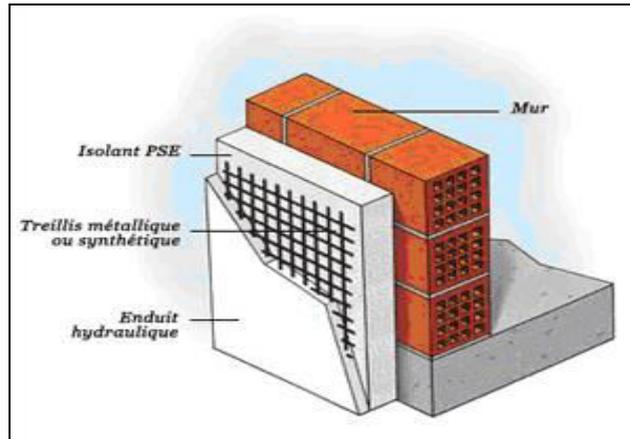


**Figure III-2 :** Les déperditions thermiques dans un bâtiment mal isolé. **Source :** (Bourgogne Conseil régional,2010)

### 2-2-2- Les différents types d'isolation

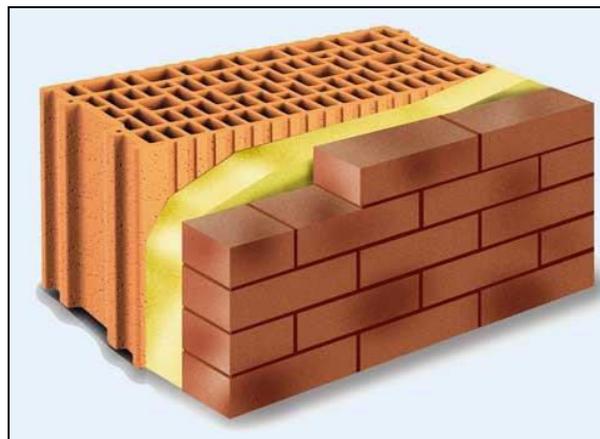
Dans un bâtiment économe en énergie, l'isolation des parois doit, dans la mesure du possible, être réalisée par l'extérieur, en construction comme en rénovation, ou être intégrée directement au mur. (Bourgogne Conseil régional,2010)

**a- Par l'extérieur :** Cette dernière solution doit être mise en œuvre et privilégiée, dans la mesure du possible, en rénovation, car elle permet de supprimer tous les ponts thermiques tout en simplifiant les travaux de rénovation, notamment si le bâtiment est occupé. Elle permet également de tirer parti de l'inertie<sup>3</sup> des murs pour récupérer les apports solaires en hiver et retarder la surchauffe en été. En revanche, ce type d'isolation implique des précautions spécifiques de mise en œuvre pour garantir le traitement thermique de la jonction avec les planchers bas, des encadrements de fenêtres, portes, loggias, balcons, et des acrotères des toitures plates ou des combles. (Bourgogne Conseil régional,2010)



**Figure III-3 :** une isolation thermique par l'extérieur .**Source :** (<http://www.duclos-decorations.com/isolation-par- l'extérieur>)

**b-Par l'isolation répartie**, intégrée au mur lui-même. Elle suppose l'utilisation de matériaux particuliers qui assurent à la fois la tenue mécanique et l'isolation (briques à alvéoles multiples, blocs de béton cellulaire, panneaux de bois isolés). Elle présente les mêmes avantages que l'isolation par l'extérieur. (Bourgogne Conseil régional,2010)



**Figure III-4:** une isolation thermique répartie.**Source :** (<http://www.ambiance-chauffage.net/les-types-disolant-thermique.html>)

Dans les cas où l'isolation extérieure et l'isolation répartie sont impossibles, on aura recours à l'isolation traditionnelle par l'intérieur. Cependant, les bénéfices de l'inertie seront perdus.

L'isolation extérieure et l'isolation répartie, à condition d'être mises en œuvre rigoureusement, garantissent un confort thermique à ses habitants, car elles assurent aux parois de la maison une température proche de la température ambiante, ce qui n'est pas le cas

dans une maison traditionnelle où l'on peut ressentir une sensation d'inconfort. (Bourgogne Conseil régional,2010)

### 2-3-Des fenêtres performantes

Un bâtiment économe en énergie est équipé de fenêtres performantes (châssis et vitrages). C'est le coefficient de transmission thermique ( $U_w$ ) qui définit leur performance : plus  $U_w$  est petit, plus la fenêtre est isolante.

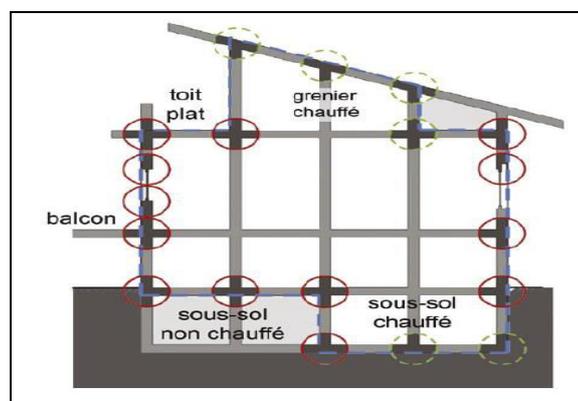
De tous les composants de l'enveloppe, la fenêtre est l'élément le plus critique, à cause de ses multiples fonctions : isoler, aérer, offrir une vue sur l'extérieur, capter un maximum d'énergie solaire. (Bourgogne Conseil régional,2010)

### 2-4-Le traitement des ponts thermiques

Les ponts thermiques sont des zones de fuites de chaleur, là où l'isolation fait défaut. Ils peuvent représenter 10 à 40% des déperditions totales des bâtiments.

Les ponts thermiques sont à l'origine de zones froides, sources d'inconfort et de dégradation. A leur niveau, on constate souvent la condensation de l'humidité ambiante, l'apparition de moisissures, le décollement des papiers peints, voire la dégradation des supports, d'où l'intérêt de l'isolation extérieure qui élimine une bonne partie des ponts thermiques.

Ils se situent généralement aux points de jonction des différentes parties de la construction : au niveau des parois, mais surtout aux coins, aux bords, aux jonctions et aux articulations. Les endroits critiques sont les seuils, là où un mur intérieur et un mur extérieur sont en contact, là où une dalle de sol touche le mur extérieur, les balcons et linteaux, etc. (Bourgogne Conseil régional,2010)

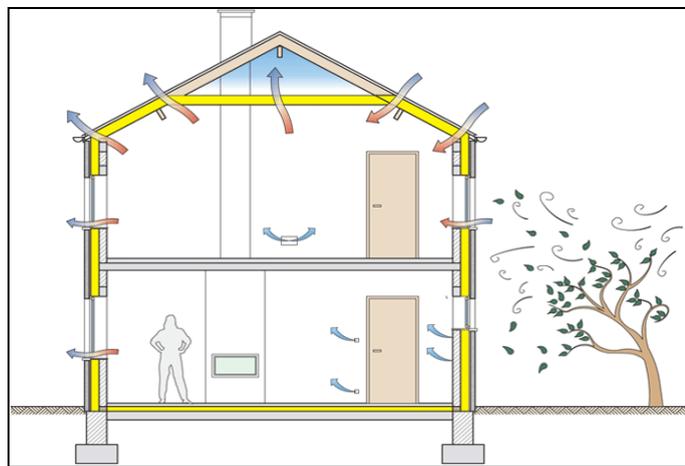


**Figure III-5:** Les ponts thermiques dans un bâtiment. **Source :** (Bourgogne Conseil régional,2010)

Ces ponts thermiques constituent la faiblesse de l'isolation. L'importance relative des pertes dues aux ponts thermiques augmente en même temps que le niveau d'isolation générale. Dans le cas d'un bâtiment à basse consommation, le niveau de performance de l'isolation est très élevé : les ponts thermiques ont donc des conséquences importantes. Il est possible mais difficile d'évaluer les déperditions dues aux ponts thermiques du bâtiment. Il est plus important de les éviter que de les mesurer. (Bourgogne Conseil régional,2010)

### 2-5-Une parfaite étanchéité à l'air

Une excellente étanchéité à l'air de l'enveloppe est une condition vitale pour un bâtiment basse ou très basse consommation. En effet, sans une parfaite étanchéité, ni l'isolation, ni la ventilation n'ont de sens.



**Figure III-6 :** l'étanchéité à l'air.

**Source :** ([http://bbri.eu/homepage/media/img/publications/bbri-contact/503\\_04.gif](http://bbri.eu/homepage/media/img/publications/bbri-contact/503_04.gif))

Si de l'air venait à circuler dans les isolants, entraînant un "court-circuit" thermique, il en résulterait des pertes de chaleur importantes au niveau des raccords entre les différents éléments du bâtiment (parois, toit, planchers), des passages des tuyaux (électricité, eau chaude, ventilation...) et des ouvertures vers l'extérieur (portes, fenêtres, évacuation de l'air vicié...). De plus, une mauvaise étanchéité induit des courants d'air involontaires et incontrôlables qui déséquilibrent le système de ventilation et peuvent même inverser le sens du flux, ce qui n'est évidemment pas souhaitable.

Pour éviter les fuites, le principe est simple en théorie : il suffit de garantir une enveloppe hermétique par une mise en œuvre soignée et appropriée. Dans un projet en maçonnerie pleine, cela se traduit par exemple par un plafonnage continu et des raccords minutieux aux fenêtres. Dans un projet en structure bois, une feuille étanche à l'air (pare-vapeur) est installée derrière les chevrons avec un calfeutrage à tous les raccords. Dans un

projet en aggloméré, cela se traduit par l'utilisation d'un enduit intérieur et extérieur. (Bourgogne Conseil régional,2010)

## **2-6-Une ventilation performante**

Bien isoler et bien ventiler sont deux exigences complémentaires. Une bonne isolation ne peut être mise en œuvre qu'avec un bon système de ventilation, car l'isolation d'un bâtiment le rend toujours plus étanche à l'air. Or, si l'air vicié et l'humidité ne sont pas évacués et remplacés par de l'air frais, une pathologie du bâtiment apparaîtra inmanquablement, due aux problèmes d'humidité, de condensation et de moisissures.

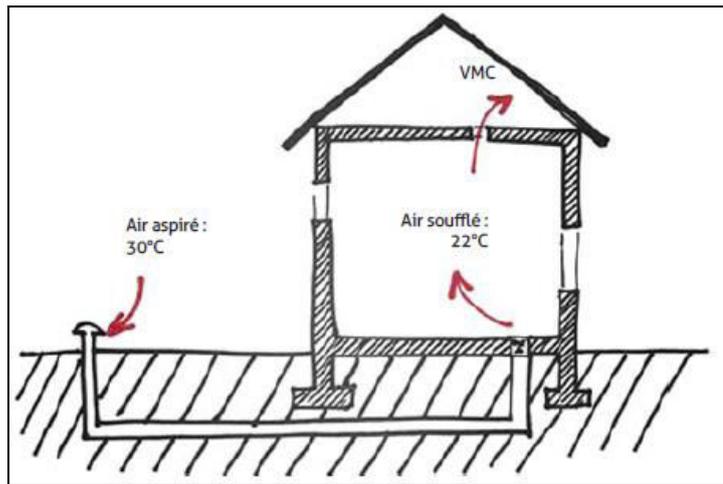
La ventilation est indispensable pour évacuer les substances gênantes et nocives (odeurs, CO<sub>2</sub>, humidité et COV). Une ventilation mécanique permet également le placement de filtres à l'entrée d'air frais, dans le but de maintenir les conduites propres et de purifier l'air neuf, ce qui crée un climat intérieur sain avec beaucoup moins de polluants atmosphériques qu'à l'extérieur tels que pollens, poussières, particules de carbone, etc.

Avec une bonne ventilation, l'air frais est distribué en permanence dans le bâtiment, la température est identique dans toutes les pièces, les odeurs sont dissipées très rapidement, la chaleur accumulée en été est plus facilement évacuée, la poussière moins importante... (Bourgogne Conseil régional,2010)

### **2-6-1- Le confort d'été**

En été, la récupération de la chaleur n'est plus nécessaire et un by-pass est prévu pour la court-circuiter. Néanmoins, d'après les expériences d'occupants des maisons à très basses consommation de type passif, lorsqu'on s'est habitué au confort de la ventilation, on n'a plus vraiment envie de s'en passer.

Un rafraîchissement de l'air peut être envisagé en été grâce au puits canadien (aussi appelé puits provençal). Le principe est simple. Avant de pénétrer dans la maison, l'air passe dans des tuyaux sous terre à une profondeur d'environ 1,5 m : en été, la fraîcheur du sol va le tempérer ; en hiver, le sous-sol – plus chaud que l'extérieur – va le préchauffer. (Bourgogne Conseil régional,2010)



**Figure III-7** Un rafraîchissement de l'air en été par puits canadien. **Source :** (Bourgogne Conseil régional,2010)

Des formules permettent de dimensionner un puits canadien. Il semble que les meilleurs résultats soient obtenus par des conduites dont le diamètre est dimensionné en fonction du débit nécessaire, disposées avec une légère pente à 1,50/2m de profondeur (de préférence sous l'eau) et sur une longueur de 30 à 40 m. Il est conseillé de prévoir un exutoire à condensat au bout de l'échangeur air-sol (la condensation peut se produire par temps d'orage en été). (Bourgogne Conseil régional,2010)

## 2-7-Des apports internes réduits

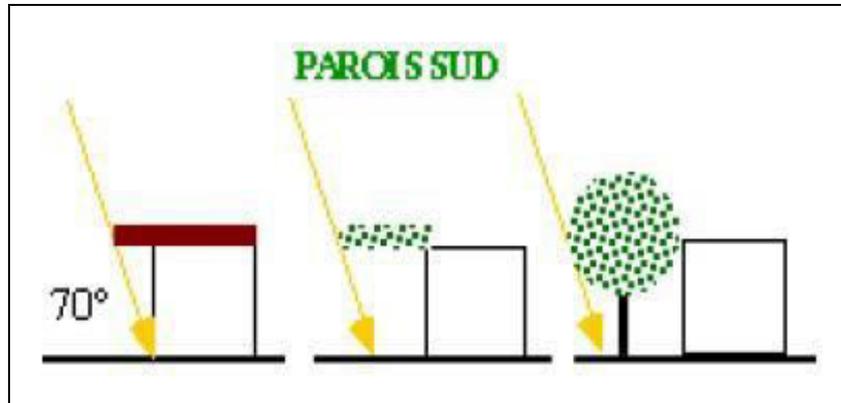
L'importante isolation et la parfaite étanchéité à l'air d'une maison peuvent se traduire par une forte augmentation de la température intérieure si aucune précaution n'est prise. Il faut donc veiller à réduire les apports externes ou internes : du soleil, de l'éclairage, de l'électroménager et du multimédia...

L'utilisation d'une climatisation pourra être quasiment toujours évitée en veillant à plusieurs points : protéger le bâtiment du soleil, privilégier des matériaux à forte inertie, choisir des appareils électroménagers efficaces et bien dimensionnés, des systèmes d'éclairage économes en énergie, respecter un taux de vitrage inférieur à 20 % de la surface du bâtiment, utiliser la fraîcheur naturelle (sol, air nocturne, etc.). (Bourgogne Conseil régional,2010)

### 2-7-1- Les protections solaires du bâtiment

Dans les bâtiments à basse et très basse consommation, la protection solaire est un élément essentiel. Pour être efficace, elle doit réduire l'apport de chaleur tout en permettant un éclairage naturel suffisant. En façade sud, il faut choisir des solutions du type auvent, débords de toiture... En façades est et ouest, les protections extérieures mobiles, telles que volets ou stores, seront privilégiées. Pour les pièces en rez-de-chaussée, les volets auront aussi

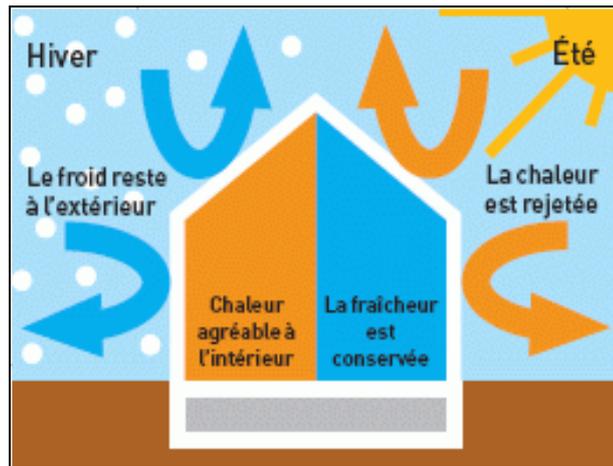
une fonction anti-effraction. Si des fenêtres de toit n'ont pas pu être évitées, des protections solaires extérieures efficaces devront impérativement être installées. La végétalisation peut constituer un excellent pare-soleil. (Bourgogne Conseil régional,2010)



**Figure III-8 :** Les protections solaires d'un bâtiment. **Source :** (<http://media.paperblog.fr/i/371/3719935/architecture-bioclimatique-protections-solair-L-2.jpeg>)

### 2-7-2- L'inertie thermique

Les murs épais en pierre des bâtiments anciens permettent de garder, pendant les jours très chauds, une ambiance fraîche et confortable. L'inertie thermique de ces matériaux agit comme une régulation naturelle du climat intérieur. En hiver et à la mi-saison, lors d'une journée bien ensoleillée, une bonne inertie permet d'emmagasiner les apports internes, les apports solaires et de décaler les pics de température intérieure plus tard dans la journée, quand la température extérieure a diminué : on parle alors de « déphasage thermique ». Il faut donc privilégier les matériaux à forte inertie ou corriger la faible inertie des matériaux utilisés. En été, le rayonnement est principalement vertical. Il faut donc porter une attention particulière à l'inertie de la toiture, en l'isolant avec des matériaux à fort déphasage thermique, tels que les dérivés du bois, ou en le végétalisant, par exemple. (Bourgogne Conseil régional,2010)



**Figure III-9 :** Le système complet de l'inertie thermique dans une habitation .**Source :** (<http://www.votrechaudiere.com/wp-content/uploads/2012/11/Inertie-thermique.gif>)

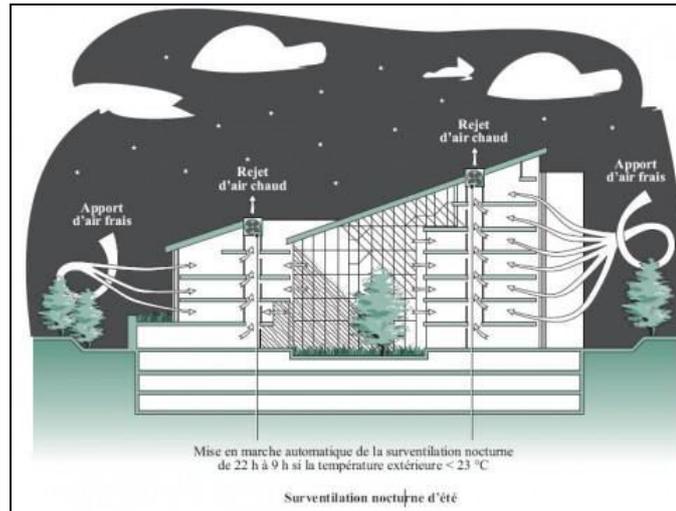
### 2-7-3- La réduction des apports internes

Dans les bâtiments économes en énergie, les consommations de chauffage deviennent très faibles. Ce sont les consommations domestiques (électricité) qui deviennent prépondérantes. Leur réduction devient nécessaire.

Une partie des apports gratuits de chaleur dans un bâtiment provient de son occupation. Ces apports gratuits, qualifiés d'internes, sont liés à l'usage du bâtiment et au comportement des habitants et/ou des utilisateurs (éclairage, électroménager, cuisson, téléviseur, informatique...). Il est donc nécessaire de les limiter au maximum notamment par le choix d'appareils électroménagers efficaces et bien dimensionnés, de systèmes d'éclairage économes en énergie, etc. Reportez-vous aux étiquettes énergie qui informent des caractéristiques de l'appareil. Il convient aussi de considérer l'emplacement des appareils. Il est conseillé, par exemple, de ne pas installer le réfrigérateur à côté du four, car cela augmente considérablement sa consommation. (Bourgogne Conseil régional,2010)

### 2-7-4- L'utilisation de la fraîcheur du soir et de la nuit

La surventilation nocturne permet d'évacuer la chaleur accumulée durant la journée. Les fenêtres pourront être ouvertes la nuit lorsque c'est possible. Si le bâtiment possède des ouvertures donnant sur au moins deux orientations, cette ventilation naturelle sera nettement plus efficace, ce qui suppose de ne pas avoir de problème de bruit ou de risque d'effraction. A défaut, on pourra concevoir le système de ventilation pour qu'il permette d'augmenter très fortement les débits d'air la nuit. (Bourgogne Conseil régional,2010)



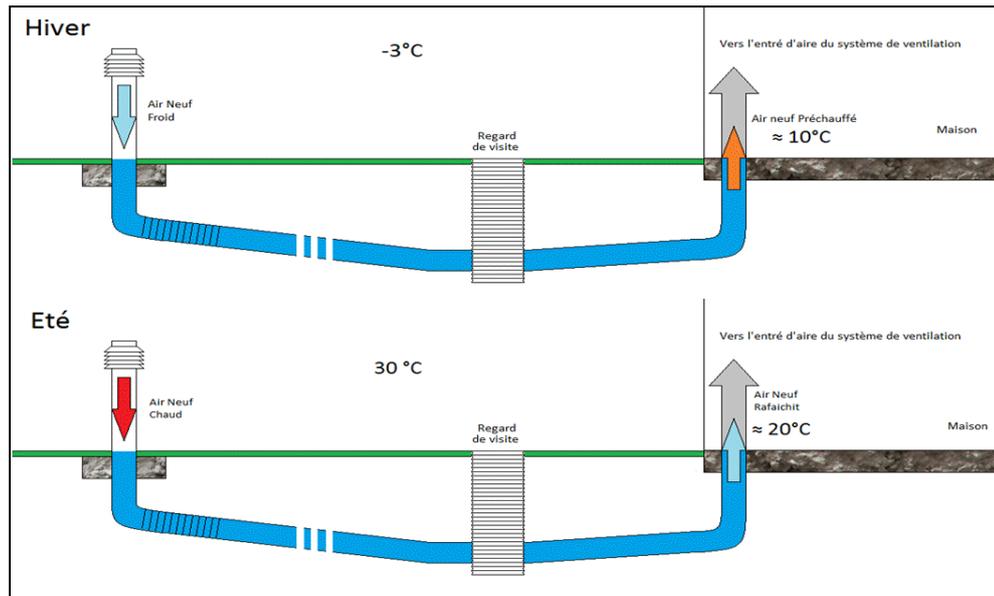
**Figure III-10 :** La surventilation nocturne d'été. **Source :** ([http://www.lemoniteur.fr/media/IMAGE/2013/05/21/IMAGE\\_20130521\\_21311921-644x365.jpg](http://www.lemoniteur.fr/media/IMAGE/2013/05/21/IMAGE_20130521_21311921-644x365.jpg))

#### **2-7-5- Du bon usage des fenêtres**

La taille et l'orientation des parois vitrées peuvent entraîner des problèmes de surchauffe importants en période estivale. Dépasser un taux de vitrage de 20 à 25% de la surface habitable peut rendre difficile la maîtrise des apports de chaleur par les baies, générant un inconfort en été, voire aux intersaisons. L'idéal est de respecter un taux de vitrage de moins de 20%. (Bourgogne Conseil régional,2010)

#### **2-7-6- Utiliser la fraîcheur du sol**

Le sol reste beaucoup plus frais que l'air en été. On pourra utiliser cette fraîcheur via un puits canadien (voir **Figure III-11**). Une étude devra être systématiquement réalisée pour dimensionner le puits, le débit de ventilation et définir son mode de gestion. En respectant ces précautions, on peut obtenir des réductions de plusieurs degrés de la température en été, y compris dans des zones bruyantes où l'ouverture des fenêtres peut être problématique. (Bourgogne Conseil régional,2010))



**Figure III-11** : Un rafraîchissement de l'air en hiver et en été par puits canadien. **Source** :

([http://www.enat44.fr/crbst\\_image002.gif?v=2svqfk1dznxc8tvu](http://www.enat44.fr/crbst_image002.gif?v=2svqfk1dznxc8tvu))

### 3- Evolution de la typologie architecturale des façades dans les zones arides

#### 3-1-Interprétation de la façade dans la maison ksar

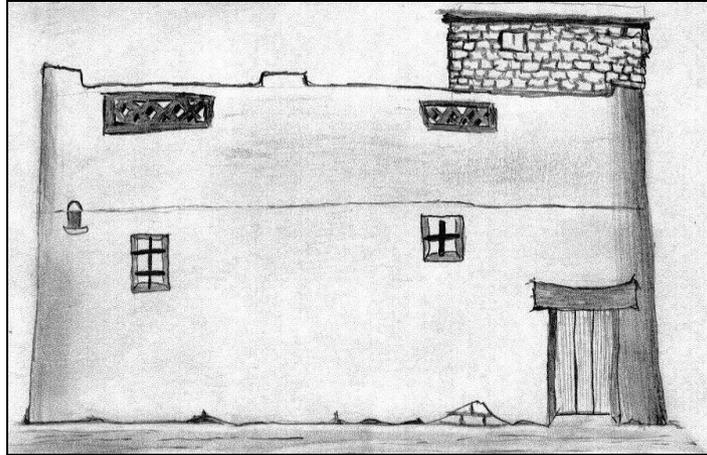
La façade de la maison dans le Ksar est décrite comme aveugle avec la présence des petites ouvertures en haut il donne un certain pouvoir discrétionnaire dans sa structure et la composition de la maison traditionnelle saharienne. La façade extérieure présente une variété de structures, allant de maison Rez-de-chaussée seulement, la maison dispose de deux niveaux. Avoir une structure compacte, nous distinguons que la façade Ksourienne est organisé par une base, le corps, et un haut, cela est sur le concept de l'anthropomorphisme dans la façade. (Chelli. M. R., 2012)



**Figure III-12** : façade dans le vieux ksar de Tafilelt. **Source** :(<http://tafilelt.com/site/wp-content/gallery/vues-generales/v2.jpg>)

Dans la maison de Ksar de Béchar, l'extérieur forme un nombre réduit de sa composition, à l'exception de petites ouvertures qui servent à ramener l'air et la lumière, et de

la porte d'entrée qui fait la transition de l'homme servant de passage, nous pouvons trouver un autre élément qui fait un devis gargouilles (composants qui servent à retirer l'eau de pluie à partir des terrasses) et acrotères pour délimiter les murs de la façade avec son terrasse. (Chelli. M. R, April 2012)



**Figure III-13 :** façade d'une maison du vieux ksar de Béchar. **Source :** (Chelli. M. R., 2012)

### **3-2-Interprétation de la façade coloniale**

La façade de la maison, dans l'architecture coloniale est tout à fait différente de celle de l'architecture traditionnelle Ksourienne, à l'exception des formes qui se jettent dans la composition externe de la maison ce qui signifie la façade, pour inclure de petites ouvertures pour la ventilation, l'utilisation des arcades comme un élément constructif et un élément très commun dans l'architecture saharienne traditionnelle.

La première intuition qui vient à l'esprit en voyant ce type de façade est qu'il n'a pas obéi à la notion de façade aveugle adaptée à l'architecture du Ksour, et en parallèle, elle a opté pour une façade riche de sa composition, sa forme et sa structure, tout en respectant la règle de l'anthropomorphisme de la façade La façade coloniale est une structure cohérente, elle opte pour un modèle fixe de R + 0, avec une terrasse et inaccessible. La façade de ce type de maison a seulement un corps et un sommet, ce qui donne un critère structurel à distinguer ce type d'interprétation architecturale de la maison coloniale Le corps de la maison est formée par l'entrée principale de la maison qui est marqué par un ou plusieurs arches, différentes ouvertures, des linteaux et appuis de fenêtre, en haut il y a le parapet sous différents traitements qui concerne la composition de la façade coloniale, il y a une certaine richesse qui donne un aspect architectural plus expressive, car elle implique l'interprétation de l'architecture par la présence coloniale occidentale, ce qui est tout à fait différente de celle Logements ksouriens. (Chelli. M. R,2012)



**Figure III-14 :** les ouvertures dans la construction coloniale à Laghouat.

La façade de la maison coloniale dispose de trois baies, un centre et deux à la fin tout en utilisant la symétrie comme un moyen de composition géométrique et architectural. La durée du centre contient un ou plusieurs arcs qui signalent l'entrée principale de la maison, et fait par une porte, fenêtres avec volets et une petite bouche d'aération d'une forme arrondie. Les fenêtres ont des dimensions 0.60x1.20, pour assurer un contact visuel à l'intérieur - extérieur. (Chelli. M. R,2012)

### **3-3-La façade et ses composants présents**

La façade d'habitat contemporain dans les zones arides a quelques éléments de composition qui se dégage de l'architecture moderne, certains autres se réfèrent à la composition des façades traditionnelles. La structure verticale varie entre deux à trois travées chose qui existe dans la façade coloniale, tout en respectant le concept de l'anthropomorphisme de la façade. L'application de symétrie est également présent en face de la maison aujourd'hui, un concept de l'architecture moderne. Les éléments de la composition de la présente façade inspirée par l'architecture moderne sont les suivants: (Chelli. M. R,2012)

- Le balcon: une composition élément de la façade actuelle aux villes des zones chaudes arides, il sort en relief sur la surface de l'avant et parfois il est construit en opérant le long de la moitié des portées ou dans certains cas. Il est décoré par des murs d'écran et fer forgé.
- Les grandes ouvertures au rez-de-chaussée et à l'étage avec volets.
- Les matériaux de construction qui entre dans la composition de la maison et regardé depuis le panneau avant sont le fer, le béton, la brique et blocs de béton.
- Les portes et les fenêtres sont faites de métal ou de bois fabriqué.
- Couleur: la diversité de la couleur dans les façades, ne marque pas la nature de l'environnement saharien.

#### **4-Réglementations des dimensions d'ouvertures et hauteur sous plafond**

##### **4-1-La hauteur sous plafond des espaces**

##### **4-1-1- Réglementation au niveau mondial**

###### **a-Australie :**

Un bâtiment doit être construit pour fournir la hauteur dans une pièce ou un espace adapté pour l'utilisation prévue. (ÉTAT FONCTIONNEL, FF3.1, Vic FF3.1)

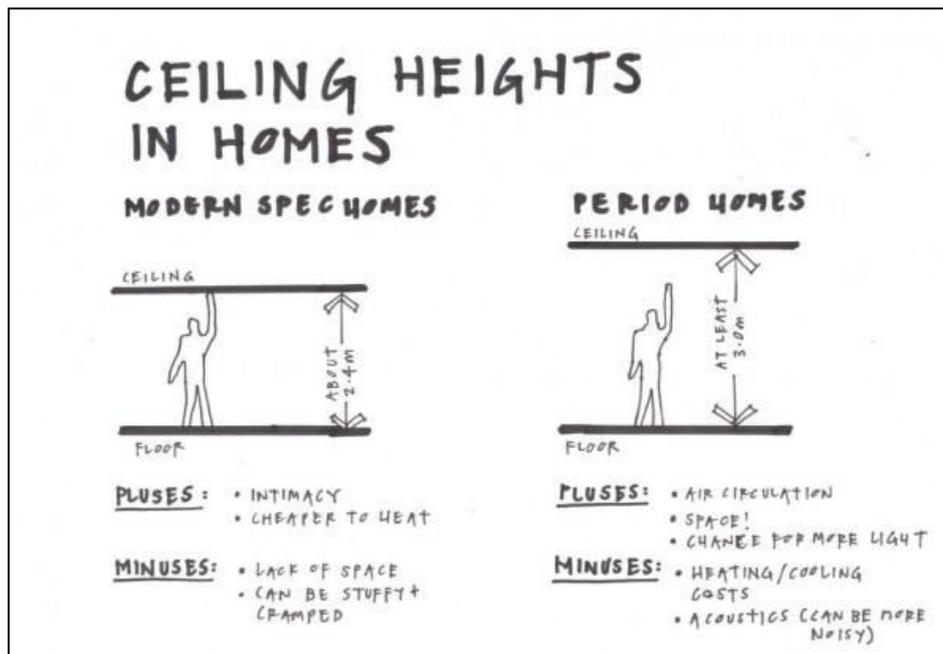
Une pièce habitable ou l'espace doivent avoir une hauteur suffisante qui n'interfère pas indûment sa fonction prévue. (L 'EXIGENCE, FP3.1, Vic FP3.1)

##### **F3.1 Hauteur de chambres et autres espaces**

La hauteur du plafond ne doit pas être inférieure à

- dans un bâtiment de classe 2 ou 3 ou de classe 4 partiel.
- d'une cuisine, buanderie, ou similaires - 2,1 m;
- un couloir, passage ou analogue - 2,1 m;
- une pièce habitable excluant une cuisine - 2,4 m;
- dans une pièce ou un espace avec un plafond en pente ou projections intra-dessous de la ligne de plafond.
- une chambre- habitable.
- dans un grenier - une hauteur d'au moins 2,2 m pour au moins les deux tiers de la surface de plancher de la pièce ou de l'espace;
- dans d'autres chambres - une hauteur d'au moins 2,4 m pour au moins les deux tiers de la surface de plancher de la pièce ou de l'espace;

(Australian Building Codes Board, PART F3 ROOM HEIGHTS, Page 343)



**Figure III-15 :** La hauteur sous plafond dans la réglementation australienne. **Source:** (<http://marketnews.com.au/wp-content/uploads/cewiling.jpg>)

**b-Maroc :**

La hauteur minimale, sous-plafond des pièces habitables est fixée à 2.80m. (Ministère de l'habitat et de la politique de la Ville, Cahier des charges des prescriptions minimales architecturales et techniques relatives au logement destiné à la classe moyenne, Royaume du Maroc)

**c-France :**

La surface et le volume habitables d'un logement doivent être de 14 mètres carrés et de 33 mètres cubes au moins par habitant prévu lors de l'établissement du programme de construction pour les quatre premiers habitants et de 10 mètres carrés et 23 mètres cubes au moins par habitant supplémentaire au-delà du quatrième. La surface habitable d'un logement est la surface de plancher construite, après déduction des surfaces occupées par les murs, cloisons, marches et cages d'escaliers, gaines, embrasures de portes et de fenêtres ; le volume habitable correspond au total des surfaces habitables ainsi définies multipliées par les hauteurs sous plafond. (Code de la construction et de l'habitation. - Article R\*111-2)

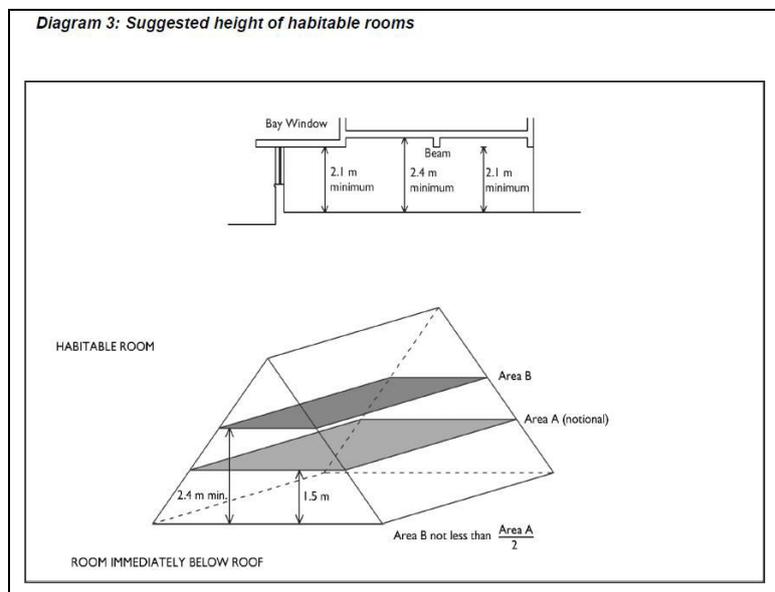
**d-Philippine :**

Des hauteurs de plafond des pièces habitables fournies avec ventilation artificielle doivent avoir plafond hauteurs au moins 2,40 mètres mesurée à partir du sol au plafond; À

condition que pour les bâtiments de plus de un étage, la hauteur de plafond minimale du premier étage est 2,70 mètres et que, pour la deuxième étage 2,40 mètres et étages réussir doit avoir une autorisation de la chambre de la tête typique dégagée d'au moins 2,10 mètres au-dessus sol fini. Chambres ci-dessus indiquées avec une ventilation naturelle auront plafond hauteurs pas moins de 2,70 mètres. (Building Code of the Philippines, Section 805)

#### e-Royaume Unie :

La hauteur du plafond est une d'un certain nombre de facteurs qui affecte de ventilation habitable chambres. Les dimensions suggérées dans Schéma 3 sont compatibles avec chambre de bonne la conception, l'emploi de matériaux standards et bonnes pratiques de construction. (Page 10, ventilation, Building Regulations 2009)



**Figure III-16 :**La hauteur suggéré pour les chambres. **Source :** Building Regulations international Residential Code.

#### f-Etats Unies :

**R30S.1 hauteur minimum.** Chambres, les couloirs, les couloirs, les salles de bains, WC, les chambres et les sous-sols de blanchisserie habitables doivent avoir une hauteur de plafond d'au moins 7 pieds (2134 mm).

La hauteur requise doit être mesurée à partir du plancher fini à la projection plus bas du plafond.

Exceptions:

1. Les poutres et poutrelles espacées d'au moins 4 pieds (1 219 mm) sur le centre peut projeter pas plus de 6 pouces (152 mm) en dessous de la hauteur sous plafond.
2. Plafonds en sous-sols sans espaces habitables peuvent projeter à l'intérieur de six pieds, huit pouces (2032 mm) du sol fini; et poutres apparentes, poutres, conduits ou autres obstacles peuvent projeter à l'intérieur de six pieds quatre pouces (1931 mm) du sol fini.
3. Pour les chambres avec des plafonds en pente, au moins 50 pour cent de la surface de plancher requise DELA chambre doit avoir une hauteur de plafond d'au moins 7 pieds (2134 mm) et aucune partie de la surface de plancher requise peut avoir une hauteur de plafond de moins de 5 pieds (1524 mm).
4. Salle de bain doivent avoir une hauteur de plafond minimum de 6 pieds 8 pouces (2 036 mm) sur la fixation et à la zone de dégagement avant pour les appareils comme le montre la Figure R307.1. Une douche ou baignoire équipée d'une douche doivent avoir une hauteur de plafond minimum de 6 pieds 8 pouces (2 036 mm) au-dessus d'une surface minimale de 30 pouces (762 mm) par 30 pouces (762 mm) à la pomme de douche. (ceiling height, page 48, 2006, international Residential Code)

#### **4-1-2- Réglementation au niveau national :**

D'après le document de Prescriptions techniques et fonctionnelles applicables aux logements sociaux sorti en Octobre 2007 par la Direction Des Programmes D'habitat Et De La Promotion Immobilière, la hauteur minimale nette sous plafond est de 2.90 m.

#### **4-2-Réglementation sur les ouvertures**

##### **4-2-1- Réglementation au niveau national :**

D'après le document de Prescriptions techniques et fonctionnelles applicables aux logements sociaux sorti en Octobre 2007 par la Direction Des Programmes D'habitat Et De La Promotion Immobilière, les dimensions des ouvertures et notamment celles des fenêtres sont à adapter aux conditions climatiques propres à chaque région. En plus d'être un élément de composition et de participer par le choix du type et l'agencement prévu à l'esthétique, l'équilibre et l'harmonie de la façade, celles-ci doivent être conçus en tenant compte de la faisabilité et de la rentabilité du projet. Données à titre indicatif, les dimensions présentées ci-après, hors cadres des ouvertures, devraient être utilisés comme référence de base :

- Portes d'entrée au logement : 1.10 m x 2.17 m

- Porte fenêtres : 1.04m x 2.17 m - 1.04m x 2.40 m

1.20m x 2.17 m - 1.20m x 2.40 m

1.40m x 2.17 m - 1.40m x 2.40 m

- Fenêtres : 0.80m x 0.63m - 1.20m x 1.60m

0.90m x 1.40m - 0.90m x 1.50m

1.20m x 1.20m - 1.20m x 1.40

- Portes intérieures : 0.85m x 2.10 - 0.95m x 2.10m

0.70 x 2.10

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons montré brièvement comment la crise et la demande de l'habitat développaient en Algérie, ce qui nous a pris à penser à un habitat économique en matière de volume, écologie, confort et environnement en citant ses principes.

L'importance des ouvertures et leurs influences sur le confort thermique de l'habitat qui a évolué avec le temps en se basant sur les façades dans les zones chaudes et arides comme la ville de Laghouat.

Les différentes réglementations au niveau mondial et en Algérie concernant la hauteur sous plafond des pièces habitées qui influe sur le volume de l'espace.

Tous ces données nous mène à choisir un volume idéal des espaces habités dans l'habitat collectif.

La hauteur sous-plafond citée déjà dans plusieurs réglementations internationales est proche à 2.40m, cela nous pousse à prendre cette hauteur comme la hauteur réduite proposée dans notre étude de comparaison avec la hauteur sous-plafond réglementaire en Algérie 2.90m.

**Chapitre 4**  
**Présentation**  
**Résultats et**  
**Interprétation**

## **INTRODUCTION**

Les chapitres précédents ont présenté une base de données, qui nous mènent à fixer la méthodologie de cette partie. Où l'objectif est d'évaluer l'impact de la hauteur sous plafond sur la ventilation naturelle et la consommation d'énergie dans un climat chaud et aride et de vérifier les hypothèses posées.

L'environnement où la construction est intégrée influe sur la qualité architecturale du bâti et surtout sur l'espace intérieur dont la dimension climatique est un facteur majeur surtout sur la qualité thermique de l'espace.

La diversité et la multitude des paramètres qui influent sur l'enveloppe du bâtiment étudié tels que la géométrie du bâti, l'orientation, matériaux utilisés dans la réalisation, les différentes conditions climatiques (température, vitesse de l'air, ensoleillement, etc...) complique et augmente le temps de d'avoir les objectifs visés, surtout avec la complexité des équations mathématiques utilisées dans la prédiction.

Pour cela, et afin de minimiser l'erreur et de gagner beaucoup du temps perdu au calcul, nous avons choisi l'évaluation numérique par l'outil informatique qui est le programme EnergyPlus.

### **1- Bioclimat et ensoleillement de la ville de Laghouat**

#### **1-1- Situation de la ville de Laghouat**

La ville de Laghouat est située au piémont de l'Atlas saharien du côté nord, elle s'étend sur le plateau saharien du côté sud

Laghouat est dirigée entre 830m d'altitude à l'ouest et 790m d'altitude au nord séparée par une profonde échancrure. Elle a une latitude de  $33^{\circ}46'$  et une longitude de  $2^{\circ}56'$ .

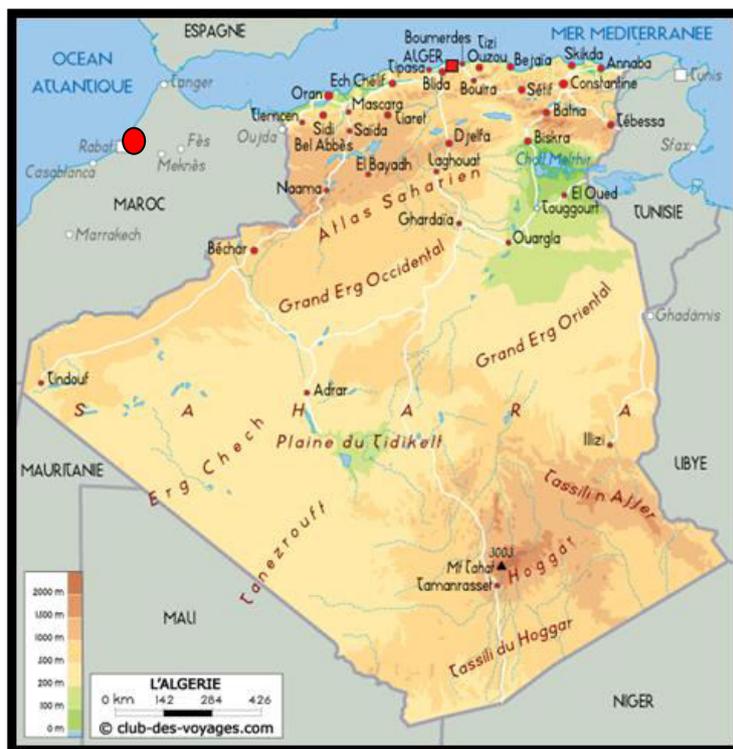


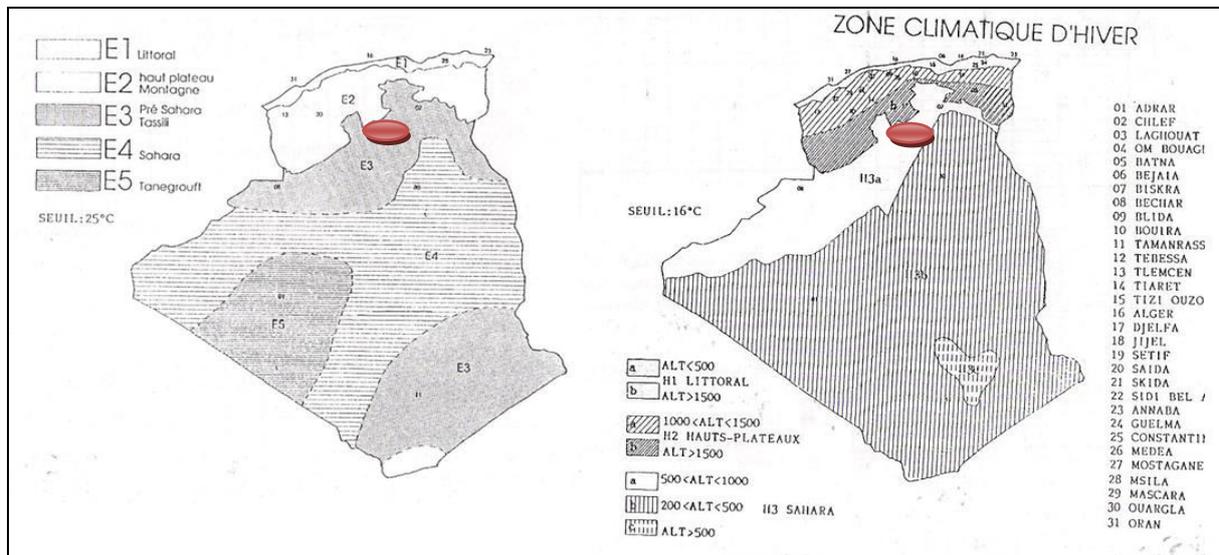
Figure IV-1 : carte géographique de l'Algérie. **Source :** (<http://www.club-des-voyages.com/algerie/carte.html>)

## 1-2- Analyse des éléments du climat

Afin de mieux caractériser le climat de la ville de Laghouat, il est utile d'analyser les différents paramètres qui le constituent, en interprétant les données météorologiques qui s'étale sur une période de dix ans, relatives à la période (2004-2013).

D'après le zonage de la figure III.2, la ville de Laghouat fait partie de la zone climatique **E3** (zone d'été) et **H3a** (zone d'hiver) déterminée par deux saisons principales :

- Un été très chaud et sec mais moins pénibles qu'en zone E4.
- Un hiver très froid la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants (Ministère de l'habitat, 1993).

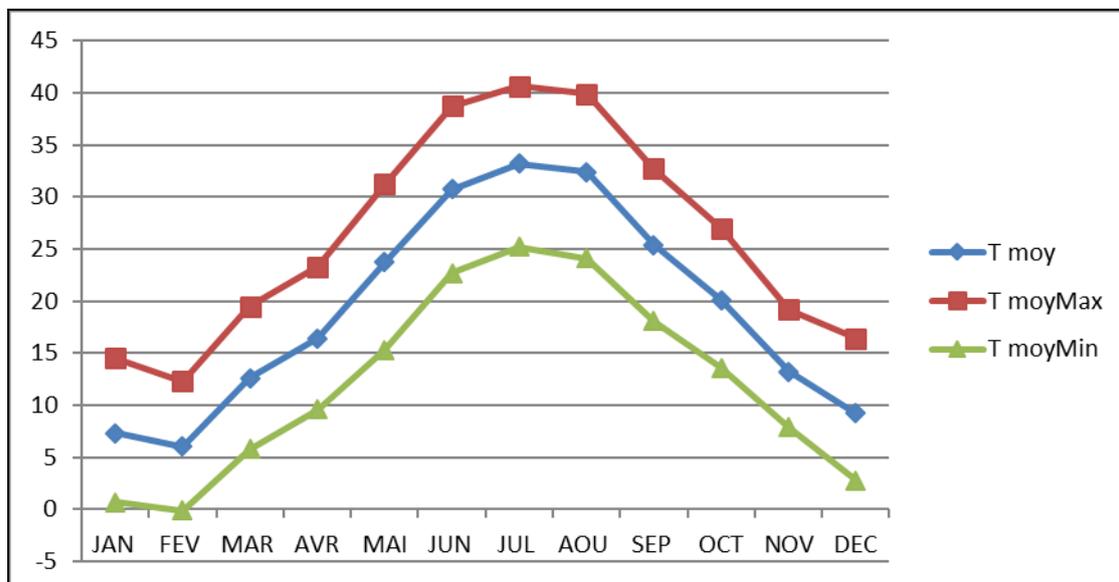


**Figure IV-2 :** les zones climatiques en Algérie. **Source :** (Ministère de l’habitat 1993).

A rappeler que pour définir les climats on va s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes, d'où peuvent se mesurer les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, et les amplitudes des extrêmes absolues des températures quotidiennes (entre le maximum diurne et le minimum nocturne) (ESTIENNE. Pierre, 1970).

La situation de la ville de Laghouat entre deux zones à climats distincts, la nature géomorphologique de la zone et le caractère semi désertique ont confié à la ville de Laghouat un climat rigoureux. Son climat est caractérisé par :

### 1-2-1-La température de l’air :



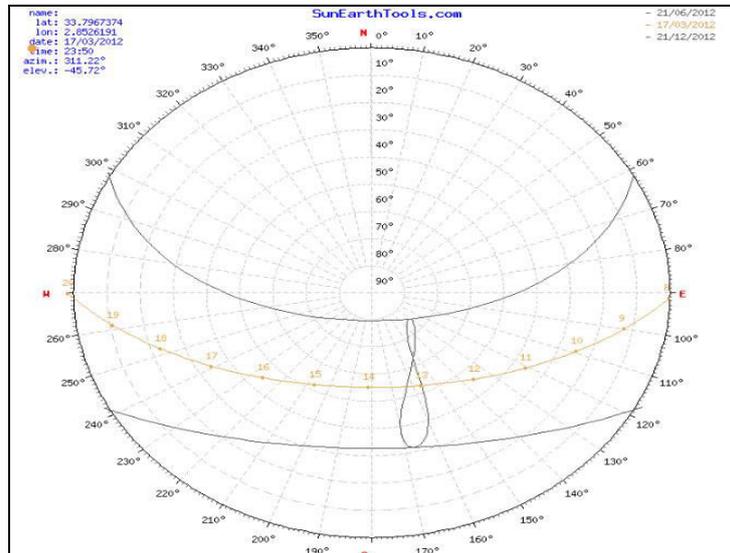
**Figure IV-3 :** Variation des Températures de l'air extérieur (Période : 2004-2013). **Source:** Centre Météo de Laghouat

Selon la figure IV-3 établie sur la base des données météorologiques de la ville de Laghouat (période 2004-2013), on peut distinguer que l'évolution des températures moyennes mensuelles est régulière, avec une température moyenne annuelle de **19,18°C**. La température moyenne la plus basse est de **6,1°C** en janvier, le mois le plus froid, alors que la température moyenne la plus importante est de **32,16 °C** en Juillet, considérée comme étant le mois le plus chaud.

On constate que la région est caractérisée par un hiver très froid et un été très chaud.

### 1-2-2-Ensoleillement :

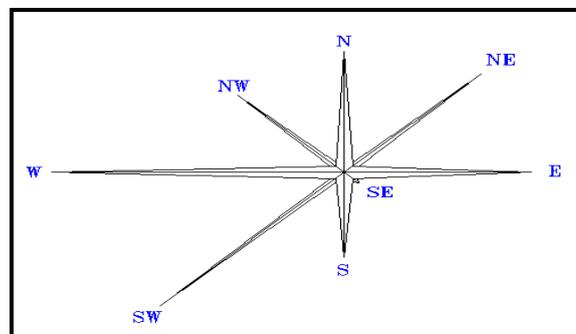
L'ensoleillement est considérable dans la ville de LAGHOUAT. Potentiellement, pour une latitude de 33°46' (<http://pgj.pagesperso-orange.fr/latlong.htm#Algeria,2014>), le nombre d'heures d'ensoleillement dépasse les 14 heures par jour en été, et 09 heures en hiver comme le montre le diagramme solaire (figure IV-4). Ainsi que la trajectoire solaire qui est plus importante en été ( 21 Juin jour le plus long de l'année) qu'en hiver (21 décembre, jour le plus cours de l'année) ceci permet de considérer également l'énergie incidente sur le sol qui à son tour n'est pas négligeable



**Figure IV-4 :** Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire pour la ville de Laghouat – latitude 33° 46'. **Source:** ( [www.sunearthtools.com](http://www.sunearthtools.com)).

### 1-2-3-Le vent :

Caractérisé par sa direction et sa vitesse, le vent est un paramètre important dans les échanges par convection et par évaporation. D'après la figure IV-5, les vents dominants sont l'ouest et sud-ouest. Le Sirocco est plus fréquent dans les Hauts plateaux. Le maximum de fréquence sur l'atlas saharien a eu lieu généralement en juin et juillet. leur vitesse varie de 15 à 30 m/s soit 58 à 108 Km/h et de direction Sud- ouest fréquence 687 heures/mois.



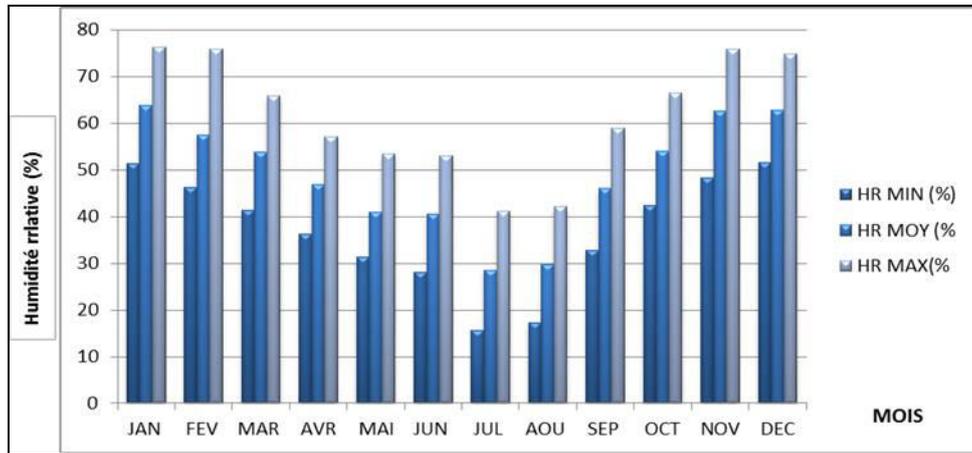
**FigureIV-5:** Rose des vents de la ville de Laghouat. **Source :**( la station météorologique).

### 1-2-4.Les Précipitations :

La répartition annuelle des précipitations à Laghouat sont rares, fortes et irrégulières, parfois faibles. Ces dernières années de sècheresse il a été enregistré une moyenne de 155,2mm durant l'année 2012-2013.

### 1-2-5.L'humidité relative :

La courbe des humidités relatives croit dans le sens inverse de celle des températures. La moyenne annuelle des humidités relatives est de 45,33 % (figure III.6).

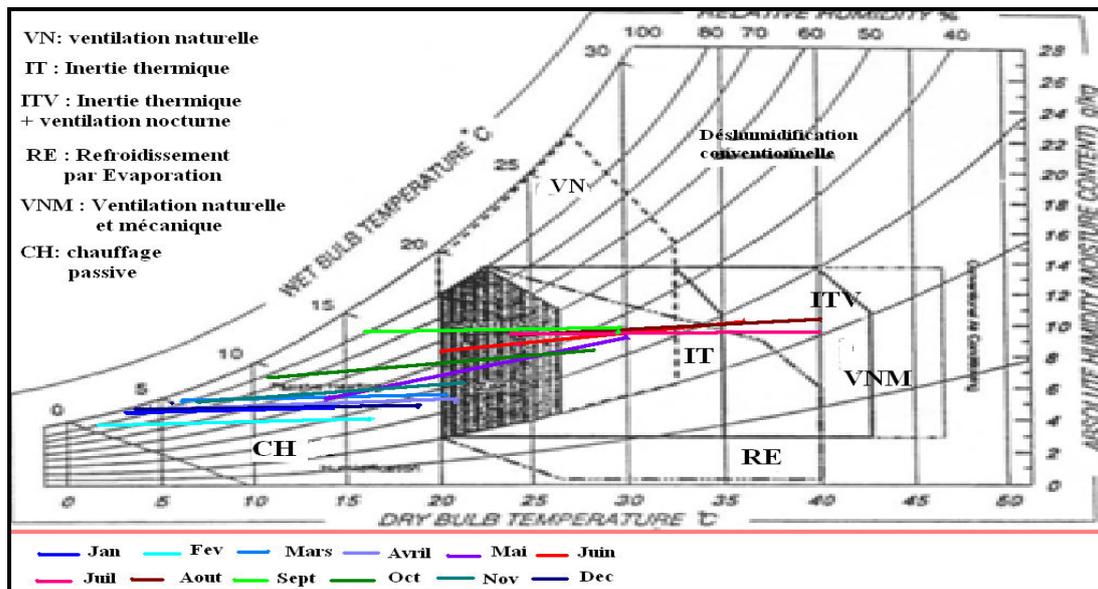


**Figure IV-6 :** Variation de l'Humidité relative (Période : 2004-2013). **Source :** (Centre Météo de Laghouat)

### 1-3- Le diagramme bioclimatique de Givoni

Le but de l'utilisation du diagramme psychrométrique de Givoni est de déterminer les exigences du confort afin de les exploiter pour établir une conception adéquate, pour les différents mois de l'année dans les zones de confort établis au préalable et fixes (standard).

On constate trois groupes (périodes) pendant l'année :



**Figure IV-7 :** diagramme psychrométrique de Givoni. **Source :** auteur.

- La période estivale s'étale sur une grande partie de l'année surtout les mois de juin, juillet et aout ; où la ventilation naturelle et l'humidification plus inertie thermique sont conseillées ; tout en facilitant la pénétration des brises, et la protection contre les vents chauds.

- La saison hivernale ; s'insère dans la zone de chauffage passif, pendant les mois d'hiver (janvier, février, décembre et novembre).

La solution pourrait être l'ensoleillement en hiver et la protection en été et le choix de type de protection et selon variables de site et de bâtiment et surtout l'orientation.

## 2- Présentation du cas d'étude

### 2-1- Site : localisation

Pour le cas d'étude, on a choisi un habitat collectif réalisé déjà dans la ville de Laghouat (152logts).

Cet habitat choisit pour l'étude est de type LSL, il est situé dans la partie sud ouest de la ville de Laghouat dans le quartier de M'hafir.



**FigureIV-8** : schéma de la situation du projet dans la ville. **Source** : auteur.

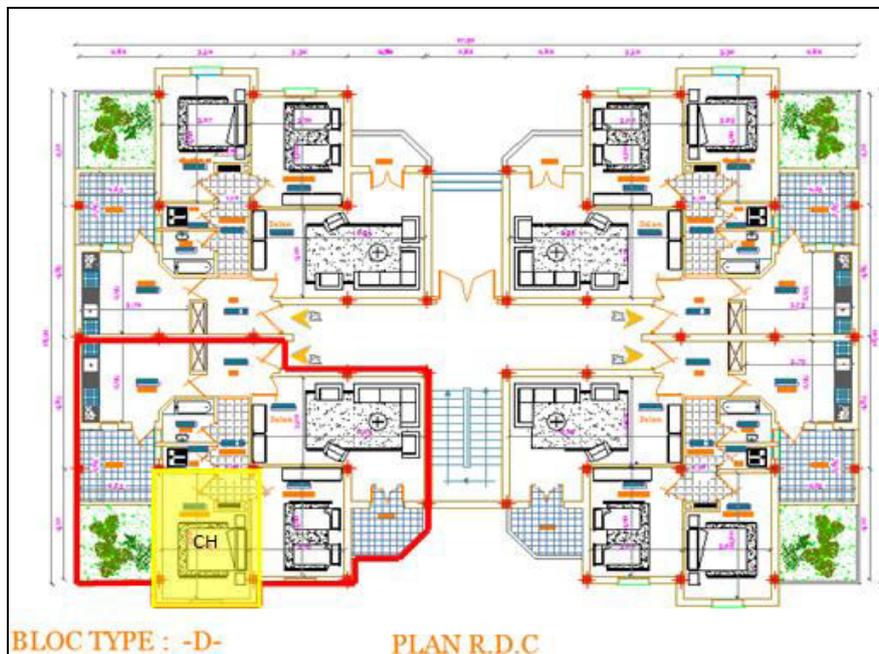
### 2-2- Composition du cas d'étude

L'habitat choisit est sous forme de deux ilots de type barre reliés par une porte urbaine, chacun des ilots est composé de cinq blocs droits R+3 (A, B, C, D et E).

On choisit le bloc D pour notre évaluation numérique



**FigureIV-9** : schéma du plan de masse du projet en précisant le bâtiment. **Source** : auteur.



**FigureIV-10** : plan du bloc consacré en précisant la chambre. **Source** : auteur.

L'appartement choisit pour l'étude numérique de la ventilation et de la consommation d'énergie est dans un bloc de type D, il est situé au rez-de-chaussée où les ouvertures sont toutes au sud-est.

### 3- Présentation du logiciel

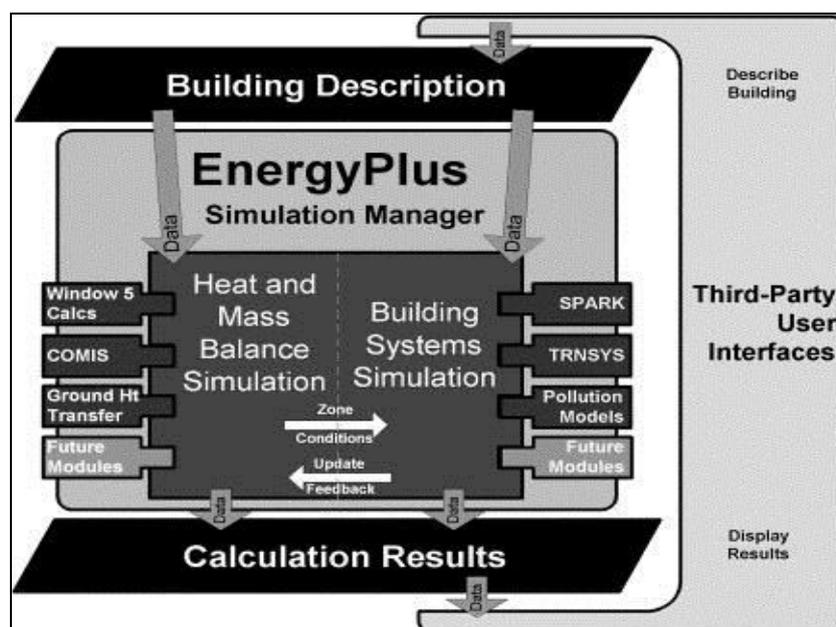
#### 3-1- Description du logiciel

EnergyPlus est un programme open source qui simule les modèles de chauffage, ventilation, climatisation, éclairage, utilisation de l'eau, la production d'énergie renouvelable et des autres

énergies du bâtiment (D.B. Crawley, L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, et al. 2001) et est le moteur de simulation de bâtiment phare soutenu par le ministère de l'Énergie des États-Unis. Il comprend de nombreuses fonctionnalités de simulation innovants y compris les sous-horaire pas de temps, des systèmes modulaires et des installations intégrées avec la simulation de chaleur à base de l'équilibre de la zone, le débit d'air multi-zone, le confort thermique, l'utilisation de l'eau, la ventilation naturelle, les systèmes d'énergie renouvelable, et l'utilisateur énergie personnalisable Système de gestion. Chaque version d'EnergyPlus est continuellement testé intensivement en utilisant plus de quatre cents fichiers d'exemples et les cas de tests sont définis dans la norme (ASHRAE 140) . Il est un outil puissant qui prend en charge la construction des professionnels, des scientifiques et des ingénieurs dans l'optimisation de la conception et des opérations bâtiment, et contribue ainsi à réduire la consommation d'énergie et d'eau. (T. Hong, K. Sun, R. Zhang, R. Hinokuma, S. Kasahara, Y.Yura, 2016)

### 3-2- Structure de EnergyPlus

EnergyPlus a trois composants de base - un gestionnaire de simulation, un module de la chaleur et de la simulation du bilan de masse, et un module de simulation de systèmes de construction. Le gestionnaire de simulation contrôle le processus de simulation. Les calculs de bilan de chaleur sont basés sur iBlast - une version de recherche de BLAST avec les systèmes de CVC intégrés et la simulation des charges du bâtiment. (D.B. Crawley, L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, *et al.*, 2001)



**Figure IV-11 :** Structure du logiciel Energyplus. **Source :** (D.B. Crawley, L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, *et al.*, 2001),

### 3-2-1- Avantages du logiciel EnergyPlus :

- Facilités des saisies
- Ergonomie
- Différentes simulations possibles (énergétique, éclairage, optimisation thermique, étude d'ombrage, ect ...)
- Importation et exportation 3D possibles

### 3-2-2- l'utilisation du open studio

EnergyPlus est un programme basé sur la console qui lit l'entrée et écrit sortie vers des fichiers texte. Il est livré avec un certain nombre de services publics, y compris IDF-Editor pour créer des fichiers d'entrée à l'aide d'une interface de type tableur simple, EP-lancement pour la gestion des fichiers d'entrée et de sortie et effectuer des simulations de lots, et EP-Comparer pour comparer graphiquement les résultats de deux ou plus simulations. Plusieurs interfaces graphiques complètes pour EnergyPlus sont également disponibles. DOE fait la plupart de ses travaux avec EnergyPlus en utilisant le kit de développement de logiciels d'OpenStudio et suite d'applications. (<https://energyplus.net/>)

OpenStudio® est une multi-plateforme (Windows, Mac et Linux) collection d'outils logiciels pour soutenir la modélisation énergétique du bâtiment entier en utilisant EnergyPlus et l'analyse de la lumière du jour avancée en utilisant Radiance. OpenStudio est un projet open source (LGPL) pour faciliter le développement communautaire, l'extension et l'adoption du secteur privé. OpenStudio comprend des interfaces graphiques ainsi qu'un kit de développement logiciel (SDK). (<https://www.openstudio.net/>)



**Figure IV-12:** interface du sketchcup **Source :**([http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/reference/sketchup\\_plugin\\_interface/](http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/reference/sketchup_plugin_interface/))

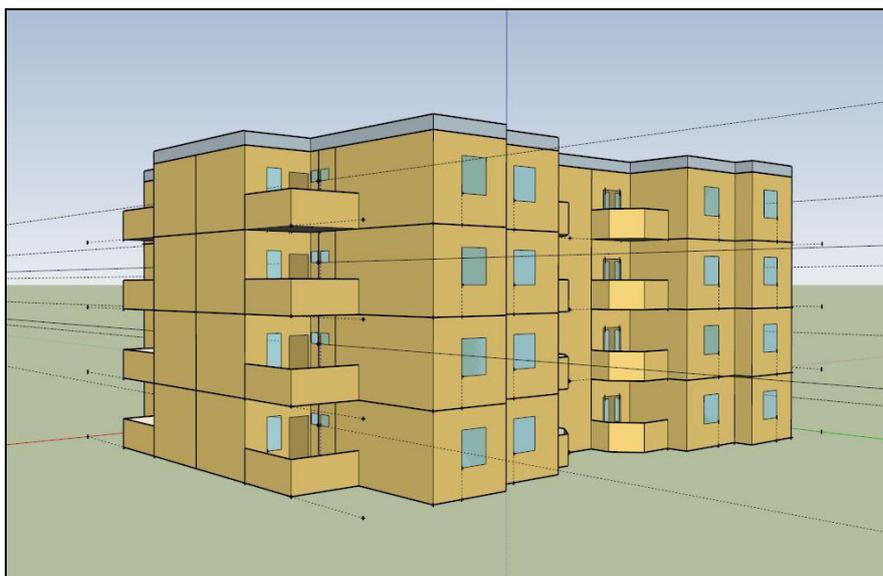
Les applications graphiques incluent le OpenStudio SketchUp Plug-in, OpenStudio application, visionneuse des résultats l'outil d'analyse paramétrique. L'OpenStudio SketchUp Plug-in est une extension de l'outil de modélisation populaire SketchUp 3D de Trimble qui permet aux utilisateurs de créer rapidement la géométrie nécessaire pour EnergyPlus. En outre, OpenStudio supporte l'importation de gbXML et de la SFI pour la création de la géométrie. (<https://www.openstudio.net/>)

### 3-3- Objectifs de la simulation

L'étude base principalement sur l'impact de la hauteur sous-plafond sur la ventilation naturelle et la conservation des énergies non renouvelables, sous les conditions climatiques réelles de l'environnement extérieur de la ville de Laghouat. Cela va être étudié en été et en hiver (mois de Juillet et le mois de Janvier), sous forme de plusieurs scénarios afin de vérifier l'effet de plusieurs paramètres secondaires en les couplant avec la hauteur optimale (l'orientation de l'espace, le nombre les dimensions des fenêtres dans la chambre).

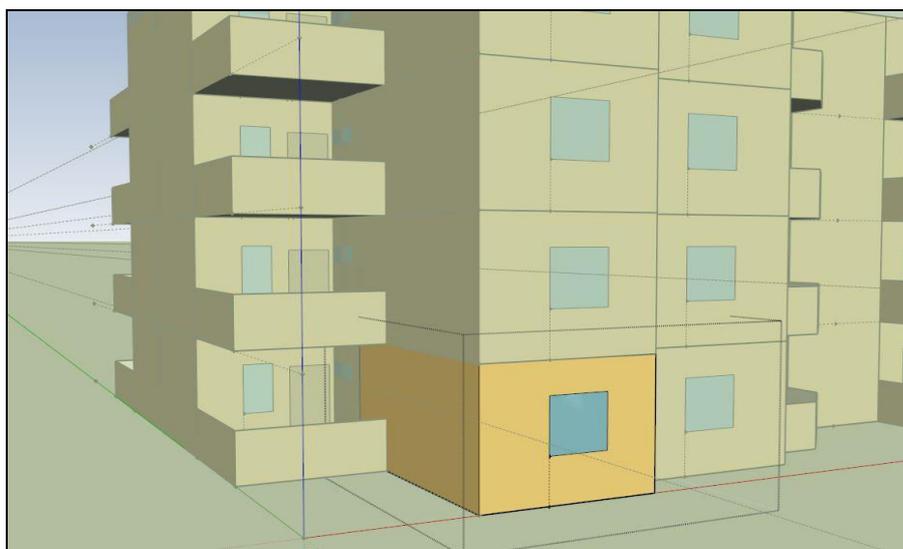
On va baser sur les performances aérauliques et thermiques de l'espace chambre en faisant une comparaison entre le débit d'air dans l'espace et les variations de la température intérieure donnée en utilisant une ventilation purement naturelle. La température de l'air intérieur en C° et le volume d'air en m<sup>3</sup>/h.

Ensuite, dans la deuxième étape où notre but est le volet économique en matière d'énergie et sa conservation après l'ajout d'un système actif (climatisation et chauffage) afin d'avoir une température dans la plage de confort recommandée. L'énergie consommée en w/h.



**Figure IV-13 :** bâtiment existant modélisé avec sketch up 16. **Source :** (Auteur)

La zone concernée par notre étude est l'espace chambre



**Figure IV-14 :** zone étudié du bâtiment choisi, modélisé avec sketch up 16. **Source :** (Auteur)

La simulation dans le logiciel EnergyPlus se base principalement sur les différentes données qui se trouvent dans le fichier climatique de la ville de Laghouat format epw. Dont les principales données sont :

La latitude= $33.46^{\circ}$ , la longitude= $2.56^{\circ}$ , l'altitude= $767\text{m}$ , l'heure= $\text{GMT}+1$

La vitesse du vent : Janvier= $2\text{m/s}$ , Juillet= $5\text{m/s}$

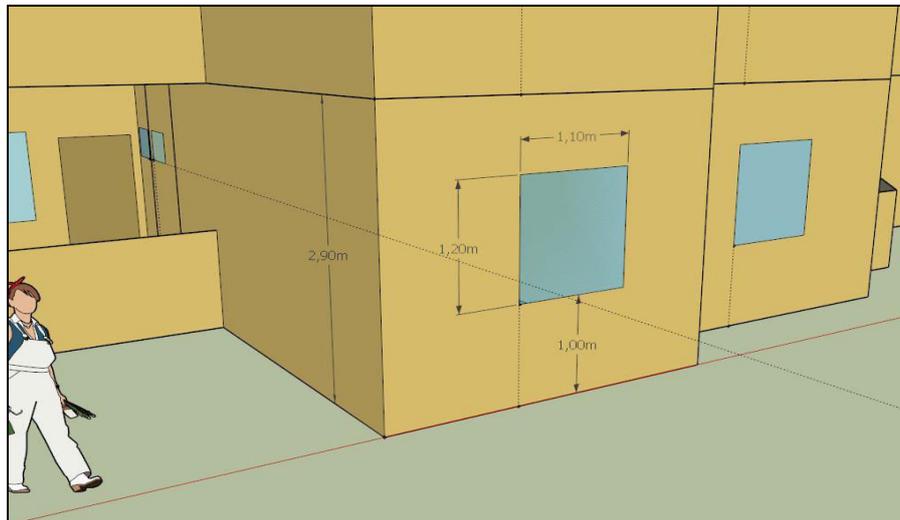
La direction du vent :  $300^{\circ}$ .

#### **4- L'évaluation numérique :**

##### **4-1- Le 1<sup>er</sup> scénario : la hauteur sous-plafond**

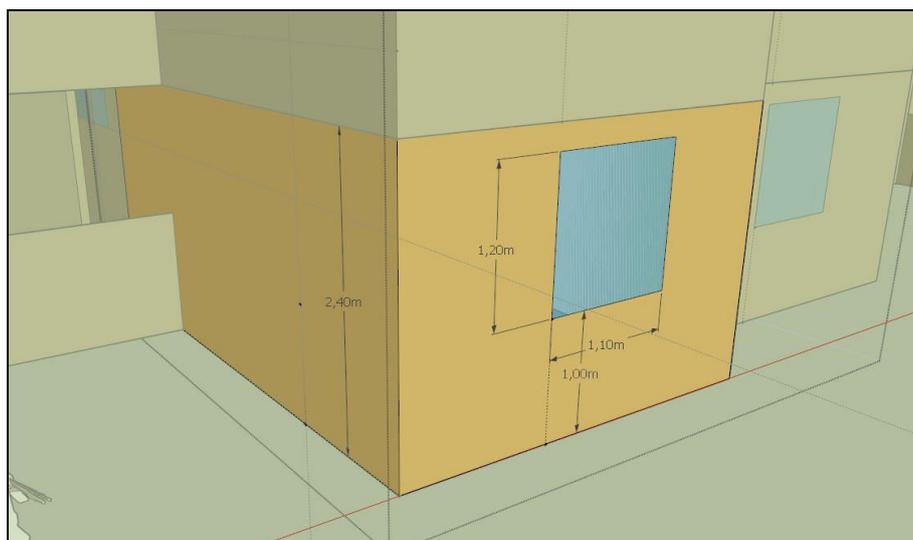
Le premier scénario de notre évaluation joue sur la variable principale qui est la hauteur sous-plafond, en prenant les paramètres déjà existants dans le bâtiment (orientation sud, disposition de la fenêtre dans le mur de la façade principale orientée sud avec  $1.20\text{m}$  de hauteur et  $1.10\text{m}$  de largeur, etc...) où on distingue deux variantes :

La hauteur réglementaire nationale où  $h=2.90\text{m}$ .



**Figure IV-15 :**  $h=2.90\text{m}$ , zone étudié du bâtiment choisi, modélisé avec sketch up 16. **Source :** (Auteur)

La deuxième hauteur sous-plafond a été proposé pour notre travail d'après les recherches faites concernant ce paramètre au niveau mondial, la hauteur proposée est  $h=2.40\text{m}$ , en gardant les mêmes autres paramètres de l'espace.



**Figure IV-16 :**  $h=2.40\text{m}$ , zone étudié du bâtiment choisi, modélisé avec sketch up 16. **Source :** (Auteur)

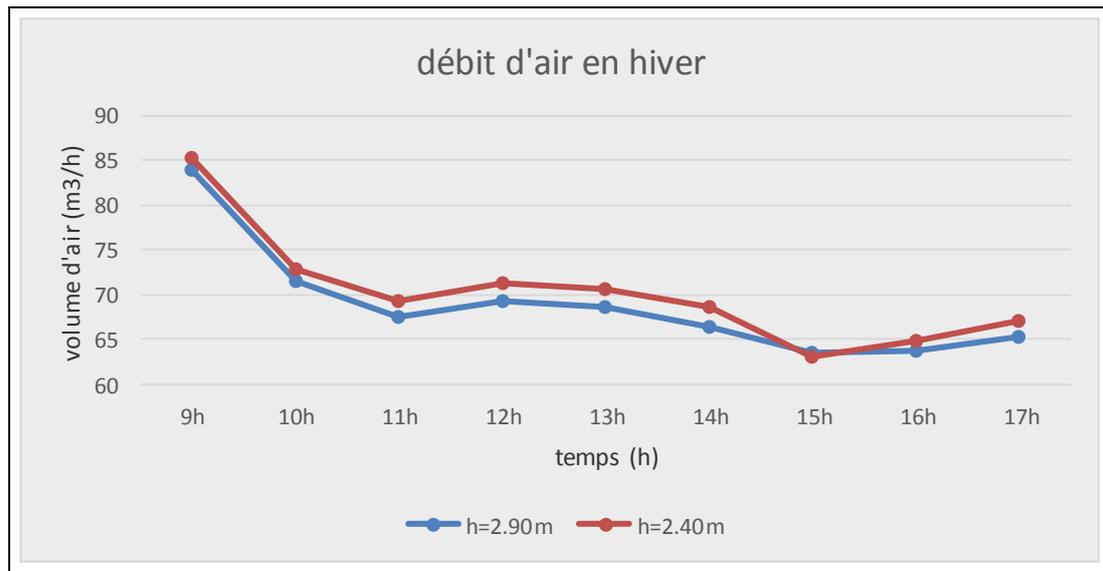
Afin de déterminer la hauteur sous-plafond la plus favorable, une comparaison a été faite entre le débit d'air et la variation de la température intérieure dans le cas de ventilation naturelle. Ainsi que la comparaison entre les variations de la consommation énergétique et de la température dans le cas d'ajout d'un système de climatisation en cas d'été et en cas d'hiver le système de chauffage (énergies non renouvelables gaz naturel et électricité).

#### 4-1-1-La ventilation naturelle :

##### a- Cas d'hiver : 1er Janvier : ventilation diurne

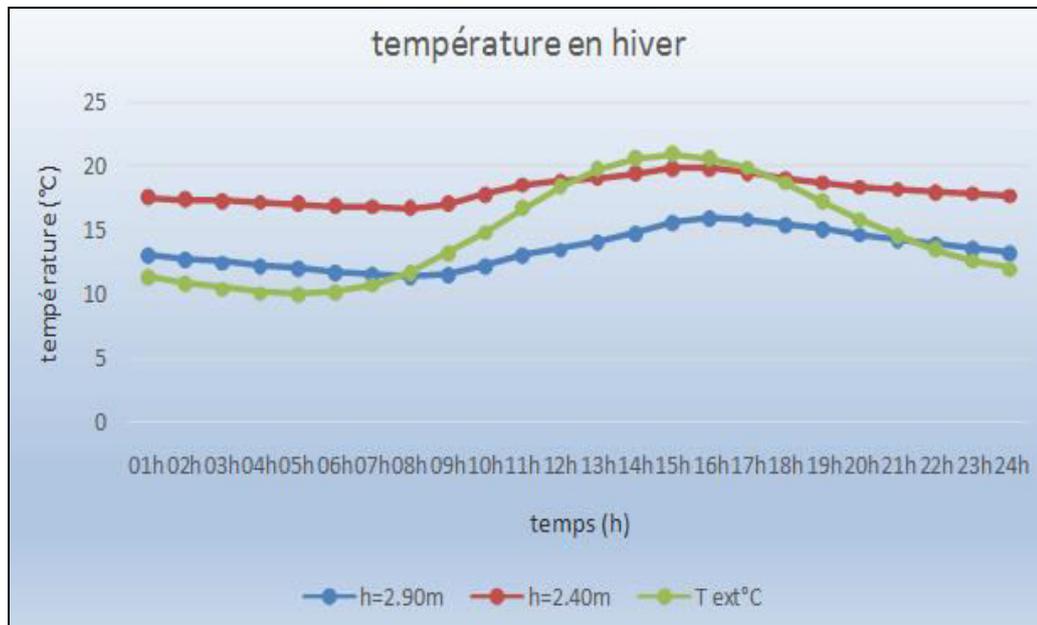
D'après la figure (IV-17), le volume d'air intérieur suit la même courbure dans les deux cas où le maximum du débit est au moment d'ouverture à cause de la grande différence de la température entre l'extérieur et l'intérieur, et il commence à diminuer.

On remarque que le débit dans le cas où  $h=2.40m$  est supérieur à celui du cas où  $h=2.90$ , cette différence dépasse  $2m^3/h$ .



**Figure IV-17 :** Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne .Source :( Auteur)

D'après la figure (IV-18), la température de l'air intérieur dans le cas proposé où  $h=2.40m$  est plus élevée que celle dans le cas existant où  $h=2.90m$ , cette différence se voit pendant toutes les 24 heures du jour choisi pour l'étude, dans la période matinale cette différence dépasse les  $5^{\circ}C$  de [5h-13h] alors qu'elle arrive à  $3.5^{\circ}C$  dans l'après-midi [17h-21h].



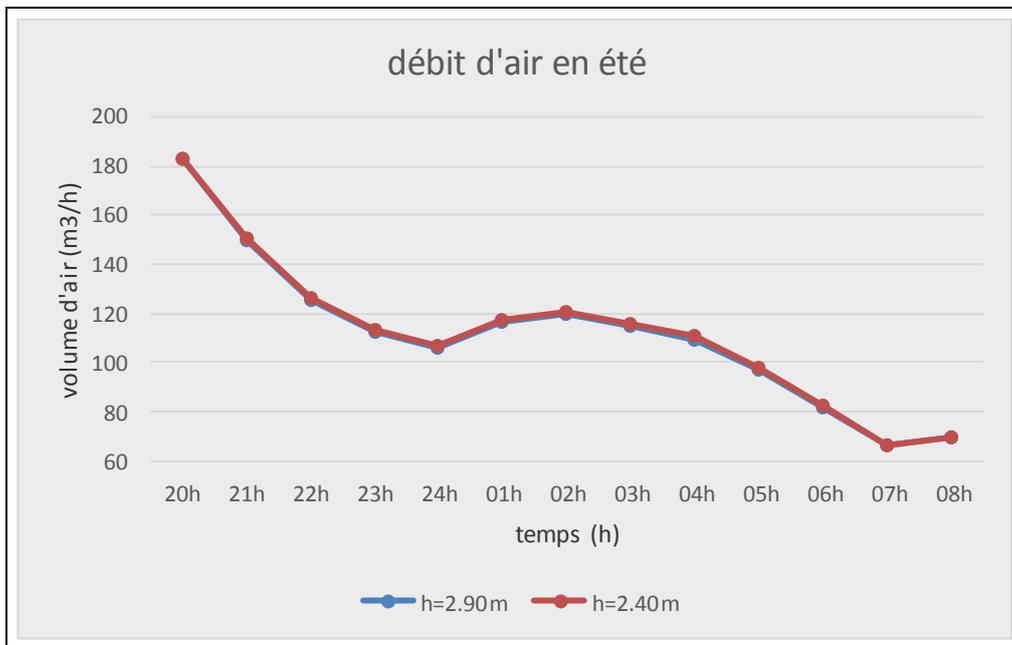
**Figure IV-18 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne. **Source :**( Auteur)

Donc, on peut constater que le cas de  $h=2.40m$  est le plus favorable pour la saison d'hiver où il nous offre une température et un volume d'air plus élevés.

**b- Cas d'été : 1<sup>er</sup> Juillet : ventilation nocturne**

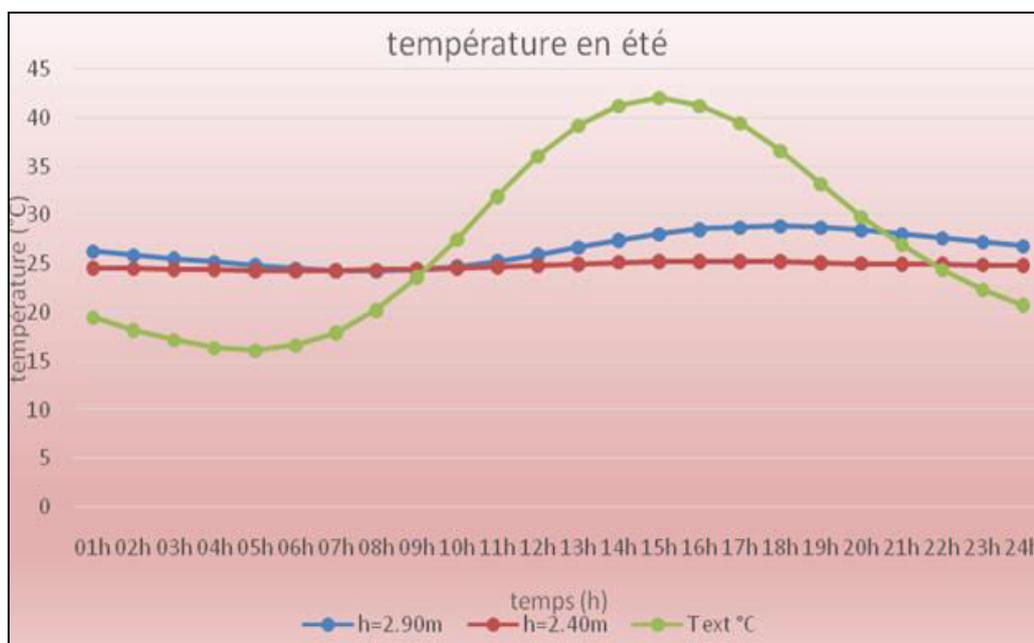
D'après la figure (IV-19) la différence du débit entre les deux cas est presque négligeable et elle dépasse  $1m^3/h$  de 02h à 04h (le débit en cas de  $h=2.40m$  est supérieur du cas où  $h=2.90m$ ).

Au début de la nuit le volume d'air dépasse  $182m^3/h$ , et il commence à diminuer et arrive à  $66m^3/h$  à 07h et 08h du matin.



**Figure IV-19 :** Comparaison entre les débits d’air intérieurs dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne. **Source :**( Auteur)

En observant le graphe présenté dans la figure (IV-20), la matinée on voit que la différence est presque négligeable où elle ne dépasse pas 0.5°C de 5h à 11h, alors qu’à partir de l’après-midi la différence commence à augmenter et elle arrive jusqu’à 3.65°C à 18h, où la température dans le cas de h=2.90m est supérieure à celle du h=2.40m.



**Figure IV-20 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne. **Source :**( Auteur)

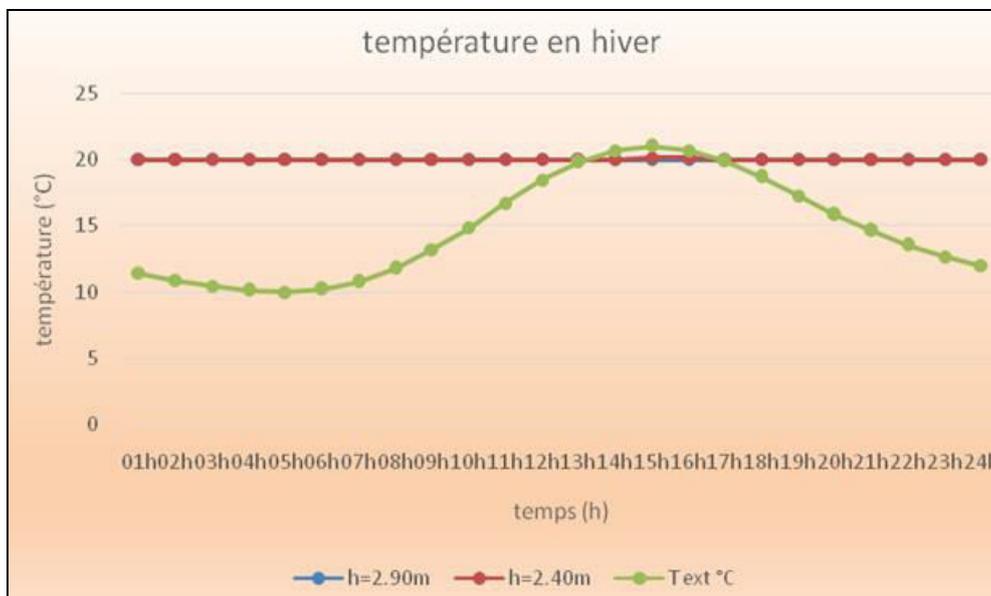
D'après les résultats obtenus dans ces deux graphes on peut considérer que le cas optimale est celui où  $h=2.40m$  puisque il nous offre une température plus favorable en été et en hiver aussi.

#### 4-1-2-Système actif :

Après l'ajout d'un système actif, la température de confort [20°C-25°C] en été et en hiver, et on teste l'énergie consommée dans les différents cas étudiés.

##### a- Cas d'hiver : 1<sup>er</sup> Janvier : système de chauffage

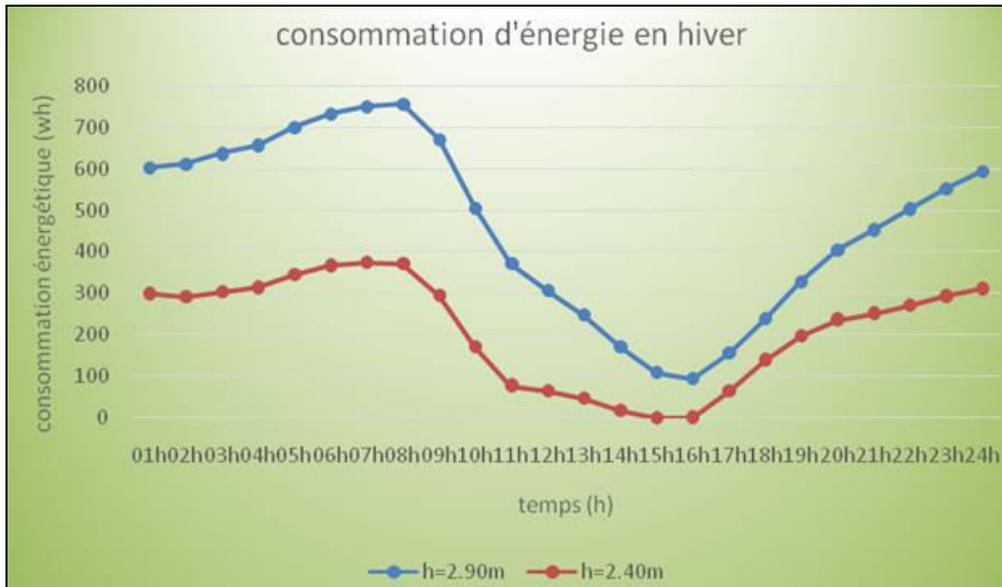
En observant la figure (IV-21), la température souhaitée est atteinte pour les 24 heures du jour pour les deux cas testés où on remarque que les deux courbes sont superposées.



**Figure IV-21 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage. **Source :** (Auteur)

Le graphe présenté dans la figure (IV-22), présente la consommation énergétique du système de chauffage dans les deux cas étudiés ( $h=2.90m$ ,  $h=2.40m$ ) afin d'arriver à la température du confort 20°C.

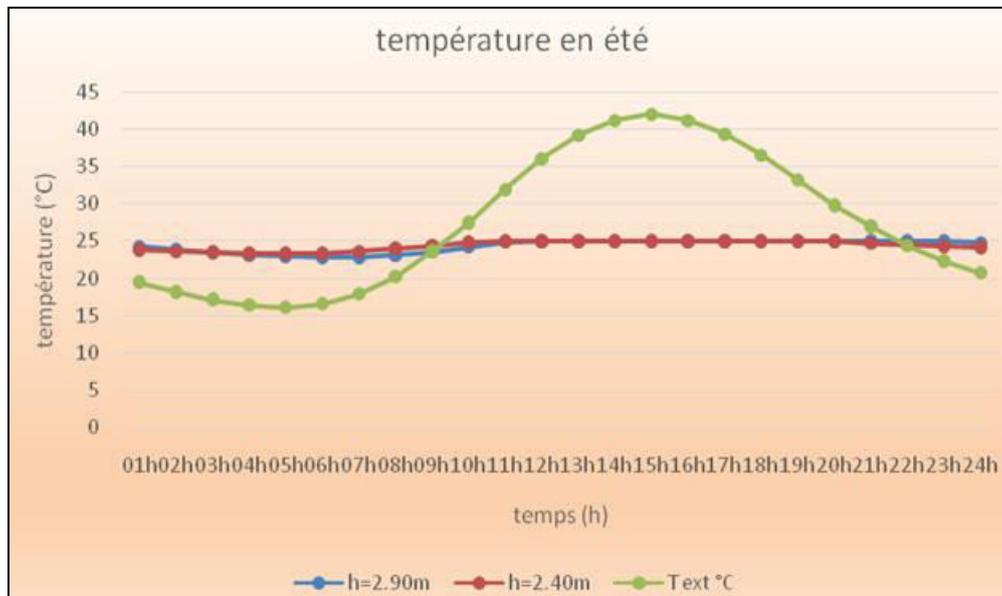
On remarque que la consommation énergétique dans le cas de  $h=2.90m$  est plus élevée que la consommation dans le cas où  $h=2.40m$ , et la différence est grande surtout dans la nuit et la matinée où elle arrive à 384 w/h à 8h du matin.



**Figure IV-22 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage. **Source :** (Auteur)

#### b- Cas d'été : 1er Juillet : système de climatisation

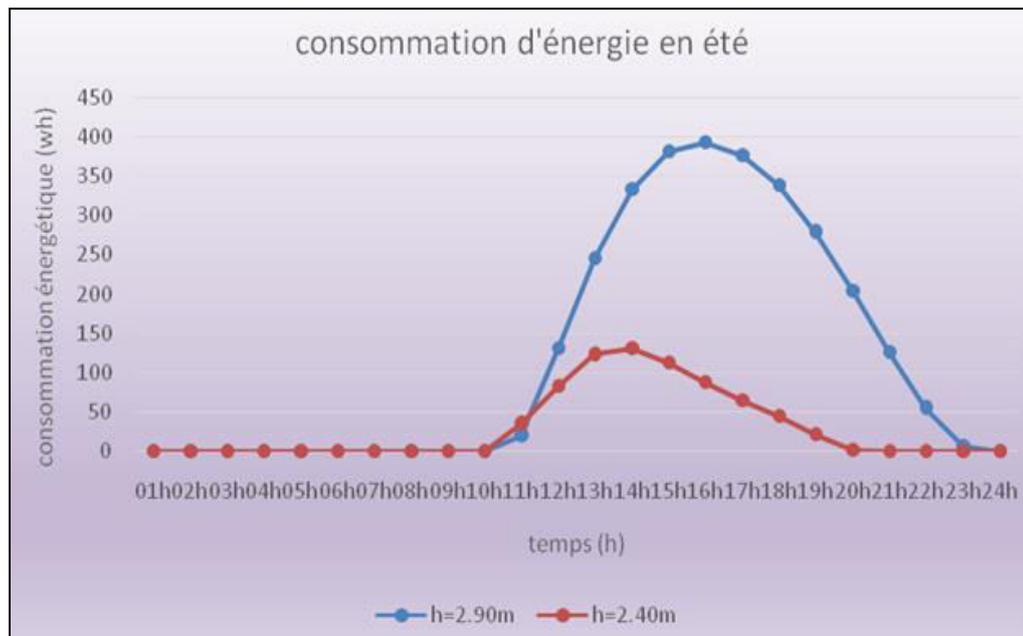
En voyant le graphe présenté dans la figure (IV-23), on remarque que la température des deux cas se fixe dans l'intervalle [20-25°C] (la plage du confort, de 12h à 22h elle se fixe à 25°C et à partir de 23h jusqu'à 11h la température est entre 23 et 24°C pour les deux cas.



**Figure IV-23 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec système de climatisation. **Source :** (Auteur)

Dans la figure (IV-24), on observe bien que l'énergie consommée dans le système de climatisation utilisée afin d'arriver à la température confortable est élevée dans le cas existant où  $h=2.90\text{m}$  par rapport à celle consommée dans la chambre proposée où  $h=2.40\text{m}$  et la différence arrive jusqu'à  $312\text{w/h}$  à 17h.

On remarque aussi que la consommation dans  $h=2.90\text{m}$  dure de 11h à 23h alors que dans  $h=2.40\text{m}$  elle dure de 11h à 20h.



**Figure IV-24 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en été, avec système de climatisation. **Source :** (Auteur)

D'après les simulations faites à propos de la température et la consommation énergétique dans les deux saisons (été, hiver), on constate que la hauteur proposée  $h=2.40\text{m}$  est la plus optimale.

#### 4-2- Le 2<sup>e</sup> scénario : l'orientation de l'espace

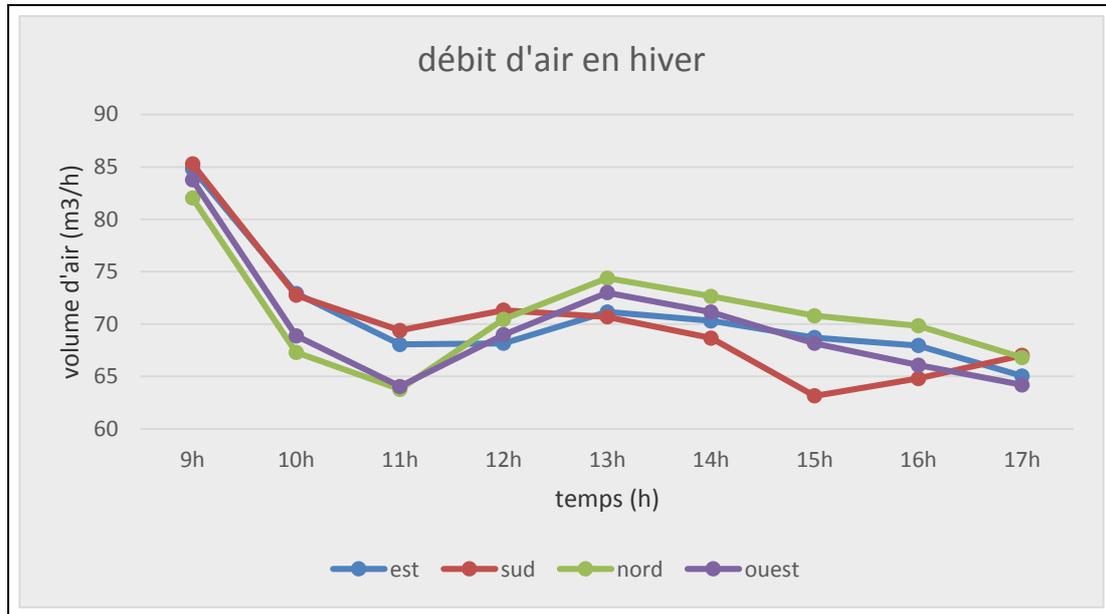
Afin de vérifier ce paramètre, on va étudier les quatre orientations principales (Nord, Est, Ouest et Sud) avec les mêmes paramètres du cas conclue comme favorable où  $h=240\text{m}$ .

##### 4-2-1- Ventilation naturelle

###### a- Cas d'hiver : 1<sup>er</sup> Janvier : ventilation diurne

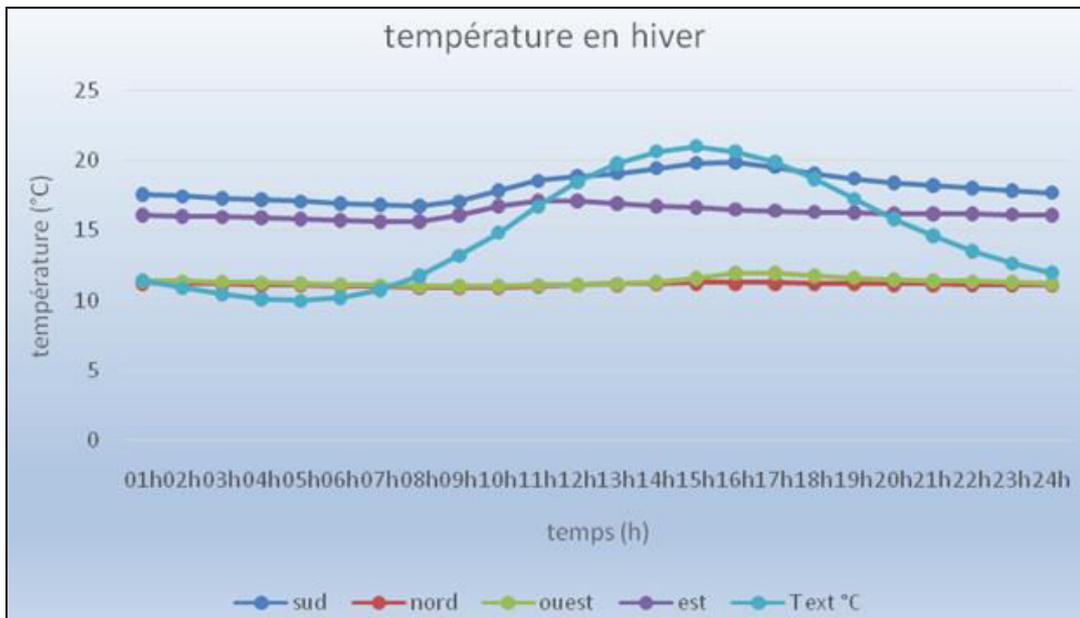
En observant la figure (IV-25), on remarque que le débit de chaque orientation suit une courbure différente de l'autre, où on voit que le débit est au maximum à 09h du matin pour les quatre orientations étudiées où l'orientation sud dépasse  $85\text{m}^3/\text{h}$ .

Dans la matinée de 09h à 12h l'orientation sud offre un débit d'air supérieur des autres cas ce qui augmente la température dès les premières heures, alors qu'il est inférieur dans l'après-midi de 13h à 17h.



**Figure IV-25 :** Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les quatre cas en hiver, avec ventilation diurne. **Source :**( Auteur)

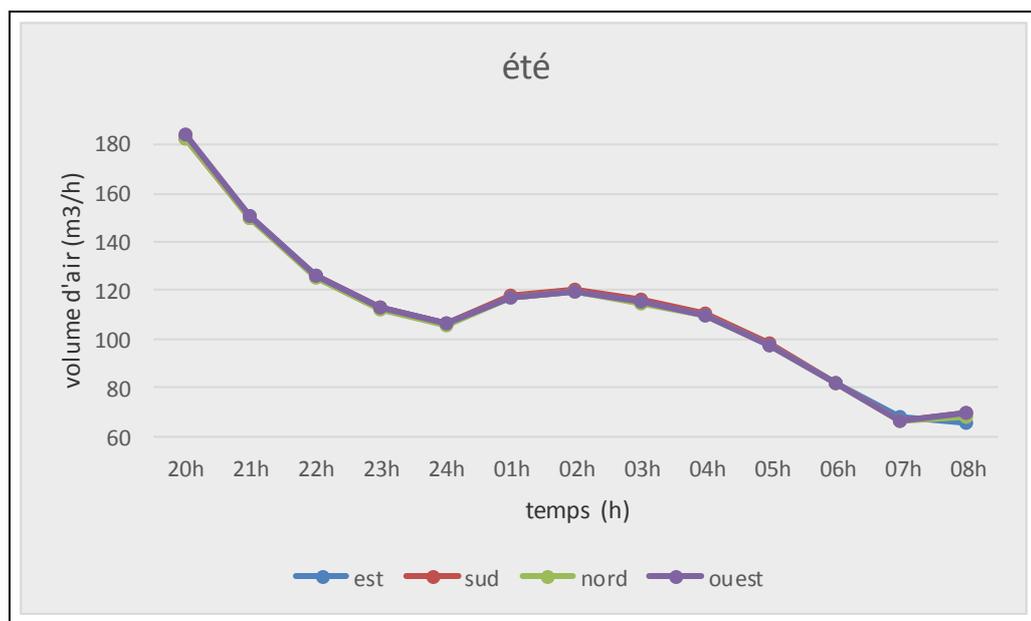
La figure (IV-26) représente les variations de la température intérieure de la chambre pour les quatre cas étudiés, on remarque que les températures dans la chambre orientée Ouest et Nord on a une différence négligeable mis à part dans l'après-midi où elle arrive à 1°C à 17h, mais en les comparant avec le cas d'Est et de Sud la différence est bien claire et grande où elle dépasse 6°C à midi (12h et 11h) entre le Nord et l'Est, et 8°C entre Nord et Sud en après-midi de 13h à 18h.



**Figure IV-26 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en hiver, avec ventilation diurne. **Source :**( Auteur)

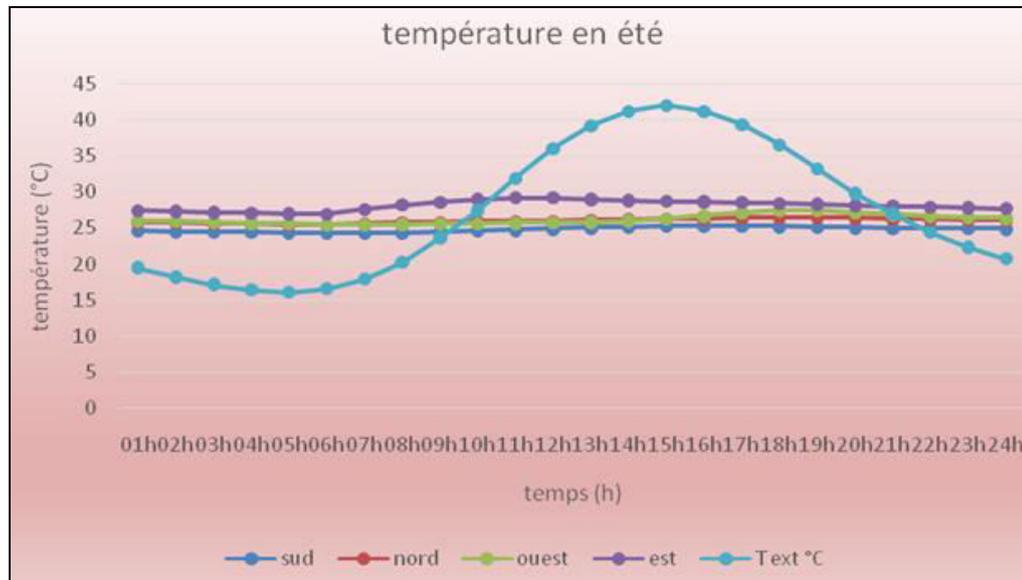
**b- Cas d'été : 1<sup>er</sup> Juillet : ventilation nocturne**

D'après la figure (IV-27) la différence du débit entre les différents cas est presque négligeable. Au début de la nuit le volume d'air dépasse 183m<sup>3</sup>/h, et il commence à diminuer et arrive à 65m<sup>3</sup>/h pour l'Est et 69m<sup>3</sup>/h pour les autres cas à 8h du matin.



**Figure IV-27 :** Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les quatre cas en été, avec ventilation nocturne. **Source :**( Auteur)

D'après les courbes représentées dans la figure (IV-28), la température dans le cas orienté Est est la plus élevée par rapport au trois autres cas, et au cas orienté Sud la température est plus basse que les autres où la différence entre l'Est et le Sud arrive à 4.5°C.



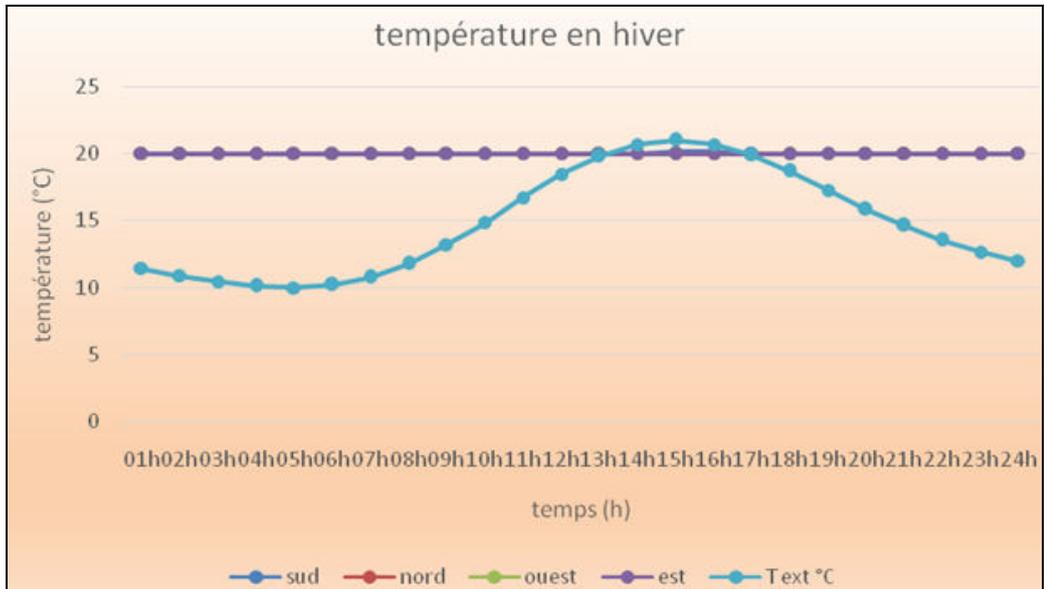
**Figure IV-28 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en été, avec ventilation nocturne. **Source :**( Auteur)

D'après cette vérification, on constate que la température en cas de chambre orientée Sud est la plus favorable.

#### 4-2-2- Système actif :

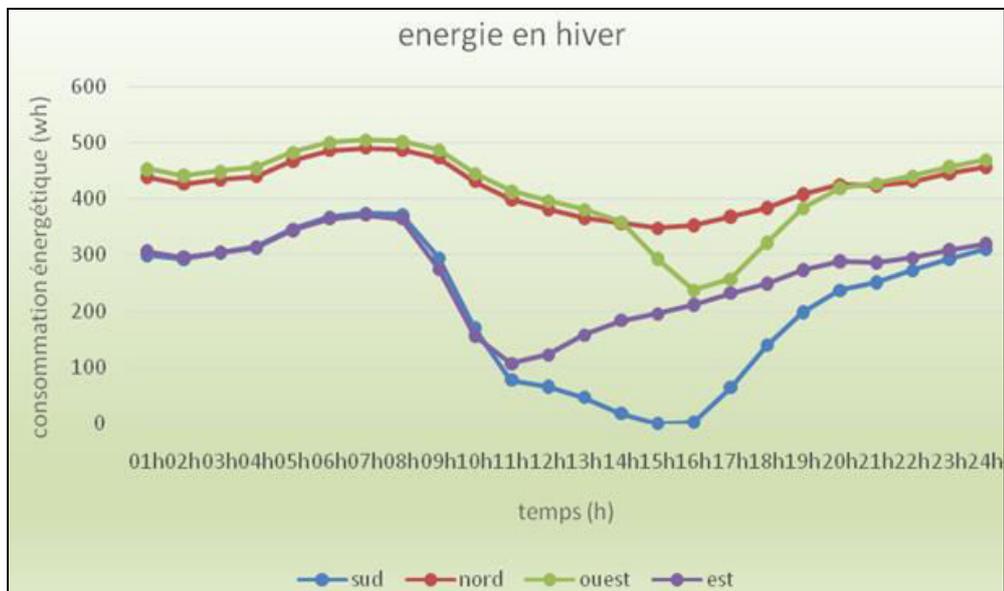
##### a- Cas d'hiver : 1<sup>er</sup> Janvier : système de chauffage

En observant la figure (IV-29), la température souhaitée a été vérifiée après l'ajout d'un système de chauffage pour les quatre cas simulés.



**Figure IV-29 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en hiver, avec système de chauffage. **Source :** (Auteur)

La figure (IV-30), représente la consommation énergétique du système de chauffage pour chaque cas étudié, l'énergie consommée en Nord est la plus élevée alors qu'en la comparant avec la consommation dans le cas orienté sud où elle est plus basse que les autres cas, la différence dépasse 350w/h à 16h.

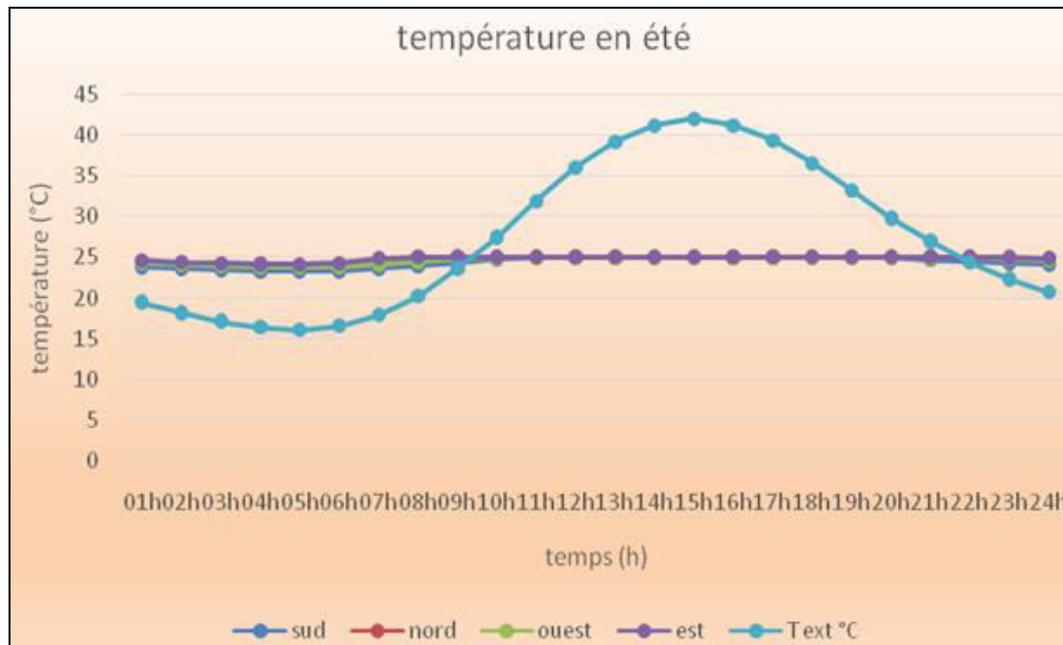


**Figure IV-30 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les quatre cas en hiver, avec système de chauffage. **Source :** (Auteur)

D'après ça, on peut considérer qu'en cas d'hiver l'orientation favorable est l'orientation sud.

### b- Cas d'été : 1<sup>er</sup> Juillet : système de climatisation

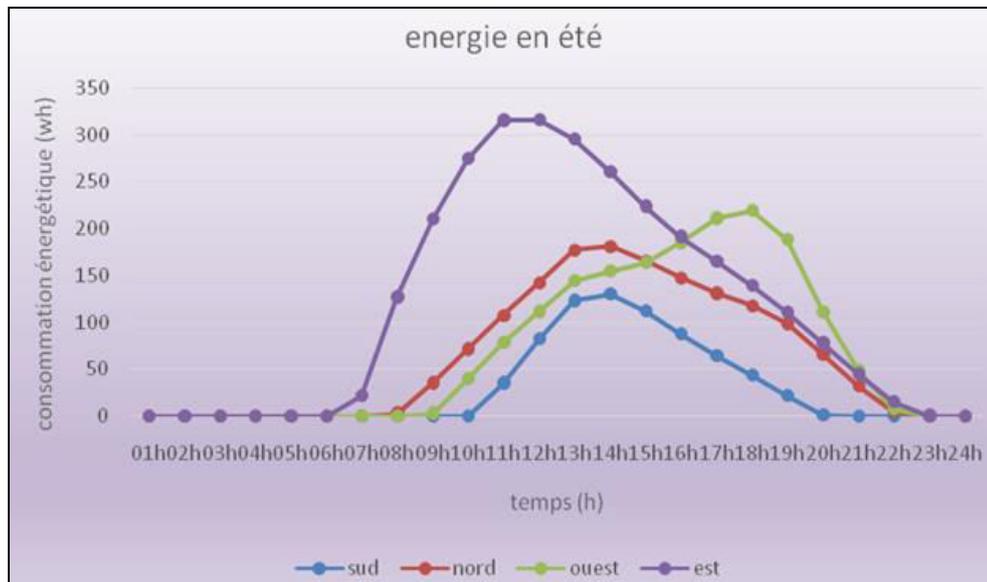
Avec le système de climatisation utilisé, on est arrivé à avoir la température voulue dans les quatre cas de notre essai où elle varie entre [23-25°C] et c'est la plage satisfaisante.



**Figure IV-31 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les quatre cas en été, avec système de climatisation. **Source :** (Auteur)

Dans la figure (IV-32), on voit qu'il y a une variation bien claire entre chaque cas, le cas orienté Est se caractérise par la consommation la plus élevée et elle arrive à son apogée dans la période matinale (où la chambre est exposée au soleil). Alors que le cas orienté Ouest arrive à son sommet dans la période d'après-midi (où l'espace est ensoleillé), et on voit que le cas orienté Sud est le cas qui consomme moins d'énergie en le comparant aux autres cas et la différence entre l'énergie consommée en Est et celle consommée au Sud dépasse 280w/h à 11h du matin.

La différence remarquée est non seulement dans le débit énergétique mais aussi dans l'horaire où la climatisation est activée, dans le cas Est la climatisation est activée de 7h à 23h alors que dans le cas orienté sud elle est activée de 11h à 20h.

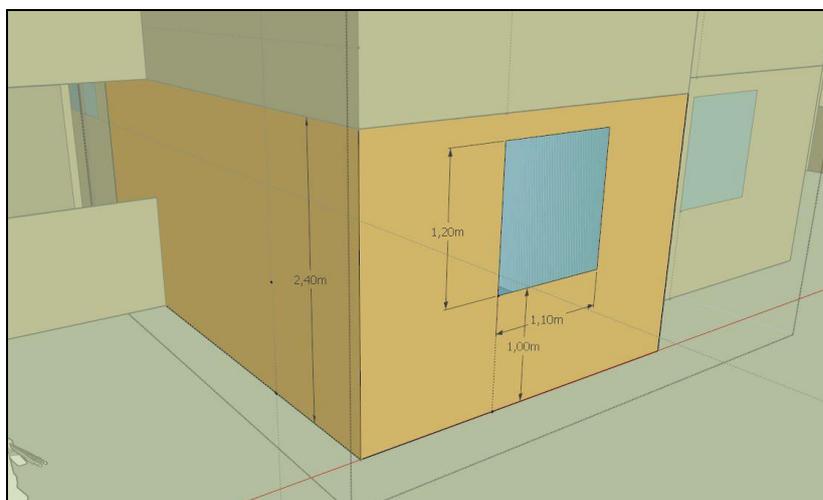


**Figure IV-32 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les quatre cas en été, avec système de climatisation. **Source :**( Auteur)

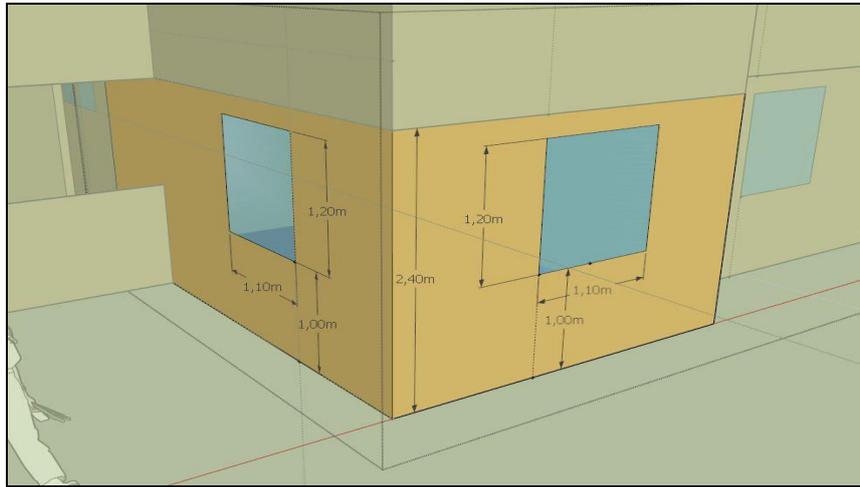
D'après cette étude faite sur les différentes orientations, on constate que l'orientation sud est la plus favorable en hiver et en été afin d'avoir un bon confort thermique tout en assurant une consommation énergétique réduite.

#### 4-3- Le 3<sup>e</sup> scénario : le nombre des fenêtres

Parmi les paramètres principaux de la fenêtre est le nombre, et il joue un rôle important sur l'enveloppe et ses caractéristiques thermiques. Afin de savoir son influence sur la ventilation naturelle et sur la consommation énergétique, on va vérifier deux cas avec la même hauteur sous-plafond  $h=2.40m$ , le premier cas possède une seule fenêtre et le deuxième deux fenêtres.



**Figure IV-33 :** Cas d'une seule fenêtre, modélisé par Sketchup2016. **Source :**( Auteur)

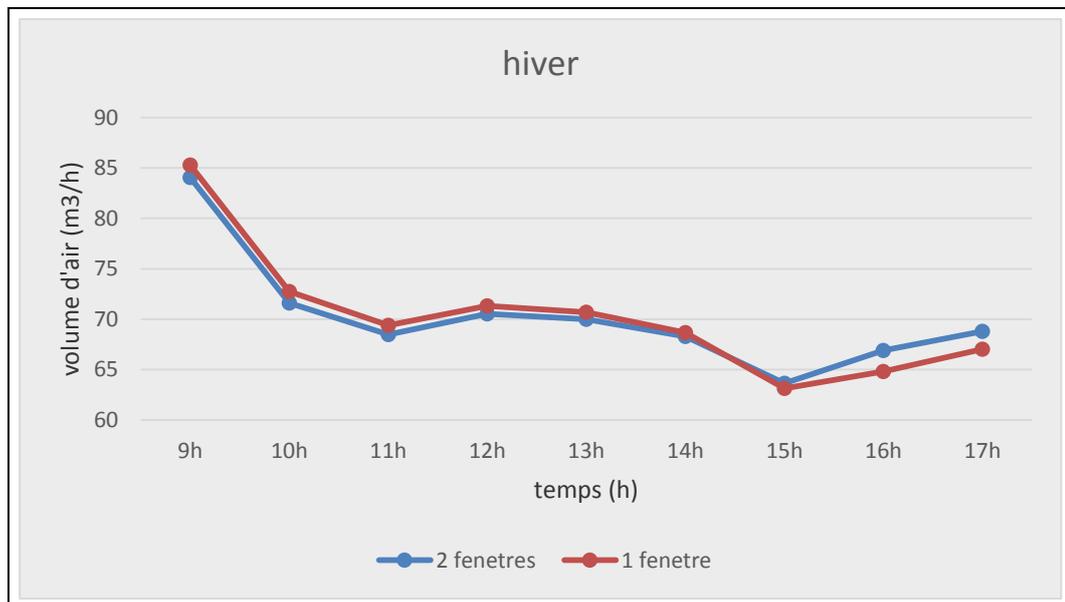


**Figure IV-34 :** Cas de deux fenêtres, modélisé par Sketchup2016. **Source :** (Auteur)

#### 4-3-1-Ventilation naturelle

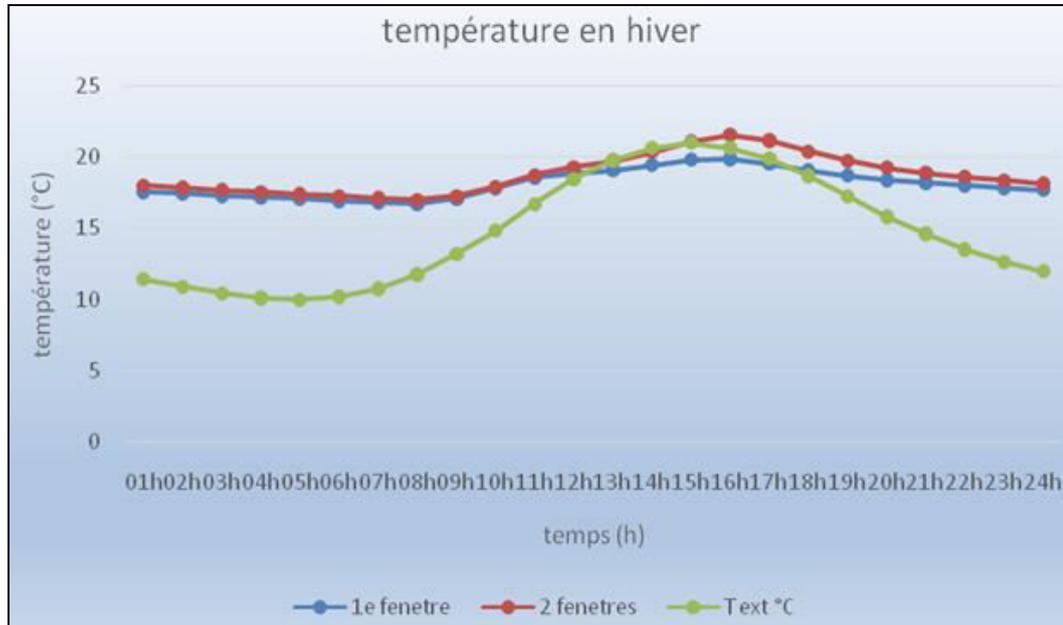
##### a- Cas d'hiver : 1<sup>er</sup> Janvier : ventilation diurne

D'après la figure (IV-35), le débit dans le cas d'une seule fenêtre dépasse celui du cas de deux fenêtres de 09h à 14h où la différence dépasse 1.20m<sup>3</sup>/h, et à partir de 15h le débit maximale est celui du cas de deux fenêtres où la différence dépasse 2m<sup>3</sup>/h.



**Figure IV-35 :** Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne. **Source :** (Auteur)

D'après la figure (IV-36), on remarque que la variation de la température intérieure est un peu rapprochée en comparant les deux cas étudiés, mis à part la différence surtout en période d'après-midi où elle dépasse 1°C entre 14h et 19h.



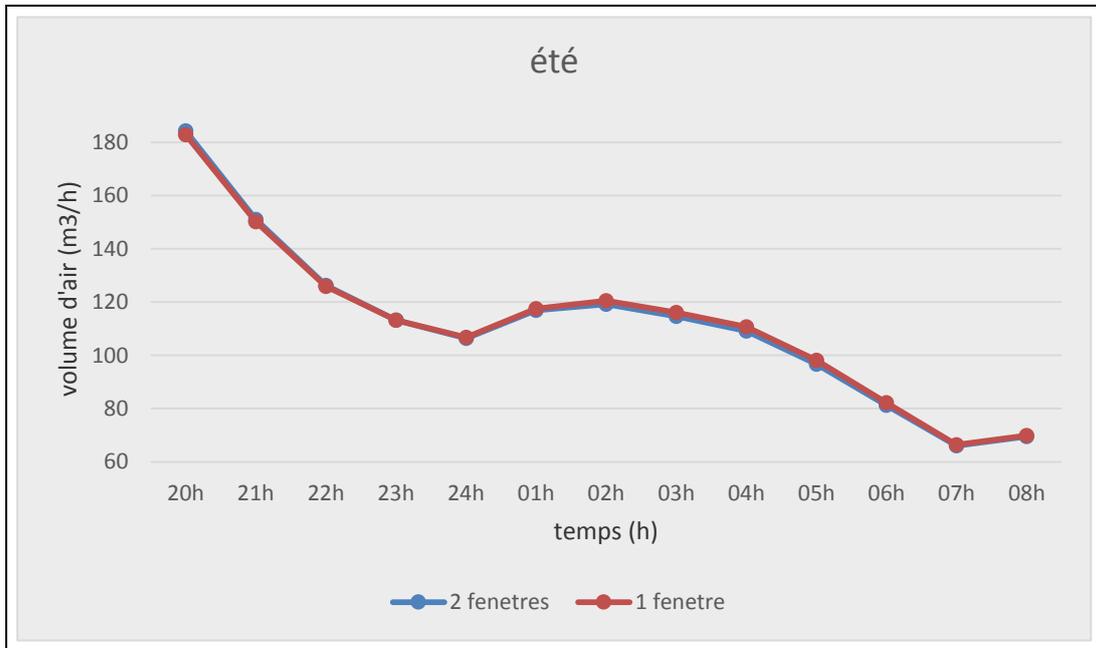
**Figure IV-36 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec ventilation diurne. **Source :**( Auteur)

Donc on voit qu'en hiver le cas de deux fenêtres offre une température un peu plus élevée que celle du cas d'une seule fenêtre.

**b-Cas d'été : 1<sup>er</sup> Juillet : ventilation nocturne**

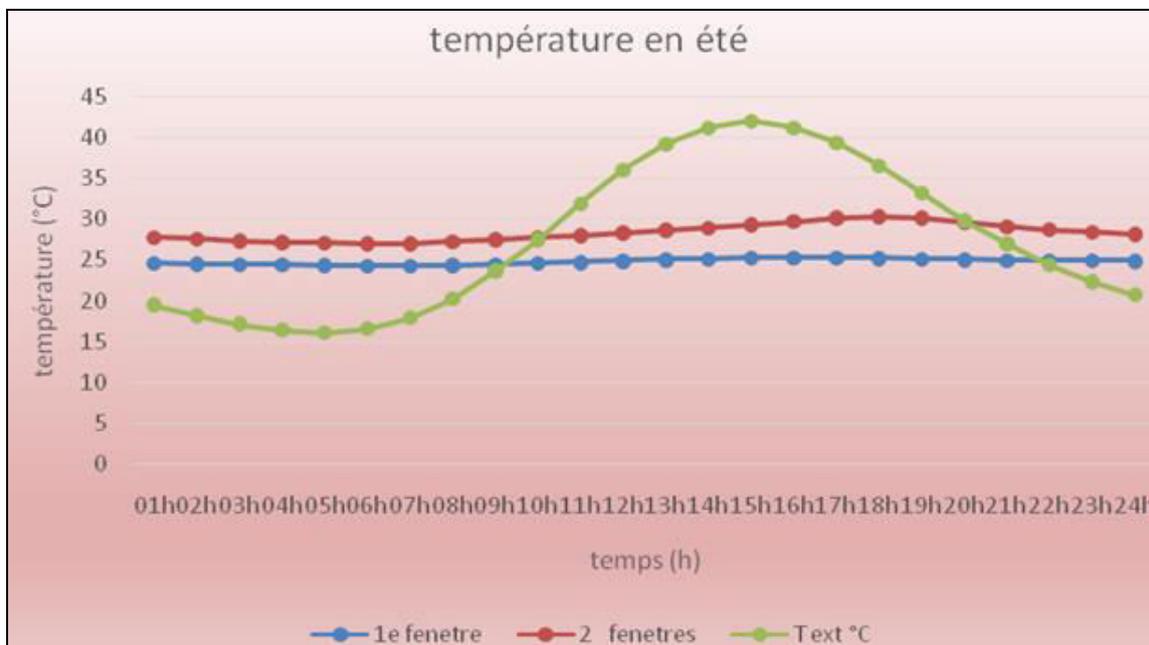
D'après la figure (IV-37) la différence du débit entre les deux cas arrive jusqu'à 1.5m<sup>3</sup>/h à 20h et de 02h à 05h alors que dans le reste de la nuit elle est presque négligeable.

Au début de la nuit le volume d'air dépasse 182m<sup>3</sup>/h pour le cas d'une seule fenêtre et 184m<sup>3</sup>/h en cas de deux fenêtres, et il commence à diminuer et arrive à 69m<sup>3</sup>/h dans les deux cas à 8h du matin.



**Figure IV-37 :** Comparaison entre les débits d’air intérieurs dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne. **Source :**( Auteur)

En observant la figure (IV-38), on remarque que la variation des températures dans les deux cas se caractérise par une grande différence durant toutes les 24 heures où elle dépasse 5°C à 18h.



**Figure IV-38 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec ventilation nocturne. **Source :**( Auteur)

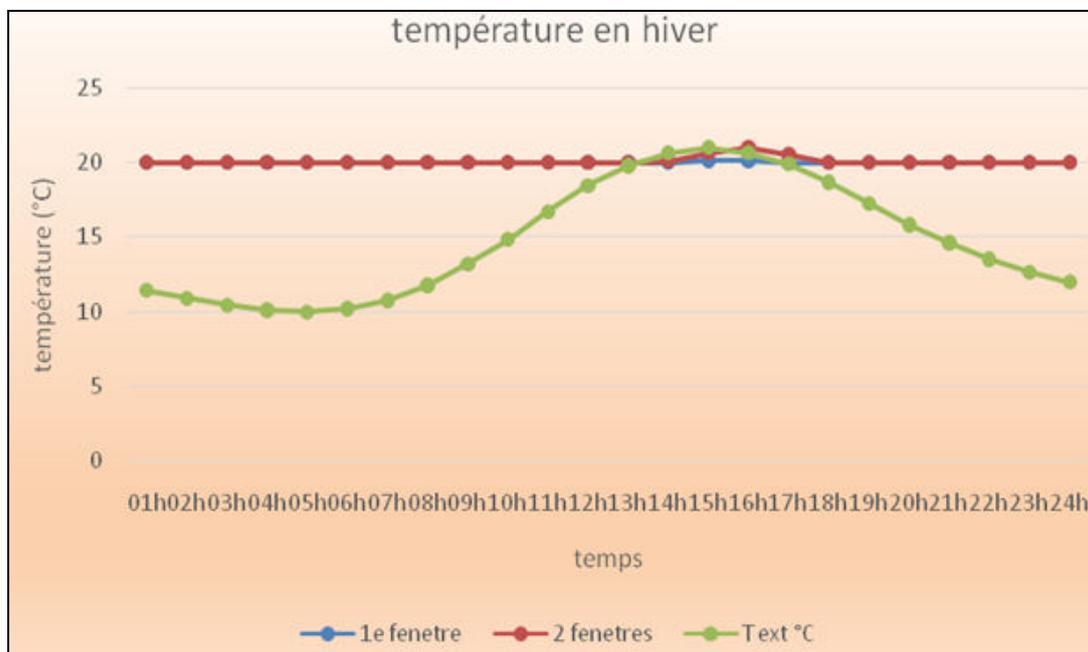
Donc en été le cas le plus favorable est le cas d'une seule fenêtre et cette grande différence nous mène à négliger celle différence qui n'arrive qu'à 1°C.

Pour cela, on peut dire que le cas d'une seule fenêtre est le cas optimal pour notre chambre.

#### 4-3-2- Système actif

##### a- Cas d'hiver : 1<sup>er</sup> Janvier : système de chauffage

D'après le graphe représenté dans la figure (IV-39) qui représente la variation de température pour les deux cas étudiés en utilisant un système de chauffage, on voit que la température se stabilise dans 20°C est c'est la température satisfaisante.

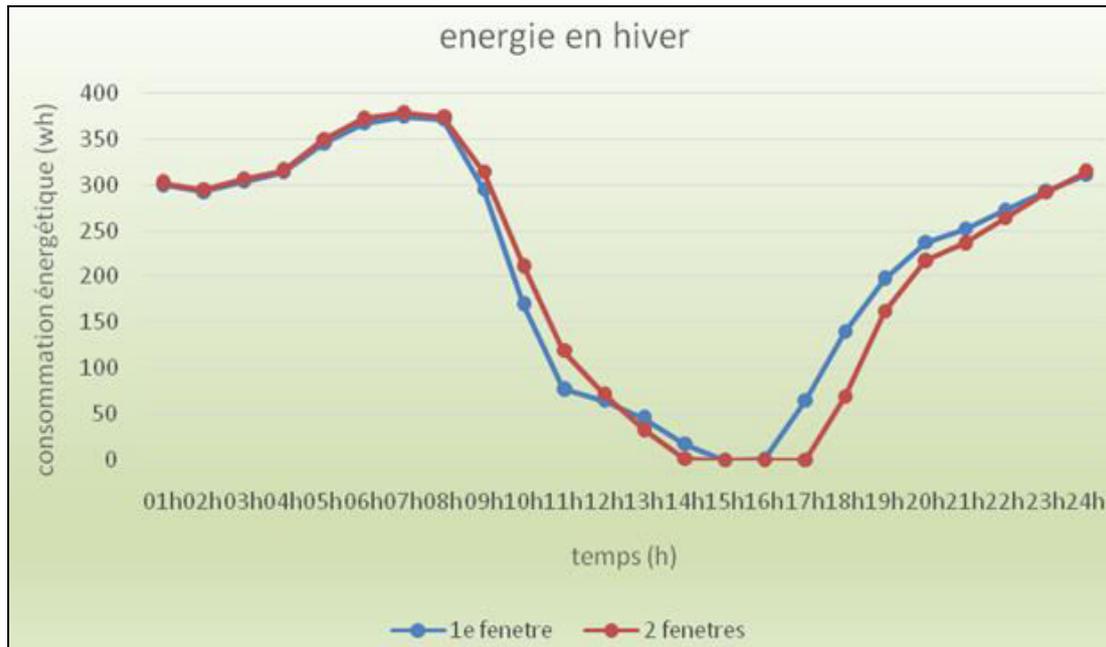


**Figure IV-39 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage. **Source :** (Auteur)

La figure (IV-40) représente la consommation énergétique de chauffage et le nombre d'heures où le chauffage est activé afin d'arriver à la température voulue, on voit que le chauffage est désactivé de 15h à 16h dans le cas d'une seule fenêtre et de 14 à 17h dans le cas qui possède deux fenêtres.

On remarque aussi que la consommation pendant la nuit est presque la même et la différence se voit dans la période matinale et en après-midi. Durant la matinée la consommation énergétique du cas de deux fenêtres est plus élevée que celle d'une seule

fenêtre et la différence dépasse 42w/h, alors qu'en après-midi la consommation s'élève pour le cas d'une seule fenêtre et dépasse celle de l'autre cas et la différence arrive jusqu'à 70w/h.

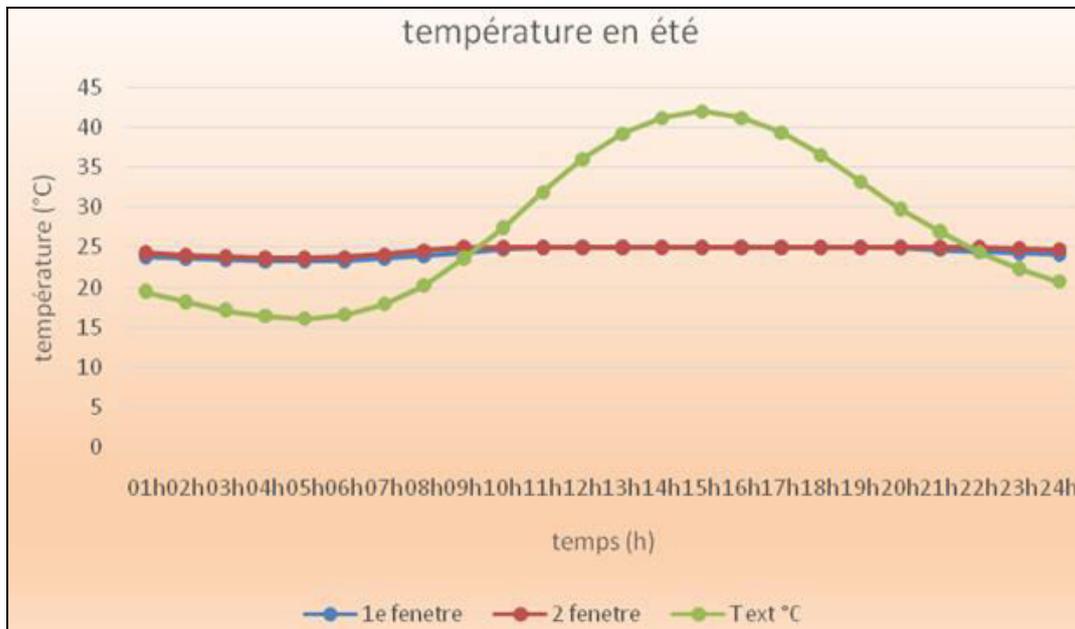


**Figure IV-40 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en hiver, avec système de chauffage. **Source :** (Auteur)

Donc, on peut dire que la consommation est presque rapprochée pour les deux cas et on doit vérifier la saison d'été afin d'arriver à une synthèse à propos de ce paramètre.

#### **b- Cas d'été : 1<sup>er</sup> Juillet : système de climatisation**

En observant la variation thermique des deux cas étudiés après l'utilisation d'un système de climatisation dans la figure (IV-41), on remarque que la température varie dans l'intervalle de [24-25°C] pour les deux cas.

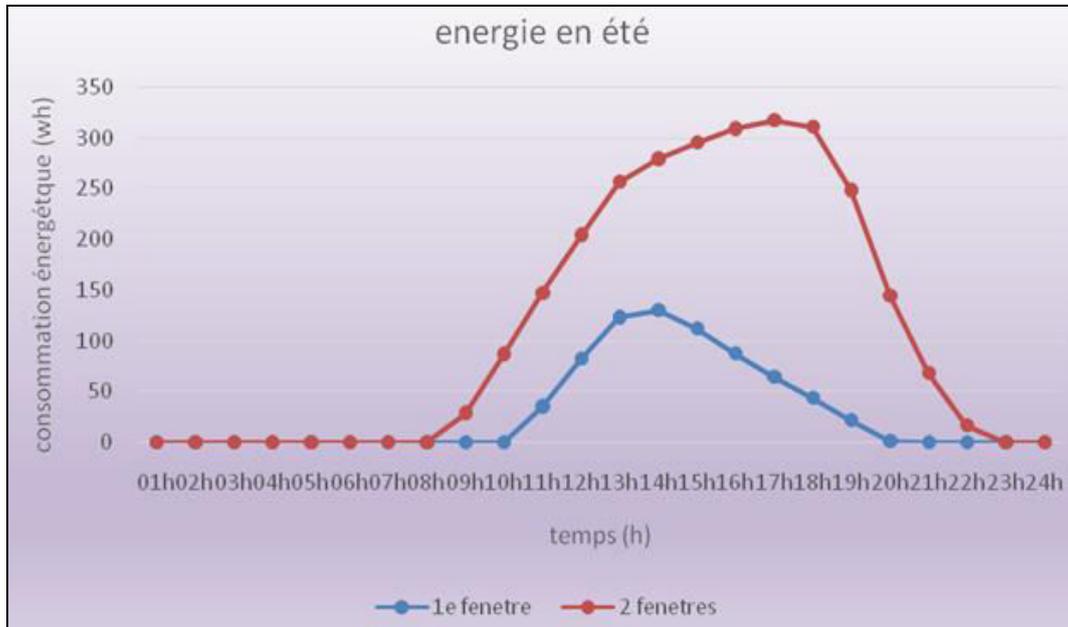


**Figure IV-41 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les deux cas en été, avec système de climatisation. **Source :**( Auteur)

Le graphe représenté dans la figure (IV-42) présente la consommation d'énergie utilisée dans la climatisation pour les deux cas étudiés et les heures activées.

En voyant les deux courbes, on remarque une grande différence de 8h jusqu'à 23h où la consommation du cas de 2 fenêtres est trop élevée par rapport à celle du cas d'une seule fenêtre, cette différence prend son apogée à 18h où elle arrive jusqu'à 267w/h.

Concernant les heures activées aussi dans le cas d'une seule fenêtre la climatisation est activée de 10h à 20h alors que dans le cas de deux fenêtres elle est activée de 8h à 23h c'est-à-dire 5 heures de plus



**Figure IV-42 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les deux cas en été, avec système de climatisation. **Source :**( Auteur)

D’après ces résultats obtenus, on constate que dans la saison d’été le premier cas qui possède une seule fenêtre est plus favorable que le deuxième cas, donc on peut le considérer comme le cas optimal afin d’avoir une bonne ventilation naturelle en minimisant le maximum d’énergie.

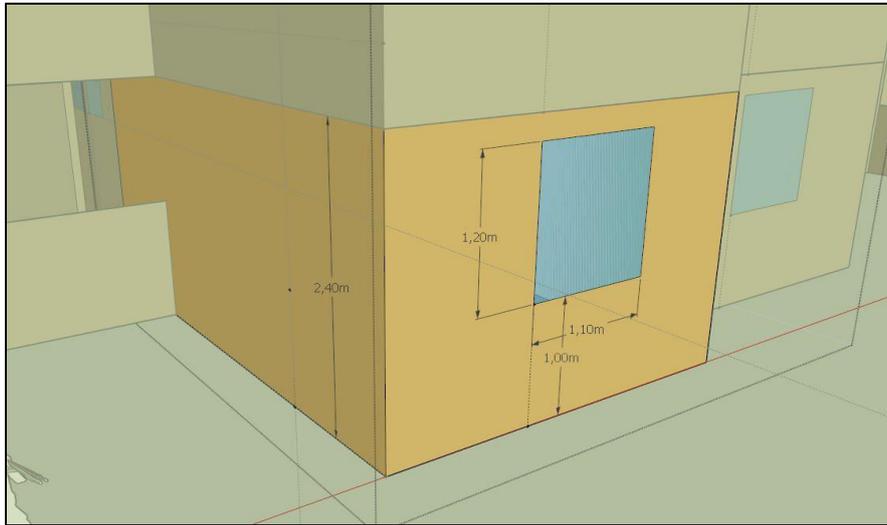
#### 4-4- Le 4<sup>e</sup> scénario : les dimensions de la fenêtre

Après la vérification de la hauteur sous-plafond, l’orientation et le nombre des fenêtres, on va vérifier les dimensions de la fenêtre et précisément la largeur de la fenêtre. En gardant une hauteur fixe qui est 1.20m, on va vérifier trois largeurs différentes.

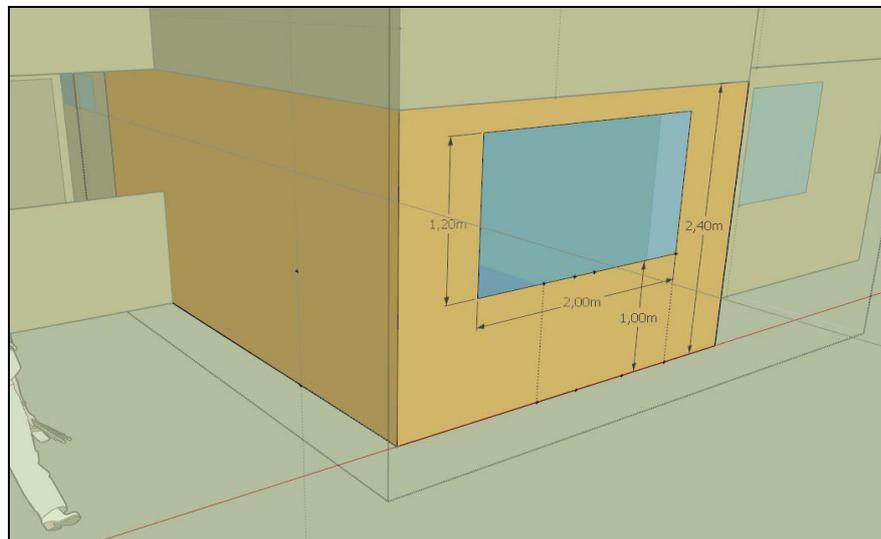
La première est celle du cas déjà existant et qui prend les dimensions réglementaires nationales où  $L=1.10m$ .

La deuxième est  $L=0.60m$ , où on a pris une largeur réduite par rapport à l’existante.

La troisième est  $L=2.00m$ , et là on a pris une largeur plus élancée que l’existante.



**Figure IV-43:** Cas d'une fenêtre moyenne, modélisé par Sketchup2016. **Source :**( Auteur)



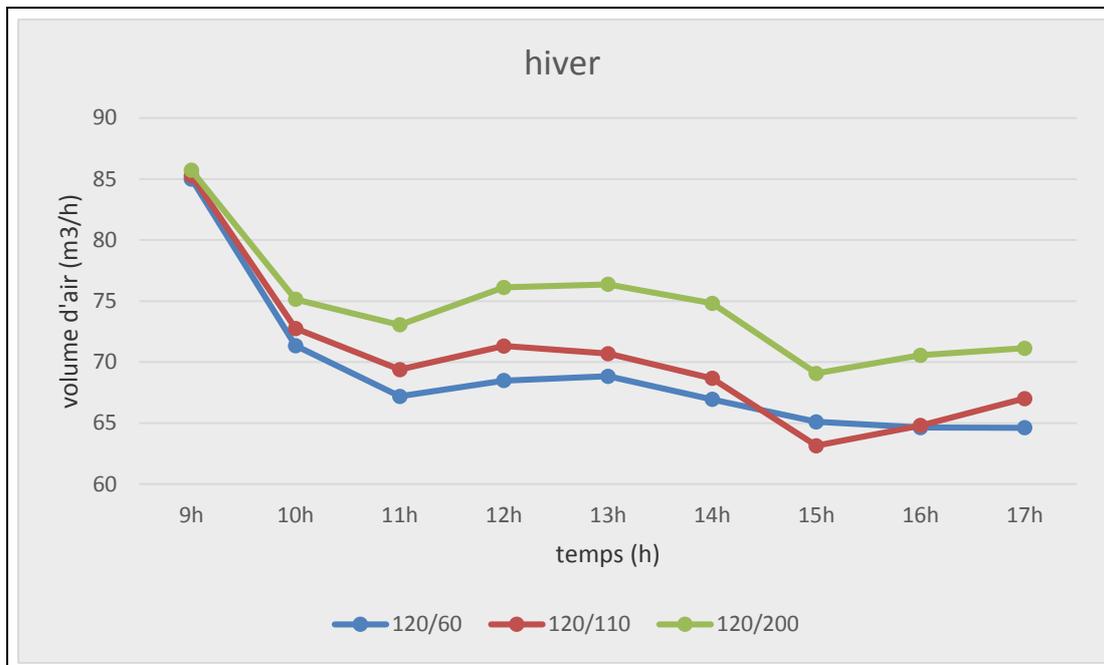
**Figure IV-44:** Cas d'une fenêtre large, modélisé par Sketchup2016. **Source :**( Auteur)

#### 4-4-1- Ventilation naturelle

##### a- Cas d'hiver : 1<sup>er</sup> Janvier : ventilation diurne

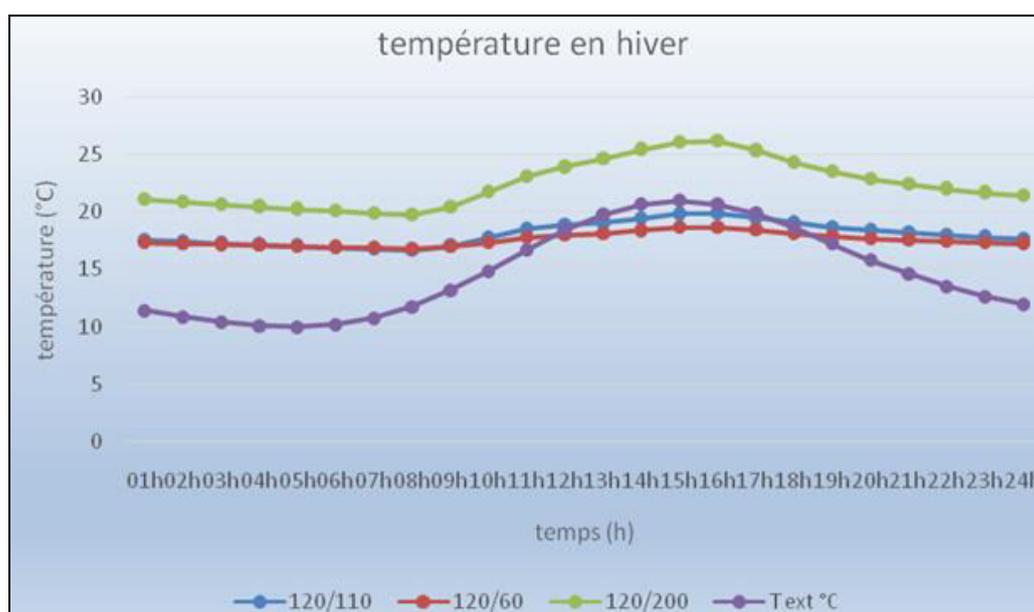
Le débit maximale pour les trois cas étudiés est enregistré à la première heure d'ouverture où il dépasse 85m<sup>3</sup>/h.

Le cas de la grande fenêtre offre un débit supérieur des autres cas durant toute la journée où la différence dépasse 6m<sup>3</sup>/h



**Figure IV-45 :** Comparaison entre les débits d’air intérieurs dans les trois cas en hiver, avec ventilation diurne. **Source :**( Auteur)

En observant le graphe représenté dans la figure (IV-46), on voit que les températures sont rapprochées pour les cas où  $L=0.60m$  et  $L=1.10m$  mis à part une différence légère en après-midi qui arrive à  $1^{\circ}C$  à 15h et 16h, alors qu’en observant la courbe du cas où  $L=2.00m$ , la température est bien élevée par rapport aux deux autres cas déjà cités et cette différence dépasse  $7^{\circ}C$ .



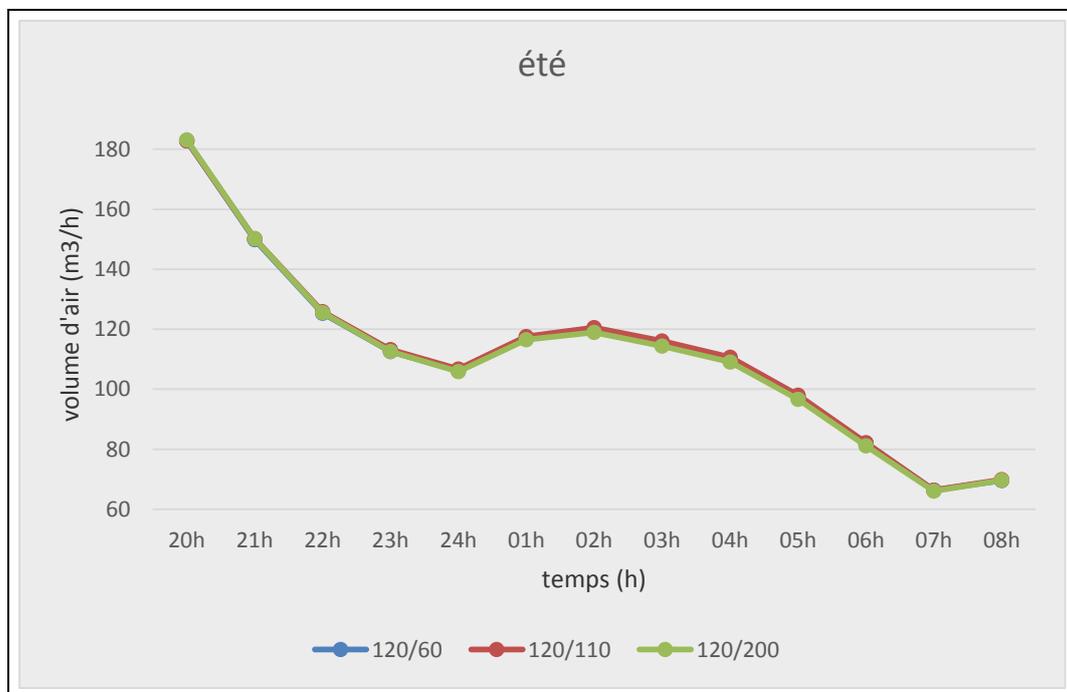
**Figure IV-46 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en hiver, avec ventilation diurne. **Source :**( Auteur)

Le cas de la grande fenêtre est le cas favorable pour la saison d'hiver afin d'avoir un maximum de débit d'air et de température.

#### b- Cas d'été : 1<sup>er</sup> Juillet : ventilation nocturne

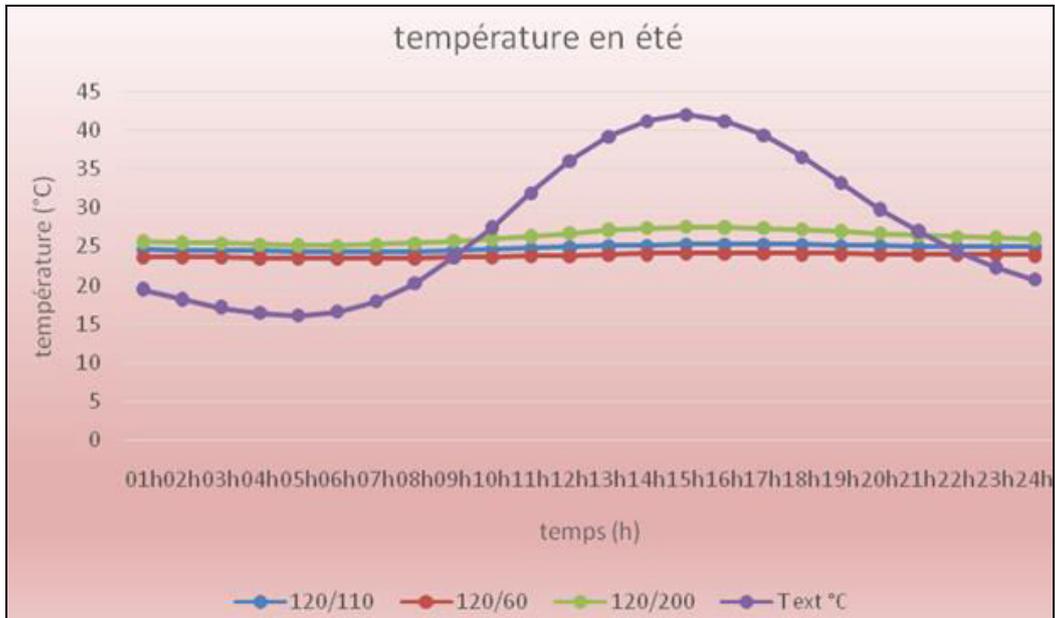
D'après la figure (IV-47) la différence du débit entre les deux cas arrive jusqu'à 1.5m<sup>3</sup>/h à 20h et de 02h à 05h où le cas de la grande fenêtre offre plus de débit que les autres cas alors que dans le reste de la nuit la différence est presque négligeable.

Au début de la nuit le volume d'air dépasse 182m<sup>3</sup>/h pour les cas d'une petite et moyenne fenêtre et 184m<sup>3</sup>/h en cas de grande fenêtre, et il commence à diminuer et arrive à 69m<sup>3</sup>/h dans les trois cas à 8h du matin.



**Figure IV-47** : Comparaison entre les débits d'air intérieurs dans les trois cas en été, avec ventilation nocturne. **Source** :( Auteur)

Dans la figure (IV-48), en comparant le cas existant avec les autres cas, on voit que la différence entre eux n'est pas vraiment grande par rapport à celle prise en hiver. On remarque que le cas de L=2.00m dépasse l'existant avec maximum 2°C.



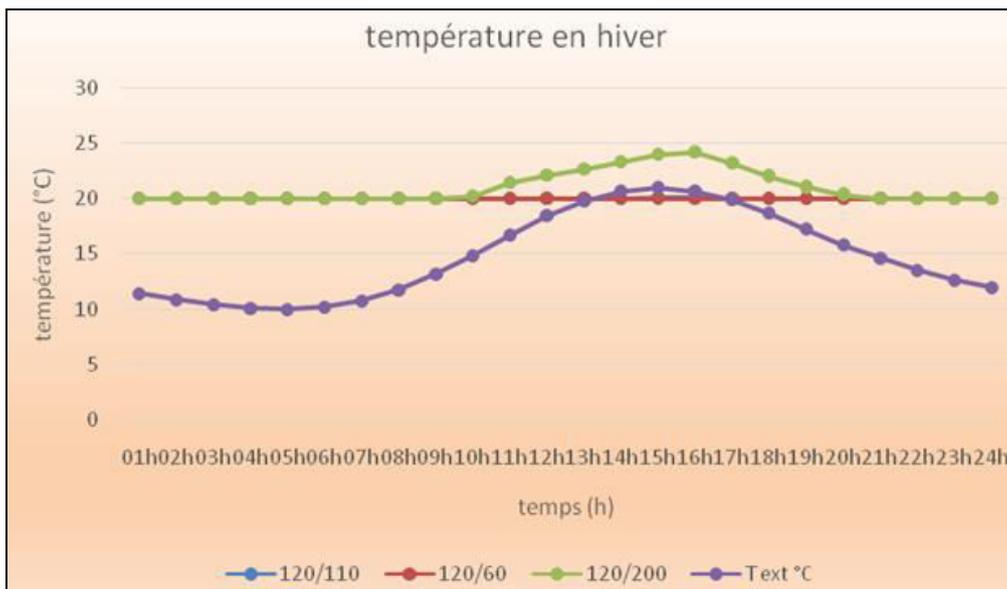
**Figure IV-48 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en été, avec ventilation nocturne. **Source :**( Auteur)

Donc le cas qui possède la largeur la plus élancée peut être considéré comme le cas le plus défavorable en été en matière de température.

#### 4-4-2- Système actif

##### a- Cas d'hiver : 1<sup>er</sup> Janvier : système de chauffage

En observant le graphe dans la figure (IV-49), on voit que les températures ne baissent sous 20°C et c'est le but souhaité, et cela est réalisé en utilisant un système de chauffage.

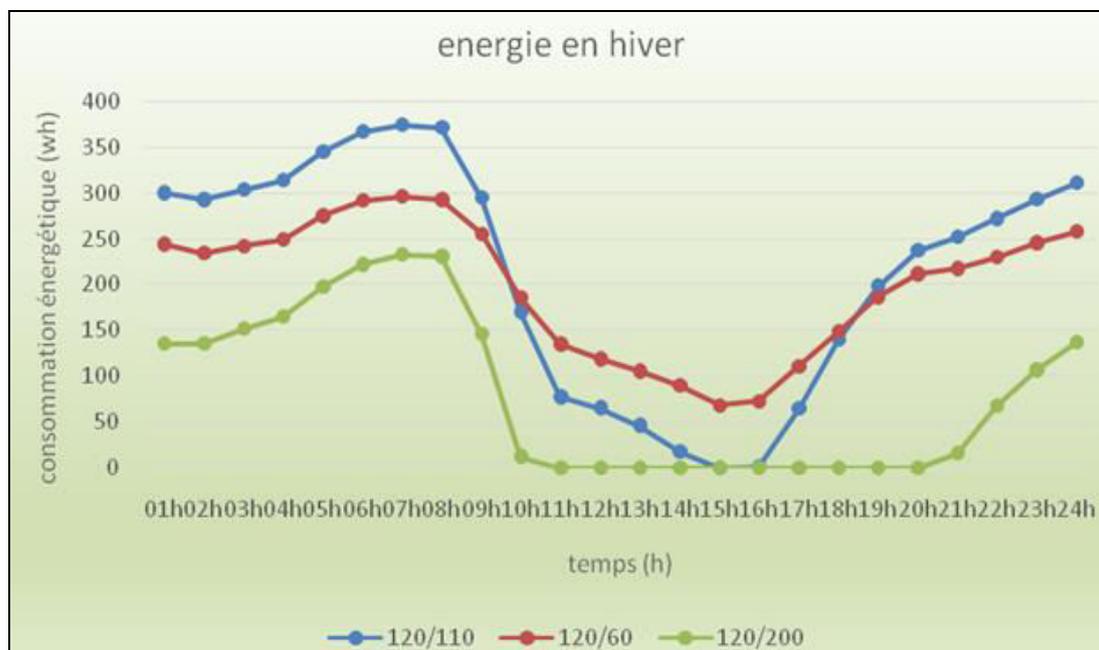


**Figure IV-49 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en hiver, avec système de chauffage. **Source :**( Auteur)

Le graphe de la figure (IV-50) représente la consommation énergétique dans les différents trois cas testés et aussi l'horaire où le chauffage est activé.

En commençant avec la comparaison des deux cas où  $L=1.10m$  et  $L=0.60m$ , on remarque un équilibre dans la consommation, de la matinée jusqu'à la fin d'après-midi le cas de  $L=0.60m$  consomme plus d'énergie, alors que dans le reste du temps la consommation la plus élevée est pour le cas où  $L=1.10m$ .

Pour le cas où  $L=2.00m$ , le chauffage est désactivé de 11h jusqu'à 20h et pour le reste du temps la consommation est inférieure par rapport aux deux autres cas

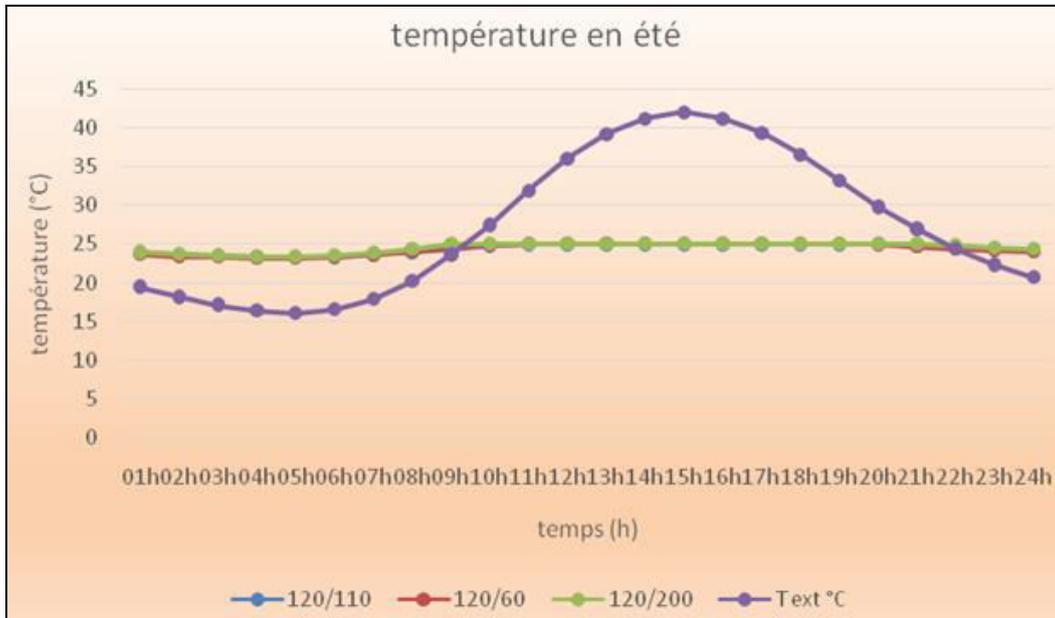


**Figure IV-50 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les trois cas en hiver, avec système de chauffage...**Source :**( Auteur)

Donc, on constate que pour la saison d'hiver le cas d'une fenêtre large offre une température plus élevée tout en minimisant la consommation de l'énergie.

#### **b- Cas d'été : 1<sup>er</sup> Juillet : système de climatisation**

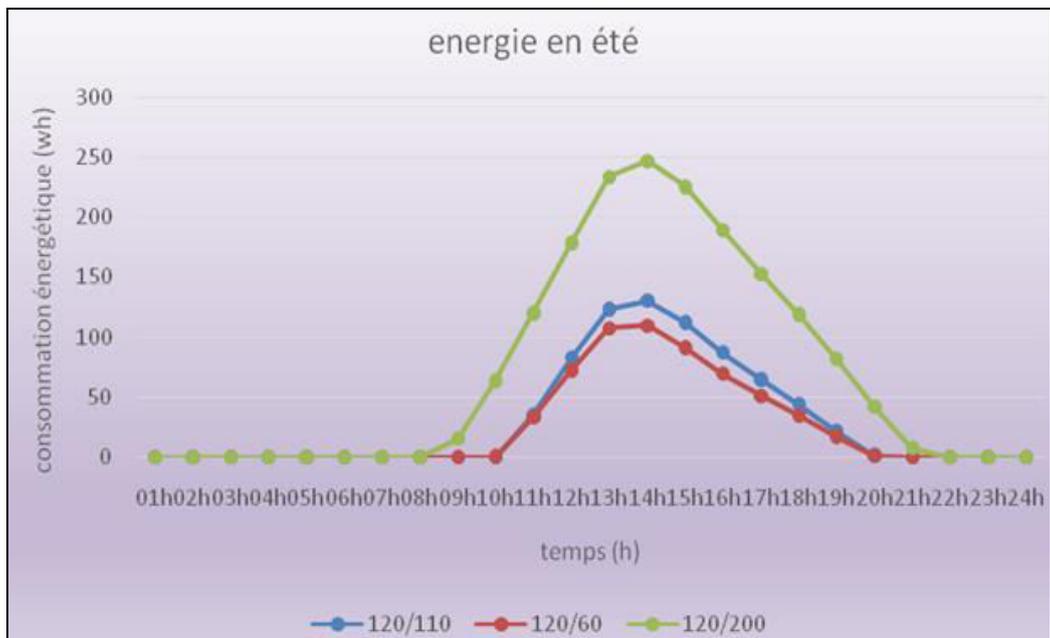
La figure (IV-51) représente le graphe de la variation thermique des trois cas testés en ajoutant le système de climatisation active, on remarque que la température ne dépasse pas  $25^{\circ}C$  pour les différents cas.



**Figure IV-51 :** Comparaison entre les températures intérieures dans les trois cas en été, avec système de climatisation. **Source :**( Auteur)

La figure (IV-52) représente la consommation énergétique de la climatisation dans les trois cas afin de garder la plage de confort thermique, on observe que le cas où  $L=2.00m$  consomme plus d'énergie que les autres cas et la différence arrive jusqu'à  $137w/h$ .

Pour l'horaire, pour les deux cas où  $L=1.10m$  et  $L=0.60m$  la climatisation est activée de 10h à 20h alors que dans le cas où  $L=2.00m$  elle est activée de 8h jusqu'à 22h.



**Figure IV-52 :** Comparaison entre les consommations énergétiques dans les trois cas en été, avec système de climatisation. **Source :**( Auteur)

Donc, on peut dire que le cas de la chambre qui possède une fenêtre de largeur  $L=2.00\text{m}$  est le défavorable pour la saison d'été.

## **5- Etude économique de la consommation d'énergies dans la période de chauffage et la période de climatisation :**

Dans le but d'étudier le côté économique pour les deux hauteurs simulées, on va calculer la consommation pour les deux saisons de chauffage et de climatisation et comparer les résultats.

### **5-1- La période hivernale (utilisation de chauffage) :**

Supposons que le chauffage est activé pour (Décembre, Janvier et Février) donc le nombre de mois de la saison de climatisation est  $N=3$ .

#### **5-1-1- cas de la hauteur sous plafond $H=2.90\text{m}$**

En calculant la consommation moyenne journalière d'après les résultats obtenus on trouve que  $Ch_j=11.145\text{ kwh}$ .

Donc la consommation saisonnière de chauffage est

$$Ch=N*30*Ch_j \Rightarrow Ch=3*30*11.145 \Rightarrow Ch= 1003.05\text{ kwh}.$$

#### **5-1-2- cas de la hauteur sous plafond $H=2.40\text{m}$**

En calculant la consommation moyenne journalière d'après les résultats obtenus on trouve que  $Ch_j=5.107\text{ kwh}$ .

Donc la consommation saisonnière de chauffage est

$$Ch=N*30*Ch_j \Rightarrow Ch=3*30*5.107 \Rightarrow Ch= 459.63\text{ kwh}.$$

### **5-2- La période estivale (utilisation de climatisation) :**

Supposons que la climatisation est activée pour (Juin, Juillet et Aout) donc le nombre de mois de la saison de climatisation est  $N=3$ .

#### **5-2-1- cas de la hauteur sous plafond $H=2.90\text{m}$**

En calculant la consommation moyenne journalière d'après les résultats obtenus on trouve que  $C_j=2.893\text{ kwh}$

Donc la consommation saisonnière de climatisation est

$$C=N*30*C_j \Rightarrow C=3*30*2.893 \Rightarrow C= 260.37 \text{ kwh}$$

### **5-2-2- cas de la hauteur sous plafond H=2.40m**

En calculant la consommation moyenne journalière d'après les résultats obtenus on trouve que  $C_j=0.703 \text{ kwh}$

Donc la consommation saisonnière de climatisation est

$$C=N*30*C_j \Rightarrow C=3*30*0.703 \Rightarrow C= 63.27 \text{ kwh.}$$

D'après les consommations saisonnières pour les deux hauteurs étudiées, on trouve que la différence est grande et arrive à la moitié dans le cas de  $H=2.40\text{m}$  par rapport au cas où  $H=2.90\text{m}$ .

Donc on constate que la hauteur sous plafond est plus économique en matière de consommation d'énergie non renouvelable utilisée pour les systèmes de climatisation et chauffage.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, à la première partie, nous avons présenté la ville de Laghouat choisit pour notre recherche avec ses conditions climatiques qui vont être utilisés dans notre étude numérique.

Nous avons présenté le cas d'étude choisi pour notre évaluation numérique qui est l'habitat collectif de type LSL le 152 logts, situé au M'hafir à la ville de Laghouat, en précisant l'espace chambre consacré à notre étude.

Les résultats fournis par la simulation faite dans notre étude de recherche montrent l'impact de la hauteur sous-plafond de l'espace chambre dans l'habitat collectif sur le débit d'air intérieur, la température interne et la consommation énergétique pour les deux saisons été et hiver.

Notre recherche a visé le côté thermique en faisant et le côté aéraulique et après l'évaluation numérique on a trouvé que le volume d'air et la variation de la température intérieure de l'espace chambre dépend de plusieurs paramètres à part la hauteur sous-plafond, tels que la taille et le nombre des fenêtres, l'orientation de la paroi extérieure.

Pour cela, on a essayé dans notre évaluation numérique d'étudier le phénomène principal qui est la hauteur sous-plafond en touchant les autres paramètres déjà cités afin d'avoir le maximum de contrôle sur la qualité thermique, aéraulique et énergétique de l'espace chambre.

D'après la simulation, on conclut que :

- La hauteur sous-plafond influe sur la température intérieure, une hauteur sous-plafond réduite offre une température élevée en hiver et réduite en été par rapport à la hauteur sous-plafond réglementaire algérienne.
- La hauteur sous-plafond réduite influe sur le débit d'air interne de l'espace chambre et elle offre un débit supérieur de la hauteur dans le cas existant.
- La hauteur réduite assure la réduction de la consommation énergétique que la hauteur réglementaire.
- L'orientation sud de la paroi extérieure de l'espace chambre qui prend une hauteur sous-plafond réduite est la meilleure afin d'avoir un confort thermique satisfaisant et une conservation énergétique.
- Pour une chambre à hauteur sous-plafond réduite, une seule fenêtre offre une bonne performance thermique et une consommation réduite des énergies non renouvelables.

# **Conclusion Générale**

## CONCLUSION

Notre travail nous a permis de constater que la hauteur sous-plafond a un effet remarquable et important sur le comportement aéraulique et thermique et sur la conservation des énergies non renouvelables consommées par les systèmes de climatisation et du chauffage des espaces habités et précisément la chambre. Cette influence nous a poussé à étudier d'autres facteurs secondaires afin de savoir qui s'adaptent le mieux avec la hauteur optimale retenue, et on a déduit les points suivants :

Il est maintenant clair que la hauteur sous-plafond réglementaire de l'habitat collectif en Algérie qui est  $h=2.90m$ , offre moins de confort thermique que la hauteur  $h=2.40m$ . Dans le cas de la ventilation naturelle (nocturne en été et diurne en hiver), la hauteur sous-plafond  $h=2.40m$  donne une température plus stable en hiver et en été, et elle est considérée comme plus élevée en hiver et plus basse en été et plus proche à la plage de confort que les variations de température de  $h=2.90m$ .

Dans notre problématique, la consommation énergétique a été considérée comme le problème majeur de notre étude et notre but était la conservation de l'énergie non renouvelable surtout dans le secteur résidentiel.

Notre évaluation numérique nous a mené à constater que la hauteur sous plafond réduite  $h=2.40m$  conserve mieux d'énergie par sa basse consommation par rapport à la hauteur réglementaire.

Cela nous a poussé à favoriser la hauteur sous-plafond  $h=2.40m$  pour ses atouts thermique aéraulique et énergétique et ça entre dans la quatrième cible de la démarche HQE pour la gestion d'énergie afin d'utiliser l'énergie de manière rationnelle pour contribuer à préserver l'environnement.

D'une autre part la réduction de la hauteur sous-plafond peut offrir une économie des matériaux de construction.

D'après notre étude pour l'orientation la plus adéquate pour la hauteur sous-plafond obtenue  $h=2.40$ , on peut retenir que l'orientation sud est l'orientation privilégiée pour optimiser une qualité thermique interne plus adéquate par rapport aux orientations et même la conservation de l'énergie non renouvelable est abouti d'après la consommation énergétique réduite dans le cas de l'orientation sud.

Donc afin d'avoir un gain thermique et énergétique dans l'espace chambre l'orientation sud est la plus convenable.

Parmi les éléments les plus importants dans l'enveloppe de l'espace chambre est la fenêtre, pour cela on a essayé de toucher deux principaux paramètres de la fenêtre qui sont le nombre et la taille de la fenêtre.

Le nombre propice des fenêtres dans l'espace chambre est une seule fenêtre afin d'avoir une régulation thermique et une consommation énergétique sensée.

La taille de la fenêtre est un paramètre qui influe différemment selon la saison.

En hiver la fenêtre qui possède une grande largeur est la plus favorable, en offrant un débit d'air maximale et une température plus élevée par rapport à la petite et moyenne fenêtre et elle conserve mieux d'énergie non renouvelable. En été cette large fenêtre est retenue comme la plus défavorable.

## BIBLIOGRAPHIE

- Ait Kaci.Z, L'apport de la cage d'escalier dans la ventilation naturelle – Simulation thermo-aérolique d'un habitat collectif en Algérie, mémoire de magister UMMTO,2014)
- Alain Liébard, André de Herde, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, 2005 .
- Alaxandroff, G. Architectures et climats. Levrault: Berger 1982, pp. 24
- ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 140, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, 2014.
- Auslan P., Les mal-logés du tiers-monde, Paris, Ed .Le Harmattan, 1986, p 21
- Australian Building Codes Board, Building Code of Australia, 2015, Page 343
- Bencheikh, H. "étude et réalisation d'un système de Refroidissement passif en utilisant une Toiture radio-évaporative dans les climats Chauds et arides. " Thèse de Doctorat en Science. Université Mentouri de Constantine, 2007.
- Ministère de l'énergie, Bilan énergétique national, 2013.
- Presidential Decree of Philippines, Building Code of the Philippines, 2013.
- International Code Council, International Residential Code, 2006, page 48.
- Chelli. M. R., Epoka University, 1st International Conference on Architecture 1 Urban Design, Interpretation of Saharan façade, from traditional to contemporary: Case of individual houses of the Bechar town-Algeria, April 2012.
- Legifrance, Code de la construction et de l'habitation, 2014.
- D.B. Crawley, L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, et al. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program, Energy Build., 33 (2001), pp. 319–331.
- De Gidds, W. and W. H. Phaff, 1982, Ventilation Rates and Energy Consumption due to Open Windows. A Brief Overview of Research in the Netherlands, Proc. of the Third IEA Air Infiltration Center Conference, Vol. 1

- F.Boudali Errebai & Al., Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, 'CNERIB', Algérie, Confort thermique d'un local d'habitation : Simulation thermoaéraulique pour différents systèmes de chauffage, P91, 2012.
- F. Song, B. Zhao, X. Yang, Y. Jiang, V. Gopal, G. Dobbs, M. Sahn. A new approach on zonal modeling of indoor environment with mechanical ventilation. *Building and Environment*, 43 (3) (2008), pp. 278–286.
- F. Visser, A. Yeretian, *Energy Efficient Building Guidelines for MENA Region: Energy Efficiency in the Construction Sector in the Mediterranean MED-ENEC*, Cairo (2013)].
- ICEB, les guides BIO-TECH, ventilation naturelle et mécanique, 2012.
- Jacquier C., 1993, La citoyenneté urbaine dans les quartiers européens, urbanité et civilité, in Joel Roman (dir), *Ville, exclusion et citoyenneté* , Entretiens de la ville II, Paris, Esprit, p210p
- Marcello Caciolo. Analyse expérimentale et simulation de la ventilation naturelle mono-façade pour le rafraîchissement des immeubles de bureaux. *Génie des procédés*. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2010, p18.
- Ministère de l'habitat, Algérie, 1993
- Ministère de l'habitat et de la politique de la Ville, Cahier des charges des prescriptions minimales architecturales et techniques relatives au logement destiné à la classe moyenne, ROYAUME du MAROC.
- Qingyan Chen, *Bâtiment et environnement*, Volume 44, Issue 4 , Avril 2009, Pages 848-858.
- Bourgogne Conseil régional, *Qu'est-ce qu'un bâtiment économe en énergie ?* ,2010
- R. LEROUX : *Ecologie Humaine – Sciences de l'habitat* - éd .Eyrolles- 1963 - p.25
- Rocheffort M., 2000, *le défi urbain dans les pays du Sud*, Paris, le Harmattan, p84.

- R.T.A. Prado, F.L. Ferreira, Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roofmaterials, *EnergyBuild.*, 37 (4) (2005), pp. 295–300.
- S. Bretz, H. Akbari, A. Rosenfeld, Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands, *Atmos. Environ.*, 32 (1) (1998), pp. 95–101].
- S.D. Fitzgerald, A.W. Woods The influence of stacks on flow patterns and stratification associated with natural ventilation *Building and Environment*, 43 (10) (2008), pp. 1719–1733.
- S.R. Livermore, A.W. Woods. Natural ventilation of a building with heating at multiple levels. *Building and Environment*, 42 (3) (2007), pp. 1417–1430.
- Said Mazouz, *Confort thermique et construction en climat chaud*, 2012.
- Serrab.C, *Résorption de l’habitat précaire dans l’agglomération d’Annaba (Algérie). Intégration ou épreuve de l’exclusion*, Doctorat Es-Sciences, 2006
- T. Chenvidyakarn, A. Woods. Stratification and oscillations produced by pre-cooling during transient natural ventilation. *Building and Environment*, 42 (1) (2007), pp. 99–112 .
- T. Hong, K. Sun, R. Zhang, R. Hinokuma, S. Kasahara, Y. Yura, 2016, Development and validation of a new variable refrigerant flow system model in EnergyPlus, *Energy and Buildings* 117 (2016) 399–411.
- UK Government, *Building Regulations 2009*, Page 10
- Wullens.S. *Etude numérique de la ventilation naturelle, mise en œuvre d’un modèle fin dans une simulation de thermique du bâtiment*. Génie civil. Université Grenoble Alpes, (2015)
- Z. Zhang, W. Zhang, Z. Zhai, Q. Chen. Evaluation of various turbulence models in predicting airflow and turbulence in enclosed environments by CFD: part 2 – comparison with experimental data from literature. *HVAC&R Research*, 13 (6) (2007), pp. 871–886.

- Z. Zhang, X. Chen, S.Mazumdar, T. Zhang, Q. Chen. Experimental and numerical investigation of airflow and contaminant transport in an airliner cabin mockup. *Building and Environment*, 44 (1) (2009), pp. 85–94.
- <http://www.transition-energetique.gouv.fr/sites/default/files/dnte-socle-de-connaissances.pdf>.
- <http://pgj.pagesperso-orange.fr/latlong.htm#Algeria,2014>.
- [www.aprue.org.dz](http://www.aprue.org.dz).
- <https://energyplus.net/>.
- <https://www.openstudio.net/>.