



RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

THÈSE

Présentée à la :

FACULTÉ DES SCIENCES – DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Énergies Renouvelables

Par :

Mr. CHERIER Mohamed Kamal

Sur le thème

L'UTILISATION PASSIVE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE DANS LES HABITATS DE GHARDAÏA

Soutenue publiquement le

devant le jury composé de :

Mr Megnounif Abdellatif	Professeur à l'Université de Tlemcen	Président
Mr Benouaz Tayeb	Professeur à l'Université de Tlemcen	Directeur de Thèse
Mr Bekkouche S. M. A	Dir de Recherche , à l'URAER – Gharđaia	Co- Directeur de Thèse
Mr Belarbi Rafik	Professeur à l'Université de La Rochelle	Examineur
Mr Touafek Khaled	Dir de Recherche , à l'URAER – Gharđaia	Examineur
Mr Merad Abdelkrim	Professeur à l'Université de Tlemcen	Examineur

*Laboratoire Automatique Tlemcen (LAT)
BP 119, 13000 Tlemcen - Algérie*

Dédicaces

À la mémoire de mon Père.

À ma mère

À ma femme qui m'a toujours encouragé et motivé tout au long de mes travaux.

À Fatima Zahra, Oumayma, Balkis et Wassila

À mes frères, ma sœur, Ainsi qu'à Tous Ceux qui me sont Chers.

Mr CHERIER Mohamed Kamal

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés au sein de l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables de Ghardaïa sous la direction de Monsieur BENOUAZ Tayeb Professeur à l'Université de Tlemcen. Qu'il veuille trouver ici l'expression de ma profonde et respectueuse gratitude.

J'exprime aussi ma vive reconnaissance à Monsieur BEKKOUCHE Sidi Mohammed El Amine Directeur de Recherche à l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables de Ghardaïa pour ses conseils judicieux et son soutien constant qu'il m'a prodigué au cours de l'élaboration de cette thèse ainsi que l'esprit d'initiative et de recherche qu'il a su me transmettre.

Je tiens à remercier Monsieur MEGNOUNIF Abdellatif, Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour l'honneur qu'il me fait en acceptant la présidence du jury.

Mes plus sincères remerciements s'adressent à Monsieur TOUAFEK Khaled Directeur de Recherche à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables de Ghardaïa pour avoir accepté de lire cette thèse et donner son avis. Je lui adresse toute ma reconnaissance.

Je suis très reconnaissant à Monsieur BELARBI Rafik, Professeur à l'Université de La Rochelle d'avoir accepté de faire partie de mon jury, témoignant ainsi de l'intérêt qu'il porte à ce travail.

Je tiens à remercier également Monsieur MERAD Abdelkrim, Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour le temps qu'il a bien voulu consacrer à l'examen de mon travail en acceptant d'être rapporteur de ma thèse.

À tous mes amis chercheurs de l'Unité de Recherche Appliquée en Energie Renouvelable de Ghardaïa et du Centre de Développement des Énergies Renouvelables d'Alger.

À tous les membres de l'équipe "ASSNL" du Laboratoire d'Automatique de Tlemcen

Je souhaite remercier plus particulièrement trois personnes sans qui je ne serais pas arrivée jusqu'au bout de cette aventure: S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani et Monsieur T. Benouaz, je le dis merci à vous.

J'exprime aussi ma gratitude à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation du présent travail, à toute l'équipe de l'Architecture Solaire et Bioclimatique.

Mr CHERIER Mohamed Kamal

Table des Matières

Table des matières.....	01
Nomenclature.....	05
Table des figures.....	08
Liste des tableaux.....	11
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	13
CHAPITRE I : REVUE, BASES ET ELEMENTS CONCEPTUELS DE LA BIOCLIMATIQUE.....	18
1. Introduction.....	19
2. Le Contexte Energétique & l'Approche Bioclimatique.....	20
3. Fondements et Principes de la Démarche Bioclimatique.....	21
3.1. Le bâtiment bioclimatique.....	22
3.2. Comment et pourquoi construire bio et climatique ?	22
4. Quelques Concepts du Solaire Passif.....	23
4.1. Chauffage solaire passif.....	24
a) Captage solaire.....	24
b) Le stockage.....	24
c) La Distribution.....	25
d) Les Contrôles.....	25
4.2. Rafraîchissement passif.....	25
a) Stratégies de Rafraîchissement passif.....	26
b) Prévention des gains de chaleur par une conception appropriée... ..	26
c) Modulations des gains de chaleur.	28
d) Rafraîchissement naturel par dissipation thermique (ventilation)..	28
4.3. L'Eclairage naturel.....	28
a) Objectifs de l'éclairage naturel.....	29
b) Éléments d'éclairage naturel.....	29
5. Quelques Rappels de physique du bâtiment.....	31
5.1. Les échanges thermiques dans le bâtiment.....	31
a) Pertes de chaleur d'un bâtiment en termes simples.....	32
b) Transferts de chaleur dans les bâtiments.....	32
5.2. Le confort thermique.....	36
a) Facteurs influant sur le confort thermique.....	37
b) Modèles de confort thermique.....	40
5.3. L'isolation thermique.....	43
a) But de l'isolation thermique.	43
b) Efficacité des matériaux d'isolation.....	44

c)	Paramètres liés à l'isolation thermique.....	45
5.4.	Labels et Standards énergétiques.....	48
6.	Modélisation et bâtiment.....	50
6.1.	Approches de la modélisation thermique, hydrique et aéraulique des bâtiments.....	50
a)	Modèle Monozone.....	51
b)	Modèle Multzone.....	52
c)	Modèles zonaux.....	52
d)	Les CFD.....	53
	Références.....	54

CHAPITRE II : ISOLATION THERMIQUE, EXTENSION DU CONFORT, COMPACITE ET LEURS INCIDENCES SUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE 57

1	Introduction.....	58
2.	Modèles choisis pour le confort thermique.....	59
3.	Modèle d'équilibre énergétique.....	60
3.1.	Besoins énergétiques dus à l'enveloppe.....	61
3.2.	Besoins en eau chaude sanitaire.....	68
3.3.	Apports internes par les occupants.....	69
a)	Première approche.....	69
b)	Deuxième approche.....	70
3.4.	Apports générés par l'éclairage et les équipements électriques.....	70
3.5.	Calcul des charges énergétiques dues aux appareils électriques et à l'éclairage.....	71
3.6.	Les apports solaires.....	72
4.	Étiquetage de l'efficacité énergétique & Cas d'un studio à Ghardaïa.....	73
4.1.	Analyse et diagnostic des besoins énergétiques.....	75
4.2.	Extension du confort.....	79
4.3.	La compacité par rapport au mode de contact.....	82
5.	Conclusion.....	87
	Références.	87

CHAPITRE III : CONFIGURATION JUDICIEUSE DE L'ENVELOPPE CAS D'UN STUDIO DE FAIBLE COMPACITE 89

1.	Introduction.....	90
2.	Le Choix des Matériaux : Une Réponse aux Exigences Architecturales et Environnementales.....	91
2.1.	Le matériau et l'architecte.....	92
2.2.	La conception durable dans le secteur du bâtiment.....	93
2.3.	Le choix des matériaux : une démarche multicritères.....	94

3.	L'isolation Thermique.....	98
3.1.	Techniques et principes fondamentaux.....	99
	a) Propriétés des isolations thermiques.....	100
	b) Épaisseur de l'isolation.....	101
4.	Google Sketch Up & EnergyPlus : Outils d'aide pour la Sélection du Matériau de Construction.....	102
4.1.	Pourquoi Sketch Up et EnergyPlus.....	103
4.2.	Google Sketch Up.....	103
4.3.	EnergyPlus.....	105
	a) Première étape - Création d'un modèle 3D dans Google Sketch Up.....	107
	b) Deuxième étape - Simulation du bâtiment.....	108
	c) Troisième étape - Analyse des résultats.....	108
	d) Programmes auxiliaires.....	109
5.	Amélioration des températures intérieures & Cas d'un climat Saharien aride.....	109
5.1.	Conception et simulation	100
5.2.	Résultats de la simulation.....	114
6.	Conclusion.....	121
	Références.....	122

CHAPITRE IV : L'EFFET DE LA VENTILATION SUR LE CONFORT THERMIQUE DES ESPACES 124

1.	Introduction.....	125
2.	Objectifs de la ventilation.....	126
3.	Principes et éléments de la ventilation naturelle.....	127
3.1.	Prise en compte de la ventilation naturelle dans le processus de conception.....	128
3.2.	Stratégies de la ventilation naturelle.....	129
	a) Le vent.....	129
	b) Le tirage thermique.....	130
	c) Combinaison des deux phénomènes.....	131
3.3.	Types de la ventilation naturelle.....	132
	a) Ventilation unilatérale.....	132
	b) Ventilation transversale.....	132
	c) Ventilation par cheminée.....	133
	d) Ventilation descendante.....	133
3.4.	Avantages et inconvénients de la ventilation naturelle.....	134
3.5.	Effet du design des ouvertures sur la ventilation naturelle.....	136
4.	Identification des principaux paramètres du confort en présence d'une ventilation contrôlée.....	138

5. Conclusion.....	143
Références.....	144
CHAPITRE V : L'INCIDENCE DES GAINS SOLAIRES SUR LE CONFORT THERMIQUE ET LES BESOINS ENERGETIQUES	146
1. Introduction.....	147
2. Climat local et modèle de bâtiment.....	148
3. Modèle mathématique et équations de base.....	150
4. Résultats de simulation & Effets potentiels des gains solaires sur le confort thermique.....	153
5. Diagnostic des déperditions et efficacité énergétique.....	156
6. Conclusion.....	162
Références.....	163
CONCLUSION GÉNÉRALE	166

Nomenclature

Caractères latins

HVAC	:	Heating, ventilation and air-conditioning	
T_{int}	:	Température intérieure	K
T_{ext}	:	Temperature extérieure	K
A	:	Surface	m^2
U	:	Coefficient global de transfert de chaleur	$W / m^2 K$
T_0	:	Température extérieure moyenne	
T_n	:	Température neutre	k
T_{ext}	:	Température extérieure moyenne	k
C_{air}	:	Capacité calorifique de la masse d'air	$J kg^{-1}K^{-1}$
$V_{air,i}$:	Volume de la zone i	m^3
$T_{air, n}$:	Température de l'air de la zone n	K
$T_{air, i}$:	Température de l'air de la zone i	K
Q	:	Flux de masse transitant de la zone n à la zone i	$kg s^{-1}$
$Q_{cvair(i, j)}$:	Echange de flux convectif entre les surfaces j des murs pour la zone i correspondant à une température T_j et la masse d'air dans cette zone correspondant à une température T_{air} [W].	$kg s^{-1}$
P_{sint}	:	Puissance sensible interne due aux appareils, aux occupants, à l'éclairage	W
P_{Sair}	:	Puissance sensible fournie par la climatisation	W
m_{air}	:	Masse de l'air sec	kg
$H_{sair, n}$:	Humidité spécifique: masse de vapeur d'eau contenue dans la masse unitaire d'air sec dans la zone n	%
$H_{sair, i}$:	Humidité spécifique: masse de vapeur d'eau contenue dans la masse unitaire d'air sec dans la zone i	%
P_{lint}	:	Puissance latente interne due aux appareils, aux occupants, à l'éclairage	W
P_{lair}	:	Puissance latente fournie par la climatisation	W
L_v	:	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	J / kg
H_r	:	Humidité relative	%
P_{sat}	:	Pression de vapeur de saturation	Pa
C_{Tiling}	:	Chaleur spécifique des carreaux céramiques	J / kg K
T_{gr}	:	Température des carreaux de céramique	K
T_i	:	Température des surfaces intérieures (toit et murs) dans la même zone	K
T_B	:	Température de la dernière couche inférieure	K
RB_{-gr}	:	Résistance équivalente entre le nœud supérieur et le nœud inférieur	KW^{-1}

F_{gr-l}	:	Facteur de forme entre le sol et les autres surfaces d'échange dans la même zone	
ρ_{air}	:	Densité de la masse d'air	$kg\ m^{-3}$
σ	:	Constante de Stephane-Boltzmann	$W/m^2\ K^4$
α_{gr}	:	Coefficient d'absorption du sol	
S_{gr}	:	Surface au sol	m^2
τ_{glass}	:	Transmissivité du verre	
D_j	:	Nombre de degrés-jours, de chauffage et / ou de degrés-jours sont des indicateurs de la consommation d'énergie	
Q_{DHW}	:	Quantité d'énergie nécessaire pour produire de l'eau chaude sanitaire pendant une journée	Wh
P	:	Densité de l'eau qui est fonction de sa température TCW, peut être égal à 1	$kg\ l^{-1}$
V_{DHW}	:	Volume d'eau	m^3
Nb_{occ}	:	Nombre de personnes occupant le bâtiment	
T_{DHW}	:	Température de l'eau chaude au point de remplissage	K
T_{CW}	:	Température mensuelle moyenne de l'eau froide entrant dans le réservoir de stockage ou la batterie de production d'eau chaude sanitaire (production instantanée)	K
C_p	:	Quantité de chaleur dégagée par l'occupant	W/ occupant
$D_{pres} / jour$:	Période de présence pendant la journée	h / jour
Nb_{heated_days}	:	Nombre de jours de chauffage	Jours/ année
P_{elec_appl}	:	Puissance des appareils électriques	W
Nb_{heures}	:	Nombre d'heures pendant lesquelles l'appareil est en état de fonctionnement pendant la journée	
Nb_{days}	:	Nombre de jours pendant lesquels l'appareil est en état de fonctionnement durant l'année.	
T_{out}	:	Température mensuelle moyenne de l'air extérieur	K
I_s	:	Irradiation solaire par unité de surface	$Wh\ m^{-2}$
A_{Sn}	:	Surface équivalente de la surface réceptrice n	m^2
p_v	:	Pression partielle de vapeur	P_a
p_{sat}	:	Pression de vapeur saturante	P_a
T	:	Température	K
g_v	:	Densité de flux massique de vapeur	$kg\ m^{-2}\ s^{-1}$
Da	:	Coefficient de diffusion de vapeur dans l'air	$m^{-2}\ s^{-1}$
P	:	Pression totale	P_a
R	:	Constante des gaz parfaits	$J\ mol^{-1}\ K^{-1}$
S	:	Aire de la section de passage du flux de chaleur	m^2
x	:	Variable d'espace dans la direction du flux	m

c	: Chaleur massique du matériau	$\text{JKg}^{-1}\text{K}^{-1}$
\dot{q}	: Densité volumique d'énergie générée	W m^{-3}
H_s	: Coefficient d'échange de chaleur par convection	$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
S	: Aire de la surface en contact (surface d'échange)	m^2
T_a	: Température du fluide loin de la paroi	K
T_s	: Température de surface	K
g	: Accélération de la pesanteur	m s^{-2}
T_{am}	: Température de l'air ambiant (K)	K
F_{12}	: Facteur de forme de la surface 1 par rapport à 2.	J / kg K

Lettres grecques

∇	: Opérateur gradient	
$\Phi_{c,x}$: Flux thermique conductif entrant en x	W
$\Phi_{c,x+dx}$: Flux thermique conductif sortant en x+dx	W
Φ_g	: Flux d'énergie thermique générée (source)	W
ρ	: Masse volumique du matériau	Kg m^{-3}
λ	: Conductivité thermique du milieu	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Φ_{cv}	: Flux de chaleur par convection	W
λ_f	: Conductivité thermique du fluide	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
κ	: Epaisseur de la couche	m
λ_a	: Conductivité thermique de l'air ($0,0257 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ à 20°C)	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
β	: $\beta = T^{-1}$ est le coefficient de dilatation thermique ($3,41 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$)	K^{-1}
ΔT	: Différence de température entre l'air et la surface	K
ν	: Viscosité cinématique du fluide	$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
Φ_r	: Flux de chaleur émis par rayonnement	W
ε	: Emissivité du corps (= 1 pour un corps noir, < 1 pour un corps gris)	
σ	: Constante de Stefan-Boltzmann	$\text{Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Table des figures

Chapitre I

- Figure 1.1 Eléments de l'architecture bioclimatique
- Figure 1.2 Stratégies du chauffage passif en Hiver
- Figure 1.3 Stratégies du rafraîchissement passif en été
- Figure 1.4 Stratégies de l'éclairage naturel
- Figure 1.5 Ouverture lumineuse avec évasement arrondi
- Figure 1.6 Conduction de la chaleur à travers un matériau
- Figure 1.7 La convection
- Figure 1.8 Rayonnement thermique entre deux surfaces
- Figure 1.9 Classification simplifiée des matériaux Isolants
- Figure 1.10 Exemples de discrétisation spatiale d'un bâtiment

Chapitre II

- Figure 2.1 Plage du confort hygrothermique selon la norme DIN 1946-4 :2008-12 pour une teneur en eau avoisinant les 11.5 g d'eau par Kg d'air sec
- Figure 2.2 Principaux sources de déperditions
- Figure 2.3 Plan descriptif et modélisation en 3D
- Figure 2.4 Gains énergétiques annuels correspondants à une extension des températures du confort de 0.5 au 2.5 °C
- Figure 2.5 Gains énergétiques mensuels correspondants à une extension des températures du confort de 1 °C
- Figure 2.6 Schémas descriptifs 3D des différentes dispositions du studio
- Figure 2.7 Consommation énergétique globale en tenant compte la compacité et le concept de l'isolation thermique
- Figure 2.8 Consommation énergétique due à l'enveloppe
- Figure 2.9 Consommation énergétique globale
- Figure 2.10 Labellisation des bâtiments par KWh/m²/an

Chapitre III

- Figure 3.1 Les critères de choix des matériaux
- Figure 3.2 Déperditions thermiques dans un habitat
- Figure 3.3 Interface graphique de Google Sketch Up, Création d'un modèle 3D
- Figure 3.4 Etapes de simulation d'un bâtiment avec EnergyPlus
- Figure 3.5 Introduction des coordonnées d'une habitation dans l'option "Surface détaillée" d'EnergyPlus
- Figure 3.6 Interface graphique d'EnergyPlus
- Figure 3.7 Exemple d'un rapport d'erreur après l'exécution

- Figure 3.8 Maquette numérique du Studio : (a) Plan opaque, (b) plan semi-transparent (c) et (d) zone opaque avec distinction des cloisons.
- Figure 3.9 Station radiométrique de l'URAER
- Figure 3.10 Variation de la température annuelle de l'air intérieur du studio (EnergyPlus) comparée avec celle de l'air ambiant extérieur, les murs sont en pierre dont l'épaisseur est de 40 cm
- Figure 3.11 Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $6 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Novembre
- Figure 3.12 Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $11 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Mai
- Figure 3.13 Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $6 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Novembre
- Figure 3.14 Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $6 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Mai

Chapitre IV

- Figure 4.1 Influence du Relief sur la distribution des lignes du vent autour d'un habitat
- Figure 4.2 Principe de la ventilation naturelle
- Figure 4.3 Ventilation naturelle par effet du vent
- Figure 4.4 Exemple de valeurs C_p sur un bâtiment
- Figure 4.5 Ventilation naturelle par tirage thermique
- Figure 4.6 Ventilation unilatérale
- Figure 4.7 Ventilation transversale
- Figure 4.8 Ventilation par cheminée
- Figure 4.9 Ventilation descendante
- Figure 4.10 Règles de base pour la profondeur de la salle pour trois stratégies de ventilation différentes
- Figure 4.11 Plan descriptif du studio, vue en 3D
- Figure 4.12 Températures de l'air intérieur pour différents types de ventilation
- Figure 4.13 Paramètres du confort (températures et humidités) pour différents types de ventilation, la teneur en eau initiale est $5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}} / \text{Kg}_{\text{air sec}}$, le débit massique de l'air entrant est de 0.007 Kg/s
- Figure 4.14 Paramètres du confort (températures et humidités) pour différents types de ventilation, la teneur en eau initiale est $5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}} / \text{Kg}_{\text{air sec}}$, le débit massique de l'air entrant est de 0.007 Kg/s

Chapitre V

- Figure 5.1 Plan descriptif 2D et concept de chauffage passif
- Figure 5.2 Paramètres de base du confort thermique: (a) Température, (b) Humidité relative, Ghardaïa du 28 décembre 2014 au 02 janvier 2015
- Figure 5.3 Positionnement du confort vis-à-vis l'humidité et la température de l'air

Figure 5.4 Sources de déperditions thermiques dans une construction

Figure 5.5 Besoins énergétiques mensuels (sans et avec isolation thermique) en 2016; la température est maintenue constante à T_{Conf}

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1.1 Echelles du confort thermique d'ASHRAE et de Bedford.

Chapitre II

Tableau 2.1 Valeurs retenues des résistances thermiques superficielles

Tableau 2.2 Valeur de perméabilité

Tableau 2.3 Diffusion de chaleur par personne

Tableau 2.4 Diffusion de chaleur par l'éclairage et les équipements électriques

Tableau 2.5 Consommation moyenne des appareils électriques par jour (exemple)

Tableau 2.6 Facteurs solaires pour les deux types de vitrages les plus courants

Tableau 2.7 Composition de la maçonnerie et propriétés des matériaux de construction

Tableau 2.8 Consommation énergétique annuelle et mensuelle correspondante à l'année 2016

Tableau 2.9 Besoins et factures énergétiques nécessaires pour maintenir le confort

Tableau 2.10 Besoins énergétiques correspondants à une extension des températures du confort de 0.5 à 2.5 °C

Tableau 2.11 Besoins énergétiques correspondants à une extension des températures du confort de 0.5 à 2.5 °C, avec isolation thermique

Tableau 2.12 Consommation totale et besoins énergétiques dus à l'enveloppe sans isolation thermique

Tableau 2.13 Consommation totale et besoins énergétiques dus à l'enveloppe avec isolation thermique

Chapitre III

Tableau 3.1 Types d'isolants organiques et inorganiques

Tableau 3.2 Fonctionnalités des programmes auxiliaires d'EnergyPlus.

Tableau 3.3 Propriétés thermiques, épaisseurs des murs et caractéristiques de l'enveloppe

Tableau 3.4 Classification des différentes configurations

Chapitre V

Tableau 5.1 Composition de la maçonnerie et propriétés des matériaux de construction.

Tableau 5.2 Sources et pourcentages des différentes déperditions thermiques.

Tableau 5.3 Besoins énergétiques mensuels et annuels requis pour maintenir une température fixe à T_{Conf} .

Tableau 5.4 Valeurs moyennes mensuelles des gains solaires journaliers $Q_{Solaire}$ par unité de surface (KWh/m²)

Tableau 5.5 Consommation énergétique mensuelle requise pour maintenir une température fixe de T_{Conf} ; les gains solaires et l'isolation thermique ont été pris en compte

Introduction Générale

Introduction Générale

Comme de nombreux problèmes sociaux et scientifiques, le réchauffement climatique a été dès le départ l'objet de polémiques. Le traité de Kyoto, signé en 1997 et entré en vigueur en 2005, a engagé tous les pays signataires, dont l'Algérie, à réduire quantitativement les émissions de gaz à effet de serre [1].

L'écrasante majorité des scientifiques mondiaux dans tous les domaines concernés s'accordent sur les causes du réchauffement climatique et sur la plupart de ses conséquences sur les écosystèmes et sur la société. La lutte contre ce phénomène fait l'objet de plusieurs scientifiques, climatologues, géologues, océanographes, biologistes et associations à travers le monde depuis des décennies (Le premier sommet de la terre en 1971) [2].

Plusieurs sommets s'en suivent après l'apparition du premier rapport apportés par Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) en 1990 et engendrent par la suite des contrats et des accords qui ont été signés et adoptés par des dizaines de pays industrialisés et ceux en voie de développement.

2016 a été l'année la plus chaude depuis que l'enregistrement a commencé en 1880, et la troisième année consécutive pour établir ce record, selon la NASA et la National Oceanic and Atmospheric Administration. La communauté scientifique internationale est presque certaine que l'activité humaine est un moteur du réchauffement climatique. Il y a plus de 95% de probabilité que les actions humaines au cours des 50 dernières années aient réchauffé notre planète, a déclaré le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans son cinquième rapport d'évaluation [4].

Le bilan mondial 2017 fait un point sur le secteur des bâtiments et de la construction depuis le tournant marqué par l'accord de Paris à la 21^{ème} conférence des parties. Le rapport tient compte des multiples engagements ainsi que des actions des parties prenantes nationales, urbaines et industrielles pour aider à placer le secteur des bâtiments sur une trajectoire durable. Ce bilan montre clairement que, malgré certains progrès globaux, il est chaque jour plus urgent de résoudre les problématiques énergétiques et climatiques du secteur des bâtiments et de la construction. Les politiques et investissements actuels manquent de répondre aux enjeux et aux opportunités qui y sont associés [3].

Les bâtiments sont les plus gros consommateurs d'énergie et émetteurs de gaz à effet de serre, à la fois dans les pays développés et en voie de développement y compris l'Algérie. Des changements urgents sont donc nécessaires en matière d'économie d'énergie, de contrôle des émissions, de production et d'application des matériaux. Une suggestion immédiate liée à l'utilisation des ressources renouvelables, au recyclage et à la réutilisation des matériaux de construction est nécessaire. Un bâtiment typique contribue au réchauffement climatique en libérant les émissions de dioxyde de carbone. C'est donc le rôle des architectes et des concepteurs de bâtiments de trouver les solutions qui peuvent réduire la quantité d'empreinte du carbone émise.

L'énergie et l'architecture forment un mariage naturel si le confort intérieur et le respect de l'environnement sont garantis. Le rôle de l'énergie dans les bâtiments varie d'un pays à l'autre et d'un climat à un autre; de 30% dans les pays développés à 70% dans les pays en voie de développement. Face à ces enjeux environnementaux et énergétiques auxquels le monde en général est confronté, le secteur du bâtiment se positionne comme un secteur clé pour répondre à nos engagements nationaux sur ces thématiques. Pour ces raisons, de nombreux efforts de recherche se portent sur l'efficacité énergétique des bâtiments [5].

L'architecture bioclimatique a toujours impliqué l'utilisation passive des ressources naturelles pour répondre aux besoins humains. Il existe une longue tradition inventive de construction de bâtiments sensibles au lieu et au climat. Les développements technologiques touchant le secteur du bâtiment, notamment l'éclairage électrique, le chauffage central et la climatisation, ont permis aux bâtiments de se détacher progressivement de leur environnement. Les carburants bon marché, les nouvelles technologies de chauffage, de refroidissement et d'éclairage et les attentes accrues des occupants ont donné lieu à des bâtiments conçus et utilisés sans grande considération pour leur emplacement ou leur environnement ambiant. Beaucoup de ces bâtiments parviennent à fournir des niveaux de confort thermique et visuel à l'intérieur, mais à un coût énorme et insoutenable pour l'environnement; et il y a un nombre croissant de preuves que les conditions maintenues artificiellement dans beaucoup de nos bâtiments modernes ne sont pas propices à la bonne santé [6].

Il est de notre responsabilité de protéger l'environnement, et changer notre façon de construire est une chance évidente pour nous d'aider à lutter contre le changement climatique dont nous voyons déjà les effets aujourd'hui.

L'objectif général de cette thèse vise à promouvoir le savoir-faire de la conception bioclimatique adaptée aux régions du Sud à climats arides et semi-arides. Les travaux menés dans ce manuscrit s'appuient sur des recherches préalables dans le cadre de projets de recherche inscrits à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Division Application des Energies Renouvelables dans les Milieux Arides et Semi-arides, Equipe Architecture Solaire et Bioclimatique. Quelques aspects de l'utilisation passive de l'énergie solaire ont été abordés afin de proposer des solutions qui permettront par la suite d'apporter des économies sur la consommation énergétique du bâtiment et garantir une qualité satisfaisante des ambiances intérieures.

Pour répondre à ces objectifs, notre travail s'organise en cinq chapitres.

- Le premier chapitre a permis, à travers un large état de l'art, d'appréhender les fondements et les principes fondamentaux de l'architecture bioclimatique et de faire le point sur les bases de la physique du bâtiment.
- Le second a été consacré à l'isolation thermique et la compacité qui sont des paramètres clés de la conception passive dans un bâtiment. Ces deux aspects vont de pair pour minimiser le coût de consommation énergétique et s'approcher du confort thermique.
- Le troisième chapitre propose une configuration optimale de l'enveloppe d'un Studio à faible compacité à travers un choix judicieux des matériaux de construction tout en respectant leur disponibilité locale et en prenant en compte les sollicitations climatiques propres à la région de Ghardaïa. EnergyPlus a été notre outil de simulation.
- Le quatrième chapitre a permis de voir l'effet de la ventilation sur le confort thermique intérieur.
- Tirer profit des gains solaires vise à maximiser l'utilisation de l'énergie thermique provenant du rayonnement solaire, améliorer le confort thermique et réduire la consommation énergétique globale, cette technique a été le sujet du dernier chapitre.
- Finalement, une conclusion générale clôturera notre thèse.

Références

1. J. Berger, Contribution à la modélisation hygrothermique des bâtiments : application des méthodes de réduction de modèle, 2015.
2. L'odyssée du développement durable,
<https://www.diplomatie.gouv.fr/sites/odyssee-developpement-durable/>.
3. l'Agence I. de l'Energie (AIE), Bilan mondial 2017. 2017.
4. BP, Statistical Review of World Energy Statistical Review of World Energy, 2016.
5. H. Maamar, Choix de l'orientation et des matériaux de construction en vue d'améliorer les performances thermiques des bâtiments, 2015.
6. A. Almusaed, Biophilic and Bioclimatic Architecture. 2011.

Revue, Bases et Éléments Conceptuels de la Bioclimatique

Revue, bases et éléments conceptuels de la bioclimatique

1. Introduction

L'architecture a toujours impliqué l'utilisation des ressources naturelles pour répondre aux besoins humains. Il existe une longue tradition inventive de construction de bâtiments sensibles au lieu et au climat. Depuis la révolution industrielle, les développements technologiques touchant le secteur du bâtiment, notamment l'éclairage électrique, le chauffage central et la climatisation, ont permis aux bâtiments de se détacher progressivement de leur environnement. Les carburants bon marché, les nouvelles technologies de chauffage, de rafraîchissement et d'éclairage et les tendances accrues des occupants ont donné lieu à des bâtiments conçus et utilisés sans grande considération pour leur emplacement ou leur environnement ambiant. Beaucoup de ces bâtiments parviennent à fournir des niveaux acceptables de confort thermique et visuel à l'intérieur, mais à un coût énorme et insoutenable pour l'environnement; et il y a un nombre croissant de preuves que les conditions maintenues artificiellement dans beaucoup de nos bâtiments modernes ne sont pas propices à une bonne santé [1].

Cependant, avec la prise de conscience croissante de l'impact environnemental de la vie moderne, une nouvelle approche est en train d'émerger, une approche qui cherche à fournir des bâtiments mieux adaptés aux besoins des occupants et plus respectueux de l'environnement mondial. Les termes "bioclimatique", "vert", "passif solaire", "écologique" et "durable" sont maintenant des termes familiers. Leurs significations se chevauchent et certaines existent depuis plus longtemps que d'autres. "L'architecture bioclimatique" implique une approche de conception qui embrasse les principes de durabilité, mais qui va au-delà de la minimisation de l'impact environnemental des bâtiments; elle cherche à créer une architecture qui soit fondamentalement plus sensible à la localisation, au climat et aux besoins humains et qui exprime des paramètres de conception vitaux. Loin de limiter la liberté architecturale, elle

offre un large éventail de nouvelles possibilités pour améliorer la conception et la fonction de nos futurs bâtiments et notre plaisir à les vivre.

2. Le contexte énergétique & L'approche bioclimatique

La raréfaction de l'énergie fossile est aujourd'hui plus que jamais d'actualité, mais à ce phénomène il faut ajouter les changements climatiques de ces dernières décennies alarmant la communauté scientifique qui appelle à une modification des comportements de la population. De ce fait, le prix du kWh électrique ne cesse de s'accroître en Algérie et dans d'autres pays du monde, parallèlement les besoins en climatisation augmentent. Les niveaux de factures électriques dues à la climatisation et au chauffage sont tels que plusieurs institutions sont amenées à réglementer l'utilisation de l'énergie de leurs locaux. Récemment, beaucoup de pays à travers le monde ont décidé de mener une lutte pour la réduction de la consommation excessive de l'énergie due à la climatisation et au chauffage. Dans la plupart des pays, la tendance est la même. Les frais de consommation électrique dus à la climatisation ne sont plus supportables ni par les sociétés ni par les Etats. C'est la raison pour laquelle un effort doit être fait dans la conception des bâtiments dans le but de réduire leur facture énergétique. On n'arrive à cet objectif que par une bonne conception du bâtiment pour atteindre le confort thermique à moindre coût par une optimisation des puissances de climatisation [2].

En l'espace d'un siècle, la population mondiale a été multipliée par six. Le nombre de ruraux est resté relativement stable, alors que la totalité de l'accroissement s'est concentrée dans des villes de plus en plus tentaculaires. Cette urbanisation des sols détermine des modes de vie, de production et de consommation spécifiques.

Les légitimes exigences du plus grand nombre, en matière de confort et de santé, entraînent d'ores et déjà des niveaux de besoins en énergies et en matières premières, incompatibles avec le développement durable. Il faudrait "plusieurs terres" pour assurer le bien-être d'une population toujours plus nombreuse. Comment concevoir, édifier et aménager le bâtiment et le territoire en n'hypothéquant pas l'avenir de nos enfants ? Quelles architectures et quels

urbanismes seront capables de répondre à nos besoins et à ceux des générations futures ? [3]

3. Fondements et principes de la démarche bioclimatique

Les termes "bioclimatique" et "solaire passif" sont utilisés depuis pas plus d'une décennie. Néanmoins, les principes impliqués étaient connus dans les civilisations anciennes, et des exemples de conception consciente du climat sont à voir dans les bâtiments vernaculaires de diverses cultures à travers l'histoire. Dès le 5^{ème} siècle av. J.-C., Socrates a démontré une compréhension claire du design sensible au climat et des principes régissant le chauffage solaire des bâtiments. De nombreuses études montrent que l'application des techniques de conception et de construction bioclimatiques disponibles peut réduire considérablement le coût de construction et la demande d'énergie tout en améliorant les climats intérieurs. Dans le monde entier, on s'inquiète de plus en plus de l'efficacité énergétique du bâtiment. Les études sur la conception de bâtiments éco-énergétiques ont débuté dans les années 1980, les innovations et l'ouverture d'économie d'énergie sont devenues une des politiques gouvernementales de base pour la majorité des pays du monde [4]. Une série de normes de conception d'efficacité énergétique, a été établie et mise à jour chaque année, a pour objectif d'économiser l'énergie pour répondre à la consommation croissante de l'énergie utilisée dans le secteur du bâtiment. On estime que la consommation d'énergie du bâtiment a représenté plus de 22% de la consommation mondiale totale d'énergie en 2015 [5]. La tendance sera encore accrue en raison du développement rapide de l'économie et des conditions de vie. Par conséquent, la conception du bâtiment climatique est d'une importance capitale dans la conception des bâtiments à efficacité énergétique.

L'énergie et l'architecture forment un mariage naturel si le confort intérieur et le respect de l'environnement sont pris en compte. Le rôle de l'énergie dans les bâtiments varie d'un pays à un autre, d'un climat à un autre; de 30% dans les pays développés de l'OCDE (L'Organisation de Coopération et de Développement Economiques), 50% dans les pays non membres de l'OCDE en Europe et à 70% dans les pays en voie de développement. La croissance démographique et la demande de logement ont obligé les politiciens à se lancer dans des projets de

logements massifs sans contrepartie de confort, de demande d'énergie et de problèmes environnementaux.

3.1. Le bâtiment bioclimatique

Les bâtiments bioclimatiques sont caractérisés par l'utilisation d'éléments de construction tels que des murs, des fenêtres, des toits et des planchers pour collecter, stocker et distribuer l'énergie solaire thermique et empêcher la surchauffe. Les flux de chaleur se produisent principalement par les mécanismes naturels de convection, de conduction et de rayonnement plutôt que par l'utilisation de pompes et de ventilateurs. L'objectif est de gérer les flux d'énergie et de fournir ainsi des conditions confortables dans les parties occupées du bâtiment à tout moment de l'année et de la journée. La définition inclut également le rafraîchissement naturel et l'ombrage. Le bâtiment est refroidi en rejetant la chaleur indésirable dans les puits de chaleur ambiante (air, ciel, terre et eau) au moyen de modes naturels de transfert de chaleur. Mais la charge de rafraîchissement est d'abord minimisée grâce à la conception architecturale en réduisant les gains solaires dans le bâtiment ou à travers ses fenêtres, et en réduisant les gains internes. Troisièmement, l'utilisation la lumière du jour pour un éclairage naturel tout en maintenant les normes de confort visuel est également incluse dans l'approche bioclimatique [6].

3.2. Comment et pourquoi construire bio et climatique ?

L'idée fondamentale dans la conception d'un habitat bioclimatique est la relation retrouvée entre l'homme habitant et le climat (figure 1.1). Elle permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être à l'intérieur des logements avec des températures agréables et une humidité contrôlée.

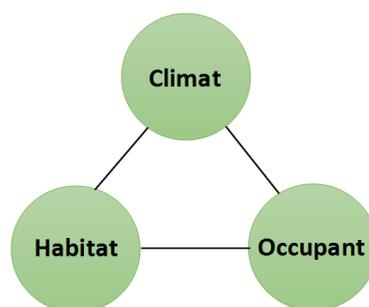


Figure 1.1 : Eléments de l'architecture bioclimatique.

Les énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire sont à prendre en considération, l'influence du rayonnement solaire c'est-à-dire l'effet radiatif "sol-air-température" sur la température de l'air au voisinage de la paroi, et sur la température de la face exposée au soleil tient compte de plusieurs facteurs :

- Rayonnement solaire sur toute l'enveloppe du bâtiment
- Température de l'air suivant l'heure du jour et la position du soleil
- Orientation du bâtiment (par rapport au soleil et au vent)
- Caractéristiques des parois extérieures (masse thermique, couleur, état de surface des matériaux, isolation...)
- Protection solaire de toutes ces parois
- Emplacement et taille des fenêtres [7].

4. Quelques concepts du solaire passif

Un bâtiment conçu et construit à l'aide de solutions techniques innovantes peut consommer beaucoup moins d'énergie qu'une structure typique construite selon les normes et technologies communes. La bonne forme d'un bâtiment peut réduire considérablement la demande en énergie de chauffage pendant une saison de chauffage, et en même temps créer des conditions microclimatiques appropriées pendant l'été [8]. Une conception moderne, soucieuse de l'énergie, particulièrement "solaire" d'un bâtiment, devrait aborder les questions suivantes:

- L'emplacement et la forme du bâtiment pour assurer une bonne insolation et conditions de ventilation et d'éclairage naturels
- L'arrangement de l'intérieur du bâtiment; voir la disposition des pièces selon leur fonction et temps d'utilisation,
- Création ou adaptation de la structure du bâtiment pour l'utilisation passive de l'énergie solaire en utilisant des systèmes solaires passifs sous la forme d'espaces tampon, solaire murs collecteurs et murs de stockage,
- Sélection des éléments de structure du bâtiment et de leurs matériaux pour fournir une protection contre les surchauffes dues aux radiations solaires excessives.
- Prendre en compte le voisinage d'un bâtiment pour améliorer ou réduire l'énergie solaire disponible, et pour le rafraîchissement naturel et la ventilation.

4.1. Chauffage solaire passif

Les stratégies de chauffage passif utilisent en particulier les composants du bâtiment pour collecter, stocker et distribuer les gains de chaleur solaire afin de réduire les besoins en chauffage des locaux. Ils ne nécessitent pas l'utilisation d'équipements mécaniques car le flux de chaleur est naturel (rayonnement, convection et conduction) et le stockage thermique est dans la structure elle-même. En outre, les stratégies de chauffage solaire passif offrent des possibilités d'éclairage de jour et des vues sur l'extérieur grâce aux fenêtres. Tous les éléments du bâtiment (y compris les fenêtres) doivent être bien isolés et le plan doit être compact afin d'éviter toute perte de chaleur. Les bâtiments devraient être massifs avec des murs et des toits isolés, et prévoir une ventilation naturelle pour permettre le gain et la perte de chaleur (figure 1.2). Ces bâtiments sont généralement de masse thermique élevée, bien ombragés, couplés au sol et compacts en plan. L'efficacité de chauffage et de rafraîchissement d'un bâtiment peut être améliorée en réduisant son rapport surface / volume. Ceci peut être accompli en minimisant les murs extérieurs et les toits pour produire une forme de maison plus compacte [9].

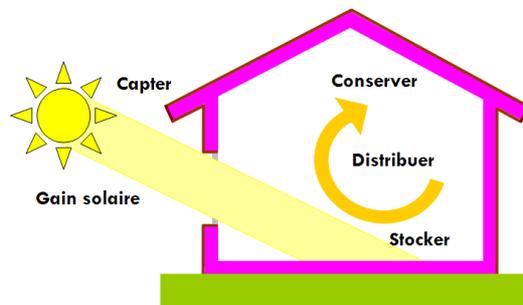


Figure 1.2 : Stratégies du chauffage passif en Hiver.

a) Captage solaire

Le but du système de collecte ou de captage est de permettre à la lumière du soleil de pénétrer dans le bâtiment pour chauffer l'espace et, le cas échéant, chauffer la masse de stockage. Le sous-système de stockage comprend généralement des parties du sol ou des murs intérieurs du bâtiment.

b) Le stockage

Les éléments de stockage représentent la masse thermique et toutes les formes de matériaux dans lesquels les chaleurs peuvent être stockées. Le but du

stockage est d'emmagasiner la chaleur solaire collectée jusqu'à ce que les occupants du bâtiment en aient besoin. Dans la plupart des cas, la chaleur est recueillie pendant la journée et utilisée la nuit. L'énergie stockée est libérée de la masse de stockage et distribuée dans tout le bâtiment pour compenser l'utilisation de l'énergie de chauffage.

c) La Distribution

La distribution de chaleur se produit généralement après la collecte et le stockage de l'énergie solaire. Le but de la distribution est que la chaleur solaire atteigne les endroits où elle peut être utile. Elle dépend directement de la conception du bâtiment et du système de chauffage. Dans de nombreux bâtiments, le défi pour les architectes est de réduire autant que possible le besoin de distribution. Le mode le plus efficace de distribution de l'énergie solaire est de concevoir la disposition des espaces de vie de telle sorte que l'énergie solaire est recueillie et stockée dans ou à proximité de l'espace de vie où il sera utilisé comme zone thermique. Si cela n'est pas possible, l'énergie devra être transportée vers d'autres espaces dans le bâtiment.

d) Les Contrôles

Le contrôle du système de chauffage passif peut être très différent du contrôle d'un système HV ou HVAC. Dans de nombreux bâtiments passifs, le contrôle est réalisé grâce à l'utilisation de dispositifs d'ombrage, ou d'autres moyens pour réguler la lumière du soleil entrant dans le bâtiment. Les bâtiments passifs plus complexes peuvent également avoir des thermostats pour contrôler les ventilateurs et les moteurs qui régulent le débit d'air ou les événements de contrôle. Dans de nombreux bâtiments passifs, les mécanismes de contrôle sont manuels; c'est-à-dire que les gens contrôlent le bâtiment [10].

4.2. Rafraîchissement passif

Dans les pays à climat chaud, les besoins énergétiques du rafraîchissement peuvent atteindre deux ou trois fois ceux du chauffage, sur une base annuelle. L'utilisation des principes de base du transfert de chaleur, couplée au climat local, et l'exploitation des propriétés physiques des matériaux de construction, pourraient permettre le contrôle des conditions de confort à l'intérieur des

bâtiments. Même dans les zones où la température ambiante maximale moyenne est d'environ 31.7 °C, les conditions de confort à l'intérieur des bâtiments peuvent être atteintes grâce à une conception de bâtiment appropriée [11] qui rend souvent injustifiée l'utilisation des climatiseurs dans les habitations. On estime qu'une augmentation de 9 Mtep (Millions de tonnes d'équivalent pétrole) de la contribution solaire potentielle totale par an, (toute l'utilisation solaire potentielle est exploitée) est possible dans tous les pays de l'Union Européen, si le rafraîchissement passif est appliqué les habitations [12]. Aujourd'hui, on parle de "rafraîchissement passif", dans lequel l'opération de rafraîchissement est assurée par le transfert d'énergie de l'espace ou de l'air abondant dans l'espace, pour atteindre un niveau de température et / ou d'humidité inférieur à celui de l'ambiance naturelle [9].

a) Stratégies de Rafraîchissement passif

Le rafraîchissement passif peut couvrir globalement toutes les mesures et processus qui contribuent au contrôle et à la réduction des besoins de rafraîchissement des bâtiments. Il comprend toutes les mesures préventives pour éviter la surchauffe à l'intérieur des bâtiments et les stratégies de rejet à l'extérieur de la chaleur interne (figure 1.3), cette dernière générée à l'intérieur ou pénétrant dans l'enveloppe du bâtiment. Le rejet de chaleur vers les puits de chaleur peut être réalisé soit par les processus naturels de transfert de chaleur: conduction, convection, rayonnement, évaporation (rafraîchissement naturel) ou amélioré mécaniquement avec l'utilisation de petits ventilateurs ou pompes (rafraîchissement hybride). Pour éviter la surchauffe et créer des conditions de confort thermique à l'intérieur de bâtiments pendant l'été, les stratégies de rafraîchissement devraient être conçues à trois niveaux :

- Prévention des gains de chaleur par une conception appropriée au site du bâtiment.
- Modulations des gains de chaleur.
- Rejet de la chaleur de l'intérieur du bâtiment (ventilation naturelle).

b) Prévention des gains de chaleur par une conception appropriée

Le microclimat et la conception appropriée du site peuvent grandement influencer le comportement thermique d'un bâtiment. Le principe général est

qu'un bâtiment doit être adapté au climat de la région et au microclimat (c'est-à-dire l'environnement voisin autour d'un bâtiment). La conception du site est influencée par des considérations qui peuvent tous interférer avec la conception d'un bâtiment en ce qui concerne le rayonnement solaire incident et le vent disponible. La végétation aussi n'aboutit pas seulement à des espaces extérieurs agréables, mais peut également améliorer le microclimat autour d'un bâtiment et réduire la charge de rafraîchissement. Il a été estimé qu'un arbre grandeur nature évapore 1,460 kg d'eau par jour d'été ensoleillé, ce qui équivaut à 870 MJ de capacité de rafraîchissement. Les zones à végétation élevée peuvent présenter des températures de l'air nettement inférieures (de 2 à 3 °C).

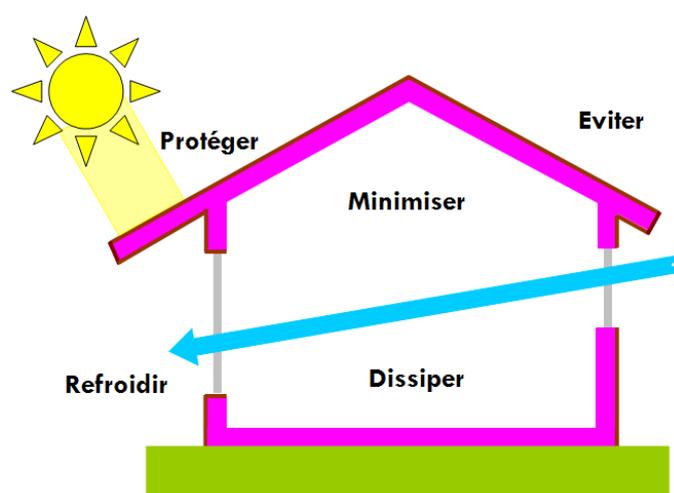


Figure 1.3 : Stratégies du rafraîchissement passif en été.

L'utilisation de divers dispositifs d'ombrage pour atténuer le rayonnement solaire incident à l'entrée du bâtiment peut réduire considérablement la charge de rafraîchissement. L'ombrage extérieur des murs opaques avec la végétation naturelle environnante, l'ombrage externe ou interne et les vitrages de haute performance peuvent donner des performances thermiques et optiques satisfaisantes.

L'enveloppe du bâtiment détermine les processus physiques qui se déroulent entre l'environnement extérieur et les espaces intérieurs. L'objectif est de limiter les gains thermiques pendant l'été, en raison des températures élevées de l'air extérieur et du rayonnement solaire incident. L'isolation thermique peut réduire la chaleur à travers les matériaux de construction. En été, elle permet de réduire les gains thermiques.

c) Modulations des gains de chaleur

La masse thermique d'un bâtiment (généralement contenue dans les murs, les planchers et les cloisons, construite en matériau à haute capacité thermique) absorbe la chaleur pendant la journée et régule l'amplitude des variations de température intérieure, réduit la charge de rafraîchissement maximale [14] la chaleur absorbée dans les heures nocturnes. La charge de rafraîchissement peut alors être couverte par des techniques de rafraîchissement passif, puisque les conditions extérieures sont plus favorables. Un bâtiment inoccupé peut également être pré-refroidi par ventilation pendant la nuit et ce rafraîchissement stocké peut être transféré dans les premières heures du jour suivant, réduisant ainsi la consommation d'énergie pour le rafraîchissement de près de 20%.

d) Rafraîchissement naturel par dissipation thermique (ventilation)

La ventilation naturelle est l'un des principaux moyens de réduire la charge de rafraîchissement dans les bâtiments (évacuation de la chaleur des espaces intérieurs) et de prolonger les conditions de confort thermique intérieur lorsque les conditions extérieures (température et humidité) sont favorables. La ventilation est également nécessaire dans tous les espaces intérieurs, afin d'introduire les niveaux d'air frais requis et de contrôler les odeurs et les polluants intérieurs.

4.3. L'Éclairage naturel

La lumière, et en particulier la lumière du jour, est un troisième élément important. L'architecture ne peut pas exister sans lumière, du moment où on peut substituer l'éclairage artificiel par la lumière naturelle. Il n'est pas exagéré de dire que le vrai donneur de l'architecture n'est pas l'architecte lui-même mais la lumière et que l'architecte n'est que la forme d'un façonneur [13]. Une stratégie d'éclairage naturel réussie est celle qui maximise les niveaux de lumière du jour à l'intérieur du bâtiment, mais optimise la qualité de l'environnement lumineux pour les occupants. La conception de l'éclairage naturel ne concerne pas seulement la maximisation des niveaux de lumière. L'excès de lumière du soleil dans un intérieur peut être extrêmement inconfortable pour ses occupants. Le mot clé dans la conception de l'éclairage naturel est le contrôle, non seulement des

niveaux de lumière, mais aussi de la direction et de la distribution de la lumière [14].

Les stratégies d'éclairage naturel peuvent être divisées en deux groupes. Le premier comprend des systèmes d'éclairage latéral, où la lumière est amenée à des côtés d'un bâtiment dans l'espace intérieur. Une fenêtre est l'exemple le plus simple de cette stratégie. Le groupe comprend des systèmes de surveillance, où la lumière est amenée du haut d'un bâtiment et distribuée à l'intérieur. Un puits de lumière est l'exemple le plus simple d'un tel système [15].

La stratégie d'éclairage naturel comprend quatre concepts (figure 1.4):

- Pénétration: collecte de la lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment,
- Distribution: diffusion homogène de la lumière dans les espaces ou focalisation,
- Protection: réduire la lumière par des dispositifs d'ombrage externes,
- Contrôle: contrôler la pénétration de la lumière par des écrans mobiles pour éviter l'inconfort visuel [15]



Figure 1.4 : Stratégies de l'éclairage naturel.

a) Objectifs de l'éclairage naturel

Les systèmes d'éclairage naturel novateurs ont quatre objectifs principaux: augmenter les niveaux de lumière du jour dans les pièces, améliorer l'uniformité de la lumière du jour, contrôler la lumière directe du soleil et réduire l'éblouissement. Dans les bâtiments non domestiques, l'éclairage peut être un grand consommateur d'énergie. La lumière du jour doit donc être considérée comme une partie importante de la conception solaire passive à basse énergie. Des chercheurs ont identifié des économies potentielles substantielles

(généralement de l'ordre de 20 à 40% de l'utilisation de l'éclairage) liées à l'exploitation de la lumière du jour dans ces bâtiments.

b) Éléments d'éclairage naturel

Les ouvertures

Toute surface vide dans l'enveloppe du bâtiment est considérée comme une ouverture. Certaines ouvertures sont principalement destinées à la circulation, comme les portes, tandis que les fenêtres et les puits de lumière sont souvent associés à la lumière et à la ventilation. Les surfaces environnantes d'une ouverture affectent la distribution de la lumière naturelle dans un espace. La fenêtre arrondie montrée sur la figure 1.5 aide à réduire le contraste des zones claires et sombres près de l'ouverture en créant de plus grandes zones de lumière intermédiaire. Les ouvertures inclinées sont plus efficaces pour augmenter les zones de lumière intermédiaires car toute la surface angulaire est éclairée par la lumière pénétrant dans l'ouverture. Ils peuvent également augmenter l'angle d'acceptation.



Figure 1.5 : Ouverture lumineuse avec évasement arrondi.

La réflectance des matériaux de toiture peut être utilisée pour augmenter le gain de lumière à travers les écrans de toit et les fenêtres. Les toits noirs peuvent refléter 6 % ou moins, tandis que les toits blancs peuvent refléter 70 % ou plus. La poussée vers les toits blancs et frais pour réduire les charges de climatisation en été contribue également à améliorer la capacité de la lumière naturelle. Les conditions du sol extérieur peuvent également affecter l'éclairage. Un champ de neige fraîche et brillante ou un plan d'eau au Sud peut augmenter considérablement le gain de lumière, et le changement de la configuration des

feuilles ou du couvert végétal au cours de l'année peut limiter la lumière et altérer la qualité de la lumière [13].

Le vitrage

La lumière naturelle pénètre généralement dans un espace à travers une ouverture vitrée qui peut avoir plusieurs fonctions. Une compréhension des propriétés du vitrage est nécessaire pour pouvoir choisir le produit de vitrage approprié. La transmittance visible est très préoccupante lorsqu'on considère la lumière naturelle. Elle mesure la quantité relative de lumière solaire passant à travers un ensemble de vitrage, allant généralement de 0.3 à 0.8, avec des nombres plus élevés représentant des valeurs plus grandes de transmittance de la lumière. Choisir le bon vitrage pour la lumière naturelle, le chauffage et le refroidissement passifs est essentiel pour la conception intégrée. Un choix de vitrage unique convient généralement à un compromis entre le refroidissement et le chauffage et il est peu probable qu'il fonctionne de manière optimale tout au long de l'année [16].

5. Quelques rappels en physique du bâtiment

5.1. Les échanges thermiques dans le bâtiment

Du point de vue physique, le bâtiment est une masse et un volume. La masse (parois opaques et transparentes) constitue le lien entre le microclimat intérieur et les fluctuations des sollicitations climatiques. La morphologie, l'orientation, et l'organisation des espaces caractérisent les modalités des interactions et les transferts d'énergie entre l'intérieur et l'extérieur [17]. Les transferts d'énergie sont essentiellement des transferts de masse et de chaleur. Les principaux modes de transfert de chaleur sont la conduction, la convection et le rayonnement. Les transferts de masse concernent la chaleur latente mettant en jeu le changement de phase. Les échanges thermiques par conduction interviennent au niveau des parois opaques et transparentes. Les propriétés thermo-physiques (conductivité thermique, masse volumique et capacité calorifique) interviennent dans ce mode d'échange thermique.

Le transfert de chaleur est particulièrement important dans les bâtiments pour déterminer la conception de la structure du bâtiment et pour concevoir les

systèmes passifs et actifs nécessaires afin de fournir les conditions thermiques requises pour la consommation minimale de ressources.

a) Pertes de chaleur d'un bâtiment en termes simples

Selon la deuxième loi de la thermodynamique, le transfert de chaleur n'est possible que dans le sens d'une température plus élevée vers une température plus basse. Il devient nul si les températures sont égales. La perte de chaleur à travers une enveloppe devrait donc être proportionnelle à la différence $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$, ou à une puissance positive de celle-ci pour de petites différences. Pour une formule simple, une dépendance linéaire à la différence de température est suffisante. En admettant en outre que la perte de chaleur croisse linéairement avec une surface A , on trouve:

$$Q = AU(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (1)$$

La constante de proportionnalité U , est le coefficient global de transfert de chaleur en $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

b) Transferts de chaleur dans les bâtiments

Le transfert de chaleur est le processus d'échange thermique entre différents systèmes. Généralement, le transfert de chaleur net entre deux systèmes s'effectue du système plus chaud au système froid [18].

Très largement, les mécanismes de transfert de chaleur peuvent être décrits comme:

- Conduction,
- Convection,
- Radiation,
- Changement de phase.

Le comportement thermique d'un système est fonction de la relation dynamique entre ces mécanismes.

La Conduction

La conduction est la diffusion de la chaleur interne dans un corps à la suite d'une différence de température (figure 1.6). Ceci est particulièrement important dans les bâtiments où il peut y avoir une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, comme dans un bâtiment chauffé en hiver. La conduction

est l'un des principaux mécanismes potentiels de transfert de chaleur par lequel le chauffage ou le refroidissement interne peut être perdu à l'extérieur, ce qui entraîne des coûts d'exploitation élevés, des émissions de carbone élevées et une gêne pour les occupants.

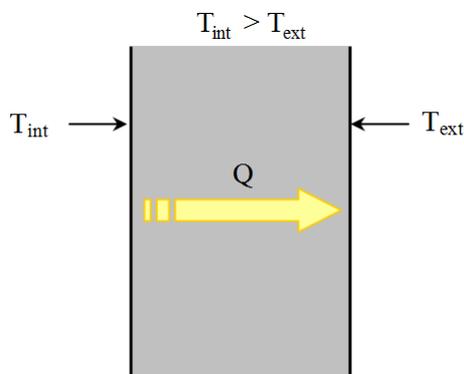


Figure 1.6 : Conduction de la chaleur à travers un matériau.

Pour les matériaux de construction, on pense parfois que la conductivité est exprimée par la valeur U , mais les valeurs U sont l'inverse de la somme des résistances thermiques d'un corps plus ses résistances thermiques de surface interne et externe. La conductivité est plus précisément exprimée par la valeur R d'un matériau, qui est l'inverse de sa résistance thermique et ne comprend pas de composant de surface. La conduction peut être inhibée par des matériaux isolants qui ont une résistance thermique élevée et contribuent ainsi à réduire le transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Un effet isolant peut également être obtenu par l'inertie thermique des composants du bâtiment. L'inertie thermique décrit la capacité d'un matériau à absorber, stocker et libérer de l'énergie thermique. Elle peut être utilisée pour équilibrer les variations des conditions internes et externes, absorbant la chaleur lorsque les températures augmentent et la libérant pour mesure qu'elles diminuent. Dans la conception des bâtiments, cela peut être utile pour équilibrer et retarder les conditions thermiques extrêmes, stabiliser l'environnement interne et ainsi réduire la demande pour les systèmes de services du bâtiment.

La Convection

La convection est le mouvement d'un fluide, tel que l'air, par advection et diffusion. C'est un mécanisme très important dans la conception des bâtiments, où le mouvement de l'air est nécessaire pour:

- Modérer les températures intérieures,
- Réduire l'accumulation d'humidité, d'odeurs et d'autres gaz qui peuvent s'accumuler pendant les périodes occupées,
- Améliorer le confort des occupants.

La convection est également un mécanisme de transfert de chaleur, résultant du mouvement de l'air de différentes températures (figure 1.7).

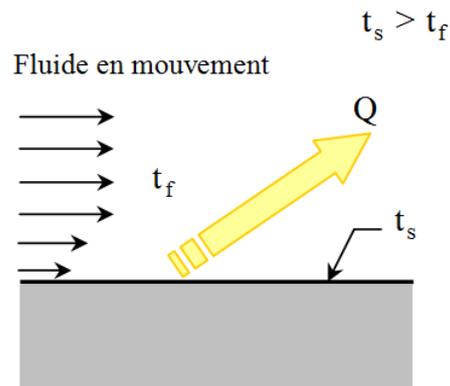


Figure 1.7 : La convection.

Les mouvements d'air dans les bâtiments peuvent être "forcés" (par exemple par des ventilateurs), ou "naturels" résultant des différences de pression d'une partie d'un bâtiment à l'autre. Les mouvements d'air naturels peuvent être entraînés par le vent ou par la poussée de la flottabilité (ventilation naturelle). Prédire avec précision le mouvement de l'air à l'intérieur des bâtiments est extrêmement compliqué et peut nécessiter l'utilisation d'un logiciel de modélisation de la dynamique des fluides numérique (CFD).

Le Rayonnement

Tous les corps qui ont une température supérieure à 0 K émettent un rayonnement thermique. Ils absorbent également le rayonnement thermique émis par leur environnement. La différence dans la quantité totale de radiation émise et absorbée par un corps à un moment donné peut entraîner un transfert de chaleur net qui produira un changement dans la température de ce corps (figure 1.8). La gamme des températures terrestres rencontrées dans l'environnement bâti est relativement faible et, par rapport à la température du soleil, cette plage est "froide" et rayonne à une "longue" longueur d'onde par rapport au soleil. Cette anomalie nous permet de classer les rayonnements thermiques comme des rayonnements solaires à ondes courtes et des rayonnements infrarouges terrestres

ou à ondes longues. Les surfaces dans l'environnement bâti auront tendance à absorber le rayonnement solaire et à émettre de longues radiations infrarouges.

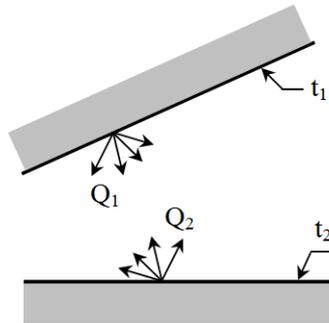


Figure 1.8 : rayonnement thermique entre deux surfaces.

Cette différence produit également des effets tels que l'effet de serre. L'atmosphère est relativement transparente au rayonnement solaire, ce qui signifie qu'elle permet à la lumière du soleil d'entrer dans l'atmosphère et de chauffer la surface de la Terre. Ces surfaces irradient ensuite cette chaleur sous forme de rayonnement infrarouge à ondes longues, que les gaz à effet de serre ont tendance à absorber plutôt qu'à transmettre. Le résultat est que le rayonnement infrarouge à ondes longues est "piégé" et que la chaleur s'accumule dans l'atmosphère, provoquant un processus de réchauffement. Les propriétés thermiques optiques d'un matériau sont fonction de trois paramètres de base; la transmittance, la réflectance et l'absorbance (ou l'émissivité), décrivant le rapport du rayonnement transmis, rayonné ou absorbé au rayonnement incident. Ces propriétés varient en fonction de la longueur d'onde et de l'angle du rayonnement incident [19].

Le Changement de phase

Lorsque les substances changent de phase, par exemple en passant du liquide au gaz, elles absorbent ou libèrent de l'énergie thermique. Par exemple, lorsque l'eau s'évapore, elle absorbe la chaleur, produisant un effet de refroidissement, et lorsqu'elle se condense, elle dégage de la chaleur. Ainsi, lorsque l'eau s'évapore de la surface d'un bâtiment ou lorsque la sueur s'évapore de la peau, elle a un effet de refroidissement.

Ceci est également important en réfrigération, où les gaz réfrigérants absorbent la chaleur du milieu de refroidissement (typiquement de l'eau) lorsqu'ils s'évaporent, et lorsqu'ils se condensent, ils libèrent de la chaleur qui est rejetée

vers l'extérieur (ou récupérée). Les matériaux à changement de phase peuvent également être utilisés dans la construction pour réduire les changements de température interne en stockant la chaleur latente au cours du changement de phase solide-liquide d'un matériau.

5.2. Le confort thermique

Le confort thermique est défini comme étant : "l'état d'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique". Malgré le fait qu'il s'agit d'une définition psychologique (un état d'esprit), cette définition a généralement été modélisée en termes de physiologie et de physique. Le but de ceux qui étudient le confort est de définir l'environnement thermique qu'un système de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) doit fournir afin d'"assurer" un environnement confortable. Une grande partie de la recherche sur laquelle ces normes sont basées a été faite dans des chambres climatiques - des laboratoires à commande thermique. Les réactions des sujets sont généralement surveillées sur une période de trois heures dans n'importe quel ensemble de conditions thermiques. La réponse finale des sujets est mesurée à l'aide de l'échelle de l'American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning (ASHRAE) présentée au tableau 1.1. Afin de généraliser les résultats, les réponses sont liées à un modèle de bilan thermique - l'hypothèse étant qu'une précondition de neutralité thermique (une réponse 0 sur l'échelle ASHRA, E) sera un équilibre (état stationnaire) entre la production de chaleur métabolique et les pertes de chaleur globales dans l'environnement [20].

Le confort dépend également des comportements qui sont initiés consciemment ou inconsciemment et guidés par des sensations thermiques et d'humidité pour réduire l'inconfort. Certains exemples ont une relation avec les vêtements, la nature de l'activité, le changement de posture ou d'emplacement, une modification de réglage d'un thermostat, l'ouverture d'une fenêtre...etc. Étonnamment, bien que les climats, les conditions de vie et les cultures diffèrent largement à travers le monde, la température que les gens choisissent pour le confort dans des conditions similaires d'habillement, d'activité, d'humidité et de mouvement de l'air se révèle très semblable.

Tableau 1.1 : Echelles du confort thermique d'ASHRAE et de Bedford.

Descripteur ASHRAE	Descripteur numérique	Descripteur de Bedford
Très chaud	3	Beaucoup trop chaud
Chaud	2	Trop chaud
Légèrement chaud	1	Confortablement chaud
Neutre	0	Confortable
Légèrement froid	-1	Confortablement froid
Froid	-2	Trop froid
Très froid	-3	Beaucoup trop cool

En outre, le confort thermique a été le sujet de nombreux travaux de recherche, qui ne concernent pas uniquement les bâtiments, mais aussi les moyens de transport ou les lieux de travail, etc. En ce qui concerne les bâtiments, le domaine de recherche sur le confort thermique est partagé entre deux approches. La première étudie le confort thermique d'une façon analytique. Elle n'est pas restreinte aux bâtiments. La deuxième approche, basée sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, est l'approche adaptative [21].

a) Facteurs influant sur le confort thermique

Comme il y a de grandes variations d'une personne à l'autre en termes de satisfaction physiologique et psychologique, il est difficile de trouver une température optimale pour tout le monde dans un espace donné. Des données de laboratoire et de terrain ont été recueillies au cours des recherches pour définir des conditions qui se révéleront confortables pour un pourcentage spécifié d'occupants. Il y a sept facteurs principaux qui affectent directement le confort thermique et qui peuvent être regroupés en deux catégories: les facteurs personnels - car ce sont les caractéristiques des occupants et les facteurs environnementaux - qui sont les conditions de l'environnement thermique. Les premiers sont le taux métabolique et le niveau de vêtements, les seconds sont la température de l'air, la température radiante moyenne, la vitesse de l'air et l'humidité. Même si tous ces facteurs peuvent varier avec le temps, les normes se réfèrent généralement à un état stable pour étudier le confort thermique, permettant simplement des variations de température limitées [22].

Métabolisme

Les gens ont des taux métaboliques différents qui peuvent fluctuer en raison du niveau d'activité et des conditions environnementales. Le taux métabolique correspond au niveau de transformation de l'énergie chimique en chaleur et aux activités mécaniques métaboliques au sein d'un organisme, habituellement exprimé en termes de surface unitaire de la surface corporelle totale. Le taux métabolique est exprimé en unités métriques, qui sont définies comme suit: 1 met = 58.2 W/m² (18.4 Btu / h.ft²), ce qui est égal à l'énergie produite par unité de surface d'une personne moyenne assise au repos. La surface d'une personne moyenne est de 1,8 m². Les habitudes de consommation d'aliments et de boissons peuvent avoir une influence sur les taux métaboliques, ce qui influe indirectement sur les préférences thermiques. La forme du corps est un autre facteur qui affecte le métabolisme. La dissipation de chaleur dépend de la surface corporelle. Une personne grande et mince a un rapport surface / volume plus grand, peut dissiper la chaleur plus facilement et peut tolérer des températures plus élevées qu'une personne ayant une forme de corps arrondie.

Isolation des vêtements

La quantité d'isolation thermique portée par une personne a un impact important sur le confort thermique, car elle influe sur la perte de chaleur et, par conséquent, sur l'équilibre thermique. Des couches de vêtements isolants empêchent la perte de chaleur et peuvent soit aider à garder une personne au chaud, soit conduire à une surchauffe. Généralement, plus le vêtement est épais, plus la capacité d'isolation est grande. Selon le type de matériau dont est fait le vêtement, le mouvement de l'air et l'humidité relative peuvent diminuer la capacité d'isolation du matériau. 1 clo est égal à 0.155 m²K/W (0.88 °F·ft²·h/Btu). Cela correspond à un pantalon, une chemise à manches longues et une veste. Les valeurs d'isolation des vêtements pour d'autres ensembles communs ou des vêtements simples sont disponibles dans la littérature.

Température de l'air

La température de l'air est la température moyenne de l'air entourant l'occupant, en ce qui concerne l'emplacement et l'heure. Selon la norme ASHRAE55, la moyenne spatiale prend en compte les niveaux de, la cheville, de la taille et de la tête, qui varient pour les occupants assis ou debout. La moyenne

temporelle est basée sur des intervalles de trois minutes avec au moins 18 points espacés régulièrement. La température de l'air est mesurée à l'aide d'un thermomètre à bulbe sec et, pour cette raison, elle est également appelée température à bulbe sec.

Température radiative moyenne

La température radiative est liée à la quantité de chaleur radiante transférée d'une surface, et elle dépend de la capacité du matériau à absorber ou émettre de la chaleur, ou de son émissivité. La température radiative moyenne dépend des températures et des émissivités des surfaces environnantes ainsi que du facteur de vue ou de la quantité de surface "vue" par l'objet. Ainsi, la température radiative moyenne ressentie par une personne dans une pièce où la lumière du soleil coule varie en fonction de la quantité de son corps exposée au soleil.

Température opérative

La température opérative tente de combiner les effets de l'air et les températures radiatives moyennes en une seule mesure. Elle est souvent estimée comme la moyenne de la température du thermomètre sec et de la température radiative moyenne à l'endroit donné dans une pièce. Dans les bâtiments à faible masse thermique, la température opérative est parfois considérée comme étant simplement la température de l'air.

Vitesse de l'air

La vitesse de l'air est définie comme le taux de mouvement de l'air à un point, sans tenir compte de la direction. Selon la norme ASHRAE, c'est la vitesse moyenne de l'air à laquelle le corps est exposé, en tenant compte de l'emplacement et le temps. La moyenne temporelle est la même que la température de l'air, tandis que la moyenne spatiale est basée sur l'hypothèse que le corps est exposé à une vitesse uniforme de l'air. Cependant, certains espaces peuvent fournir des champs de vitesse de l'air fortement non uniformes et, par conséquent, des pertes de chaleur de la peau qui ne peuvent pas être considérées uniformes [21].

Humidité relative

L'humidité relative est le rapport de la quantité de vapeur d'eau dans l'air à la quantité de vapeur d'eau que l'air peut contenir à la température et à la

pression spécifique. Alors que le corps humain a des capteurs dans la peau qui est assez efficaces pour ressentir la chaleur et le froid, l'humidité relative (HR) est détectée indirectement. La transpiration est un mécanisme de perte de chaleur efficace qui repose sur l'évaporation de la peau. Cependant, à haute HR, l'air est près de la vapeur d'eau maximale qu'il peut contenir, donc l'évaporation, et donc la perte de chaleur, est diminuée. D'autre part, les milieux très secs (HR <20-30%) sont également inconfortables en raison de leur effet sur les muqueuses. Le niveau recommandé d'humidité intérieure est de l'ordre de 30-60% dans les bâtiments climatisés mais de nouvelles normes telles que le modèle adaptatif permettent des humidités plus basses et plus élevées, en fonction des autres facteurs de confort thermique. Une façon de mesurer la quantité d'humidité relative dans l'air est d'utiliser un système de thermomètres à bulbe sec et à bulbe humide. Alors que le premier mesure la température sans tenir compte de l'humidité - comme dans les bulletins météorologiques - ce dernier a un petit chiffon humide enroulé autour de l'ampoule à sa base, de sorte que la mesure prend en compte l'évaporation de l'eau dans l'air. La lecture du bulbe humide sera donc toujours au moins légèrement inférieure à celle du bulbe sec. La différence entre ces deux températures peut être utilisée pour calculer l'humidité relative: plus la différence de température entre les deux thermomètres est grande, plus le niveau d'humidité relative est bas [23].

b) Modèles de confort thermique

La communauté scientifique a développé des études et accumulé des connaissances sur le confort dans les environnements intérieurs depuis des décennies. Depuis l'étude séminale "Thermal Comfort" de Fanger, dont ses résultats et ses aboutissements les plus importants sont maintenant à la base des principales normes internationales relatives à l'environnement thermique intérieur, telles que ISO 7730 (2005), ASHRAE 55 (2010), et la norme CEN EN15251 (2007) [24].

De nos jours, deux approches sont utilisées; la première étudie le confort thermique d'une façon analytique, elle n'est pas restreinte aux bâtiments; la deuxième approche, basée sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, est l'approche adaptative.

L'approche analytique

Le modèle PMV/PPD a été développé par P.O. Fanger en utilisant des équations d'équilibre thermique et des études empiriques sur la température de la peau pour définir le confort. Les enquêtes standard de confort thermique interrogent les sujets sur leur sensation thermique sur une échelle de sept points allant du froid (-3) au chaud (+3). Les équations de Fanger sont utilisées pour calculer le Vote Prévu Moyen (PMV) d'un grand groupe de sujets pour une combinaison particulière de température de l'air, de température radiative moyenne, d'humidité relative, de vitesse de l'air, de taux métabolique et d'isolation des vêtements. Zéro est la valeur idéale représentant la neutralité thermique, et la zone de confort est définie par les combinaisons des six paramètres pour lesquels le PMV est dans la limite recommandée ($0,5 < \text{PMV} < +0,5$). Bien que la prédiction de la sensation thermique d'une population soit une étape importante pour déterminer quelles conditions sont à l'aise, il est plus utile de se demander si les gens seront satisfaits. Fanger a développé une autre équation pour relier le PMV au Pourcentage Prévu de Dissuadé (PPD). Cette relation est basée sur des études à travers l'interrogation des sujets dans une chambre où les conditions intérieures peuvent être contrôlées avec précision. Cette méthode traite tous les occupants de la même façon et ne tient pas compte de l'emplacement et de l'adaptation à l'environnement thermique. Elle stipule essentiellement que la température intérieure ne devrait pas changer au fil des saisons [25]. Le modèle de confort thermique de Fanger est utilisé pour calculer le PMV dans les équations suivantes :

$$\text{PMV} = [0.303 \exp^{-0.036M} + 0.028] \{ (M - W) - 0.00305 [5733 - 6.99(M - W) - p] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 0.0000173M(5867 - p) - 0.0014M(30.7 - t_a) D \} - F \quad (2)$$

Où la fonction d'habillement F est donnée par :

$$F = 3.96 \cdot 10^{-8} f(t_{cl}^4 - t_{mrt}^4) + fh_c (t_{cl} - t_a) \quad (3)$$

Pour le coefficient h de transfert thermique des habits, on prend celle des expressions ci-dessous qui donne la valeur la plus grande :

$$h = 2.38 (t_{cl} - t_a)^{1/4} \quad \text{ou} \quad h = 12.1(V)^{1/2} \quad (4)$$

La température absolue des habits est donnée par :

$$t_{cl} = 308.9 - 0.028 (M - W) - RF \quad (5)$$

La fraction de surface habillée peut être estimée par :

$$f = 1.00 + 1.290 R \quad \text{si} \quad R < 0.078 \text{ m}^2\text{K} / \text{W} \quad (6)$$

$$f = 1.05 + 0.645 R \quad \text{si} \quad R > 0.078 \text{ m}^2\text{K} / \text{W} \quad (7)$$

Puisque PPD est une fonction de PMV, il peut être défini comme :

$$PPD = 1 - 0.95 \exp(-0.003353 \text{ PMV}^4 - 0.2179 \text{ PMV}^2) \quad (8)$$

L'approche adaptative

Le modèle adaptatif est basé sur l'idée que le climat extérieur influence le confort intérieur parce que les humains peuvent s'adapter à différentes températures pendant différentes périodes de l'année. L'hypothèse adaptative prédit que les facteurs contextuels, tels que l'accès aux contrôles environnementaux, et l'historique thermique passé peuvent influencer les attentes et préférences thermiques des occupants du bâtiment. De nombreux chercheurs ont mené des études sur le terrain dans le monde entier dans le cadre desquelles ils ont interrogé les occupants des bâtiments sur leur confort thermique tout en prenant des mesures environnementales simultanées. L'analyse d'une base de données des résultats de 160 de ces bâtiments a révélé que les occupants des bâtiments ventilés naturellement acceptent et préfèrent même une gamme de températures plus large que leurs homologues dans les bâtiments scellés et climatisés parce que leur température préférée dépend des conditions extérieures. Ces résultats ont été incorporés dans la norme ASHRAE 55-2004 en tant que modèle de confort adaptatif.

Gagge a établi le modèle dynamique qui permet de prévoir les variables physiologiques sous des conditions instationnaires à travers le calcul d'un indice représentant la température équivalente d'une enceinte isotherme à 50 % d'humidité relative. En 1970, Humphrey, est arrivé à déterminer une expression mathématique de la température neutre basée sur la température extérieure moyenne mensuelle dont la formule est:

$$T_n = 11.09 + 0.534 T_0 \quad (9)$$

Où T_n est la température neutre (°C).

T_0 : la température extérieure moyenne pour un mois en question ($^{\circ}\text{C}$) [21].

Une autre fonction de corrélation empirique a été réalisée par Auliciemes est:

$$T_n = 17.6 + 0.314 T_0 \quad (10)$$

5.3. L'isolation thermique

La demande énergétique annuelle d'un bâtiment pour le chauffage et le refroidissement est affectée dans une certaine mesure par la stabilité thermique du bâtiment lui-même. On entend par stabilité thermique du bâtiment la capacité à maintenir la température interne dans un certain intervalle, compte tenu des oscillations de température extérieures normales et soit avec une alimentation en énergie constante de l'installation, soit sans aucune action de l'installation. Cette stabilité thermique du bâtiment dépend des réponses thermiques dynamiques de tous les composants de l'enveloppe du bâtiment (murs extérieurs, cloisons internes, plafonds et sols) aux variations de température externes et internes. Les réponses dynamiques sont déterminées par les propriétés thermiques des matériaux, les quantités totales de matériaux utilisés et leur disposition spécifique dans les structures [26].

Plusieurs auteurs ont étudié l'effet des diverses caractéristiques de conception des murs extérieurs massifs, avec une certaine quantité d'isolation, sur les charges de chauffage et de refroidissement dans les bâtiments commerciaux et résidentiels. Pour les murs multicouches, trois configurations de base ont été envisagées: l'isolation à l'intérieur ou à l'extérieur de la couche massive et l'isolation entre deux couches massives. Beaucoup de résultats de l'analyse paramétrique approfondie ont montré explicitement que les murs avec l'isolation à l'extérieur ont toujours mieux réagi que ceux avec l'isolation à l'intérieur [27].

a) But de l'isolation thermique

Le but de l'isolation thermique dans les bâtiments est de maintenir un climat intérieur confortable et hygiénique à basse température ambiante. Une quantité minimale d'isolation thermique est requise pour protéger les éléments de construction contre les chocs thermiques et les dommages liés à l'humidité. L'objectif principal de l'isolation thermique en hiver est la conservation de

l'énergie entraînant une diminution de la demande de chauffage et donc la protection de l'environnement. Cet objectif doit être pris en compte dans les nouveaux bâtiments ainsi que dans la rénovation du parc immobilier. Les stratégies pour atteindre cet objectif sont l'utilisation de matériaux de construction à faible conductivité thermique et l'installation de fenêtres avec de faibles valeurs U d'un côté et éviter les ponts thermiques et l'infiltration incontrôlée également. Outre le but mentionné ci-dessus, l'isolation thermique joue un rôle majeur dans la prévention de la surchauffe estivale des bâtiments en réduisant la transmission du rayonnement solaire, absorbé par les surfaces extérieures des bâtiments. Les valeurs les plus basses des éléments non évacués réalisables sont celles de l'air immobile. Par conséquent, le principe de base dans le développement de matériaux isolants consiste à enfermer le plus possible d'air immobile dans la structure du matériau tout en respectant la stabilité structurelle requise.

b) Efficacité des matériaux d'isolation

Certains isolants ont une efficacité ou un pouvoir d'isolation plus élevée que d'autres, par exemple, la mousse de polyuréthane est un meilleur isolant que le polystyrène expansé. Cependant, il peut y avoir des raisons pour lesquelles le meilleur matériau isolant n'est pas toujours spécifié, par exemple:

- Le coût
- Disponibilité du matériau dans la forme requise.
- Le matériau peut être inapproprié pour la position sur le bâtiment qui est isolé. Il devra parfois résister à des charges (sols et toits plats, par exemple) ou être stable dans les conditions de chaleur du soleil (isolation extérieure, toits plats) ou résistant à l'absorption d'eau (toits plats inversés), ou ne pas être adapté aux murs sur un côté d'exposition particulier.
- Certains matériaux isolants peuvent se déplacer avec l'âge ou s'abîmer. D'autres, cependant, sont flexibles et résilients. Ils s'intègrent bien dans les espaces inconfortables et réduisent donc le potentiel de pont thermique et de perte de chaleur.
- Les propriétés de résistance au feu et les caractéristiques de combustion du matériau d'isolation doivent être prises en compte. Cela inclut la possibilité de dégagement de gaz toxiques dans un incendie.

- Il peut y avoir des réactions indésirables entre les matériaux d'isolation et d'autres matériaux. Par exemple, l'isolant en polystyrène ne devrait pas entrer en contact avec des matériaux en PVC (plateaux de cavité ou câbles électriques) car cela pourrait les fragiliser. De plus, certains travaux correctifs, tels que des couches chimiques résistantes à l'humidité, sont incompatibles avec certains matériaux d'isolation.
- Le facteur de risque dans l'installation - par exemple, les isolants moussés reposent sur deux composants - une résine et un durcisseur étant mélangés ensemble correctement.

c) Paramètres liés à l'isolation thermique

Les propriétés thermiques des éléments structuraux sont caractérisées par la densité (masse volumique ρ), les valeurs de la conductivité thermique (λ) des couches des éléments de construction et les coefficients de transfert de chaleur sur les surfaces. La transmission de la chaleur à travers un élément est définie par le coefficient de transmission de chaleur U . La réduction de la valeur de la conductivité thermique d'un matériau ou l'augmentation de l'épaisseur de la couche d'isolation se traduit par une valeur U décroissante. Les coefficients de transfert de chaleur sont composés d'une partie convective et d'une partie radiative.

La conductivité thermique λ

La conductivité thermique, également connue sous le nom de Lambda (désignée par le symbole grec λ), est la mesure de la facilité avec laquelle la chaleur circule dans un type de matériau spécifique, indépendamment de l'épaisseur du matériau en question. Plus la conductivité thermique d'un matériau est faible, meilleure est la performance thermique (c'est-à-dire que la chaleur plus lente se déplace à travers un matériau). Elle représente la quantité de chaleur qui traverse en une seconde un matériau d'un mètre d'épaisseur et d'un m^2 de surface pour une différence de température de $1\text{ }^\circ\text{C}$ entre ses deux faces. Le coefficient Lambda s'exprime en W/mK .

Le coefficient U

(Anciennement valeur k), c'est l'unité de mesure du coefficient de conductibilité thermique d'un élément de la construction. Elle indique la quantité

de chaleur passant en une heure à travers un m² d'un élément de construction, avec une différence de température de 1°C entre l'intérieur et l'extérieur. L'unité est le watt par mètre carré et le Kelvin (W/m²K). Plus le chiffre est petit, meilleure est l'isolation.

La capacité calorifique Cp

La capacité calorifique spécifique d'un matériau est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 kg du matériau de 1K (ou de 1°C). Un bon isolant a une capacité calorifique spécifique supérieure car il faut du temps pour absorber plus de chaleur avant qu'il ne chauffe réellement (augmentation de la température) pour transférer la chaleur. La capacité calorifique spécifique élevée est une caractéristique des matériaux fournissant une bonne masse thermique.

La densité ρ

La densité (ou masse volumique) se réfère à la masse ou "poids" par unité de volume d'un matériau et est mesurée en kg/m³. Un matériau à haute densité a un aspect d'une diffusivité thermique faible et une inertie thermique importante.

La diffusivité thermique

La diffusivité thermique mesure la capacité d'un matériau à conduire de l'énergie thermique par rapport à sa capacité à stocker de l'énergie thermique. Par exemple, les métaux transmettent l'énergie thermique rapidement (froid au toucher) alors que le bois la transmet lentement. Les isolants ont une faible diffusivité thermique. $\alpha_{\text{Cuivre}} = 98,8 \text{ mm}^2/\text{s}$, $\alpha_{\text{Bois}} = 0,082 \text{ mm}^2/\text{s}$.

L'équation est la suivante:

$$\alpha = \lambda / (\rho C_p) \quad (11)$$

Perméabilité à la vapeur μ

La perméabilité à la vapeur (facteur de diffusion de la vapeur d'eau, sans dimension) est la mesure dans laquelle un matériau permet le passage de l'eau à travers celui-ci. Elle est mesurée par la vitesse de transmission de la vapeur à travers une zone unitaire de matériau plat d'épaisseur unitaire induite par une différence de pression de vapeur unitaire entre deux surfaces spécifiques, dans des conditions de température et d'humidité spécifiées [28].

Types et formes d'isolants thermiques

Les isolants sont sur les marchés classés en fonction de leurs types et leurs formes génériques. Le type indique la composition de l'isolant (c'est-à-dire verre, plastique...etc.) et sa structure interne (c'est-à-dire cellulaire, fibreuse, granulaire....etc.). Tandis que la forme implique la configuration générale et le type d'application de ce dernier (c'est-à-dire plancher, couverture, revêtement de tuyau...etc.) [29]. La figure suivante est un schéma simplifié de la classification des matériaux isolants.

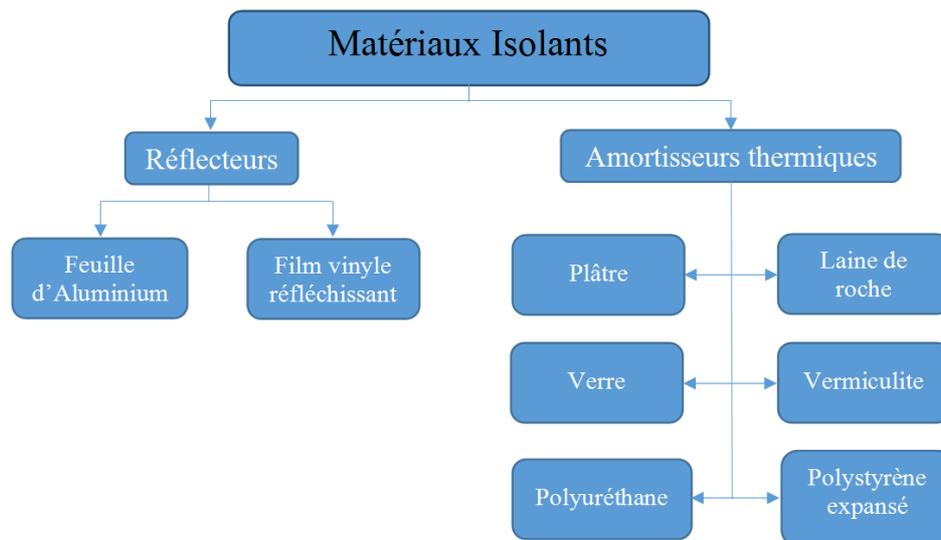


Figure 1.9 : Classification simplifiée des matériaux isolants.

Types d'isolants

- Isolant fibreux - composé de fibres de petit diamètre qui divisent finement l'espace d'air. Les fibres peuvent être perpendiculaires ou parallèles à la surface à isoler, et peuvent être collées ou non. De la silice, de la laine de roche, de la laine de laitier et des fibres de silice d'alumine sont utilisées. Les isolations les plus utilisées de ce type sont la fibre de verre et la laine minérale. Les fibres de verre et les produits en laine minérale ont généralement leurs fibres liées avec des liants organiques qui fournissent l'intégrité structurelle limitée des produits.
- Isolation cellulaire - composée de petites cellules individuelles séparées les unes des autres. Le matériau cellulaire peut être du verre ou une matière plastique expansée telle que du polystyrène (à cellules fermées), du polyisocyanurate ou l'élastomère.

- Isolant granulaire - composé de petits nodules qui peuvent contenir des vides ou des espaces creux. Il n'est pas considéré comme un vrai matériau cellulaire puisque le gaz peut être transféré entre les différents espaces. Ce type peut être produit sous la forme d'un matériau coulable, ou combiné avec un liant et des fibres ou subir une réaction chimique pour former une isolation rigide. Des exemples de ces isolants sont le silicate de calcium, la vermiculite expansée, la perlite, la cellulose et le polystyrène expansé.

Formes d'isolants

Les isolants sont produits sous diverses formes adaptées à des fonctions et à des applications spécifiques. La forme et le type d'isolation combinés déterminent la méthode d'installation appropriée. Les formes les plus utilisées sont:

- Panneaux rigides, blocs, feuilles et formes préformées telles que l'isolation des tuyaux, les segments incurvés, le calorifugeage, etc. Des isolants cellulaires, granulaires et fibreux sont produits sous ces formes.
- Feuilles flexibles et formes préformées. Des isolants cellulaires et fibreux sont produits sous ces formes.
- Couvertures flexibles. Les isolants fibreux sont produits dans des couvertures souples.
- Ciments isolants, fabriqués à partir d'isolants fibreux et granulaires et de ciment, ils peuvent être du type à prise hydraulique ou à séchage à l'air.
- Mousses; isolants coulés en mousse utilisée pour remplir les zones irrégulières et les vides, spray utilisé pour les surfaces planes.

5.4. Labels et Standards énergétiques

Aujourd'hui, la qualité environnementale et l'efficacité énergétique occupent une place de plus en plus importante dans les domaines du bâtiment, que ce soit en construction neuve ou en rénovation. De fait, depuis les années 1980, des labels, des normes, des certifications, des démarches, des référentiels foisonnent au niveau mondial. Les nations classent traditionnellement leur consommation d'énergie en trois secteurs: les bâtiments, l'industrie et le transport. L'énergie dans les bâtiments résidentiels et commerciaux est consommée par les appareils, les équipements et l'éclairage. Le nombre de ces

équipements et ces appareils est en croissance continue. L'équipement de chauffage et de refroidissement, souvent invisible, est également un équipement qui consomme beaucoup d'énergie. Les programmes d'étiquetage et d'établissement de normes d'efficacité énergétique visent à réduire la consommation d'énergie de tous ces produits sans diminuer les services qu'ils fournissent aux consommateurs [30].

Dans le monde, l'utilisation de l'énergie dans les activités humaines liées aux bâtiments, y compris l'utilisation d'appareils, d'équipements et d'éclairage, représente 34% de la consommation totale d'énergie [31]. La consommation d'énergie contribue également à environ 25 à 30% des émissions de CO₂ liées à l'énergie, représentant 19 à 22% des émissions anthropiques de CO₂ et 10 à 12% de notre contribution nette aux changements climatiques.

Les gouvernements ont réussi à ralentir la croissance de l'électricité et l'utilisation du gaz et les émissions de CO₂ produit dans les résidences et les bureaux à travers des étiquettes et des normes soigneusement ciblées. L'étiquetage d'efficacité énergétique et les programmes de standardisation des normes, quand ils sont conçus pour faciliter la concurrence, peuvent être efficaces pour encourager le développement, la commercialisation et la vente de produits "éconergétiques". Ils peuvent également appliquer d'autres politiques pour promouvoir l'utilisation efficace de l'énergie [32].

Certains pays peuvent être réticents à fixer des normes élevées d'efficacité, craignant que ces normes ne nuisent aux fabricants locaux qui ne sont peut-être pas aussi techniquement compétents que leurs concurrents internationaux. Pour résoudre ce problème, l'amélioration de l'efficacité des normes peut être introduite en plusieurs étapes dans les pays en voie de développement, en commençant par une faible amélioration de l'efficacité des normes qui élimine seulement les produits les moins efficaces et augmentent progressivement les normes au niveau international. De cette manière, les normes pousseront les fabricants locaux à améliorer leurs produits, mais leur laisseront amplement le temps de le faire [33].

6. Modélisation et bâtiment

Le bâtiment est un système complexe où de nombreux phénomènes physiques interviennent. Ils sont généralement traduits par des équations résolues à l'aide de méthodes numériques. Cette démarche constitue l'élaboration de modèles qui contribuent étroitement au développement de la connaissance et de la quantification des phénomènes. Le modèle le plus connu, trouvant notamment son application dans le domaine du bâtiment, est certainement celui de Fourier. Il caractérise les transferts de chaleur par conduction dans un milieu solide. La première proposition de résolution, suggérée par Fourier lui-même, est basée sur une méthode de séparation des variables. Les connaissances des phénomènes physiques ont donc progressé et l'évolution des outils informatiques a permis la résolution de problèmes complexes. De nos jours, de nombreux modèles existent pour appréhender le comportement des bâtiments. Certains sont mis à profit pour des applications technologiques ou pour aider les concepteurs à respecter des standards réglementaires. D'autres sont utilisés à des fins plus fondamentales d'amélioration des connaissances [34].

6.1. Approches de la modélisation thermique, hydrique et aéraulique des bâtiments

Du fait de la complexité géométrique d'un bâtiment, son comportement thermique en régime variable ne peut être traité que de façon approchée à l'aide d'une discrétisation spatiale (maillage ou zones). Les caractéristiques de chaque maille (zone) sont supposées uniformes (approche volumes finis) ou décrites par une forme de fonction connue (approche éléments finis). La taille des mailles élémentaires détermine la précision des résultats que nous pouvons espérer. Cette discrétisation concerne évidemment aussi bien les volumes d'air que les parois, voire même le mobilier (figure 1.10).

Pour mieux prédire le comportement hygrothermique d'un bâtiment, il est primordial de tenir en compte des différents phénomènes de transferts thermiques et hydriques se produisant dans l'enveloppe et des interactions avec l'ambiance habitable ainsi que l'environnement extérieur. Cependant, les échanges thermiques et hydriques entre l'enveloppe du bâtiment et son ambiance intérieure sont liés et continus. En effet, la nature non linéaire et le couplage fort du

système d'équations traduisant les transferts hygrothermiques rendent la modélisation plus complexe et difficile à mettre en œuvre notamment pour des niveaux de discrétisation élevés [35].

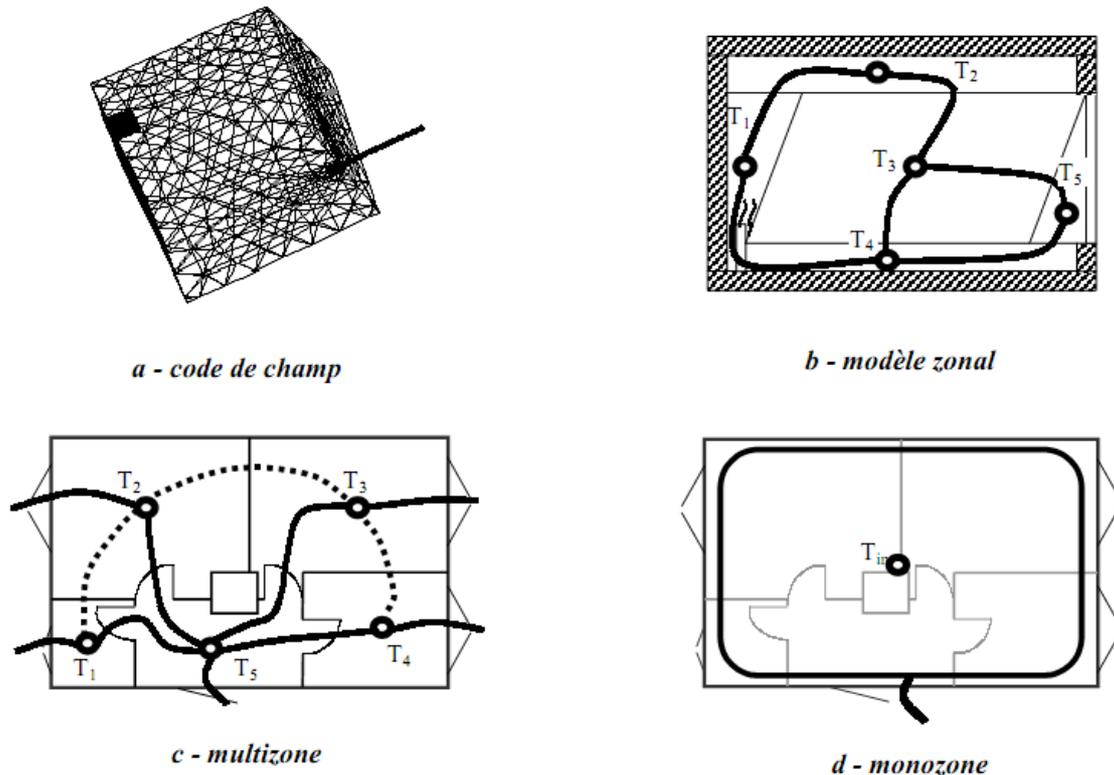


Figure 1.10 : Exemples de discrétisation spatiale d'un bâtiment [36].

Un des Annexes "41" (MOIST-ENG) de l'Agence Internationale de l'Energie s'est intéressée aux transferts couplés thermo-hygro-aérauliques dans les bâtiments. L'objectif était d'une part d'améliorer les connaissances scientifiques et d'autre part d'analyser les effets de la réponse couplée thermo-hygro-aéraulique des bâtiments sur le confort des occupants, les consommations énergétiques et la durabilité de l'enveloppe. Ce projet, démarré en 2004, a rassemblé les scientifiques de 39 institutions et universités, situées dans 19 pays à travers le monde [37].

a) Modèle monozone

Dans l'approche nodale, un bâtiment ou une collection de pièces est représenté par un seul nœud de calcul. Le nœud est considéré comme parfaitement homogène. Cela signifie qu'à l'intérieur de la zone, des propriétés uniformes sont supposées, c'est-à-dire que l'air dans la zone est considéré comme bien mélangé. Le modèle ne convient pas pour obtenir des informations sur les

conditions locales à proximité du composant du bâtiment. La partie -d- de la figure 1.10 montre une représentation schématique d'un modèle nodal. L'environnement intérieur du bâtiment est représenté par un nœud. Chaque nœud échange de la chaleur et de l'humidité avec ses composants de construction environnants et l'environnement extérieur. En ce qui concerne les coefficients de transfert de surface par convection, des coefficients de valeurs moyennes et uniformes sont utilisés pour modéliser le transfert de chaleur et d'humidité entre l'air dans la pièce et le composant de construction correspondant. Le principal avantage est que ces modèles conviennent à la simulation efficace de l'énergie du bâtiment d'un bâtiment relativement grand. Le modèle nécessite de résoudre seulement un nombre relativement petit d'équations, c'est-à-dire une équation d'équilibre énergétique et une équation d'équilibre d'humidité dans chaque nœud. De plus, cette approche est adaptée à la conception et au dimensionnement du système car elle fournit une solution rapide. Cependant, la principale limitation est que les modèles nodaux ne fournissent aucune information concernant les conditions environnementales intérieures à proximité d'un bâtiment [38].

b) Modèle Multizone

Dans un modèle multizone (on peut aussi parler de modèle nodal ou en réseau), le bâtiment est représenté par un ensemble de nœuds comme il est illustré sur la figure 1.10. Un nœud représente une zone (le plus souvent une pièce ou l'extérieur), caractérisée par des variables d'état uniformes (hypothèse de mélange parfait). Ces zones sont reliées entre elles par des connexions représentant le chemin emprunté par l'air (ouverture de portes et fenêtres, entrée d'air, défauts d'étanchéité de l'enveloppe...). Une analogie électrique consiste en la représentation du bâtiment par un réseau électrique où les chemins empruntés par l'air représentent différents types de résistance (porte ouverte ou fermée, fissure) à l'air et où la pression est imposée à chaque nœud [39].

c) Modèles zonaux

Une forte stratification thermique peut être représentée avec succès par des modèles zonaux. Ils se situent entre les modèles multizones et les codes de champs, car chaque pièce est découpée en plusieurs zones (figure 10 -b-). Ces dernières dépendent des écoulements dans chaque pièce (présence des jets de ventilation, des panaches thermiques,...). Les modèles zonaux permettent de

représenter correctement les pièces avec une forte stratification thermique. En revanche, ils nécessitent une bonne connaissance de la configuration représentée et en particulier des écoulements moteurs. Une difficulté de cette modélisation résulte de la nécessité de construire le maillage (les zones) en fonction des propriétés de l'écoulement. Les modèles zonaux sont adaptés à l'étude d'un local, même de taille importante, ou bien d'un ensemble comportant un nombre faible de pièces. Mais, dans le cas des configurations géométriques complexes, ou de changement de comportement aéraulique, ils montrent certaines limites [34].

d) Les CFD

Lorsque des simulations très détaillées du débit d'air et des conditions hygrothermiques dans une zone d'un bâtiment sont souhaitées, l'option consiste à utiliser la dynamique des fluides computationnelle (CFD : Computational Fluid Dynamics). Les CFD résolvent les équations par discrétisation des équations. Le continuum spatial est divisé en un nombre fini de cellules discrètes (Figure (10) - a-), et des pas de temps finis sont utilisés pour les problèmes dynamiques. Les équations mathématiques décrivant le flux d'air sont résolues dans chaque cellule. Les modèles CFD sont capables de prédire la température locale et l'humidité relative à proximité d'un composant du bâtiment ainsi que les coefficients de transfert de surface locaux. Cependant, les modèles CFD détaillés ne peuvent pas résoudre facilement et rapidement les interactions hygrothermiques dépendant du temps à travers les limites d'un modèle de bâtiment. En pratique, seules des simulations en régime permanent du flux d'air dans une seule pièce à un moment donné, et / ou des simulations transitoires sur une période de temps relativement courte, par exemple un cycle diurne [40], sont réalisables. Cependant, comme ces opérations sont relativement intensives en calcul, les calculs transitoires sur une période de temps plus longue ne sont actuellement pas possibles.

Le comportement de l'ambiance du local étudié y est caractérisé par ses variables fondamentales pour chaque volume de contrôle :

- La vitesse (à travers ses composantes V_x , V_y et V_z) ;
- La pression ;
- La température.

Références

1. European commission, Programme, Bioclimatic Architecture, n°. Dg Xvii. 1997.
2. C. Abderamane, Bioclimatisation et confort thermique: analyse de la conception du bâtiment à partir du logiciel Comfie+Pleiades, p. 10, 2011.
3. A. D. H. Alain Liébard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, 2006.
4. L. Y. Ang et al., Using a bioclimatic approach to developing combined pre-design strategies for energy-efficient buildings in China, *J. Human-Environment Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 39–44, 2007.
5. https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource_et_consommation_énergétiques_mondiales R. et consommation énergétiques Mondiales, Ressources et consommation énergétiques mondiales.
6. E. Naboni, A. Malcangi, Y. Zhang, and F. Barzon, Defining the energy saving potential of architectural design, *Energy Procedia*, vol. 83, no. 1991, pp. 140–146, 2015.
7. K. Assam, Lefouili Mohamed Imad Eddine, Impact de l'orientation sur le confort thermique dans l'habitat individuelle Cas de Jijel, 2016.
8. P. D. M. S. Dorota Chwieduk D.Sc., *Solar Energy in Buildings, thermal balance for efficient heating and cooling*. 2014.
9. A. Almusaed, *Biophilic and Bioclimatic Architecture*. 2011.
10. M. G. Joseph A. Ahearn, *Passive Solar Handbook. Introduction To Passive Solar Concepts*, vol. 1, no. December. 1991.
11. E. Shaviv, The performance of a passive solar house with window sunspace systems, *Energy Build.*, vol. 7, no. 4, pp. 315–334, 1984.
12. A. M. S. D. Asimakopoulos, *Passive cooling of buildings*. 2013.
13. D. B. & K. Haggard, *Passive Solar Architecture: Heating, Cooling, Ventilation, Daylighting and More Using Natural Flows*, vol. 3. 2012.
14. M. Boubekri, *Daylighting, Architecture and Health Building Design Strategies*, vol. 1, no. September 2013. 2008.
15. A. M. Omer, Renewable building energy systems and passive human comfort solutions, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 6, pp. 1562–1587, 2008.
16. D. Phillips, C. Gardner, *Daylighting: Natural light in architecture*. 2012.
17. M. Kaboré, Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne, Université Grenoble Alpes, 2015.
18. N. M. E. Gnansounou, *Énergétique du bâtiment*, 2008.
19. D. B. Wiki, *Heat transfer in buildings*, 2018. Available: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Heat_transfer_in_buildings.
20. A. Handbook, *Thermal Comfort*, 2009.

21. B. Karima, Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment cas du climat semi-aride,” Université Mentouri Constantine Algérie, 2008.
22. Thermal comfort, 2015. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_comfort.
23. P. Wolkoff, S. K. Kjærgaard, The dichotomy of relative humidity on indoor air quality, *Environ. Int.*, vol. 33, no. 6, pp. 850–857, 2007.
24. A. Gallardo, M. Palme, A. Lobato-Cordero, R. Beltrán, and G. Gaona, Evaluating Thermal Comfort in a Naturally Conditioned Office in a Temperate Climate Zone,” *Buildings*, vol. 6, no. 3, p. 27, 2016.
25. D. Enescu, A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. May, pp. 1353–1379, 2017.
26. E. Kossecka and J. Kosny, Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building, *Energy Build.*, vol. 34, no. 4, pp. 321–331, 2002.
27. A. M. Papadopoulos and E. Giama, Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building, *Build. Environ.*, vol. 42, no. 5, pp. 2178–2187, 2007.
28. Greenspec, Insulation materials and their thermal properties, 2018. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/insulation-materials-thermal-properties/>.
29. Paroc, *Insulation Theory*, no. December, 2003.
30. J. E. Wiel, Stephen and McMahon, Energy -efficiency labels for and Standards
31. R. Mabro, *The oil price crisis of 1998*, p. 48, 1998.
32. International Energy Agency, *Energy Efficiency Policy Profiles International*, p. 194.
33. T. M. I. Mahlia, H. H. Masjuki, I. A. Choudhury, Theory of energy efficiency standards and labels, *Energy Convers. Manag.*, vol. 43, no. 6, pp. 743–761, 2002.
34. J. Berger, Contribution à la modélisation hygrothermique des bâtiments : application des méthodes de réduction de modèle,” 2015.
35. M. Y. Ferroukhi, Modélisation des transferts thermo-hydro-aérauliques dans les enveloppes de bâtiments : Evaluation des désordres causés par l’humidité, 2015.
36. M. Woloszyn, Modélisation hygro-thermo-aéraulique des bâtiments multizones proposition d’une stratégie de résolution du système couplé,” 1999.
37. [37] C. Rode, “Whole-Building Hygrothermal Modeling in IEA Annex 41,” 2007.
38. P. Steskens, Modelling of the hygrothermal interactions between the indoor environment and the building envelope-PhD thesis. 2009.

39. M. Trocmé, Aide au choix de conception de bâtiments économe en énergie, p. 148, 2009.
40. M. Mirsadeghi, B. Blocken, J. Hensen, Application of externally-coupled BES-CFD in ham engineering of the indoor environment, pp. 27–30, 2009.

Isolation Thermique, Extension du Confort, Compacité et leurs Incidences sur l'Efficacité Energétique

Isolation Thermique, Compacité, Extension du Confort et son Incidence sur l'Efficacité Énergétique

1. Introduction

L'analyse du bilan en énergie montre que le secteur de bâtiments représente plus de 40% de l'énergie finale, ce qui explique l'importance de ce dernier. A l'échelle nationale, des efforts ont été menés ces dernières années pour sensibiliser le public aux problèmes des économies de l'énergie et de l'environnement. C'est pourquoi, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le résidentiel et tertiaire constitue un axe de progrès prioritaire. Les occupants cherchent généralement un compromis entre leur confort et leur facture : certains préfèrent baisser la facture en gardant le même confort et d'autre préfèrent améliorer le confort en gardant la même facture. Ceci montre bien l'importance de ces deux facteurs : confort et économie. La situation actuelle donc montre que nous devons faire face à plusieurs défis pour l'économie d'énergie. La consommation conventionnelle d'énergie primaire se base sur :

- ✓ le chauffage,
- ✓ le refroidissement,
- ✓ la ventilation,
- ✓ les auxiliaires,
- ✓ la production d'eau chaude sanitaire,
- ✓ l'éclairage des locaux.

L'objectif mené dans ce chapitre est d'étudier l'influence du confort sur les besoins énergétiques d'une construction bâti. On verra en particulier l'effet direct de la température du confort sur la consommation globale mensuelle et annuelle. En faisant un prolongement de l'intervalle du confort admis par certains degrés Celsius, on pourra chaque fois évaluer le taux de réduction énergétique équivalent. On se base sur une méthode d'évaluation et de quantification des besoins énergétiques en fonction d'un scénario d'occupation choisi. Ces besoins seront ensuite exprimés en Kwh/m²/an ou en Dinars/an. Cette démarche pourra alors servir à rendre les occupants conscients de leurs

consommations, de combien elle leur coûte et à rationaliser l'utilisation de l'énergie.

2. Modèles choisis pour le confort thermique

Diverses recherches ont été entamées pour connaître les limites du confort thermique sous forme d'indices et diagrammes. Différents modèles pour les bâtiments résidentiels ont été proposés [1-8]. Une revue approfondie de la littérature est fondamentale car elle a un impact direct sur les besoins énergétiques calculés. Débutant en 1923 par l'établissement de la température effective par F. Houghton et C. Yaglou, cet indice indique la sensation thermique après une exposition aux paramètres climatiques. En 1953 le premier diagramme bioclimatique a été proposé par Olgay en tenant compte de la vitesse de l'air nécessaire pour établir le confort en relation avec l'humidité et le refroidissement par évaporation. Par la suite ASHRAE a présenté une zone de confort d'été et d'hiver sous forme de température effective. L'outil est resté en application jusqu'à 1961 où d'autres recherches en 1970 ont abouti à la détermination de la température neutre par Humphrey [9]. La formule est donnée par l'équation suivante :

$$T_n = 11.9 + 0.534 T_{ext} \quad (1)$$

Où:

T_n : Température neutre en °C.

T_{ext} : Température extérieure moyenne du mois en question en °C.

A l'encontre de la méthode d'Olgay qui est plutôt recommandée pour assurer le confort extérieur en climat chaud et humide, Givoni en 1978 a établi un diagramme psychrométrique où il a exprimé les techniques et les dispositifs architecturaux à utiliser pour établir le confort intérieur. Or, les diagrammes et les outils proposés jusqu'ici ont été critiqués en 1980 par Evans et Szokolay à cause du problème soulevé de l'incohérence entre les résultats du confort thermique calculé et le confort réel perçu. En 1981, Auliciems est arrivé à déterminer une nouvelle formule de la température neutre en révisant celle de Humphrey [9], dont la formule est donnée comme suit:

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_{ext} \quad (2)$$

Cette recherche s'est choisie l'appellation du confort "hygrothermique" au lieu du "confort thermique", puisque ce dernier concerne uniquement la température, alors que le confort ne dépend pas seulement du paramètre température mais aussi de l'hygrométrie de l'air ambiant. Ces derniers temps le confort "hygrothermique" ou "thermo hygrométrique" est devenu la nouvelle appellation utilisée par les nouvelles tendances apparues à travers le monde. L'humidité faible ou élevée rend l'atmosphère inconfortable. La plage de température confortable de l'air ambiant est représentée dans la figure 2.1. Cette dernière montre en fonction de la température ambiante les valeurs d'humidités relatives qui sont ressenties comme confortables.

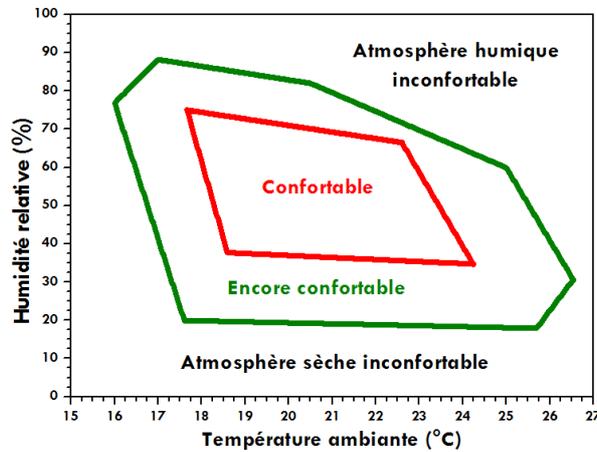


Figure 2.1 : Plage du confort hygrothermique selon la norme DIN 1946-4:2008-12 pour une teneur en eau avoisinant les 11.5 g d'eau par Kg d'air sec [4].

3. Modèle d'équilibre énergétique

L'efficacité énergétique d'un bâtiment est définie par son équilibre thermique. Équilibrer les gains et les pertes contribue à maintenir un confort agréable. Les besoins en chauffage et/ou en refroidissement calculés pour un bâtiment quelconque, exprimés en kilowattheures (kWh) sont donnés en général par l'équation 3 [10-11]:

$$Q_{Tot} = \left| Q_{Enveloppe} \pm (Q_{Occup} + Q_{Elec}) \right| + Q_{ECS} + Q_{Cons_Elc} \pm Q_{Solaire} \quad (3)$$

En période de chauffage, l'équation 3 peut être simplifiée comme suit :

$$Q_{Tot} = Q_{Enveloppe} - (Q_{Occup} + Q_{Elec}) + Q_{ECS} + Q_{Cons_Elc} - Q_{Solaire} \quad (4)$$

En cas de surchauffe (période de refroidissement), l'équation générale sera transformée en:

$$Q_{\text{Tot}} = Q_{\text{Enveloppe}} + (Q_{\text{Occup}} + Q_{\text{Elec}}) + Q_{\text{ECS}} + Q_{\text{Cons_Elc}} + Q_{\text{Solaire}} \quad (5)$$

En intersaisons, si la chaleur générée par certaines sources d'énergie, comme la lumière, les occupants et leurs activités, est supérieure à la consommation d'énergie due à l'enveloppe, les besoins énergétiques seront calculés selon la formule 6:

$$Q_{\text{Tot}} = \left| Q_{\text{Enveloppe}} - (Q_{\text{Occup}} + Q_{\text{Elec}}) \right| + Q_{\text{ECS}} + Q_{\text{Cons_Elc}} \pm Q_{\text{Solaire}} \quad (6)$$

Si c'est le cas contraire (toujours en intersaisons), c.-à-d. si la chaleur diffusée est inférieure à la consommation d'énergie due à l'enveloppe, l'équation 3 deviendra :

$$Q_{\text{Tot}} = Q_{\text{Enveloppe}} - (Q_{\text{Occup}} + Q_{\text{Elec}}) + Q_{\text{ECS}} + Q_{\text{Cons_Elc}} \pm Q_{\text{Solaire}} \quad (7)$$

3.1. Besoins énergétiques dus à l'enveloppe

Les besoins énergétiques calculés pour un bâtiment par degré de différence en température entre l'intérieur et l'extérieur sont exprimés en kilowatts-heure par la formule suivante [10-11]:

$$Q_{\text{Enveloppe}} = 24 DP_{\text{Enveloppe}} Dj \quad (8)$$

Où:

$DP_{\text{Enveloppe}}$: Somme des déperditions thermiques dues aux murs, fenêtres, portes, plafonds, ponts thermiques, sol, planchers et à la ventilation, (W/K).

Dj : Nombre de degrés-jours de chauffage et de refroidissement.

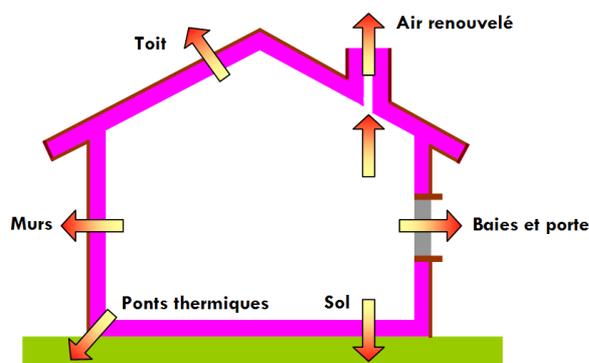


Figure 2.2 : Principaux sources de déperditions.

$$Q_{\text{Enveloppe}} = DP_{\text{plafonds}} + DP_{\text{murs}} + DP_{\text{sols}} + DP_{\text{portes}} + DP_{\text{fenêtres}} + DP_{\text{ponts}} + DP_{\text{ventil}} \quad (9)$$

Le calcul de chaque terme est issu des équations suivantes [10-11]:

$$DP_{\text{plafonds}} = \sum_{i=1}^{i=n} b_{\text{plafond}_i} S_{\text{plafond}_i} U_{\text{plafond}_i} \quad (10)$$

$$DP_{\text{murs}} = \sum_{i=1}^{i=n} b_{\text{mur}_i} S_{\text{mur}_i} U_{\text{mur}_i} \quad (11)$$

$$DP_{\text{sols}} = \sum_{i=1}^{i=n} b_{\text{sol}_i} S_{\text{sol}_i} U_{\text{sol}_i} \quad (12)$$

$$DP_{\text{portes}} = \sum_{i=1}^{i=n} b_{\text{porte}_i} S_{\text{porte}_i} U_{\text{porte}_i} \quad (13)$$

$$DP_{\text{fenêtres}} = \sum_{i=1}^{i=n} b_{\text{fenêtre}_i} S_{\text{fenêtre}_i} U_{\text{fenêtre}_i} \quad (14)$$

Où :

Si : la surface (m²).

b_i : le coefficient de réduction des déperditions thermiques.

U_i : le coefficient de transmission thermique par degré de différence entre l'intérieur et l'extérieur (W/m² K).

La résistance thermique R mesure l'aptitude d'un matériau à résister au passage d'un flux de chaleur. Ainsi, les valeurs des coefficients de transmission thermique U seront calculées comme suit:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^{i=n} R_i + R_{se}} \quad (15)$$

Où:

R_{si} : la résistance d'échange thermique superficielle intérieure (m² K/W)

R_i : les résistances thermiques de chaque couche de construction (m² K/W)

R_{se} : la résistance d'échange thermique superficielle extérieure (m² K/W)

Pour les surfaces planes, les valeurs des résistances thermiques qui seront retenues sont données par le tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Valeurs retenues des résistances thermiques superficielles.

	Direction du flux de chaleur		
	Ascendant	Horizontal	Vers le bas
R_{si} (m ² K/W)	0.10	0.13	0.17
R_{se} (m ² K/W)	0.04	0.04	0.04

Pour le calcul du coefficient de réduction, il faut distinguer :

- ✓ les surfaces des parois séparant l'espace non chauffé de la zone chauffée
- ✓ les surfaces des parois séparant la zone non chauffée de l'extérieur, du plancher ou d'un autre espace non chauffé
- ✓ le type de l'espace non chauffé
- ✓ l'état de l'isolation thermique des parois adjacentes à l'espace non chauffé
- ✓ l'état de l'isolation thermique de l'espace non chauffé

Pour un mur en contact avec l'extérieur, $b = 1$, et pour un mur enterré ou un plancher sur vide sanitaire, $b = 0.8$. Les valeurs du coefficient de réduction des déperditions thermiques doivent être données en fonction d'un rapport de surface et d'un coefficient équivalent U des différentes parois.

Les déperditions thermiques dues aux ponts thermiques sont données par l'équation suivante [10-11]:

$$\begin{aligned}
 DP_{\text{ponts thermiques}} = & \sum_{i,j} b_{pb_i/m_j} k_{pb_i/m_j} l_{pb_i/m_j} + \sum_{i,j} b_{pi_i/m_j} k_{pi_i/m_j} l_{pi_i/m_j} \\
 + & \sum_{i,j} b_{ph_i/m_j} k_{ph_i/m_j} l_{ph_i/m_j} + \sum_{i,j} b_{rf_i/m_j} k_{rf_i/m_j} l_{rf_i/m_j} + \sum_{i,j} b_{men_i/m_j} k_{men_i/m_j} l_{men_i/m_j}
 \end{aligned} \tag{16}$$

Où:

l_{pb_i/m_j} : longueur du pont thermique, plancher bas i - mur j

l_{pi_i/m_j} : longueur du pont thermique, étage intermédiaire i - mur j

l_{ph_i/m_j} : longueur du pont thermique, étage supérieur i - mur j

l_{rf_i/m_j} : longueur du pont thermique, mur de cisaillement i - mur j .

$$l_{rf_i/m_j} = 2 h_{\text{Moy_Plaf}} \left(N_{\text{appart}} - N_{\text{niv}} \right) \tag{17}$$

$h_{\text{Moy_Plaf}}$: la hauteur moyenne du plafond

N_{appart} : nombre d'appartements

N_{niv} : nombre de niveaux.

l_{men_i/m_j} : la longueur du pont thermique, charpenterie i - mur j

k : conductivité thermique (W/m K)

Pour calculer les déperditions thermiques dues à la ventilation, nous devons se baser sur les données suivantes:

- ✓ menuiserie: avec ou sans joint
- ✓ Surface adjacente avec l'extérieur à l'exception du plancher bas
- ✓ Surface habitable
- ✓ Type de ventilation

La ventilation des locaux est une obligation et un débit minimal doit être assuré afin d'éviter les inconforts. Afin de réduire les dépenses énergétiques, un soin tout particulier doit être apporté au choix et à la mise en œuvre des composants. L'étanchéité doit être réalisée le mieux possible car les fuites dans les parties chauffées augmentent les débits entrants et donc les déperditions. Le défaut d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment (perméabilité) joue aussi un grand rôle dans les déperditions thermiques. Ces défauts d'étanchéité sont multiples:

- ✓ Joints des ouvrants de mauvaise qualité
- ✓ Linéiques des ouvrants non rendus étanches par application de mousse expansive ou tout autre procédé.
- ✓ Appuis de fenêtres scellés sur les côtés mais non par le dessous
- ✓ Murs extérieurs en maçonnerie courante, briques ou parpaings, maçonnés avec trop de jeu...etc.

$$DP_{\text{Ventil}} = 0.34 qv_{\text{en}} \quad (18)$$

Où :

DP_{vent} : déperditions thermiques dues au système de ventilation par degré de différence en température entre l'intérieur et l'extérieur (W/K)

qv_{en} : est le débit d'air équivalent transitant dans le logement

0,34 : est la capacité thermique volumique de l'air en Wh/m³.K

$$qv_{\text{en}} = qv_{\text{Fen}_H} + qv_{\text{Fen}_S} + qv_{\text{Comb}} + qv_{\text{vmc}} + qv_{\text{perm}} + qv_{\text{condext}} \quad (19)$$

Si un ou plusieurs des débits ne sont pas utilisés, ils ont pour valeur 0

qv_{Fen_H} : est le débit d'air d'aération quand les fenêtres sont utilisées comme système de ventilation d'hygiène.

$$qv_{\text{Fen}_H} = 1,8 D_{\text{Hyg}} \quad (20)$$

D_{Hyg} est le débit d'hygiène

$q_{V_{Fen_S}}$: est le débit supplémentaire dans le cas où l'ouverture des fenêtres vient en complément du système spécifique (aspect comportemental de l'occupant)

$$q_{V_{Fen_S}} = 1800 (0.01 Sp) F_{ouv} v_{fen} \quad (21)$$

Sp est la surface de la pièce

$$F_{ouv} = 0.6 \text{ Max} (0, (T_{ext}/25)+0.2) \quad (22)$$

$$v_{fen} = 0.5 (0.026 + 0.00525 \Delta T) \quad (23)$$

$q_{V_{Comb}}$: est le débit supplémentaire extrait lié au fonctionnement des appareils à combustion quand ils se trouvent dans les pièces chauffées.

$$q_{V_{comb}} = \begin{cases} 0.002 P_{Chauf} & \text{pour les VMC gaz} \\ 0.003 P_{Chauf} & \text{pour les autres} \end{cases} \quad (24)$$

P_{Chauf} : est la puissance fournie par le système de chauffage

$$P_{Chauf} = 1.2 (U_T + U_V) \Delta T \quad (25)$$

U_T : est le coefficient de déperdition par transmission. Afin de simplifier, il est possible d'utiliser la formule utilisant le coefficient $U_{bât}$

H_V : est le coefficient de déperdition par renouvellement d'air. Il est possible d'utiliser les débits d'hygiène majorés de 30 % pour tenir compte des autres déperditions.

ΔT : est la différence entre la température de la pièce et celle de base

$q_{V_{vmc}}$: est le débit d'air extrait par la ventilation mécanique. Le débit $q_{V_{vmc}}$ est corrigé par les coefficients C_d et C_{fr} comme suit:

Le coefficient de dépassement C_d est un facteur multiplicatif des débits d'hygiène visant à prendre en compte les contraintes de dimensionnement de l'installation de ventilation et la dispersion des caractéristiques de composants. $C_d = 1,15$ dans le cas où le matériel est certifié, 1,30 dans les autres cas.

Le coefficient de fuite du réseau C_{fr} est une valeur par défaut; 0,833 en basse pression (< 20 Pa) ou 2,5 dans les autres cas.

$$q_{V_{vmc}} = D_{Hyg} C_d C_{fr} \quad (26)$$

$q_{V_{perm}}$ est le débit de fuite de l'enveloppe.

$$q_{V_{perm}} = A_T C_{perm} \quad (27)$$

La perméabilité de l'enveloppe est représentée par le débit de fuite (en m³/h) sous une dépression de 4 pascals par m² de surface de l'enveloppe. La surface de l'enveloppe considérée est la surface des parois déperditives A_T.

A_T : est la surface intérieure totale des parois qui séparent le volume chauffé de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés, en m², dont on exclut les planchers bas. La valeur par défaut de la perméabilité de l'enveloppe (en m³/h.m² sous 4 Pa) est calculée en multipliant la surface d'enveloppe (A_T) par la valeur de perméabilité donnée dans le tableau suivant :

Tableau 2.2 : Valeur de perméabilité.

Usage	C _{perm}
Logements individuels	1.3
Logements collectifs	1.7
Autres usages	3

q_{Vcondext} : est le débit d'air extrait par les conduits à tirage naturel. Pour connaître le débit, il faut connaître les différentes pertes de charge, perte de charge linéique du conduit ΔP_{cond}, perte de charge singulière des coudes ΔP_{coude}, perte de charge singulière de la bouche ΔP_{bouche}, ainsi que la force motrice due à la différence de densité entre l'air chaud du logement et l'air extérieur ΔP_{mot}.

$$M_{\text{Air}_\text{froid}} = 1.293 \cdot 273.15 / (273.15 + T_{\text{ext}}) \quad (28)$$

$$M_{\text{Air}_\text{chaud}} = 1.293 \cdot 273.15 / (273.15 + T_{\text{int}}) \quad (29)$$

M : la masse d'air (kg)

T_{ext} et T_{int} étant respectivement la température extérieure et intérieure

Exemple : T_{int} = 20 °C et T_{ext} = 0 °C

Soit,

$$M_{\text{Air}_\text{froid}} = 1.293 \cdot 273.15 / (273.15 + 0) = 1.293 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{\text{Air}_\text{chaud}} = 1.293 \cdot 273.15 / (273.15 + 20) = 1.204786 \text{ kg/m}^3$$

La dépression motrice est donc égale à

$$\Delta P_{\text{mot}} = (1.293 - 1.204786) \text{ h g,}$$

Où

h : est la hauteur en m du conduit de ventilation de l'axe de la bouche au haut du conduit.

g : l'accélération de la pesanteur égale à 9.81 m/s^2 .

Ceci nous donne un coefficient de $(1.293 - 1.204786) \times 9.81 = 0.865 \text{ Pa/m}$.

Comme les valeurs par défaut sont $T_{\text{int}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ et $T_{\text{ext}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, il suffit de multiplier 0.865 par la hauteur du conduit pour obtenir la dépression motrice ΔP_{mot} .

Si le conduit est de forme rectangulaire ou carré, son diamètre équivalent D_{equiv} doit être utilisé

$D_{\text{equiv}} = 4 A / P$, où A est la section en m^2 du conduit et P le périmètre en m

Pour obtenir les différentes pertes de charge, il a fallu utiliser les formules suivantes :

$$\Delta P_{\text{cond}} = 1.5 \cdot 0.05 \left(L / D_{\text{equiv}} \right) \left(M_{\text{Air_chaud}} / 2 \right) v^2,$$

Où:

v : est la vitesse en m/s

L : la longueur du conduit

$$\Delta P_{\text{coude}} = 1.15 \left(M_{\text{Air_chaud}} / 2 \right) v^2 N_{\text{coude}},$$

Où :

N_{coude} : est le nombre de coudes

$$\Delta P_{\text{bouche}} = 2.5 \left(M_{\text{Air_chaud}} / 2 \right) v^2$$

Pour connaître le débit en m^3/h , il est nécessaire de connaître la vitesse en m/s. Comme les pertes de charge sont fonction de la vitesse de l'air dans le conduit, une vitesse limite ne peut être dépassée. Ce qui veut dire que la perte de charge totale ne pourra excéder la dépression = à ΔP_{mot} . Il va donc falloir procéder par itération pour trouver la vitesse du fluide sans pour autant dépasser la dépression motrice. Pour cet exercice, un outil informatique est conseillé. Une fois la vitesse connue, il suffit d'utiliser la formule suivante pour connaître le débit en m^3/h :

$$\text{Débit} = v \cdot S \cdot 3600$$

Exemple : $h = 7 \text{ m}$, $L = 8 \text{ m}$, $A = 0.2 \times 0.2 = 0.04 \text{ m}^2$, $N_{\text{coude}} = 2$

$$P_{\text{mot}} = 0.865 \times 7 = 6.05 \text{ Pa}$$

$$P = 0.2 \times 4 = 0.8 \text{ m}$$

$$D_{\text{equiv}} = 4 \times 0.04 / 0.8 = 0.2 \text{ m}$$

à l'aide d'un tableur, la vitesse obtenue par itérations successives pour une perte de charge totale n'excédant pas 6.05 Pa (6.0577 Pa) est de 1.135 m/s, ce qui donne comme pertes de charge pour chaque poste :

$$\Delta P_{\text{cond}} = 1.5 \times 0.05 \times (L / 0.2) \times (1.204786 / 2) \times v^2 = 2.33$$

$$\Delta P_{\text{coude}} = 1.15 \times (1.204786 / 2) \times v^2 \times 2 = 1.78$$

$$\Delta P_{\text{bouche}} = 2.5 \times (1.204786 / 2) \times v^2 = 1.94$$

Ceci donne une perte de charge totale de $2.33 + 1.78 + 1.94 = 6.05$ Pa qui est égale à la dépression motrice.

Le débit en m³/h est donc de $q_{V\text{condext}} = 1.135 \times 0.04 \times 3600 = 163,44$ m³/h

3.2. Besoins en eau chaude sanitaire

Il est assez difficile de cerner avec suffisamment de précision les besoins en eau chaude sanitaire car ils sont fonction du standing, du nombre d'occupants, de leurs âges, de leurs professions, de leurs mode de vie, du jour (ouvrable, week-end ou férié), de la saison, et bien d'autres circonstances encore. L'expérience a montré que les besoins raisonnables se situaient entre 25 et 60 litres d'eau chaude à 50 °C par jour et par personne. Pour effectuer les calculs, deux valeurs par défaut peuvent être utilisées, 50 litres par personne et par jour, ou 1.75 litre par m² de surface habitable. Ces valeurs sont pour tous les jours de la semaine (donc du mois). Si le volume est connu, il est possible d'utiliser ce dernier au lieu des valeurs par défaut. Le calcul des besoins en eau chaude sanitaire doit être fait par jour puis on multiplie par le nombre de jours du mois considéré. Si le volume est différent les jours de la semaine et le Week-end, une moyenne journalière peut être faite puis on multiplie par le nombre de jours du mois considéré. La formule pour connaître la quantité de chaleur nécessaire à la production de l'eau chaude sanitaire est [10-11]:

$$Q_{\text{ECS}} = p \cdot 1.1628 \cdot V_{\text{ECS}} \cdot (T_{\text{ECS}} - T_{\text{ef}}) \quad (30)$$

Q_{ECS} : est l'énergie nécessaire à la production de l'eau chaude sanitaire pour la journée, en Wh.

p : est la masse volumique de l'eau en fonction de sa température T_{ef} , elle peut être prise égale à 1 kg/l. Comme elle est égale à 1, elle ne sera pas donc utilisée dans la formule

V_{ECS} : est le volume d'eau (m³),

$$V_{ECS} = 50 N_{Pers} \quad (31)$$

Ou bien

$$V_{ECS} = 1.75 A_{Bât} \quad (32)$$

Avec

N_{Pers} : est le nombre de personnes occupant le logement

$A_{Bât}$: est la surface habitable du logement, en m^2

T_{ECS} : est la température de l'eau chaude au point de soutirage, en $^{\circ}C$.

T_{ef} : est la température moyenne de l'eau froide du mois considéré entrant dans le ballon ou le serpentin de production d'eau chaude sanitaire (production instantanée), en $^{\circ}C$.

3.3. Apports internes par les occupants [10-11]

a) Première approche

L'être humain génère de la chaleur pour le maintien de ses fonctions corporelles. Cette chaleur résulte de la combustion des aliments ingérés avec l'oxygène respiré. Plus l'effort du corps humain est élevé, plus la quantité de chaleur diffusée est élevée. Le tableau suivant montre la diffusion de chaleur en fonction de l'activité pratiquée par la personne. Lors de l'exécution d'activités simples de bureau, un être humain de résistance et de taille moyennes diffuse une chaleur moyenne d'environ 120 watts et pour des travaux simples à la maison, au bureau ou dans un atelier une chaleur d'environ 150 watts; celle-ci peut s'élever pour des tâches moyennes à difficiles à plus de 200 watts.

Les apports par les occupants sont donnés par:

$$Q_{Occup} = C_p P D_{pres/jour} N_{Jch} \quad (33)$$

Où:

C_p : la chaleur dégagée par occupant (W/occupant)

P : le nombre d'occupant

$D_{pres/jour}$: la durée de présence par jour (h/jour)

N_{Jch} : le nombre de jours chauffés (jours/an)

b) Deuxième approche

La présence humaine s'accompagne d'une production de chaleur et d'humidité. L'évacuation de cette chaleur se fait de manière continue, essentiellement par convection (35 %), rayonnement (35 %) et par évaporation (25 %), selon les conditions de température de l'air, d'humidité relative et l'activité de l'individu. Il est assez difficile de connaître les calories émises par le corps humain. On estime qu'une personne normalement habillée et assise, donc sans activité physique, dans une ambiance calme à environ 20 °C, émet à peu près 119 W, si la personne a une activité plus physique, cette émission peut monter jusqu'à 300 W. Bien évidemment ces valeurs ne sont pas absolues car les émissions dépendent du sexe, de la corpulence et du moment de la journée. Comme il est assez difficile de définir la quantité d'énergie que peut produire les occupants et leurs modes de vie, une valeur par défaut de 4 Watts par m² de surface habitable est proposée par la RT 2000.

$$Q_{Occup} = 4 A_{Bât} 24 \tag{34}$$

24 est la durée en heure de la journée.

Cette valeur prend en compte les émissions corporelles des occupants, les appareils ménagés, etc...

Tableau 2.3 : Diffusion de chaleur par personne.

Niveau d'activité	Exemples d'activité	Diffusion de chaleur par personne (sensible et latente)
1	Activité statique assise (lire et écrire par exemple)	120 W
2	Travaux simples assis ou debout, travail en laboratoire, machine à écrire	150 W
3	Activités corporelles légères	190 W
4	Activités corporelles moyennes à difficiles	Plus de 200 W

Un logement de 115 m² occupé par quatre personnes.

$Q_{Occup} = 4 \times 115 \times 24 = 11040 \text{ Wh}$ (11.04 kWh) ce qui représente 460 W par heure.

3.4. Apports générés par l'éclairage et les équipements électriques

Les machines électriques, en raison même de leur fonctionnement, émettent une certaine quantité de chaleur dans l'ambiance. Les machines de bureau

dégagent l'équivalent calorifique de la puissance électrique moyenne absorbée et les moteurs électriques dégagent des quantités de chaleur qui dépendent de leur rendement propre de conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. Les appareils à gaz génèrent de la chaleur et produisent de l'humidité. Pour les appareils électriques, il n'existe pas de méthode de calcul universelle qui puisse être appliquée pour calculer les apports, ni la répartition sensible / latente de cette chaleur. Dans certaines références, il a été proposé quelques valeurs de gains en chaleur pour différents appareils électroménagers.

Tableau 2.4 : Diffusion de chaleur par l'éclairage et équipements électriques (cas de notre étude) [1-10-11].

Type d'équipement	Durée (heure) et modes de puissance de fonctionnement (Watts)				Energie (KWh)
	Mode 1	heure	Mode 2	heure	
Téléviseur + Démo	20	19	78	5	0.770
Réfrigérateur	12	22	145	2	0.554
Eclairage	75	6			0.450
Ordinateur	32	2	186	4	0.808
Divers					1
	Total par jour				3.5820
	Total par an				1307.43

3.5. Calcul des charges énergétiques dues aux appareils électriques et à l'éclairage

Un simple calcul permet de déterminer facilement la consommation des appareils électriques. Pour calculer la consommation en kWh d'un appareil électrique, il faut prendre en considération 3 données :

- ✓ la puissance de l'appareil électrique exprimée en watts
- ✓ le nombre d'heures par jour pendant lesquelles l'appareil fonctionne
- ✓ le nombre de jours par an pendant lesquels l'appareil fonctionne.

Le calcul est le suivant : [nombre d'heures d'utilisation] x [nombre jours d'utilisation] x ([puissance appareil en watts] / 1000) = nombre kWh (35)

La puissance doit être divisée par 1000 pour convertir le nombre de watts en kilowatts. On obtient ainsi le nombre de kWh (kilowattheures).

Tableau 2.5 : Consommation moyenne des appareils électriques par jour (cas de notre étude) [1-10-11].

Type d'équipement	Puissance (W)		Durée d'utilisation par jour	Consommation moyenne par jour (Wh)
	Valeurs de fonctionnement	Valeur choisie pour les calculs		
TV LCD avec Démo intégré	en service 90 à 250	140	5 h	757.00
	en veille 3	/	19 h	
Réfrigérateur (250 litres)	150 à 200	/	En continu	551.00
Eclairage : 4 lampes économiques	15 à 25	20	6 h (Séjour) 3 h (Cuisine) 1 h (SDB) 1 h (Chambre)	220.00
Ordinateur à écran plat	en service 70 à 80	75	4 h	306.00
	en veille 3	/	2 h	
Chargeur de GSM	5	/	1 h	0.50
Fer à repasser	750 à 1100	925	15 min	231.25
Aspirateur	650 à 800	720	12 min	144.00
Radio-réveil	3 à 6 W	4.5	en continu	108.00
Rasoir électrique	8 à 12 W	10	3 min	0.50
Sèche-cheveux	300 à 600 W	450	5 min	37.50
Total par jour (Wh)				2355.75/jour

3.6. Les apports solaires

Les apports solaires dépendent de l'ensoleillement normalement présent sur le site concerné et des surfaces réceptrices équivalentes sur les différentes orientations. Pour une période de calcul donnée, les apports solaires se calculent comme suit :

$$Q_{\text{Solaire}} = \sum_j I_{sj} \sum_n A_{Snj} \quad (36)$$

Où la première somme s'effectue sur toutes les orientations j, (horizontal, nord, sud, est, ouest, Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest ...etc.).

La seconde somme s'effectue sur toutes les surfaces n d'orientation j qui captent le rayonnement solaire

I_{Sj} : est l'irradiation solaire sur une surface unitaire ayant l'orientation j

A_{Snj} : est l'aire réceptrice équivalente de la surface ayant l'orientation j . Elle est calculée comme suit:

$$A_s = A F_{Omb} F_{Red} g \quad (37)$$

A : est l'aire de la baie (m^2)

F_{Red} : est le facteur de réduction pour les encadrements des vitrages, égal au rapport de l'aire de la surface transparente à l'aire totale de la menuiserie vitrée;

F_{Omb} : est le facteur d'ombre, il est défini par l'utilisateur pour des raisons simplificatrices, et peut être calculé par :

$$F_{Omb} = F_{Omb_R} F_{Omb_S} \quad (38)$$

F_{Omb_R} : est le facteur d'ombre des rideaux;

F_{Omb_S} : est le facteur d'ombre de la surface qui peut être calculé par :

$$F_{Omb_S} = F_{Cor_h} F_{Cor_Sur} F_{Cor_Ecr} \quad (39)$$

F_{Cor_h} : est le facteur de correction pour l'horizon

F_{Cor_Sur} : est le facteur de correction pour les surplombs

F_{Cor_Ecr} : est le facteur de correction pour les écrans latéraux

g : est le facteur solaire de la baie

Le facteur solaire utilisé dans cette formule est en principe la moyenne dans le temps du rapport de l'énergie traversant l'élément exposé à l'énergie incidente sur celui-ci, en l'absence d'ombrage. Certaines valeurs figurent dans le tableau 2.6. Ces valeurs correspondent à l'incidence normale, avec une surface propre.

Tableau 2.6 : Facteurs solaires pour les deux types de vitrages les plus courants.

Type de vitrage	g
Vitrage simple	0.85
Double vitrage clair	0.75

4. Étiquetage de l'efficacité énergétique & Cas d'un studio à Ghardaïa

Cette partie est consacrée à l'évaluation de l'efficacité énergétique d'un studio soumis au régime climatique de Ghardaïa.

Ghardaïa est une subdivision administrative algérienne se trouvant dans la partie Nord du Sahara algérien à $32^\circ 30'$ de l'altitude Nord et à $3^\circ 45'$ de longitude. Elle

est située à 600 km au Sud d'Alger et elle est la capitale de la Vallée du Mzab. Le climat de la wilaya est de type Saharien aride, les amplitudes entre les températures diurnes et nocturnes sont importantes elles varient de 1 à 25 °C en hiver et de 18 à 48 °C en été.

Les matériaux de construction à Ghardaïa sont dans l'ensemble des matériaux locaux. Le matériau le plus utilisé est la pierre en raison de sa disponibilité. Les éléments constructifs de la bâtisse sont représentés ci-dessous.

Tableau 2.7 : Composition de la maçonnerie et propriétés des matériaux de construction.

	Matériau de construction	Conductivité thermique (W/m K)	Épaisseur (m)	Valeurs de transmission thermique U (W/m ² K)
Murs extérieurs	Ciment de mortier	1.40	0.015	2.5306
	Pierre lourde	2.30	0.370	
	Ciment de mortier	1.40	0.015	
	Plâtre	0.35	0.015	
Toit	Dalle de ciment	1.45	0.250	2.2936
	Hourdi	1.45	0.250	
	Ciment de mortier	1.40	0.015	
	Plâtre	0.35	0.015	
Plancher	Carrelage	6.14	0.025	2.1659
	Chape	1.40	0.040	
	Dalle	1.75	0.150	
	Sable sec	0.40	0.020	
	Film de polyane pour empêcher la remontée de l'humidité	2.40	0.200	
	Pierres + graviers	2.40	0.200	
	Fenêtre simple vitrage avec cadre			4.500
	Porte en bois avec cadre			3.195

Le but est de calculer les besoins énergétiques mensuels et annuels sous des conditions météorologiques réelles. Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'année 2016 selon un scénario d'occupation bien défini. Les paramètres d'entrée sont les suivants:

T_{comf} : température du confort sera calculée à partir de l'équation 2,

$C_d=1.30$: facteur multiplicatif des débits d'hygiène visant à prendre en compte les contraintes de dimensionnement de l'installation de ventilation et la dispersion des caractéristiques de composants.

$C_{fr}=0.833$, coefficient de fuite du réseau en basse pression (< 20 Pa)

$C_p=150$, chaleur dégagée par occupant (W/occupant)

$T_{ECS}=50$, température de l'eau chaude au point de soutirage

$q_{V_{condext}}=0$, débit d'air extrait par les conduits à tirage naturel

$Nb_{occip}=2$, nombre de personnes occupant le logement

$D_{pres/day}=14$ durée de présence par jour (h/jour)

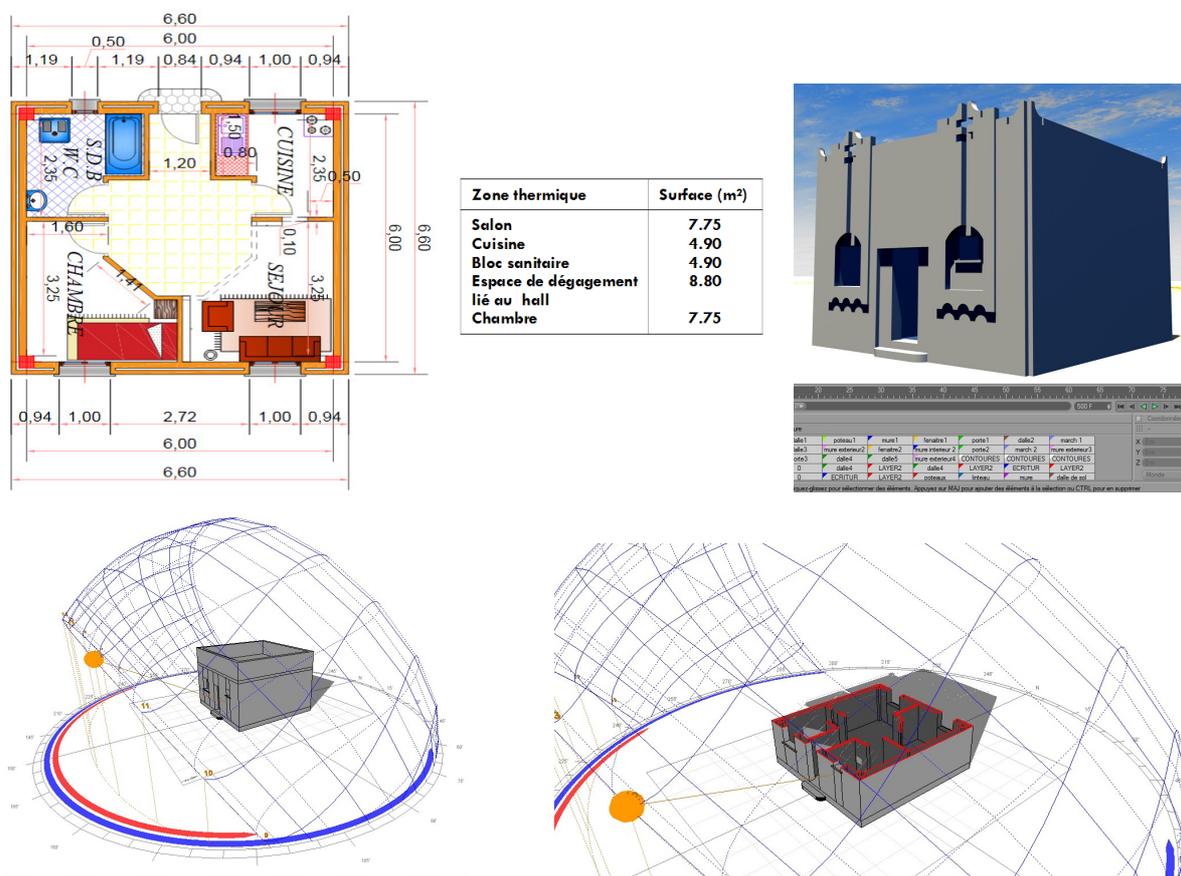


Figure 2.3 : Plan descriptif et modélisation en 3D.

4.1. Analyse et diagnostic des besoins énergétiques

Selon les résultats affichés sur le tableau 2.8, le chauffage est obligatoire pour une période qui s'étend du mois de Novembre au mois de Mars, soit 5 mois par an. Tandis que le refroidissement est nécessaire du mois de Mai au mois de Septembre. Les mois d'Octobre et d'Avril appartiennent à la période d'intersaison.

Chapitre II : Isolation thermique, extension du confort, compacité et leurs incidences sur l'efficacité énergétique

Mois	T _{out} (°C)	T _{comf} (°C)	T _{cw} (°C)	Dj	Envelp Q _{envelop} (KWh)	Gain de chaleur interne (KWh)		Besoins en eau chaude sanitaire (50°C) Q _{DHW}			Eclairage et équipements électriques Q _{Elc_consum} (KWh)	Total (KWh)
						Occup	Q _{Elc}	Electr (KWh)	Fuel (litres)	Gaz (m ³)		
Janvier	13.9323	22.1190	09.00	253.789	2536.830	-130.2	-111.042	147.79	14.42	14.03	73.028	2516.4081
Février	14.7552	22.3741	09.00	220.949	2207.850	-121.8	-103.878	138.26	13.49	13.13	68.317	2188.7453
Mars	17.1516	23.1170	11.50	184.927	1845.672	-130.2	-111.042	138.78	13.54	13.18	73.028	1816.2385
Avril	22.7367	24.8484	13.20	63.351	629.558	-126.0	-107.460	128.37	12.52	12.19	70.672	595.1441
Mai	27.2742	26.2550	15.80	-31.595	313.745	130.2	111.042	123.28	12.03	11.71	73.028	751.2951
Juin	31.8233	27.6652	18.50	-124.743	1249.441	126.0	107.460	109.88	10.72	10.43	70.672	1663.4580
Juillet	34.4097	28.4670	19.30	-184.223	1855.333	130.2	111.042	110.66	10.80	10.51	73.028	2280.2673
Août	32.9968	28.0290	19.10	-154.001	1546.251	130.2	111.042	111.38	10.87	10.58	73.028	1971.9057
Septembre	29.4333	26.9243	18.00	-75.270	750.386	126.0	107.460	111.63	10.89	10.60	70.672	1166.1474
Octobre	24.9839	25.5450	15.80	17.395	172.462	-130.2	-111.042	123.28	12.03	11.71	73.028	265.0880
Novembre	16.5433	22.9284	13.20	191.553	1912.458	-126.0	-107.460	128.37	12.52	12.19	70.672	1878.0433
Décembre	12.3000	21.6130	08.00	288.703	2887.298	-130.2	-111.042	151.40	14.77	14.38	73.028	2870.4805
Total (KWh)					17907.284			1523.08	148.60	144.64	862.201	19963.2213

Tableau 2.8 : Consommation énergétique annuelle et mensuelle correspondante à l'année 2016.

La consommation globale requise est de 19963.2213 KWh/an. La consommation énergétique finale due à l'enveloppe, aux gains internes, à l'alimentation des équipements électriques et à l'éclairage est exprimée en kWh. La consommation énergétique finale pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire est exprimée soit en kWh où en nombre de litres de fuel (kWh/10.25) ou en nombre de m³ de gaz (kWh/10.53) [13].

Les besoins annuels en kWh pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire présentent 7.6294% des besoins totaux. Ce pourcentage représente aussi la consommation moyenne mensuelle due au chauffage d'eau par rapport à la moyenne mensuelle des besoins énergétiques globaux. Les données trouvées prouvent que ces besoins sont en fonction à la fois de la température de l'eau froide et du nombre de jours du mois en question.

Selon le nombre d'occupants imposé (2) et en fonction de la température de l'eau froide, il est constaté que la consommation due à l'eau chaude sanitaire varie entre 147.79 kWh en Janvier et 109.88 kWh pour le mois de Juin. Nous avons prouvé que le pourcentage en consommation mensuelle due à l'eau chaude est important au cours des périodes d'intersaison, plus précisément les mois d'Avril et Octobre. C'est tout à fait légitime, dans ces deux mois la consommation énergétique globale est nettement faible par rapport au d'autres périodes. Dans toutes ces conditions, et comme perspectives, on a intérêt à réfléchir à des capteurs solaires thermiques.

L'apport et l'importance de la quantité énergétique générée par les occupants, l'éclairage et les équipements électriques sont reliés entièrement à la saison. Cette quantité peut diminuer la consommation énergétique à environ 10.61 % par rapport aux besoins totaux durant la période de chauffage (entre Novembre et Mars). Par contre, cette quantité est d'un apport négatif durant la période de surchauffe, la diffusion de la chaleur cette fois-ci génère une augmentation de 17.92 % par rapport à la consommation équivalente dans cette période.

La consommation énergétique causée par l'éclairage et les équipements électriques représentent 4.32 % par rapport à la consommation totale requise. Cette consommation a tendance à augmenter en raison de l'accroissement du nombre des équipements ménagers. Le photovoltaïque est particulièrement bien adapté à l'intégration dans la plupart des bâtiments. Un système connecté à un

réseau produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin.

Dans cette construction, l'enveloppe est la principale cause de la consommation énergétique élevée. Selon les statistiques issues du tableau précédent, la consommation énergétique causée par l'enveloppe présente presque la totalité de la consommation globale en intersaison et en période du chauffage. Elle est parfois plus importante par rapport à la consommation équivalente, c'est parfaitement les mois d'Octobre et Avril pour notre cas.

En période de surchauffe, la consommation énergétique due à l'enveloppe est complètement différente par rapport aux autres mois. Elle présente respectivement 41.76 75.11 81.36 78.41 64.35 % par rapport à la consommation globale, et ceci pour une période allant du mois de Mai au mois de Septembre. Selon ce constat, une isolation thermique est plus que nécessaire puisqu'elle dispose d'une double fonction : elle permet à la fois d'éviter de faire entrer la chaleur l'été, mais aussi de maintenir cette chaleur durant l'hiver en empêchant le froid d'entrer à l'intérieure de la bâtisse.

Dans la partie qui suit, on saisira un tableau qui donne l'incidence financière de ces consommations sur la facture énergétique correspondante. La procédure de calcul est conforme à la démarche adoptée par SONELGAZ en 2016. La facture énergétique purement électrique requise pour maintenir le confort dans toutes les zones (chambres, cuisine, toilette, SDB,...etc.) à une température T_{comf} s'élève à 125045.6232 DA/an.

Mais il faut savoir que selon l'Etat algérien, le prix réel du kWh est de 10.54 DA, son prix de vente moyen était (avant 2015) de l'ordre de 4 DA, ce qui prouve que presque 7 DA sont subventionnés [14]. Cette situation inacceptable justifie la nécessité d'une réaction rapide tout en favorisant une culture de rationalisation et en évitant en même temps le gaspillage de cette énergie.

Décembre est le mois le plus énergivore pendant la période de chauffage, la facture énergétique correspondante représente presque plus de 14.58 % par rapport à la facture totale. En été, Août est le plus énergivore, il représente environ plus de 11.52 % par rapport à la facture totale.

En globalité, la facture énergétique correspondante à la période d'intersaison (Avril et Octobre) ne pèse pas beaucoup sur la consommation totale, elle présente

seulement 3.93 %. La facture correspondante à la période du chauffage qui s'étend du mois de Novembre au mois de Mars présente presque 56.93 % de la facture globale. Pour la période du refroidissement (Allant du Mai au Septembre) ce pourcentage est de 39.14 %.

Tableau 2.9: Besoins et factures énergétiques nécessaires pour maintenir le confort.

	Besoins énergétiques (KWh)	Factures énergétiques (DA)		
		Prix subventionné (année 2016)	Prix réel (x 10.54 DA)	Subvention de l'état en %
Janvier	2516.4081	15937.9867	26522.9414	39.91
Février	2188.7453	13816.2733	23069.3755	40.11
Mars	1816.2385	11405.1933	19143.1538	40.42
Avril	595.1441	3496.7300	6272.8188	44.25
Mai	751.2951	4509.0033	7918.6503	43.06
Juin	1663.4580	10414.6233	17532.8473	40.60
Juillet	2280.2673	14409.9600	24034.0173	40.04
Août	1971.9057	12413.1933	20783.8861	40.27
Septembre	1166.1474	7194.1533	12291.1936	41.47
Octobre	265.0880	1413.7667	2794.0275	49.40
Novembre	1878.0433	11804.5467	19794.5764	40.36
Décembre	2870.4805	18230.1933	30254.8645	39.74
Total	19963.2213 KWh/an 458.2925 KWh/m²/an	125045.6232 DZD/an 2870.6525 DZD /m²/an	210412.3525 DZD/an 4830.4029 DZD /m²/an	40.57% / an

La subvention de l'état n'est pas totalement constante, elle est légèrement variable, c'est à cause de certaines droits qui varient des fois en fonction de la consommation. Il s'agit d'une taxe fixe, d'un droit de timbre et une taxe d'habitation. La subvention annuelle s'est estimée à 40.57% / an.

4.2. Extension du confort

Le tableau 2.10 donne en chiffre les besoins énergétiques mensuels et annuel nécessaires pour maintenir un confort permanent à T_{conf} . En faisant varier cette température en additionnant chaque fois 0.5°C , on peut déduire le gain énergétique équivalent en valeurs et en pourcentage.

Pour la période qui s'étend du mois de Novembre au mois de Mars, on ajoute graduellement 0.5°C à la température du confort donnée par Auliciens. Pour le sixième cas par exemple on ajoute 2.5°C .

Entre Mai et Septembre, on diminue graduellement la température du confort par 0.5 °C jusqu'à 2.5 °C.

En ce qui concerne l'intersaison, les températures du confort sont maintenues.

Tableau 2.10: Besoins énergétiques correspondants à une extension des températures du confort de 0.5 à 2.5 °C.

Mois	1 ^{er} cas (classique)		2 ^{eme} cas		3 ^{eme} cas		4 ^{eme} cas		5 ^{eme} cas		6 ^{eme} cas	
	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}
Janvier	22.1190	2516.4081	21.6190	2359.7285	21.1190	2203.2871	20.6190	2047.0709	20.1190	1891.0800	19.6190	1735.3143
Février	22.3741	2188.7453	21.8741	2042.3028	21.3741	1896.0858	20.8741	1750.0853	20.3741	1604.3013	19.8741	1458.7338
Mars	23.1170	1816.2385	22.6170	1660.1811	22.1170	1504.3691	21.6170	1348.8065	21.1170	1193.4932	20.6170	1038.4293
Avril	24.8484	595.1441	24.8484	595.1441	24.8484	595.1441	24.8484	595.1441	24.8484	595.1441	24.8484	595.1441
Mai	26.2550	751.2951	26.7550	597.2100	27.2550	443.4483	27.7550	289.7110	28.2550	256.9676	28.7550	411.3550
Juin	27.6652	1663.4580	28.1652	1511.9440	28.6652	1360.7777	29.1652	1209.9592	29.6652	1059.4886	30.1652	909.3657
Juillet	28.4670	2280.2673	28.9670	2122.1103	29.4670	1964.3251	29.9670	1806.9186	30.4670	1649.8909	30.9670	1493.2420
Août	28.0290	1971.9057	28.5290	1814.6407	29.0290	1657.7358	29.5290	1501.1990	30.0290	1345.0305	30.5290	1189.2301
Septembre	26.9243	1166.1474	27.4243	1015.9447	27.9243	866.0724	28.4243	716.5305	28.9243	567.3191	29.4243	418.4381
Octobre	25.5450	265.0880	25.5450	265.0880	25.5450	265.0880	25.5450	265.0880	25.5450	265.0880	25.5450	265.0880
Novembre	22.9284	1878.0433	22.4284	1726.8896	21.9284	1575.9728	21.4284	1425.2929	20.9284	1274.8499	20.4284	1124.6439
Décembre	21.6130	2870.4805	21.113	2713.5889	20.6130	2556.9103	20.113	2400.4448	19.6130	2244.1922	19.113	2088.1526
Total (KWh)		19963.2213		18424.7727 Diminution de 7.7064%		16889.2166 Diminution de 15.3983%		15356.2508 Diminution de 23.0773%		13946.8454 Diminution de 30.1373%		12727.1369 Diminution de 36.2471%

Selon ces résultats, il est constaté que le prolongement de l'intervalle du confort durant toute l'année (à l'exception des intersaisons) par 1 °C permet une économie en énergie de l'ordre de 15.3983 %. Cette valeur est très intéressante en termes d'efficacité énergétique vu que cette construction est énergivore.

Par ailleurs, si la bâtisse est bien isolée par un isolant thermique additionnel (polystyrène, 0.04 W/mK, 10 kg/m³), les résultats vont changer selon le tableau 2.11. Le plancher est doté d'une isolation de 4 cm, alors que toutes les autres parois opaques (murs et toiture) sont munies par une isolation de 8 cm.

L'extension de l'intervalle du confort par 1 °C permet cette fois-ci une économie en énergie de l'ordre de 12.3540 %.

L'utilisation rationnelle de l'énergie est une nécessité, la diminution des besoins énergétiques est un sujet qui préoccupe les gestionnaires de parcs de bâtiments. Compte tenu de la hausse des factures énergétiques, il est indiscutable donc de viser les performances énergétiques élevées des bâtiments. La section 4.2 traite avec détermination ces performances en intégrant et en combinant certaines mesures passives.

Tableau 2.11: Besoins énergétiques correspondants à une extension des températures du confort de 0.5 à 2.5 °C, avec isolation thermique.

Mois	1 ^{er} cas (classique)		2 ^{eme} cas		3 ^{eme} cas		4 ^{eme} cas		5 ^{eme} cas		6 ^{eme} cas		
	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	T _{conf}	Q _{Tot}	
Janvier	22.1190	765.6741	21.6190	715.9283	21.1190	666.4119	20.6190	617.1207	20.1190	568.0547	19.6190	519.2140	
Février	22.3741	664.5542	21.8741	618.1445	21.3741	571.9541	20.8741	525.9801	20.3741	480.2227	19.8741	434.6817	
Mars	23.1170	540.5410	22.6170	491.4058	22.1170	442.5188	21.6170	393.8811	21.1170	345.4928	20.6170	297.3539	
Avril	24.8484	158.1246	24.8484	158.1246	24.8484	158.1246	24.8484	158.1246	24.8484	158.1246	24.8484	158.1246	
Mai	26.2550	533.3406	26.7550	486.1792	27.2550	439.3423	27.7550	392.5300	28.2550	345.3930	28.7550	297.9306	
Juin	27.6652	802.9328	28.1652	754.8946	28.6652	707.2041	29.1652	659.8614	29.6652	612.8665	30.1652	566.2193	
Juillet	28.4670	1009.4262	28.9670	958.1894	29.4670	907.3291	29.9670	856.8476	30.4670	806.7449	30.9670	757.0209	
Août	28.0290	909.5476	28.5290	859.2020	29.0290	809.2221	29.5290	759.6103	30.0290	710.3667	30.5290	661.4913	
Septembre	26.9243	646.9061	27.4243	600.1791	27.9243	553.7825	28.4243	507.7164	28.9243	461.9808	29.4243	416.5756	
Octobre	25.5450	385.0853	25.5450	385.0853	25.5450	385.0853	25.5450	385.0853	25.5450	385.0853	25.5450	385.0853	
Novembre	22.9284	556.6371	22.4284	508.9591	21.9284	461.5181	21.4284	414.3140	20.9284	367.3468	20.4284	320.6165	
Décembre	21.6130	878.8963	21.113	828.9297	20.6130	779.1760	20.113	729.6354	19.6130	680.3078	19.113	631.1932	
Total (KWh)	7851.6659	7365.2216	Diminution de 6.1954 %		6881.6689	Diminution de 12.3540 %		6400.7069	Diminution de 18.4796 %		5921.9866	Diminution de 24.5767 %	

Dans les deux cas, cette variation est linéaire et peut obéir à un modèle général qui attribue la variation de l'économie en énergie en fonction de l'extension graduelle de la température du confort, toujours en se référant à la température du confort d'Auliciens donnée par l'équation 2.

La figure 2.4 représente la variation du gain énergétique annuel correspondant à une extension des températures du confort de 0.5 au 2.5 °C, obtenue par régression.

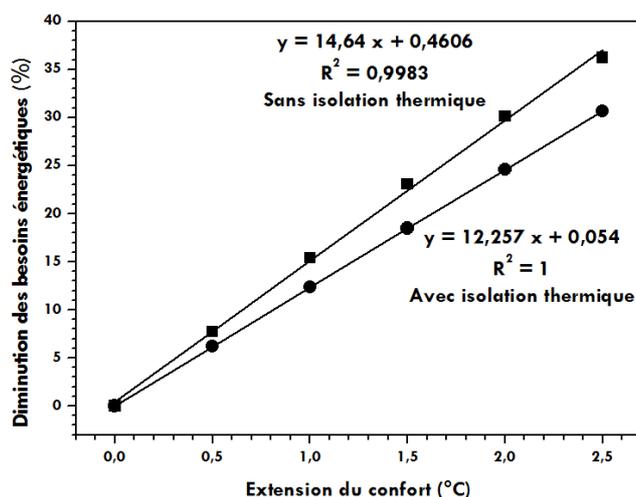


Figure 2.4 : Gains énergétiques annuels correspondants à une extension des températures du confort de 0.5 au 2.5 °C.

La figure 2.5 donne plus de détails, elle représente la variation du gain énergétique mensuel correspondant à une extension des températures de 1 °C. Deux cas se présentent, sans et avec isolation thermique.

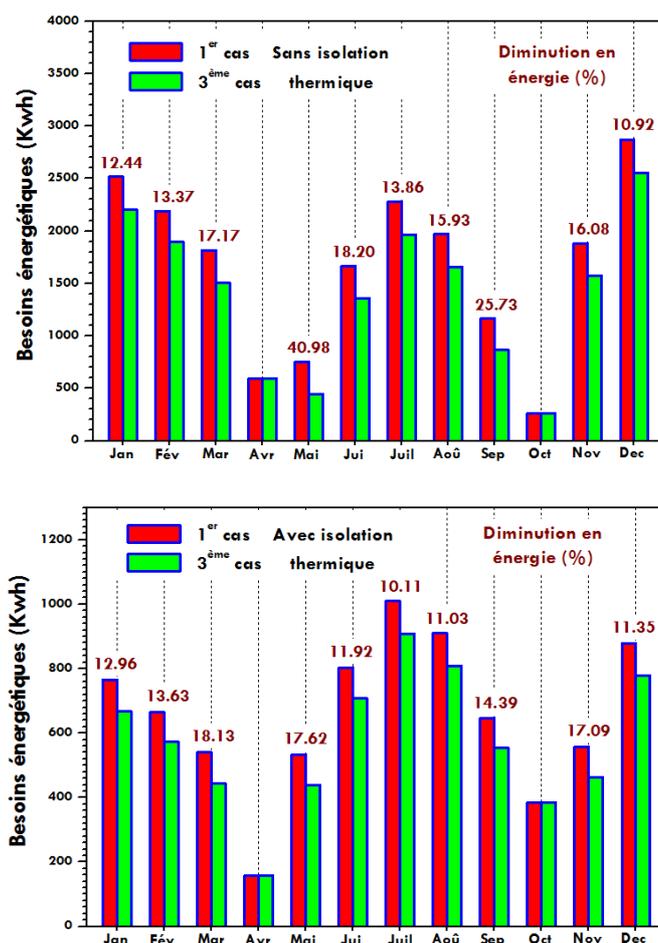


Figure 2.5 : Gains énergétiques mensuels correspondants à une extension des températures du confort de 1 °C.

La variation est en fonction du mois considérée. En cas d'une bâtisse énergivore, une utilisation judicieuse de l'énergie consommée peut causer une diminution de presque la moitié de l'énergie consommée au mois de Mai. Pour les autres mois, elle est variable. L'économie en énergie est proportionnelle par rapport à la demande énergétique requise, dans l'ensemble ce gain est moins important lorsque les besoins sont élevés et vice versa.

4.3. La compacité par rapport au mode de contact

La compacité est un aspect constructif passif intéressant à étudier, nous voulons tirer à travers cette étude l'influence de la compacité sur la consommation énergétique globale. Nous tenons compte uniquement du mode de contact de l'enveloppe. La figure 2.6 montrent les différents cas en indiquant chaque fois la disposition du studio. Le premier cas correspond au studio de la figure 2.3.

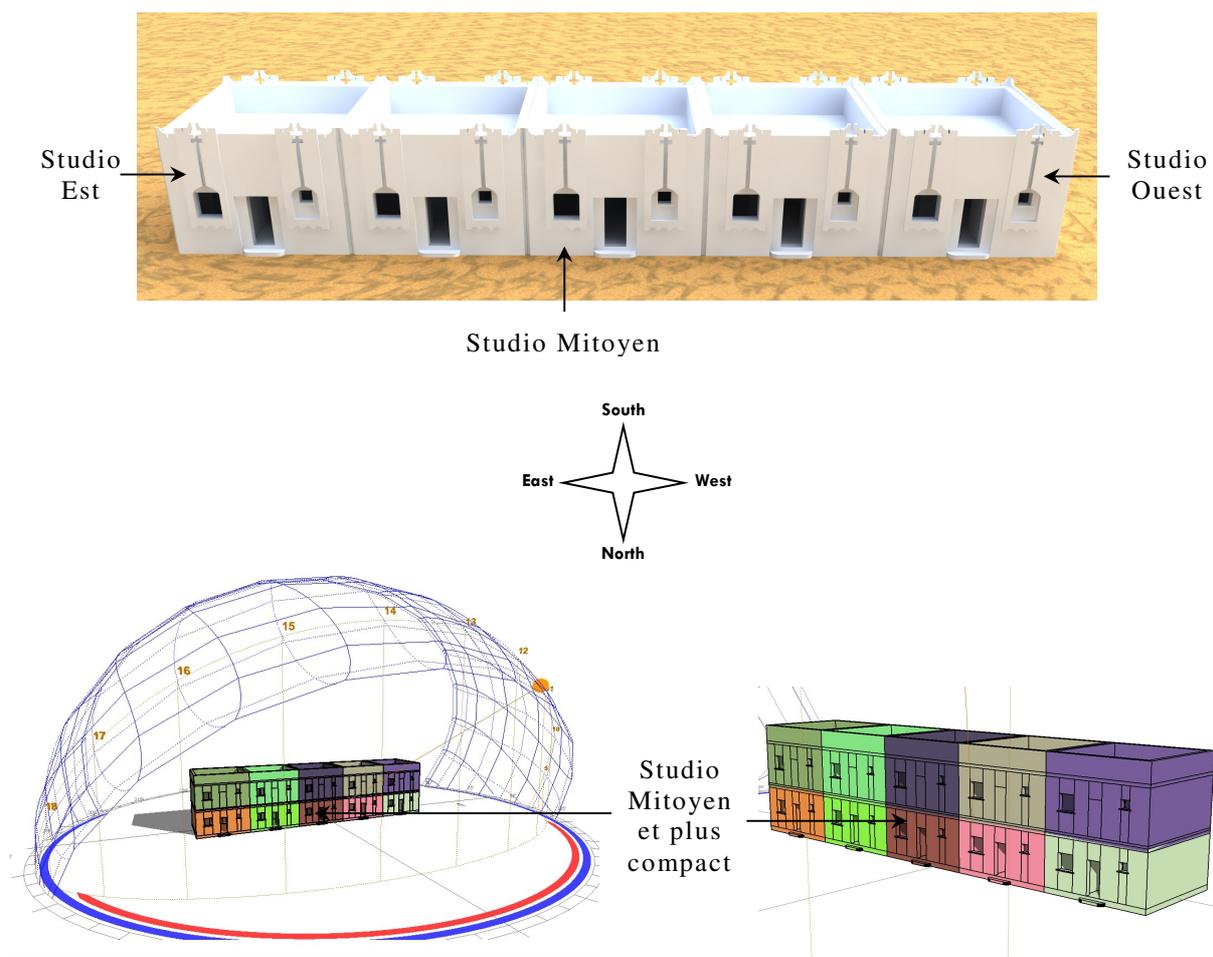


Figure 2.6 : Schémas descriptifs 3D des différentes dispositions du studio.

Le tableau 2.12 donne une comparaison entre les valeurs transcrites des besoins totaux et les besoins énergétiques dus à l'enveloppe selon les cas suivant :

- ✓ Premier cas : Studio totalement exposé (figure 2.3)
- ✓ Deuxième cas : Studio Est et/ou Ouest
- ✓ Troisième cas : Studio mitoyen
- ✓ Quatrième cas : Studio mitoyen et plus compact

Les valeurs affichées dans le tableau 2.13 nous donnent la possibilité de comparer les valeurs transcrites en considérant que la bâtisse est bien isolée. Le plancher est mené par une couche isolante de 5 cm, alors que toutes les autres parois opaques (murs et toiture) sont munies par une isolation de 10 cm cette fois-ci.

Chapitre II : Isolation thermique, extension du confort, compacité et leurs incidences sur l'efficacité énergétique

Tableau 2.12: Consommation totale et besoins énergétiques dus à l'enveloppe sans isolation thermique.

	T_{ext} (°C)	T_{conf} (°C)	Dj	Cas classique Exposition à tous niveaux		Studio Est & Ouest		Studio Mitoyen		Studio Mitoyen avec toiture non exposée	
				Q_{envel}	Q_{Tot}	Q_{envel}	Q_{Tot}	Q_{envel}	Q_{Tot}	Q_{envel}	Q_{Tot}
Janvier	13.9323	22.1190	253.789	2536.830	2516.4081	2483.5118	2463.0899	2430.2066	2409.7848	2312.9353	2292.5134
Février	14.7552	22.3741	220.949	2207.850	2188.7453	2161.4330	2142.3287	2115.0254	2095.9211	2012.9288	1993.8244
Mars	17.1516	23.1170	184.927	1845.672	1816.2385	1806.8342	1777.4007	1767.9924	1738.5588	1682.5403	1653.1067
Avril	22.7367	24.8484	63.351	629.558	595.1441	616.2524	581.8380	602.9462	568.5318	573.6727	539.2583
Mai	27.2742	26.2550	-31.595	313.745	751.2951	307.1105	744.6608	300.4743	738.0246	285.8747	723.4250
Juin	31.8233	27.6652	-124.743	1249.441	1663.4580	1223.2401	1637.2572	1197.0393	1611.0564	1139.3975	1553.4146
Juillet	34.4097	28.4670	-184.223	1855.333	2280.2673	1816.6463	2241.5803	1777.9523	2202.8862	1692.8254	2117.7593
Août	32.9968	28.0290	-154.001	1546.251	1971.9057	1513.9126	1939.5674	1481.5663	1907.2211	1410.4044	1836.0593
Septembre	29.4333	26.9243	-75.270	750.386	1166.1474	734.5765	1150.3378	718.7670	1134.5283	683.9859	1099.7472
Octobre	24.9839	25.5450	17.395	172.462	265.0880	168.8001	268.7502	165.1466	272.4037	157.1091	280.4412
Novembre	16.5433	22.9284	191.553	1912.458	1878.0433	1872.2242	1837.8098	1831.9907	1797.5763	1743.4770	1709.0627
Décembre	12.3000	21.6130	288.703	2887.298	2870.4805	2826.6590	2809.8418	2766.0203	2749.2031	2632.6151	2615.7979
Total (KWh)				17907.284	19963.2213 458.2925 KWh/m ²	17531.201	19594.4626 449.8270 KWh/m ²	17155.127	19225.6962 441.3613 KWh/m ²	16327.7662	18414.4100 422.7367 KWh/m ²

Tableau 2.13: Consommation totale et besoins énergétiques dus à l'enveloppe avec isolation thermique.

	T_{out} (°C)	T_{conf} (°C)	Dj	Cas classique Exposition à tous niveaux		Studio Est & Ouest		Studio Mitoyen		Studio Mitoyen avec toiture non exposée	
				Q_{envel}	Q_{Tot}	Q_{envel}	Q_{Tot}	Q_{envel}	Q_{Tot}	Q_{envel}	Q_{Tot}
Janvier	13.9323	22.1190	253.789	727.7595	707.3377	674.4544	654.0325	621.1492	600.7273	503.8779	483.4560
Février	14.7552	22.3741	220.949	633.0641	613.9598	586.6565	567.5522	540.2489	521.1446	438.1522	419.0479
Mars	17.1516	23.1170	184.927	528.1016	498.6680	489.2597	459.8262	450.4179	420.9843	364.9658	335.5322
Avril	22.7367	24.8484	63.351	178.5689	253.9367	165.2627	267.2429	151.9566	280.5490	122.6831	309.8225
Mai	27.2742	26.2550	-31.595	88.8766	526.4269	82.2404	519.7907	75.6042	513.1545	61.0045	498.5548
Juin	31.8233	27.6652	-124.743	361.0156	775.0327	334.8148	748.8319	308.6140	722.6311	250.9722	664.9893
Juillet	34.4097	28.4670	-184.223	542.7860	967.7200	504.0920	929.0259	465.3979	890.3319	380.2710	805.2049
Août	32.9968	28.0290	-154.001	449.2596	874.9145	416.9133	842.5682	384.5670	810.2219	313.4052	739.0600
Septembre	29.4333	26.9243	-75.270	214.5004	630.2617	198.69081	614.4521	182.8812	598.6425	148.1001	563.8614
Octobre	24.9839	25.5450	17.395	48.6680	388.8823	45.0146	392.5357	41.3611	396.1892	33.3236	404.2267
Novembre	16.5433	22.9284	191.553	547.5535	513.1391	507.3200	472.9056	467.0865	432.6722	378.5729	344.1585
Décembre	12.3000	21.6130	288.703	828.8567	812.0395	768.2179	751.4008	707.5792	690.7620	574.1741	557.3569
Total (KWh)				5149.0105	7562.3189 173.6070 KWh/m ²	4772.9371	7220.1647 165.7522 KWh/m ²	4396.8637	6878.0105 157.8974 KWh/m ²	3569.5026	6125.2711 140.6169 KWh/m ²

Les résultats calculés permettent d'adresser aussi des histogrammes qui décrivent clairement les niveaux mensuels des besoins énergétiques (figure 2.7), suivies par une évaluation annuelle de la consommation énergétique due à l'enveloppe (figure 2.8). L'efficacité énergétique pour les différentes situations et selon les modes de contact sera représentée par la figure 2.9. L'influence de l'isolation thermique sur l'énergie totale sera chaque fois incluse.

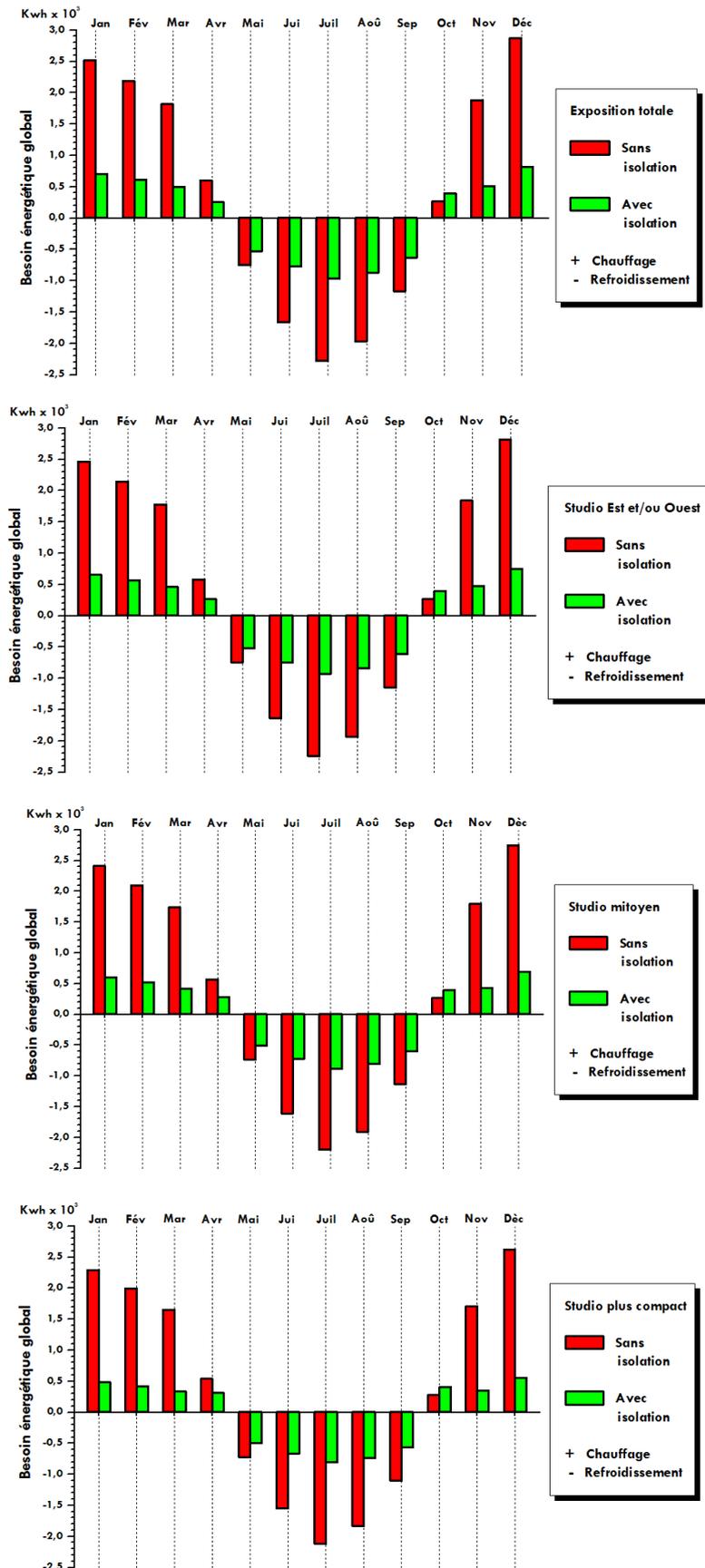


Figure 2.7 : Consommation énergétique globale en tenant compte la compacité et le concept de l'isolation thermique.

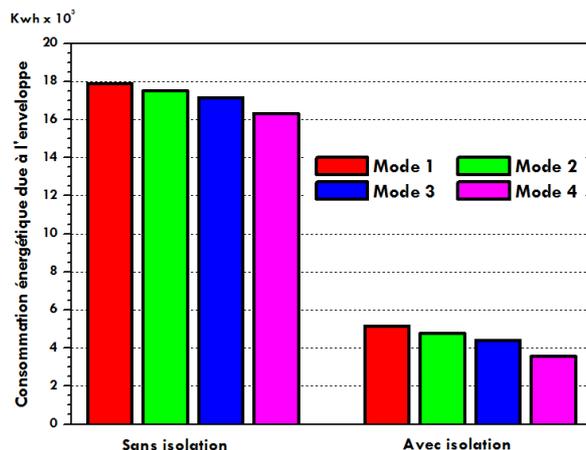


Figure 2.8 : Consommation énergétique due à l'enveloppe.

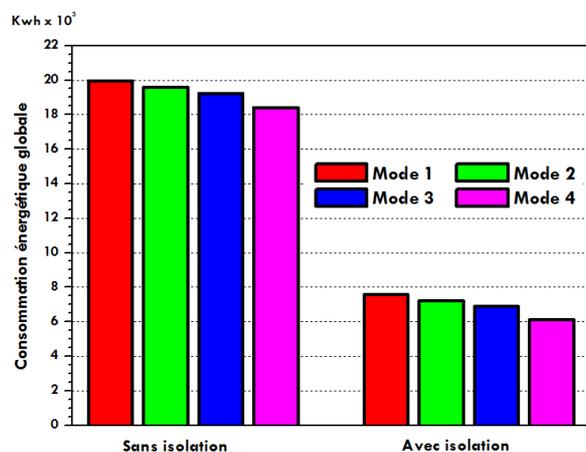


Figure 2.9 : Consommation énergétique globale.

Comme première remarque, la construction énergivore dont nous avons parlé ne devient pas gourmande en énergie en améliorant la compacité de l'édifice. La consommation globale était auparavant 458.2925 Kwh/m²/an.

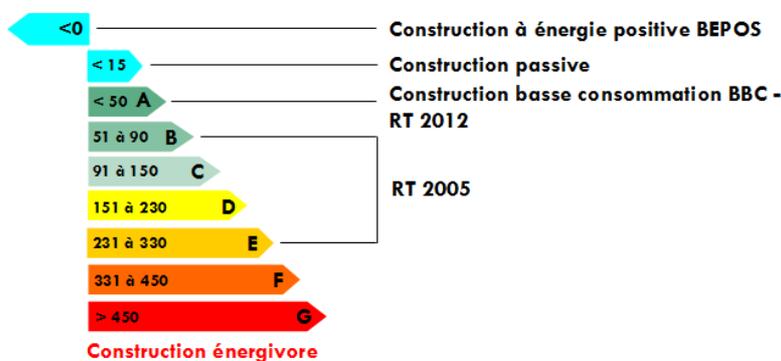


Figure 2.10: Labellisation des bâtiments par KWh/m²/an.

Passant d'un indice de compacité de 0.93 à des indices de 0.79, 0.64 et 0.30 garanti une minimisation de l'énergie de l'ordre de 1.85, 3.69 et 7.76 %

respectivement. En cas d'un studio muni d'une bonne isolation, le renforcement de la compacité permet d'atteindre à des taux de réduction de l'ordre de 4.52, 9.05 et 19.00 % pour respectivement le deuxième, le troisième et la quatrième mode de contact. La meilleure situation correspond au quatrième cas, on attribuer une étiquette énergétique de type C à ce studio.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité certains aspects passifs, notamment l'isolation et la compacité. On s'est intéressé aussi à l'extension du confort thermique qui se considère comme une démarche judicieuse pour la rationalisation de l'énergie utilisée. Nous avons tiré chaque fois l'effet sur la consommation globale mensuelle et annuelle. Les principales conclusions sont énumérées comme suit :

1. L'enveloppe est sans aucun doute la principale origine de la consommation énergétique élevée dans cette construction,
2. Une bonne isolation thermique donc s'impose,
3. Cette situation inacceptable pèse beaucoup sur le budget de l'état. Il est estimé à environ 40.57% / an,
4. En prolongeant l'intervalle du confort durant toute l'année (à l'exception des intersaisons) par 1 °C, une économie en énergie de l'ordre de 15.3983 % peut être bénéficiée,
5. En cas d'une bonne isolation et en gardant les mêmes températures de consigne, une utilisation plus rationnelle de cette énergie permettra une économie de l'ordre de 12.3540 %
6. Une meilleure compacité engendre une réduction énergétique qui s'élève à 7.76 % si l'édifice n'est pas isolé,
7. La compacité est plus rentable si la construction est bien isolée, le taux de diminution peut atteindre une valeur de 19.00 % pour notre cas.

Références

1. M.A. Boukli Hacene, Aspects énergétiques, économiques et environnementaux d'une habitation écologique. Thèse de Doctorat en physique énergétique et matériaux, Université de Tlemcen, 2013.
2. B. Moujalled, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, Pour obtenir Le grade de docteur Ecole

doctorale : MEGA Spécialité : Génie Civil, N° d'ordre 2007-ISAL-0005
Année 2007

3. D. Medjelekh, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma, Magister option : Architecture Bioclimatique, Université Mentouri de Constantine, 2006.
4. Norme DIN 1946-4:2008-12. Raumluftechnik – Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens (Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care), Beuth Verlag GmbH, Berlin.
5. M.K. Singh, S. Mahapatra, S.K. Atreya, Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India, *Building and Environment* 45 (2010) 320–329.
6. A. Auliciems, S.V. Szokolay, Thermal comfort, PLEA Notes: passive and low energy architecture international, design tools and techniques, in association with Department of Architecture, The University of Queensland Brisbane 4072, second revised edition 2007.
7. Z.E. Eusébio Conceição, J.M.M. Gomes, N.H. Antão, M. Manuela J.R. Lúcio, Application of a developed adaptive model in the evaluation of thermal comfort in ventilated kindergarten occupied spaces, *Building and Environment* 50 (2012) 190–201.
8. A. Shady, Salvatore Carlucci, Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate, *Energy and Buildings* 102 (2015) 117–128.
9. D. Medjelekh, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, Université Mentouri de Constantine, Mars 2006.
10. S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, M.K. Cherier, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Diagnosis and comprehensive quantification of energy needs for existing residential buildings under Sahara weather conditions, *Advances in Building Energy Research*, Pages 37-51, 2016.
11. S. Belgherras, S.M.A. Bekkouche, T. benouaz, N. Benamrane, Prospective analysis of the energy efficiency in a farm studio under Saharan weather conditions, *Energy and Buildings*, article, April 2017.
12. N. Adra, Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais, Laboratoire des Sciences de l'Habitat de L'École Nationale des Travaux Publics de l'État, Département Génie Civil et Bâtiment (DGCB), URA CNRS 1652, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2001.
13. http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/bilan_th.htm
14. <http://lejournaldelemploi.dz/sonelgaz-campagne-de-sensibilisation-pour-rationaliser-la-consommation-deelectricite/>

Configuration Judicieuse de l'Enveloppe

Cas d'un Studio de Faible Compacité

Configuration Judicieuse de l'Enveloppe Cas d'un Studio de Faible Compacité

1. Introduction

Au cours des dernières années, divers travaux de recherche ont montré que les gens passent environ 90% de leur temps dans un environnement intérieur. Compte tenu de cela, la préoccupation majeure des concepteurs de bâtiments est de s'assurer que les bâtiments sont construits de façon à fournir des conditions confortables et saines pour ses occupants. De nos jours dans les nouvelles villes, le mode de vie a changé de façon spectaculaire, en particulier en Afrique Subsaharienne. Dans ces régions, très peu de designers prennent en compte le climat de l'environnement et la variété des méthodes de construction de bâtiments habituellement utilisés dans les pays développés [1].

Parmi les trois principaux secteurs dans lesquels la dépense d'énergie d'un pays est divisée (consommation pour chauffage et refroidissement des bâtiments, le transport et l'industrie), le premier a une relation directe et immédiate avec la construction. Celle-ci, a déjà reçu une attention particulière des institutions de l'état, qui a souligné la mise en œuvre de l'utilisation des énergies alternatives, comme l'utilisation intensive d'isolants thermiques et une consommation énergétique responsable. Ces décisions peuvent réduire drastiquement les dépenses énergétiques de la climatisation des bâtiments [2].

Le choix des matériaux est une étape fondamentale dans le processus de conception architecturale d'un bâtiment. Cette étape devient aujourd'hui prépondérante dans la mesure où l'architecte, en matière de choix, fait face à trois problématiques majeures: le foisonnement et la multiplication de nouvelles matières, le désir de dématérialisation engendrée par la séparation entre la structure du bâtiment et son enveloppe et le renforcement des exigences énergétiques, environnementales et sanitaires [3].

Au cours du siècle dernier, l'utilisation des matériaux a été multipliée par huit et, par conséquent, l'humanité utilise actuellement près de 60 milliards de tonnes de matériaux par an. Cependant, la recherche sur les matériaux de construction s'est excessivement concentrée sur leurs propriétés mécaniques avec

des préoccupations mineures concernant les considérations environnementales [4].

L'efficacité des matériaux est l'un des éléments de la conception et de la construction de bâtiments écologiques qui comprend la sélection de matériaux verts comme première étape dans le développement de bâtiments durables. Afin de répondre aux exigences, les architectes doivent considérer si les matériaux qu'ils ont choisis consomment moins d'énergie, ont des caractéristiques d'émissions de carbone plus faibles, et même s'ils contiennent des matériaux recyclés ou une accessibilité régionale [5].

2. Le choix des matériaux : Une réponse aux exigences architecturales et environnementales

Le secteur du bâtiment et de la construction est l'un des secteurs les plus concerné par les enjeux du développement durable. Les chiffres mondiaux sur lesquels entreprises, institutions et experts s'accordent sont en effet impressionnants: le bâtiment (la construction) représente environ 40 % des émissions de CO₂ des pays développés, 37 % de la consommation d'énergie et 40 % des déchets produits [6].

"Chaque matériau doit remplir sa fonction en répondant à des exigences et besoins spécifiques". Les performances que le matériau atteint lors de son utilisation, grâce à ses qualités intrinsèques, lui confèrent une valeur d'usage. Une fois mis en œuvre dans le bâtiment, les matériaux, répondent à six types d'exigences :

- ✓ Des exigences architecturales liées à l'aspect architectural et social du lieu de construction,
- ✓ Des exigences de protection contre les intempéries et les éléments climatiques défavorables,
- ✓ Des exigences de confort qui peuvent être définies par un bien-être ressenti tant d'un point de vue hygrothermique qu'acoustique, que visuel ou même olfactif,
- ✓ Des exigences liées à la conservation de la fonction et de leurs performances et
- ✓ Des exigences de sécurité.

On pourrait également rajouter une exigence qui est aujourd'hui devenue une contrainte incontournable dans le secteur de la construction: la rentabilité économique: le matériau doit remplir sa fonction, le plus longtemps possible et pour un coût minimum. Du point de vue énergétique, il doit jouer un rôle primordial dans la réduction de la consommation énergétique. Cependant, il est important de signaler que le coût économique qui est actuellement pris en compte est généralement le coût d'investissement [3].

2.1. Le matériau et l'architecte

La relation entre l'architecture et les matériaux a été assez simple jusqu'à la révolution industrielle. Les matériaux étaient choisis soit pragmatiquement pour leur utilité et disponibilité ou ils étaient choisis formellement pour leur apparence et qualités ornementales. La pierre disponible localement formait des fondations et des murs, et du marbre de haute qualité souvent apparaissait comme de minces facettes couvrant la construction. Les décisions prises sur le bâtiment et l'architecture ont déterminé le choix du matériau.

Avant le 19^{ème} siècle l'utilisation des matériaux dans la conception était une cible de problèmes dans la fonction et la forme. De plus, les matériaux n'étaient pas normalisés, de sorte que les constructeurs et les architectes ont été obligés de compter sur une compréhension extrinsèque de leurs propriétés et performances. Cependant, la connaissance des matériaux a été acquise à travers l'expérience et l'observation. Les maîtres constructeurs étaient ceux qui ont acquis des connaissances et des compétences nécessaires pour travailler avec les matériaux disponibles, souvent suite à des essais et erreurs désastreux.

Le rôle des matériaux a radicalement changé avec l'avènement de la révolution industrielle. Plutôt que de dépendre d'une compréhension intuitive et empirique, les propriétés du matériau et de sa performance ont commencé à être un critère fondamental pour les architectes [7].

De nos jours, il est extrêmement important que l'architecte s'engage à concevoir de manière à minimiser les impacts de son travail sur l'environnement naturel et avoir comme philosophie la recherche constante de nouvelles stratégies et de technologies qui rendent possible la production de projets durables, en plus de travailler en étroite collaboration avec les propriétaires et les gestionnaires de projets, afin d'augmenter et d'équilibrer les facteurs dans l'entreprise qui peuvent

minimiser les impacts environnementaux et qui peuvent apporter des avantages à l'entrepreneur [8].

2.2. La conception durable dans le secteur du bâtiment

La conception durable est une approche collaborative de la construction de l'environnement et de l'environnement lui-même. Dans un contexte naturel, ce processus fusionne les solutions naturelles du passé de conditionnement des ressources (lumière du jour, chaleur solaire, ventilation naturelle) avec les technologies innovantes du présent d'un système "intelligent" intégré qui prend en charge le contrôle individuel pour atteindre une qualité environnementale en prenant conscience des ressources disponibles.

Le choix des matériaux de construction selon leurs performances techniques ou architecturales est une problématique qui a toujours existé, mais qu'en est-il aujourd'hui de leurs performances Environnementales et Sanitaires ? En effet, les concepts de développement durable, et plus particulièrement de construction durable, nous amènent à réfléchir et à être sensibilisé sur les impacts des matériaux et des produits tout au long de leur cycle de vie. L'habitat sain est le thème central des réflexions en cours du monde du bâtiment. Plus large que l'environnement, il comporte des préoccupations notables en matière de santé.

La qualité environnementale des bâtiments correspond aux caractéristiques du bâtiment, de ses équipements (en produits et services) et du reste de la parcelle de l'opération de construction ou d'adaptation du bâtiment qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et de création d'un environnement intérieur confortable et sain.

Nous souhaitons tous avoir une maison qui sera tout aussi belle après avoir été debout pendant des décennies. Quand on pense à la durabilité matérielle, il faut d'abord répondre à deux questions: Est-ce que la maintenance du matériel choisi est simple? Quelle est la durée de vie du matériau? Les planchers en bois sont un excellent exemple de la pensée durable; les planchers stratifiés varient dans leur qualité en fonction de l'épaisseur de la couche de surface. Plus cette couche est mince, plus tôt le revêtement de sol s'usera et devra être remplacé. Les planchers de bois franc sont faciles à rénover, et cela peut être fait de nombreuses fois. La même règle s'applique pour les matériaux de construction

des murs, des façades ou des toitures. La conception du matériau joue également un rôle important: une maison construite à partir de matériaux naturels exposés au climat local avant de subir le processus de fabrication sera tout aussi bonne en 20 ans, alors que les tendances contemporaines deviennent vite ridicules en tant que tendances sujets à un changement de goût personnel.

2.3. Le choix des matériaux : une démarche multicritères

La description détaillée des différents états que traverse le matériau au cours de son cycle de vie renseigne sur les réalités à prendre en compte dans la démarche de conception architecturale. On comprend que le choix des matériaux et des techniques constructives lors de la conception de l'édifice doit satisfaire à des attentes aussi diverses que la réponse à des données physiques, environnementales ou financières, mais aussi à des aspirations de nature humaine, sociale et culturelle. Ce choix s'effectue avec une démarche multicritères basée sur les caractéristiques des matériaux qui sont issues de leur processus de fabrication. Les matériaux sont évalués selon des points de vue différents [9].

Des normes et des critères pour réduire les impacts sur l'environnement et la santé humaine des matériaux et des produits sont développés et de plus en plus utilisés par les prescripteurs de produits pour prendre des décisions sur la manière leur utilisation.



Figure 3.1 : Les critères de choix des matériaux [9].

Les bâtiments modernes sont généralement des structures uniques d'une grande complexité. Ils comprennent de nombreux composants, certains préfabriqués et assemblés sur site, tandis que d'autres, comme le béton, peuvent être fabriqués "in situ". Dans chaque cas, le fonctionnement satisfaisant du bâtiment dans son ensemble dépend de la performance des matériaux à partir desquels ses composants sont fabriqués et des relations entre eux.

Le bon fonctionnement des matériaux dans les bâtiments nécessite donc une compréhension de leurs caractéristiques car ils affectent le bâtiment à tous les stades de sa vie. Avant d'évaluer la pertinence d'un matériau pour une situation donnée, les exigences de performance pour cette situation doivent être identifiées. Ces exigences peuvent inclure:

- ✓ **Le Design** : Les matériaux appropriés à la conception, à la fonction et à l'environnement du bâtiment doivent être choisis. En effet, traditionnellement, l'examen des matériaux à utiliser est une partie cohérente du processus de conception. Aujourd'hui, il y a plus de choix, mais les concepteurs doivent être conscients des limites ainsi que des opportunités associées à des matériaux individuels, et comment ils interagissent les uns avec les autres.
- ✓ **La Construction** : Les constructeurs sont légalement tenus de "bien construire", ce qui inclut la responsabilité d'utiliser matériaux spécifiés de la bonne manière et d'identifier les défauts potentiels.
- ✓ **L'Entretien** : Bien que certains matériaux ne nécessitent pratiquement aucun entretien, la majorité d'entre eux nécessitent une forme de soins pendant leur vie. L'entretien efficace dépend de la façon dont les matériaux réagissent avec leur environnement au cours de leur durée de vie. À long terme, il peut être beaucoup plus coûteux d'entretenir certains matériaux si leur qualité initiale est médiocre.
- ✓ **La réparation** : Un large choix de systèmes de réparation est maintenant disponible pour de nombreux matériaux. Une utilisation efficace et éclairée de tels systèmes dépend de la compréhension des processus de désintégration, de la façon d'arrêter la dégradation et de la façon dont les matériaux de réparation interagissent avec les matériaux d'origine [10].
- ✓ **L'aptitude à l'usage** : Les matériaux sont normalement spécifiés par un standard de qualité, soit un standard ou une norme européenne, ou une norme

de toute autre corps. Le matériel à un ensemble "d'adaptation à l'objectif" qui est reconnu dans le monde entier et ces normes de qualité font en sorte que les mêmes produits peuvent être achetés globalement selon les mêmes spécifications.

- ✓ **L'apparence visuelle** : Dans la conception, l'apparence visuelle des matériaux signifie beaucoup pour le concepteur ou l'architecte aussi bien que pour le client. L'aspect visuel peut également être lié à la texture des matériaux utilisés. La brique est un bon exemple, où l'apparence peut être modifiée par l'utilisation de mortier coloré dans les joints, ce qui rend les murs beaucoup plus attrayants pour les yeux. La lumière joue également un rôle important car la réflectance et les ombres peuvent modifier l'apparence d'un bâtiment au cours de la journée ou de l'année. Le marché s'éloigne des matériaux de construction lourds que nous utilisons depuis des milliers d'années et développe rapidement des matériaux plus verts et moins denses, qui sont également considérés comme plus attractifs.
- ✓ **Le Coût** : Le coût du projet est toujours pris en compte dans la spécification et la sélection des matériaux. Si un projet dépasse le budget, les spécifications des matériaux sont remplacées par des spécifications de moindre qualité afin de réduire les dépenses. La qualité a également une relation avec le coût. Les matériaux de qualité supérieure coûtent plus cher, mais s'ils peuvent être accordés au stade initial, cela permettra d'économiser de l'argent à long terme pour le projet. Il y a une question à se poser lorsqu'on examine les coûts de matériel: Consacrer ou non plus d'argent à la qualité maintenant et s'engager à dépenser des frais d'entretien moins élevés à l'avenir?
- ✓ **Résistance à la dégradation** : L'usure des matériaux est liée à la qualité et souvent à la densité du matériau. Par exemple, les zones à fort trafic, telles que les couloirs scolaires, nécessitent des matériaux plus denses qui résistent mieux à l'usure. La dégradation peut survenir suite à:
 - Vandalisme
 - Vent
 - Pluie
 - Givre
 - Les rayons UV nocifs de la lumière du soleil
 - Pollution de l'air

- L'âge du matériel.

Le design joue un rôle important dans la résistance à la dégradation; par exemple, il faut s'assurer que les gouttières sont placées au bon endroit pour éviter les taches d'eau sur la maçonnerie extérieure. La sélection du matériel doit tenir compte l'emplacement du matériau et l'âge de l'environnement qui l'entoure.

- ✓ **Facilité d'installation ou d'utilisation :** Un matériau qui nécessite l'intervention de gens de métier qualifiés sera évidemment coûteux à utiliser. Par exemple, les murs-rideaux en verre nécessitent une conception et une installation spécialisées. La clé de l'utilisation intensive d'un matériau est sa facilité d'installation, la réduction du gaspillage résultant de l'installation et la possibilité d'utiliser une main-d'œuvre semi-qualifiée pour l'installer. Dans quelle mesure sera-t-il facile de remplacer un matériau qui nécessite des travaux de réparation en raison de dommages, ceci doit être considéré à l'étape de sélection de la conception. Un matériau peut être moins cher mais entraîner des coûts financiers massifs quand il doit être remplacé à la fin de sa vie ou lors d'un remplacement de dommage accidentel.
- ✓ **Implications environnementales :** Les questions écologiques sont maintenant très importantes dans la sélection des matériaux de construction, en particulier dans la construction de logements. La quantité d'énergie incorporée qui est contenue dans le matériau doit être soigneusement considérée avec la quantité de carbone qui va être libérée pendant la fabrication. Les produits respectueux à l'environnement qui sont renouvelables ou qui contiennent un pourcentage de matériaux recyclés doivent être pris en compte par rapport à d'autres matériaux afin de réduire l'effet du réchauffement climatique.
- ✓ **Durabilité et potentiel de recyclage :** Un matériau doit maintenant englober des éléments durables et doit être produit en tenant compte de l'environnement afin qu'il n'utilise pas de ressources précieuses. Les produits du bois sont d'excellents exemples de matériaux durables qui ont peu d'impact sur l'environnement; ils peuvent être cultivés relativement rapidement et leurs déchets peuvent être recyclés en d'autres produits issus du bois. Voici quelques matériaux durables et leurs utilisations:

- Les planchers de cèdre utilisés comme matériau de revêtement sur les faces externes des maisons est une méthode attrayante, durable et rentable comme produit écologique.
- Les toits verts peuvent être utilisés comme alternative au lieu d'utiliser des ressources finies, ils vivent et respirent et dans les zones urbaines offrent un environnement naturel pour se détendre.
- Les matériaux recyclés issus de la démolition, tels que les briques et le béton, peuvent maintenant être concassés et calibrés pour fournir un remplissage inconditionnel pour compenser les niveaux. L'acier peut être recyclé dans le processus de production en le fondant et en le reformant [11].

3. L'isolation thermique

Dans le cadre de la maîtrise et de la conservation de l'énergie, beaucoup de pays et d'industriels se sont engagés par des traités internationaux afin d'atteindre des objectifs communs de réduction de la consommation énergétique dans les principaux secteurs consommateurs. Parmi les diverses mesures prises par ces pays pour diminuer l'augmentation des GES "Gaz à Effet de Serre" dans le secteur des bâtiments figure les Réglementations Thermiques. Elles portent à la fois sur les bâtiments résidentiels et tertiaires et visent à réduire les consommations d'énergie en agissant sur l'isolation des parois, la ventilation, le chauffage, les apports solaires, la climatisation, l'eau chaude et l'éclairage. Ces techniques s'inscrivent donc dans le programme de lutte contre l'effet de serre, un quart des émissions de gaz étant dû au chauffage des bâtiments et à la production d'eau chaude sanitaire. Périodiquement, un nouveau renforcement des exigences au niveau de la performance énergétique des bâtiments se traduit par une modification de la réglementation thermique et en particulier des coefficients de transmission thermique (valeur-U) pour les différents composants de l'enveloppe du bâtiment. Avec les renforcements des normes, les recherches au niveau de la thermique du bâtiment se sont accentuées, en particulier sur l'isolation thermique de l'enveloppe qui joue un rôle important dans la maîtrise de la consommation d'énergie. En effet, une grande part des déperditions

thermiques est liée aux pertes de chaleur à travers les murs, la toiture et le plancher et même les vitres (figure 3.2).

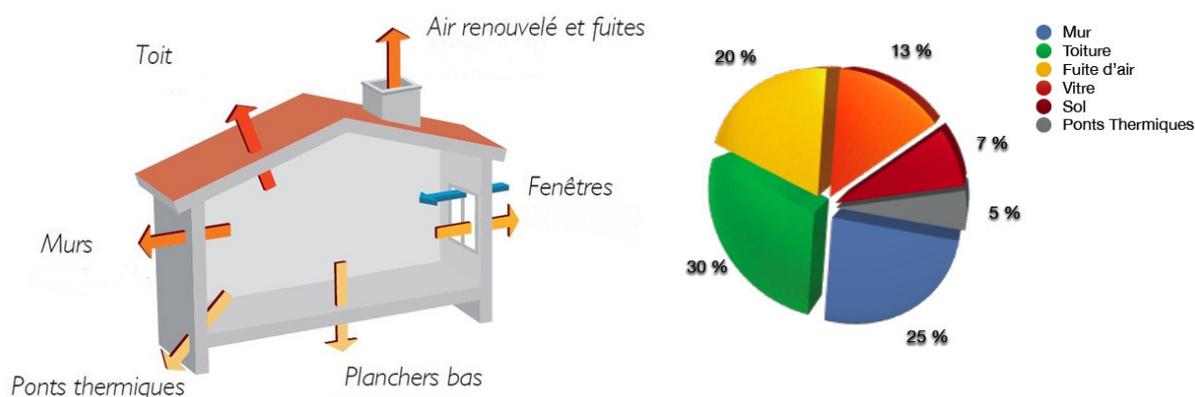


Figure 3.2 : Déperditions thermiques dans un habitat [8].

Pour cela, les recherches s'orientent principalement dans l'amélioration des performances thermiques des isolants thermiques existants sur le marché et la conception de nouveaux matériaux d'isolation tels que les isolants à forte inertie, les panneaux isolants sous vide et les isolants à propriétés réfléchissantes [12].

3.1. Techniques et principes fondamentaux

L'objectif principal de l'isolation thermique est de contrôler le transfert de chaleur à travers les assemblages extérieurs d'une maison. L'enveloppe thermique de la maison est considérée comme le périmètre extérieur où une brèche d'énergie peut se produire. Cette dernière ligne de défense, où le gain de chaleur ou la perte de chaleur peut se produire, ne doit pas être tenue pour acquise. En effet, pour garantir le confort des occupants et l'efficacité énergétique et la durabilité de la maison, la barrière thermique ou l'isolation doit former une enveloppe continue autour de la maison. Tous les composants de l'air et des barrières thermiques doivent être physiquement en contact les uns avec les autres pour empêcher tout élément inférieur ou omis d'entrer dans l'enveloppe. Des matériaux mal installés, des matériaux de qualité inférieure ou des zones omises compromettront l'efficacité du système de chauffage et de climatisation d'un habitat [13].

Un bâtiment chauffé perd son énergie thermique en conduction, convection et rayonnement. Pour réduire les pertes de chaleur, une épaisseur et un type d'isolation appropriés doivent être choisis.

L'un des indicateurs de base d'une bonne qualité d'isolation est la faible valeur de son coefficient global de transfert de chaleur (U) ; en outre, d'autres restrictions sur les paramètres physiques, environnementales et économiques doivent être prises en considération.

✓ **Les restrictions physiques et environnementales sont:**

- Résistance mécanique,
- Plage de température autorisée,
- Durée de vie,
- Perméabilité à la vapeur,
- Isolation acoustique,
- Respect de l'environnement,
- Effet nocif possible sur la santé,
- Facilité d'utilisation et
- Résistance aux impacts chimiques et aux insectes.

✓ **Les restrictions économiques sont:**

- Economies d'énergie et
- Frais de fabrication et d'installation.

L'isolation thermique d'un bâtiment est aussi importante en été qu'en hiver. Vu que nous sommes confrontés à des changements climatiques mondiaux, que les maisons nouvellement bâties sont construites depuis une centaine d'années, et que les prix des carburants augmentent constamment, il est recommandé d'isoler l'enveloppe du bâtiment.

En pratique, plusieurs types d'isolants organiques ou inorganiques peuvent être distingués (tableau 3.1). La laine de verre par exemple est imperméable à la vapeur, ininflammable, antibruit, résistant aux influences chimiques, ne nuit pas à la santé, peut être utilisé à des températures relativement élevées, n'absorbe pas l'eau et elle est conviviale.

a) Propriétés des isolations thermiques

L'isolation thermique doit avoir des propriétés mécaniques adéquates, être perméable à la vapeur, durable, efficace à la chaleur et correctement installée

dans le cadre de la construction de l'enveloppe du bâtiment. Dans les zones résidentielles, une importante vapeur d'eau se forme par la respiration, la transpiration, la cuisson et d'autres causes. Même si, à première vue, il semble que la vapeur d'eau ne peut pas affecter l'isolation et l'état de santé dans une pièce, l'installation correcte des couches d'isolation est d'une grande importance pour la perméabilité à la vapeur et le microclimat. Par conséquent, il est important d'assurer un transfert de chaleur contrôlé depuis les pièces jusqu'aux environs. Cette analyse est similaire pour le toit au-dessus d'un grenier résidentiel.

Tableau 3.1 : Types d'isolants organiques et inorganiques [14].

Matériaux inorganiques		Matériaux naturels et organiques	
Fibres minérales	Matériaux en mousse	Plantes et fibres animales	Matériaux en mousse
Laine de laitier	Verre expansé	Fibres de noix de coco	Mousse de polyester
Laine de verre	Vermiculite	Fibres de cellulose	Polyester extrudé
Laine de roche	Perlite	Lin textile	Mousse de polystyrène
	Argile expansée	La laine	Mousse de polyuréthane
		Paille	Goudron de formaldéhyde
		Coton	
		papier	
		Liège	

b) Épaisseur de l'isolation

Une bonne protection thermique de l'enveloppe du bâtiment contribue le plus à une utilisation efficace de l'énergie pour chauffer le bâtiment ou le protéger des surchauffes. En optant une protection thermique, on peut avoir des solutions techniques accessibles au marché et une viabilité économique à long terme. Lors de la construction ou de la rénovation de bâtiments, il est obligé de suivre les recommandations professionnelles basées sur des calculs économiques et des paramètres de construction-physique du confort thermique dans le cadre de vie. L'épaisseur optimale de l'isolation dépend des conditions climatiques, de l'emplacement du bâtiment et des charges thermiques de l'intérieur de la maison. En tenant compte des charges thermiques internes, des températures moyennes quotidiennes et nocturnes moyennes (sur une période de 24 heures / 365 jours) à un endroit donné, il est possible de calculer l'épaisseur d'isolation optimale tout

en permettant une meilleure protection contre les rayonnements solaires pendant l'été et en empêchant aussi des pertes de chaleur en hiver [14].

Une maison classique est couramment recommandée d'être isolée thermiquement de telle manière que le coefficient de transfert de chaleur global des parois externes soit inférieur à $0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Si on compare un mur de briques de 29 cm d'épaisseur non isolé et d'un coefficient global de transfert de chaleur de $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un autre mur isolé par une couche de 10cm, on obtient cette fois-ci un coefficient global qui s'élève seulement à $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ceci signifie que les pertes de chaleur sont cinq fois moins.

Considérant les prix actuels des matériaux d'isolation thermique (par exemple la laine de verre), une protection légèrement plus épaisse de l'enveloppe du bâtiment ne représente pas un investissement très élevé. D'autre part, le bâtiment sera conforme aux normes contemporaines en termes d'utilisation et du coût énergétique. Augmenter l'épaisseur du protection thermique de 5 à 8 cm d'un mur en brique cuite de 19 cm d'épaisseur signifie que le prix initial n'augmentera qu'à environ 6 à 7%, alors que le coefficient global de transfert de chaleur de la paroi diminuera à environ 30% [15].

4. Google Sketch Up & EnergyPlus : Outils d'aide pour la sélection du matériau de construction

Les outils de simulation thermique sont de plus en plus utilisés par toutes professions impliquées dans la conception des bâtiments. Au fur et à mesure que les logiciels d'analyse de bâtiments deviennent plus sophistiqués, intégrés et faciles à utiliser, les chercheurs sont confrontés à l'opportunité et à la nécessité de mieux comprendre les performances des bâtiments, en particulier en termes d'optimisation énergétique. Reconnaître les implications des décisions de conception prises par les chercheurs sur la performance énergétique et environnementale du bâtiment, faire engager tous les spécialistes de conception à effectuer des simulations. En conséquence, les outils de simulation ont été reconnus comme des outils d'aide à la conception dans l'industrie de l'Architecture-Ingénierie-Construction (AEC). L'utilisation d'outils de simulation de performance du bâtiment (BPS : Building Performance Simulation) par les professionnels de la conception est devenue donc un moyen fondamental pour

entretenir les décisions de conception pour les bâtiments éconergétiques. Compte tenu de l'étendue des choix d'outils BPS, les architectes et les ingénieurs sont confrontés au processus de sélection de ces outils dans la conception des bâtiments de tous les jours [16]-[17].

4.1. Pourquoi Sketch Up et EnergyPlus

C'est maintenant, grâce à la présence d'une application appelée Google Sketch Up que les architectes et les chercheurs peuvent définir la géométrie du bâtiment tout en déterminant ses différentes zones (et aussi d'y visualiser les résultats pour certaines études). Pour EnergyPlus, ce dernier se révèle assez simple à utiliser, il fonctionne soit sur la saisie d'un fichier texte, soit par une interface graphique. A noter qu'il existe plusieurs interfaces graphique qui peuvent être couplées avec plusieurs logiciels, la plus populaire et de plus en plus puissante est un plug-in pour Google Sketch Up appelée OpenStudio.

4.2. Google Sketch Up

Le bâtiment peut-être modélisé par Google SketchUp, un logiciel de dessin gratuit capable de créer des modèles en trois dimensions. Grâce au plug-in OpenStudio, il est possible d'exporter des fichiers créés sous Google SketchUp (*.idf) dans EnergyPlus mais aussi d'importer des fichiers créés sous EnergyPlus (*.dxf) afin de les visualiser sous Google SketchUp. On peut ainsi observer les différentes pièces sous différents angles. En résumé, Google SketchUp offre une visualisation du bâtiment et les différents ombrages. La première étape consiste à modéliser ou importer la géométrie du bâtiment. Elle peut être réalisée de différentes manières:

- ✓ Création de la géométrie par dessin en 3D avec le module complémentaire Sketch Up de TRNSYS (génération d'un fichier *.idf),
- ✓ Création de la géométrie par dessin en 3D avec le module complémentaire OpenStudio (génération d'un fichier *.osm ou *.idf),
- ✓ Importation d'un fichier *.ifc dans SketchUp avec le module complémentaire IFC Converter,
- ✓ Utilisation d'un convertisseur *.ifc à *.idf (en cours de développement par la NREL).

Google SketchUp est un logiciel qui présente de nombreux avantages notamment au niveau de la facilité d'utilisation de son interface de présentation ainsi que les multiples opportunités offertes pour la présentation du modèle. Sa versatilité en fait aujourd'hui un outil utilisé par de nombreux champs d'étude, il est possible de modifier l'affichage des différents volumes présents dans le monde 3D. Ainsi, il est possible de décider de rendre opaques ou transparents les volumes thermiques dessinés mais également de rendre opaques, transparents ou mêmes invisibles les éléments d'environnement importés. L'ensemble de ces options est accessible dans le menu, en cochant les différentes options possibles (figure 3.2). La deuxième étape consiste à passer du modèle géométrique au modèle énergétique par l'exportation de notre plan à EnergyPlus. Nous devons spécifier l'orientation de notre bâtiment par rapport au Nord [18].

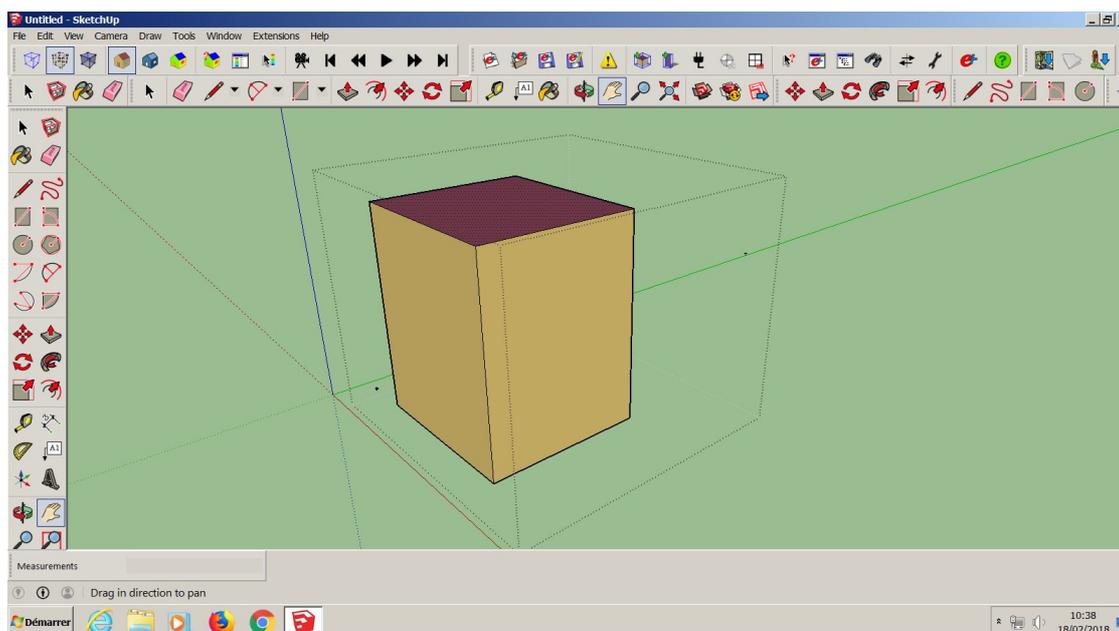


Figure 3.3 : Interface graphique de Google Sketch Up, Création d'un modèle 3D.

Par défaut, le Nord est confondu avec la direction de l'axe vert du repère absolu de l'application et a comme valeur 0° . Par défaut également, l'axe du Nord est non visible. Pour l'afficher, il faut aller dans le menu sur le bouton situé à droite de la fenêtre et on peut par la suite modifier les orientations. Avec l'apparition de SketchUp, les informations géométriques seront centralisées et structurées dans un seul support, il présente une réelle opportunité pour effectuer

automatiquement une passerelle entre la définition géométrique d'un projet et l'outil de simulation thermique dynamique [19].

4.3. EnergyPlus

EnergyPlus est un programme de simulation conçu pour la modélisation de bâtiments avec tous les équipements de chauffage, de ventilation et de climatisation (HVAC systems : Heating, Ventilation and Air-conditioning) associés. Simple et interactif, EnergyPlus est un programme (Open Source) de simulation thermique et énergétique des bâtiments développé par le DOE (Department Of Energy, États-Unis), permet de faire une analyse de bâtiment à l'aide d'une simulation dynamique, permettant même de calculer les charges de chauffage et de refroidissement nécessaires pour maintenir les consignes de contrôle thermique. EnergyPlus est l'un des outils de simulation d'énergie les plus connus. Son développement a commencé en 1996, parrainé par le Département de l'énergie (DOE) des États-Unis [20]. Initialement, le gouvernement américain développait deux outils qui sont des logiciels différents, BLAST et DOE-2. Ils ont été abandonnés après de nombreuses discussions et ils représentaient une première étape et la base de travail d'EnergyPlus. L'EnergyPlus a les caractéristiques et les capacités de BLAST et DOE-2, mais il est un logiciel entièrement nouveau qui combine le bilan thermique de BLAST avec un système HVAC. EnergyPlus vise à développer et à organiser des outils dans des modules qui peuvent facilement travailler ensemble ou séparément. Il est important de souligner que dans EnergyPlus n'existe pas une interface visuelle permettant aux utilisateurs de voir et de conceptualiser le bâtiment. Dans ce cas, Google Sketch Up, doit être utilisé. EnergyPlus est un outil de simulation thermique qui permet l'analyse de l'énergie à travers le bâtiment et la charge thermique, il est utilisé par les ingénieurs, les architectes et les chercheurs pour modéliser la consommation d'énergie et l'utilisation de l'eau dans les bâtiments. Ce logiciel simule des modèles pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la ventilation, d'autres flux d'énergie et l'utilisation de l'eau [21].

Ci-après, une liste de certaines fonctionnalités de la première version d'EnergyPlus. Bien que cette liste ne soit pas exhaustive, elle vise à donner une idée de la rigueur et de l'applicabilité d'EnergyPlus à différentes situations de simulation :

- ✓ Pas de temps par heure, définissables par l'utilisateur pour l'interaction entre les zones thermiques et l'environnement.
- ✓ Les fichiers de temps, d'entrée et de sortie basés sur le texte ASCII comprenant des conditions environnementales horaires ou secondaires, ainsi que des rapports standard et définis par l'utilisateur respectivement.
- ✓ Bilan de chaleur basé sur une technique de solution des charges thermiques permettant un calcul simultané des effets radiatifs et convectifs à la fois dans la surface intérieure et extérieure pendant chaque pas de temps.
- ✓ Conduction de chaleur transitoire à travers des éléments de construction tels que des murs, des toits, des planchers, etc. en utilisant les fonctions de transfert de conduction.
- ✓ Modélisation améliorée du transfert de chaleur au sol grâce à des liens vers des modèles de sols en trois dimensions (différences finies) et des techniques analytiques simplifiées.
- ✓ Le modèle combiné de transfert de chaleur et de masse qui explique l'adsorption / désorption d'humidité, soit comme intégration couche par couche dans les fonctions de transfert de conduction.
- ✓ Modèles de confort thermique basés sur l'activité, la température sèche à l'intérieur, l'humidité....etc.
- ✓ Modèle de ciel anisotrope pour l'amélioration du calcul de l'énergie solaire diffuse sur les surfaces inclinées.
- ✓ Calculs de vitrage avancés, y compris stores à vitres contrôlables, vitrages électro chromes, bilans de chaleur couche par couche qui permettent une affectation correcte de l'énergie solaire absorbée par les vitres et une bibliothèque de performances pour de nombreux types de fenêtres.

La simulation d'un bâtiment peut se faire en plusieurs étapes comme il est représenté sur la figure 3.4.

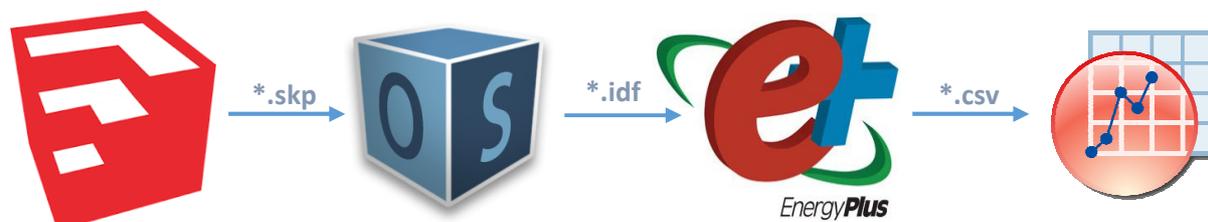


Figure 3.4 : Etapes de simulation d'un bâtiment avec EnergyPlus.

a) Première étape - Création d'un modèle 3D dans Google Sketch Up

La création du bâtiment est la première étape d'une simulation énergétique. Ce processus peut être fait par exemple en insérant les coordonnées dans l'outil ou le logiciel comme dans EnergyPlus (figure 3.5) ou en téléchargeant des fichiers à partir d'autres modules, comme AutoCAD ou Google Sketch Up.

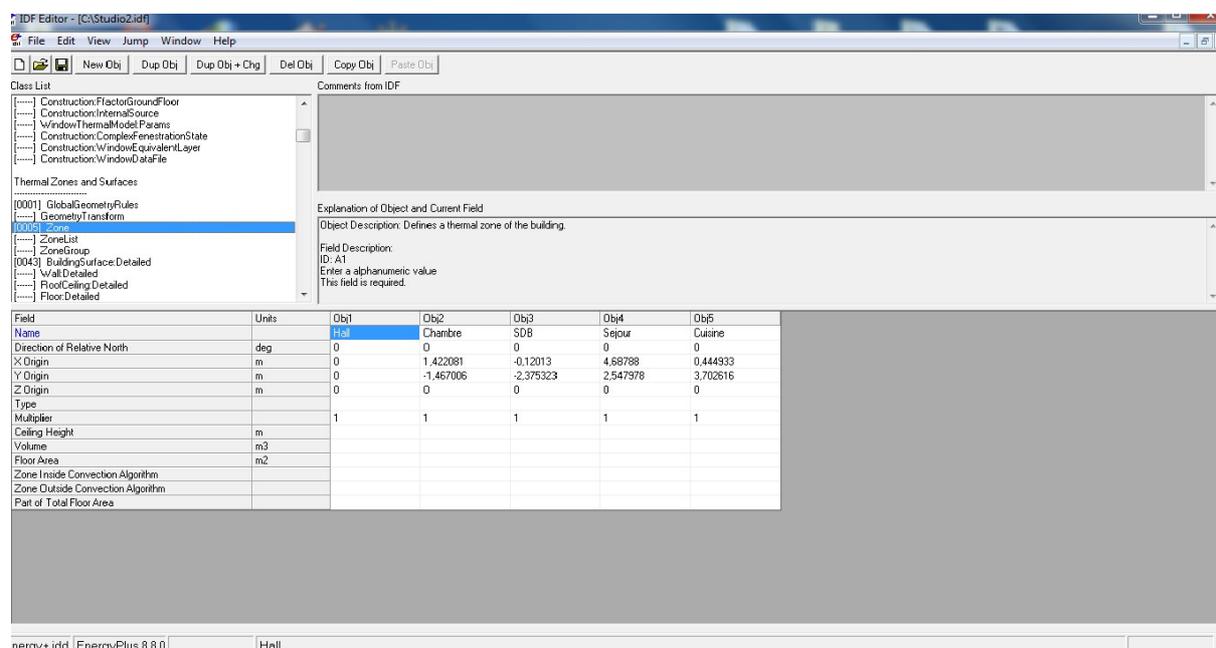


Figure 3.5 : Introduction des coordonnées d'une habitation dans l'option "Surface détaillée" d'EnergyPlus.

Après cette procédure, il est possible de voir la figure introduite dans l'outil via le bouton DXF (figure 3.5) qui se connecte à EnergyPlus et qui permet de l'afficher dans ce format. En ce qui concerne la structure du bâtiment et sa construction, il est essentiel de préciser les dimensions de la structure organisationnelle, de la géométrie et des matériaux utilisés dans les composants de l'architecture du bâtiment.

b) Deuxième étape - Simulation du bâtiment

EnergyPlus est une interface qui utilise le moteur de simulation et qui permet de mener aisément à bien des analyses sur la consommation d'énergie, le confort intérieur et le dimensionnement des équipements HVAC. Il offre à travers une interface graphique interactive (figure 3.6), la possibilité de simuler plusieurs types de systèmes HVAC couramment utilisés. De plus, les utilisateurs peuvent créer leur propre modèle de systèmes et indiquer le niveau de détail à toutes les étapes du processus de conception et produire les scénarios désirés [22].

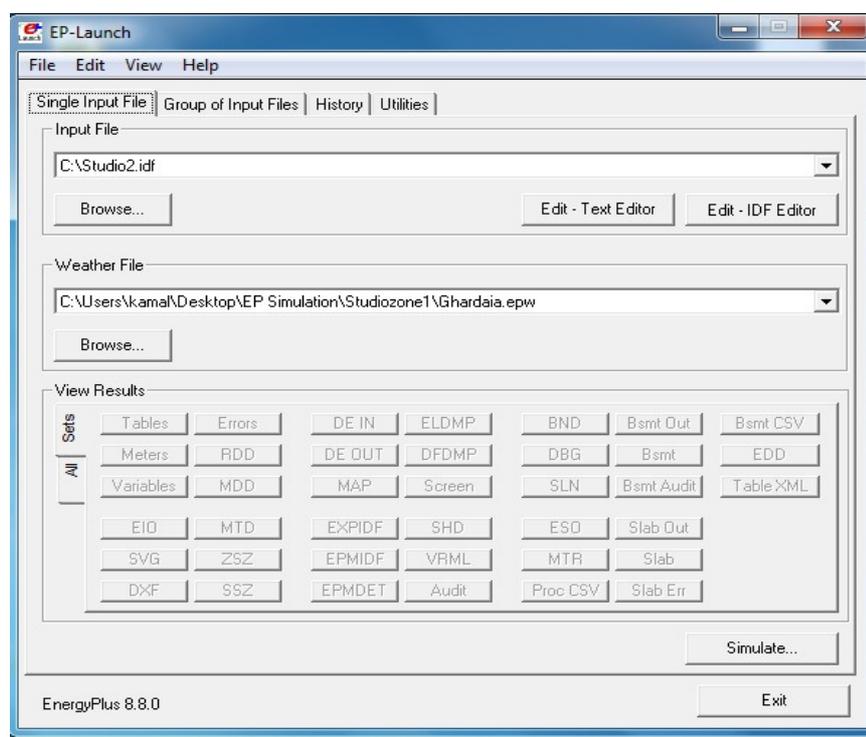
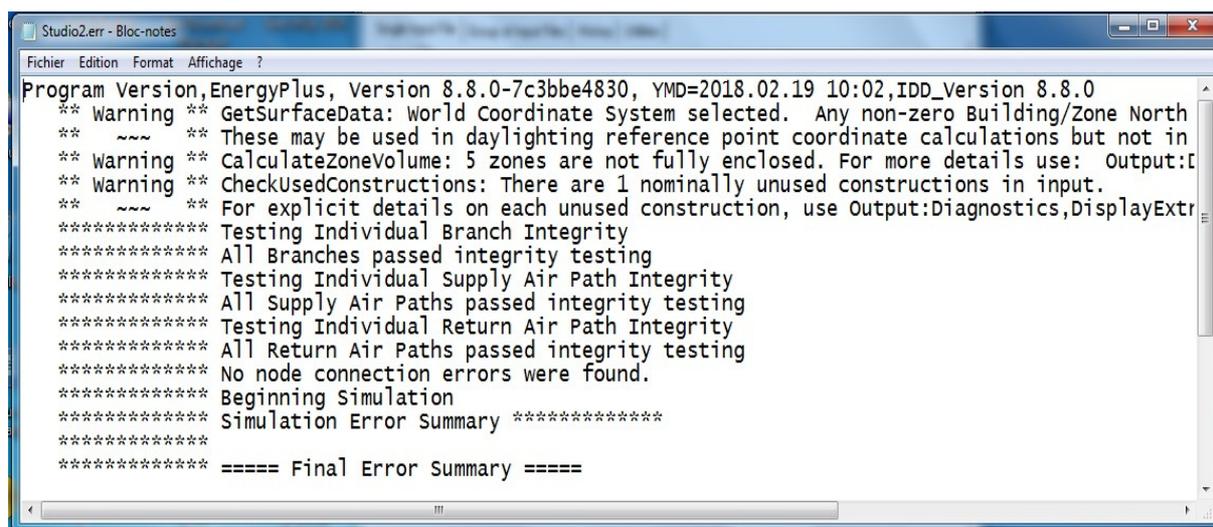


Figure 3.6 : Interface graphique d'EnergyPlus.

c) Troisième étape - Analyse des résultats

Après l'exécution de ce logiciel, il convient de vérifier s'il existe une erreur ou une discordance sévère introduite dans la console de variables. Dans tout les cas, l'outil de simulation publie ses propres avertissements dans un rapport final contenant les résultats et les erreurs y compris toutes les conclusions pertinentes pour le déroulement de l'exécution du programme comme le montre la figure 3.7.



```
Studio2.err - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
Program Version,EnergyPlus, Version 8.8.0-7c3bbe4830, YMD=2018.02.19 10:02,IDD_Version 8.8.0
** Warning ** GetSurfaceData: world Coordinate System selected. Any non-zero Building/Zone North
** ~~~ ** These may be used in daylighting reference point coordinate calculations but not in
** Warning ** CalculateZoneVolume: 5 zones are not fully enclosed. For more details use: Output:C
** Warning ** CheckUsedConstructions: There are 1 nominally unused constructions in input.
** ~~~ ** For explicit details on each unused construction, use Output:Diagnostics,DisplayExtr
*****
Testing Individual Branch Integrity
*****
All Branches passed integrity testing
Testing Individual Supply Air Path Integrity
*****
All Supply Air Paths passed integrity testing
Testing Individual Return Air Path Integrity
*****
All Return Air Paths passed integrity testing
*****
No node connection errors were found.
*****
Beginning Simulation
*****
Simulation Error Summary *****
*****
*****
***** Final Error Summary *****
```

Figure 3.7 : Exemple d'un rapport d'erreur après l'exécution.

d) Programmes auxiliaires

Certains de ces programmes sont seulement disponibles ou seulement distribués pour certaines plates-formes. Généralement, les programmes sont disponibles sur la plate-forme Windows. Dans les descriptions, d'autres plates-formes seront notées le cas échéant. Le tableau 3.2 étale d'une manière succincte les programmes auxiliaires nécessaires [23], et présente la fonctionnalité de chacun d'eux.

5. Amélioration des températures intérieures & Cas d'un climat Saharien aride

Le présent travail a été développé dans le cadre d'une recherche collective visant à définir les critères d'un habitat adaptable, accessible et judicieusement mis en œuvre réunissant les acteurs clés du secteur de la construction. Notre étude sera donc réalisée sur un habitat conçu de manière à pouvoir répondre directement aux besoins spécifiques d'une personne, en lui permettant de circuler et d'utiliser toutes ses fonctions de manière autonome. Le plan a été conçu par un membre de notre équipe de recherche (voir la figure 2.3 du chapitre précédent). Le but de cette étude est de se rapprocher au maximum de la température du confort thermique sous des conditions climatiques arides. La recherche d'un matériau de construction approprié a été effectuée à travers un choix méticuleux.

Tableau 3.2 : Fonctionnalités des programmes auxiliaires d'EnergyPlus.

Programme	Fonctionnalité
IDF-Editor (éditeur de fichiers *.idf)	EP-Launch permet d'ouvrir un éditeur de texte pour les fichiers d'entrée et de sortie, ouvrir une feuille de calcul pour les fichiers de résultats du post-processeur, un navigateur Web pour le fichier de résultats des tableaux et démarrer une visionneuse pour le fichier de dessin sélectionné.
Elements (création des fichiers météo)	Outil open-source, pour créer et modifier des fichiers météorologiques personnalisés. Il peut générer plusieurs types de fichiers (bin, fmt, epw...etc). L'extension epw est utilisée par EnergyPlus.
View Factor Calculation Program	Utilisé pour calculer les facteurs de formes qui peuvent être utilisés avec EnergyPlus.
EPDraw	Créer des fichiers DXF à partir des fichiers d'entrée.
HVAC Diagram	Un programme de post-traitement pour schématiser les entrées HVAC.
CalcSoilSurfTemp	Calculer les paramètres de surface du sol utilisés dans la simulation.
HVAC Performance Curve Fit Tool	Génère des courbes de performance HVAC dans le format EnergyPlus IDF.
BLASTTranslator et DOE2Translator	Ces convertisseurs peuvent prendre les fichiers d'entrée BLAST et DOE2 (analyse des charges de construction et thermodynamique du système) et les rendre prêts à fonctionner dans EnergyPlus.
Running Console Applications	Cette section décrit comment exécuter des applications de console faisant partie d'EnergyPlus et comment on peut les modifier en fonction des besoins spécifiques. Les instructions pour exécuter des programmes individuels sont incluses dans leurs descriptions.
EP-Compare	Un utilitaire pour comparer graphiquement les résultats tabulaires de plusieurs fichiers de simulation.
xEsoView	Une visionneuse des résultats (Outputs) de la simulation avec EnergyPlus

Une seconde tâche consistait à renforcer l'enveloppe de l'habitat par une isolation thermique adaptée. Les matériaux locaux disponibles sur le marché Algérien et la région de Ghardaïa sont notre source d'inspiration pour la proposition de cette étude. Nous voulons prédire la différence entre la pierre, le parpaing et la brique de point de vue températures intérieures.

Pour les échanges thermiques entre les milieux extérieurs et intérieurs de l'habitat, l'enveloppe joue un rôle déterminant grâce à ses propriétés thermiques. Selon la nature des matériaux de l'enveloppe, la chaleur de l'extérieur peut être amortie et même retardée avant d'entrer dans le volume intérieur. Le tableau suivant (3.3) est donné une fiche technique de toutes les propriétés thermophysiques des matériaux de construction.

Tableau 3.3: Propriétés thermiques, épaisseurs des murs et caractéristiques de l'enveloppe.

		Matériaux et composition des murs	L (m)	λ W/(m.K)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kg.K)
Murs extérieurs	mur type 1	Mortier de ciment	0,015	1,40	1800	1000
		Parpaing	0,300	3,96	1300	1080
		Plâtre	0,015	0,56	1400	1000
	mur type 2	Mortier de ciment	0,015	1,40	1800	1000
		Pierre	0,400	2,30	2000	1000
		Mortier de ciment	0,015	1,40	1800	1000
		Plâtre	0,010	0,56	1400	1000
	mur type 3	Mortier de ciment	0,015	1,40	1800	1000
		Pierre	0,150	2,30	2000	1000
		Mortier de ciment	0,015	1,40	1800	1000
		Plâtre	0,010	0,56	1400	1000
	mur type 4	Plâtre	0,015	0,56	1400	1000
		Brique	0,300	0,30	1800	835
		Plâtre argile	0,005	0,45	1200	840
	mur type 5	Plâtre	0,015	0,56	1400	1000
Brique		0,200	0,30	1800	835	
Plâtre argile		0,005	0,45	1200	840	
Rez-de-chaussée (sol)	Carrelages	0,025	6,14	2300	875	
	Ciment	0,020	1,40	1800	1000	
	Béton dense	0,200	2,40	2400	800	
Toiture (plafond)	Plâtre	0,015	0,56	1400	1000	
	Béton léger	0,120	0,33	800	719	
	Mortier de ciment	0,015	1,4	1800	1000	

Les éléments composants du mur jouent un rôle significatif sur le confort thermique intérieur et la consommation énergétique. Plus la masse volumique est importante plus le temps de montée ou de descente de la température sera long. La conductivité thermique et l'inertie thermique constituent à leurs tours des facteurs non négligeables pour le choix de ces matériaux. Notre tâche consiste à

faire une prospection minutieuse sur les matériaux de construction convenables au site du bâti. Il a fallu donc avant tout, faire une recherche sur ces matériaux afin de définir toute les propriétés thermo-physiques conformes (conductivité thermique, masse volumique, chaleur spécifique....etc.) et définir également les dimensions des murs et l'épaisseur des différentes couches.

5.1. Conception et simulation

Le modèle de notre étude est un studio à quatre façades. La construction est implantée sur une surface de 43.56 m². Le système constructif est un système poteaux poutres, avec un plancher et une dalle terrasse en béton armé. Il existe deux variétés de murs pour ce bâtiment, les murs d'extérieur qui se composent de plusieurs matériaux de construction (pierre, brique, parpaing, ciment, enduit, sable...etc.) avec une épaisseur de 25 à 40 cm selon le matériau de construction. À l'inverse, les murs de l'intérieur (les cloisons) sont d'une épaisseur de 15 cm en brique (10 cm) plus une couche d'enduit de plâtre. Les façades de cet immeuble se subdivisent en deux types, l'une est principale, comprend certaines ouvertures et l'autre secondaire ne portant aucune ouverture. La hauteur des murs est égale à 2,8 m, tandis que les autres dimensions sont représentées en détail dans la figure 2.3 du chapitre précédent. Les fenêtres sont en simple vitrage, elles contribuent avec les portes à l'équilibre énergétique et elles sont supposées fermées. Ce dernier dépend de plusieurs paramètres comme: le climat, l'orientation, le cadre et la surface relative locale "fenêtre-sol".

Le modèle 3D du Studio a été réalisé dans EnergyPlus. Il est supposé en évolution libre, c'est-à-dire sans système énergétique, et il n'y a aucun apport interne dans cette zone. Les principales hypothèses concernent notamment l'enveloppe du bâtiment, l'aéraulique, et le modèle numérique de résolution. La représentation de l'édifice sous le programme SketchUp est souple et flexible, elle permet de montrer les façades du bâti d'une manière opaque, semi transparente et faire apparaître même les cloisons avec une couleur différente. Cette astuce permet au concepteur de distinguer les murs extérieurs des murs intérieurs (figure 3.8). Les différentes zones du bâtiment peuvent être affichées sélectivement pour détecter facilement les erreurs éventuelles.

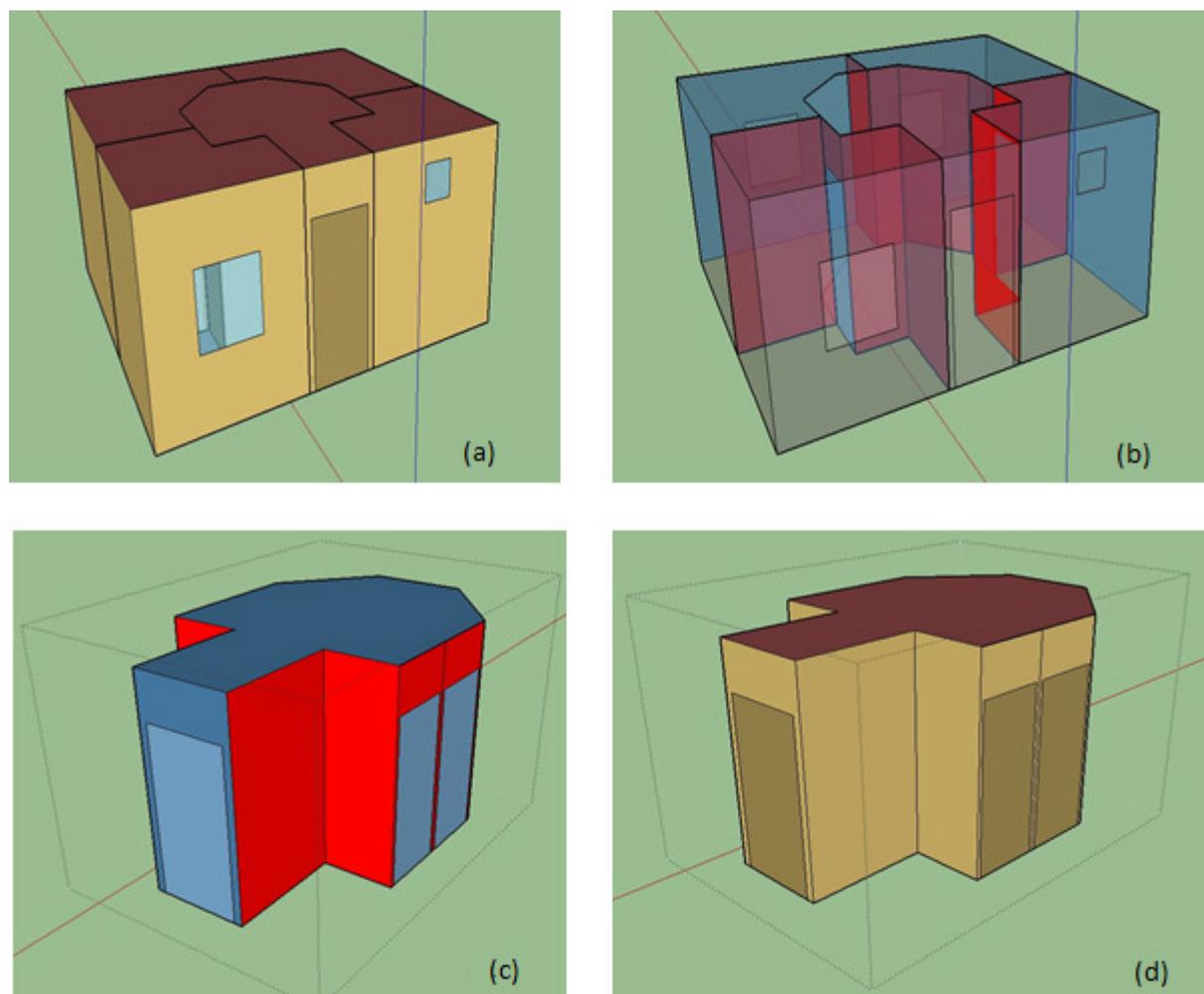


Figure 3.8 : Maquette numérique du Studio : (a) Plan opaque, (b) plan semi-transparent (c) et (d) zone opaque avec distinction des cloisons.

Toutes les données nécessaires à la simulation doivent être prédéfinies dans l'éditeur des fichiers *.idf d'EP-Launch. Il faut commencer d'abord par l'introduction des matériaux de construction propres à notre habitat tout en spécifiant leurs propriétés thermo-physiques, leurs épaisseurs, et même leur nature de rugosité. Par la suite, on doit définir les types de constructions (différentes couches des murs, des sols, des plafonds et même les types de vitrage et des couches isolantes). Notre étude étant simple, se basant uniquement sur les apports solaires, des données supplémentaires concernant toute forme de gain interne a été omise (présence de personnes, équipements électriques...etc.). Le fichier météo (*.epw) comprend non seulement les valeurs du rayonnement solaire, la température ambiante, la vitesse et la direction du vent, mais comprend aussi des informations propres au site de Ghardaïa comme la latitude, la longitude et l'altitude du lieu. Un fichier de type TMY2 pour le site de

Ghardaïa a été converti pour la simulation. Les températures mensuelles moyennes du sol ont été générées à partir du logiciel RetScreen.

Les variables de sortie pour une exécution sont sélectionnées en choisissant l'objet sortie: Variable Dictionary. Cet objet affiche les variables de sortie disponibles pour une exécution sur les fichiers eplusout.rdd (variables régulières) et eplusout.mdd. A noter que IDF-Editor peut interpréter les deux ensembles de fichiers et nous aider à obtenir des variables de sortie dans nos fichiers d'entrée. Mais il faut d'abord exécuter le fichier d'entrée en premier. Dans notre cas, on s'intéresse particulièrement aux températures intérieures du Studio.

5.2. Résultats de la simulation

Le studio est assimilé en une seule zone thermique vu que le comportement thermo-aéraulique des zones intérieures est couramment similaire. Ceci est dû à la géométrie de ce dernier qui est quasiment simple, permettant à l'air de circuler librement et selon un scénario unique dans le volume intérieur tout en entier. La simulation multizone a donné dans l'ensemble des paramètres du confort légèrement variables dans toutes ces zones. Le comportement annuel des températures est décrit dans la figure 3.10. Les murs opaques sont en pierre de 40 cm d'épaisseur. Les données radiométriques et météorologiques sont issues de la station locale de l'URAER-Ghardaïa (figure 3.9).



Figure 3.9 : Station radiométrique de l'URAER.

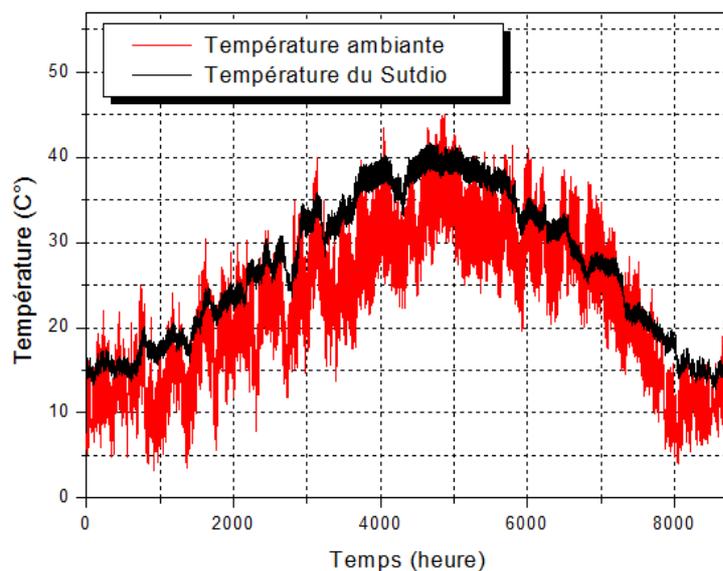


Figure 3.10 : Variation de la température annuelle de l'air intérieur du studio (EnergyPlus) comparée avec celle de l'air ambiant extérieur, les murs sont en pierre dont l'épaisseur est de 40 cm.

Pour garantir une comparaison constructive, il est suffisant de se limiter à deux courtes périodes : treize jours appartenant au mois de Novembre et treize autres appartenant au mois de Mai. Ce choix s'est fixé sur la base de certains résultats expérimentaux réalisés auparavant par nos collègues chercheurs de l'équipe "Architecture Solaire et Bioclimatique" de l'URAER Ghardaïa. Les mesures ont été effectuées durant toute l'année 2016 en utilisant une mini-station météorologique placée à l'intérieure d'une chambre non conditionnée. Les murs opaques dans cette zone thermique sont en pierre de 40 cm d'épaisseur. Ces deux périodes sont des phases de transition, elles sont marquées respectivement par une baisse graduelle (au dessus de la température du confort 20 °C) et une augmentation progressive (au delà de la température du confort 26 °C) de la température intérieure.

Les figures ci-dessous (3.11 et 3.12) apportent une idée sur l'évolution de ces températures en faisant tourner le programme conçu sous l'environnement de simulation décrit précédemment.

Dans ce contexte, cinq configurations des murs vont être testées.

- 1^{er} cas : murs opaques en pierre de 40 cm
- 2^{ème} cas : murs opaques en pierre de 15 cm
- 3^{ème} cas : murs opaques en brique de 30 cm
- 4^{ème} cas : murs opaques en brique de 20 cm

– 5^{eme} cas : murs opaques en parpaing

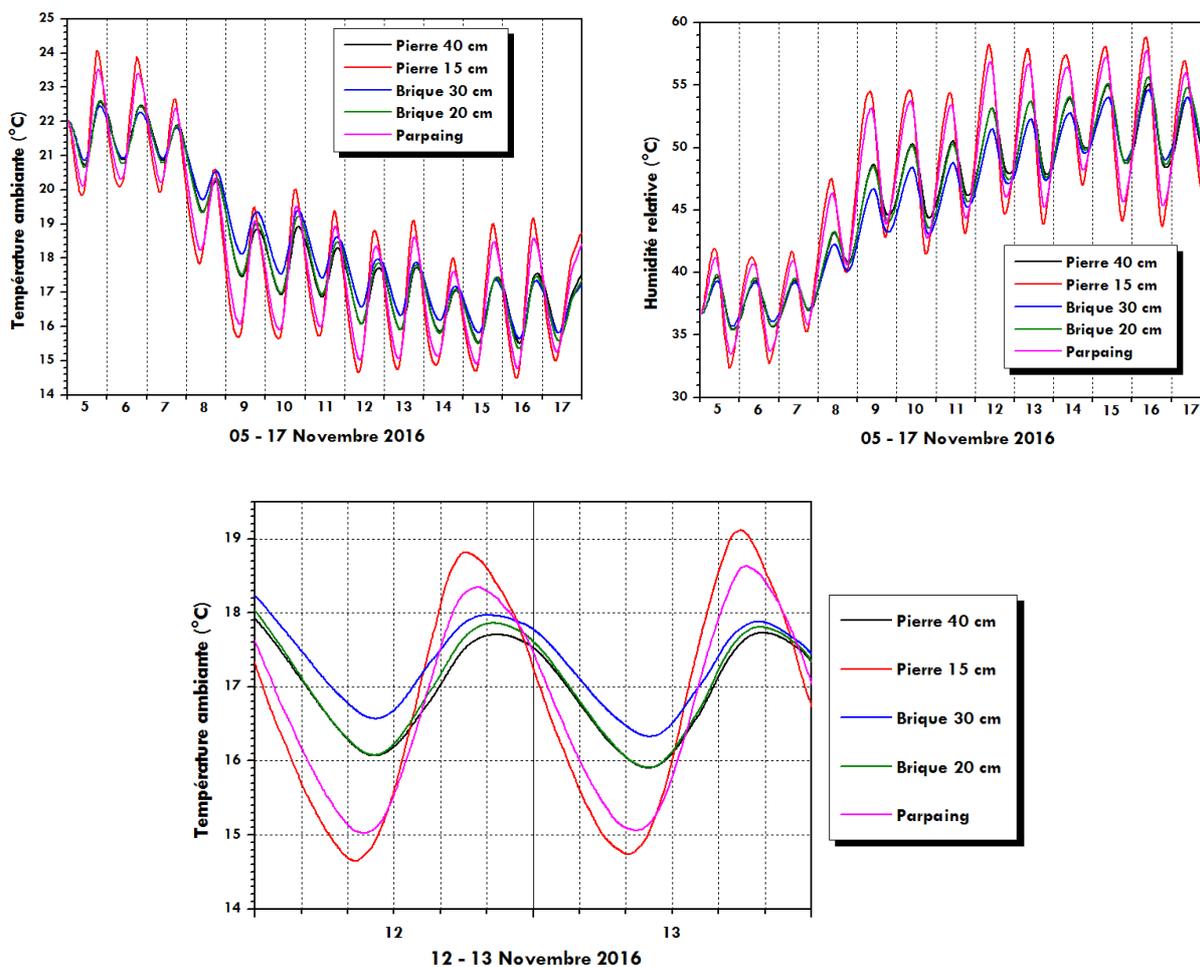
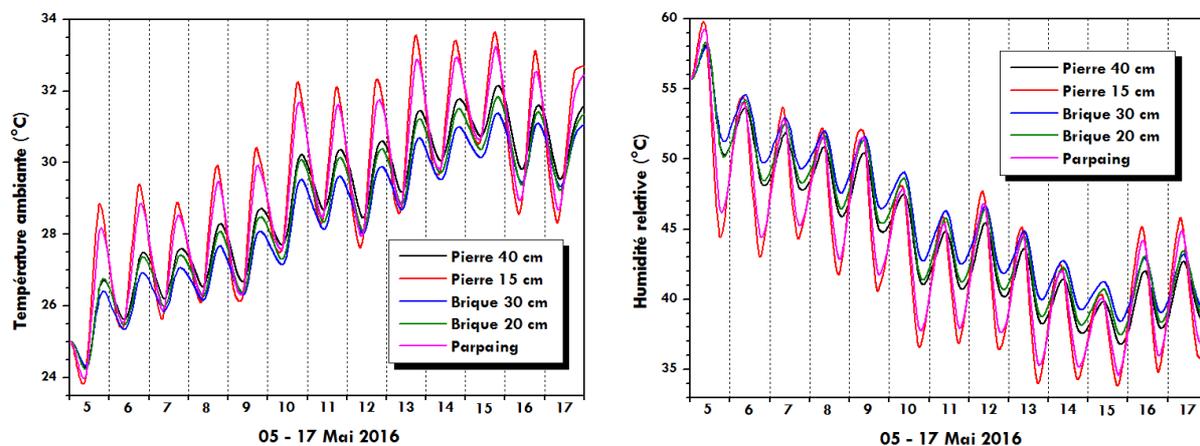


Figure 3.11 : Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $6 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Novembre.



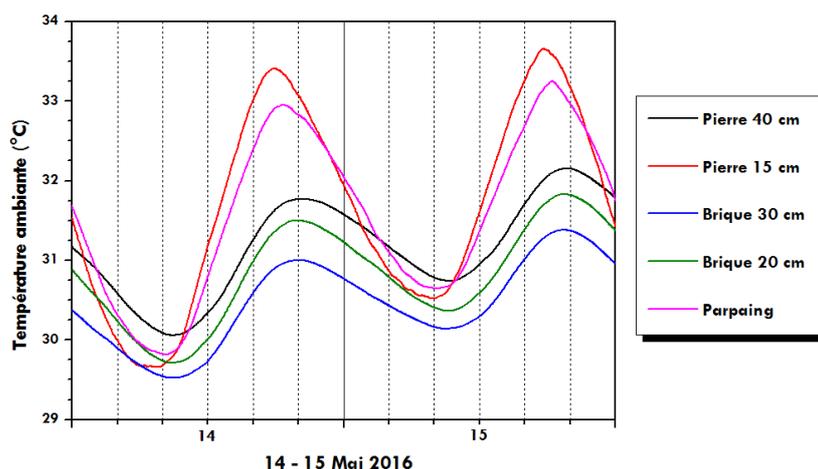


Figure 3.12 : Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $11 \cdot 10^{-3} \text{ K}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Mai.

En fonction des résultats obtenus, la classification des matériaux de construction utilisés sera basée sur trois aspects importants :

- La température moyenne de deux jours retenus: 12-13 Novembre et 15-16 Mai 2016
- L'amplitude en température ou amortissement pour les mêmes jours
- Le déphasage par rapport à la température de l'air ambiant extérieur durant les deux périodes tout entières

Le tableau 3.4 donne une classification finale des différentes configurations.

Tableau 3.4 : Classification des différentes configurations.

	Période	Température moyenne (°C)	Amplitude (°C)	Déphasage (°)
Pierre 40 cm	12 – 13 Novembre	16.9127	1.8243	5h – 5h 30mn
	14 – 15 Mai	31.2022	2.0927	6h 30mn – 6h 45mn
Pierre 15 cm	12 – 13 Novembre	16.7502	4.4729	4h 30mn – 5h
	14 – 15 Mai	31.7402	3.9980	6h 30mn – 6h 45mn
Brique 30 cm	12 – 13 Novembre	17.2555	1.6393	7h 15mn – 7h 40mn
	14 – 15 Mai	30.5133	1.8592	6h mn – 6h 40mn
Brique 20 cm	12 – 13 Novembre	16.9724	1.9516	7h – 7h 40mn
	14 – 15 Mai	30.8575	2.1201	6h mn – 6h 40mn
Parpaing	12 – 13 Novembre	16.7185	3.6083	5h – 5h 30mn
	14 – 15 Mai	31.6289	3.4338	

Sur la base de ces résultats, il s'est avéré que la brique 30 cm est le matériau de construction le plus approprié pour le cas de notre étude. C'est le matériau qui

amortie le plus les fluctuations des températures intérieures, retarde le transfert de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur, quoique les températures obtenues de l'air ont resté toujours en dehors de la zone du confort (20-26 °C). Une paroi opaque épaisse retarde le transfert de chaleur mais elle ne permet pas forcément d'assurer une isolation thermique vu que ses propriétés thermo-physiques ne sont pas convenables. On peut obtenir deux matériaux qui proviennent des températures moyennes rapprochées, mais ceci ne veut dire pas forcément qu'ils sont identiques. Cette situation nous incite à attribuer une attention particulière aux fluctuations des températures. Les profils indiquent aussi que le déphasage en température est très intéressant en cas d'un mur en brique, ce qui peut motiver l'exploitation de cet aspect passif en perspective.

En ce qui concerne l'humidité relative, son comportement est inversement proportionnel par rapport à la température puis que la teneur en eau de l'air intérieur est fixe pour les deux périodes. Dans le cas inverse, les résultats vont radicalement changés.

Par ailleurs, la conception bioclimatique repose sur des critères bien définis, tel que le design, l'orientation, la compacité.....etc. Cependant l'isolation thermique reste donc le critère le plus influant sur l'efficacité énergétique d'un habitat, cette dernière contribue de façon remarquable à épargner l'énergie de refroidissement ou de chauffage, et entraîne donc une diminution de la facture de consommation comme il est prouvé dans le chapitre précédent. Elle contribue de façon indirecte à la réduction du taux de gaz polluants qui favorisent le réchauffement climatique (protection de l'environnement), et se charge de créer un milieu sain et confortable pour les occupants de l'habitat. Par conséquent, il est logique de restreindre le flux de chaleur dans n'importe quel bâtiment quel que soit le climat - et c'est là que l'isolation thermique intervient. Les pertes de chaleur par les murs extérieurs et les toits représentent une part importante des pertes de chaleur totales dans les bâtiments existants. Par conséquent, l'amélioration de l'isolation thermique est le moyen le plus efficace d'économiser de l'énergie. Dans le même temps, cela aidera à améliorer le confort thermique et à prévenir les dommages structurels.

Un travail complémentaire au choix des matériaux de construction a été effectué. Le but est de voir dans quelle mesure un isolant thermique peut contribuer à

améliorer le confort thermique. La brique 30 et la pierre 15 sont retenues comme matériaux de référence pour notre comparaison.

Le polystyrène a été choisi comme isolant thermique vu sa disponibilité dans le marché algérien et sa facilité de mise en oeuvre. Une épaisseur de 5 cm va être intégrée à toute l'enveloppe; les murs, le toit et le sol. Pour le cinquième cas qui correspond à des murs en brique 30, une épaisseur de 5 cm sera ajoutée au plancher et une autre de 10 cm va être ajoutée aux murs et à la toiture.

Les caractéristiques techniques retenues sont les suivantes :

- Conductivité thermique: $\lambda = 0,036 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Masse volumique: $\rho = 34 \text{ kg m}^{-3}$
- Chaleur spécifique: $C_p = 1450 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Les figures ci-dessous (3.13 et 3.14) apportent une description générale des différents profils. On s'intéresse toujours aux températures et aux humidités relatives.

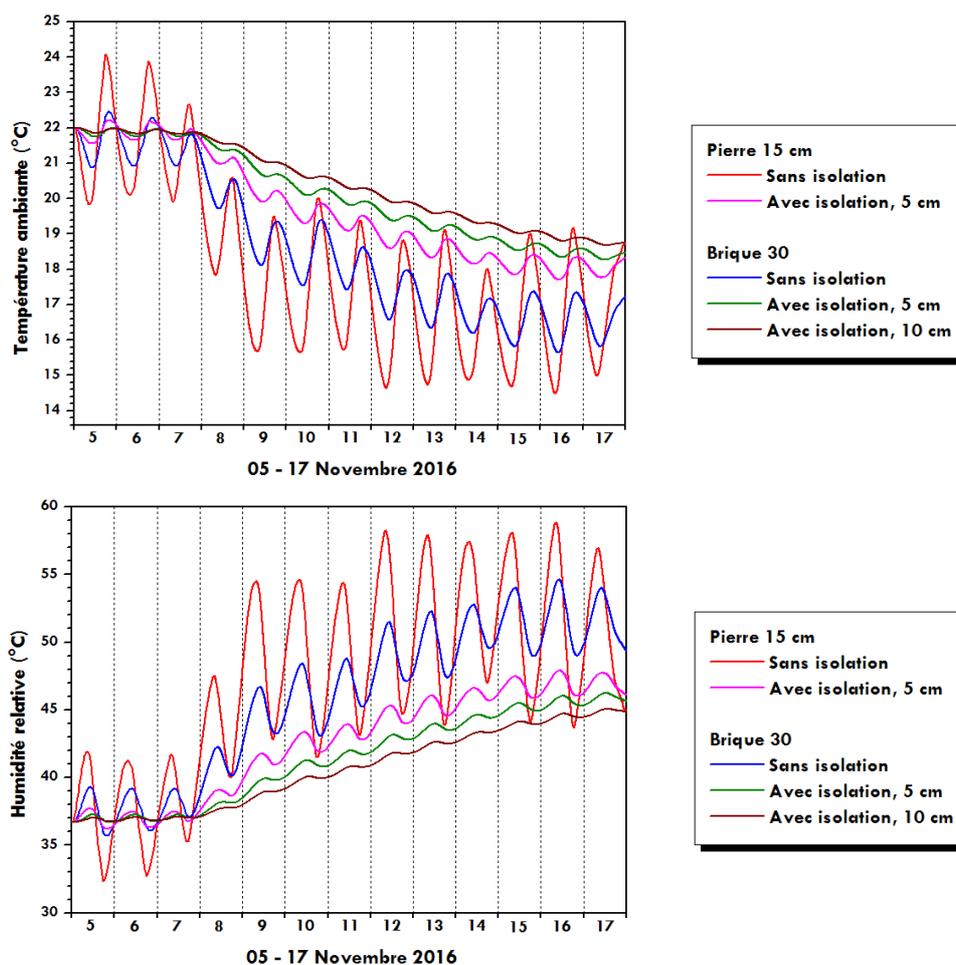


Figure 3.13 : Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $6 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Novembre.

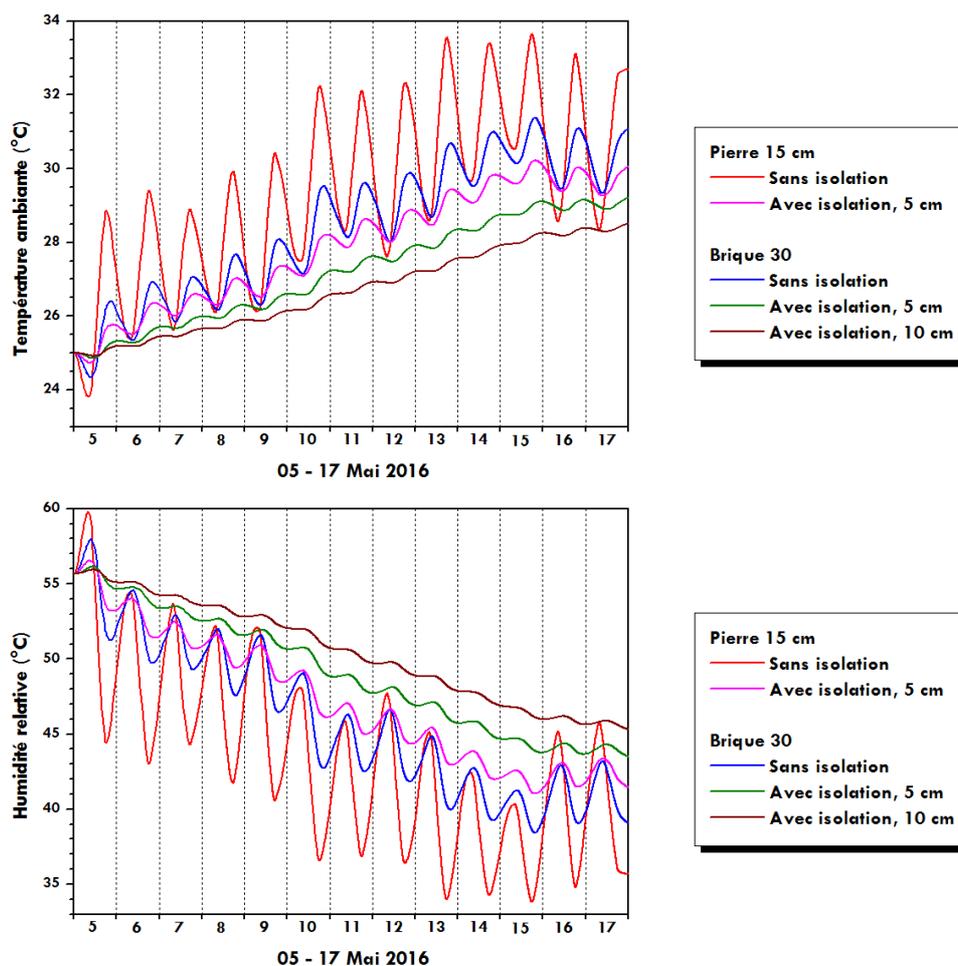


Figure 3.14 : Températures et humidité relative de l'air intérieur du Studio pour une teneur en eau fixe à $6 \cdot 10^{-3} \text{ K}_{\text{eau}}/\text{K}_{\text{air sec}}$, du 05 au 17 Mai.

Les résultats affichés indiquent que l'isolation thermique est un moyen indiscutable pour améliorer le confort intérieur. Les statistiques qui vont être attribuées correspondent deux journées pour les deux périodes mentionnées, 12 – 13 Novembre et 14 – 15 Mai 2016.

Dans toutes les situations traitées, les amplitudes ont été amorties par cette technique, ceci provoque une meilleure régulation des températures intérieures.

Commençant par les journées du mois de Novembre, l'isolation de l'enveloppe du studio favorise une augmentation moyenne en température de 1.9826, 2.0934 et 2.5354 °C selon les cas mentionnés respectivement sur les figures (pierre 15 avec 5 cm, Brique 30 avec 5 cm et Brique 30 avec 10 cm). Ces valeurs confirment le rapprochement vers l'intervalle du confort thermique (20-26 °C). Les températures moyennes s'élèvent à 18.73, 19.35 et 19.79 °C respectivement. Si on tient compte des apports internes, il est très possible d'affranchir la valeur

de 20 °C. Les apports internes jouent un rôle positif dans ce type de situations. Le déphasage n'a pas changé énormément.

En période chaude, les gains en températures moyennes correspondent à 2.07, 1.83 et 2.62 °C conformément aux cas précédents. Les températures moyennes équivalentes pour les journées du 14 au 15 Mai sont respectivement 29.67, 28.67 et 27.89 °C. Ces températures peuvent devenir plus élevées vu que les apports internes jouent un rôle négatif en période de surchauffe.

Ceci confirme encore une fois (identiquement au chapitre précédent) que l'isolation thermique est plus rentable durant la période de chauffage.

Dans ces situations, nous n'arrivons pas à atteindre la température du confort (entre 20 et 26 °C). Ceci exige une combinaison avec d'autres concepts passifs, nous citons à titre indicatif : l'isolation des ouvertures, l'optimisation de la compacité, la ventilation nocturne et diurne, les protections solaires, les apports solaires gratuit...etc.

6. Conclusion

Le choix d'un matériau de construction adapté à un climat local a été toujours une question pertinente pour les architectes et les constructeurs. Il repose généralement sur plusieurs critères : le coût, l'esthétique, la durabilité, la disponibilité, les performances thermiques et les sonores...etc. Notre objectif était de proposer une démarche qui peut être généralisée pour d'autres matériaux de construction. La méthode adoptée peut répondre aux exigences des architectes. Choisir un matériau local adapté au site de Ghardaïa veut dire une sélection sur la base des critères thermiques et énergétiques. Les isolants sont devenus par le temps la solution inévitable pour toute construction, vu leurs efficacités énergétiques, leurs avantages en terme de confort et de santé et même leurs légèretés.

La simulation des paramètres du confort par EnergyPlus, pour des teneurs en eau de l'air fixes, a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- Le matériau de construction le plus adéquat en termes de confort thermique est la brique de 30 cm d'épaisseur. C'est la configuration la plus judicieuse qu'on pourra trouver dans cette étude.

- La simulation nous a permis de montrer que l'isolation de l'enveloppe est une exigence, du moment qu'elle influe considérablement sur les températures intérieures, et permet de réduire de manière marquante les fluctuations en température.
- Durant cette phase de transition, et à l'échelle journalier, on peut gagner en moyenne plus de 2.5 °C, cette valeur se reflète positivement sur la consommation énergétique.
- Pour bénéficier plus de cet avantage, on peut augmenter l'épaisseur de l'isolant thermique, sachant que le temps de retour d'investissement est rapide
- L'isolation thermique est plus rentable durant la période de chauffage
- Il est souhaitable de combiner cette technique avec d'autres concepts architecturaux passifs pour se rapprocher plus du confort.

Références

1. M. K. Nematchoua and J. A. Orosa, "Building construction materials effect in tropical wet and cold climates: A case study of office buildings in Cameroon," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 7, pp. 55–65, 2016.
2. J. Garc1, "Assessment of the decrease of CO 2 emissions in the construction field through the selection of materials : Practical case study of three houses of low environmental impact," vol. 41, pp. 902–909, 2006.
3. S. Trachte, "Matériau, Matière d'Architecture Soutenable Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable" 2012.
4. F. Pacheco-Torgal and J. A. Labrincha, "The future of construction materials research and the seventh un Millennium Development Goal: A few insights," Elsevier Ltd, 2013.
5. Y. Zhang, G. Salazar, and L. Albano, "A Comprehensive Method for the Selection of Sustainable Materials for Building Construction," 2012.
6. P. Deshayes, "Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : logiques d'innovation et/ou problématiques du changement," *Innovations*, vol. 37, no. 1, pp. 219–236, 2012.
7. D. M. Addington and D. L. Schodek, *SMART MATERIALS AND NEW TECHNOLOGIES*. Architectural Press, 2005.
8. "Doerr Architecture," 2006. [Online]. Available: <http://doerr.org/>.
9. N. Hoyet, *Matériaux et Architecture Durable*, DUNOD. 2013.
10. G. D. TAYLOR, "Materials in Construction," p. 284, 1994.
11. B. Standards and Unit 4: Science and Materials in Construction and the Built, Know the Performance Criteria Applicable to Construction Materials and the Techniques used to Produce Such Materials. .

12. N. Chami, "Evaluation de l'impact des isolants minces réfléchissants dans le bâtiment," école nationale supérieure des mines de paris, 2009.
13. A. I. A. Richard T. Bynum Jr., *Insulation Handbook*. The McGraw-Hill Companies, 2001.
14. [14] D. M. and M. Santamouris, *A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering*. 2009.
15. a Almusaed, *Effective Thermal Insulation – The Operative Factor of a Passive Building Model*. 2010.
16. S. Attia, J. L. M. Hensen, L. Beltrán, and A. De Herde, "Selection criteria for building performance simulation tools: Contrasting architects' and engineers' needs," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 5, no. 3, pp. 155–169, 2012.
17. Y. Bahar, C. Pere, J. Landrieu, and C. Nicolle, "A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform," *Buildings*, vol. 3, no. 2, pp. 380–398, 2013.
18. O. Marc, "Étude expérimentale, modélisation et optimisation d'un procédé de rafraîchissement solaire à absorption couplé au bâtiment," 2013.
19. M. Hamdani, "Choix de l'Orientation et des Matériaux de Construction en Vue d'Améliorer les Performances Thermiques des Bâtiments," Université d'Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2016.
20. D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, and B. T. Griffith, "contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs A Joint Report by," no. July, 2005.
21. J. Sousa, "Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison," *Inf. Technol. Energy Appl.* 2012, pp. 6–7, 2012.
22. S. G. Daniel Forgues, Danielle Monfet, "Guide de conception d'un bâtiment performant," 2016.
23. National Renewable Energy Laboratory NREL., "EnergyPlus Documentation, Auxiliary EnergyPlus Programs Extra programs for EnergyPlus," no. c, pp. 1996–2015, 2015.

L'Effet de la Ventilation sur le Confort Thermique des Espaces

L'Effet de la Ventilation sur le Confort Thermique des Espaces

1. Introduction

" L'AIR ", est un élément invisible mais important. L'homme crée l'espace et prétend qu'il est vide, inconscient du fait qu'il est à la fois entouré et rempli d'air. L'air à son tour, dû à son mouvement, qui est généré par les différences de température ou de pression, est d'une certaine manière très présent et même vivant. La construction des formes, des sections, les hauteurs, les orientations, la taille et le positionnement des ouvertures dans un bâtiment devraient être pris en considération puisqu'ils sont très liés au mouvement de l'air [1].

Les flux d'air dans les bâtiments peuvent avoir un impact significatif sur les charges de conditionnement de l'espace, la consommation d'énergie et la qualité de l'air intérieur. Les flux d'air peuvent être divisés en deux types : contrôlés et non contrôlés. Les flux d'air contrôlés sont principalement pilotés par des ventilateurs. Les débits d'air non contrôlés sont entraînés par une combinaison de vent et de flux d'air forcé à travers l'enveloppe du bâtiment et de conduits de système de distribution d'air. Comme les débits de ventilation sont fonction des pressions externes, les débits d'air non contrôlés ont également un impact sur les débits d'air contrôlés [2]. Maintenir la température intérieure à une valeur constante a un coût d'investissement élevé et est également énergivore, avec des conséquences nuisibles à l'environnement. Des économies d'énergie importantes peuvent être obtenues si l'air peut circuler librement à l'intérieur du bâtiment. Cette économie peut être augmentée si la ventilation est utilisée pour le refroidissement. En fait, des études sur le terrain ont montré que les gens acceptent une plus grande gamme de variation de température dans les bâtiments naturellement ventilés que dans les bâtiments climatisés [3].

La conception de bâtiments ventilés naturellement tente de s'adapter aux régimes de vent et de soleil spécifiques au site, sur une base quotidienne et annuelle, afin de maximiser le confort des occupants à un coût énergétique minimal. Du moment que le site de construction a une forte influence sur le fonctionnement de la ventilation naturelle, il est important que cette dernière soit

un paramètre de conception principal dès le début du processus de conception. L'emplacement du bâtiment peut influencer remarquablement la facilité ou la difficulté avec laquelle la circulation de l'air peut être réalisée. La ventilation doit également être prise en compte tout au long de la conception du bâtiment [4].

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.) [5]. La ventilation naturelle est une technique très importante et simple si elle est convenablement utilisée, elle peut davantage :

- Contribuer à la lutte contre les problèmes de qualité de l'air intérieur en diminuant la concentration de polluants intérieurs
- Améliorer les conditions de confort thermique dans les espaces intérieurs
- Diminuer la consommation d'énergie des bâtiments climatisés [6].

2. Objectifs de la ventilation

L'un des objectifs de la ventilation est de fournir une qualité de l'air intérieur acceptable, qui repose essentiellement sur l'apport d'air frais et sur l'élimination ou la dilution de la concentration de la pollution intérieure. Le second objectif est de fournir un confort thermique en fournissant un mécanisme de transport de chaleur. Par conséquent, nous ne ventilons pas pour fournir de l'oxygène (O_2) aux occupants du bâtiment. La raison est qu'il est en principe à peine possible de réduire la concentration en oxygène dans un bâtiment ordinaire à un niveau qui a des effets sur notre taux d'oxygène. Nous ne ventilons pas non plus pour nous débarrasser du dioxyde de carbone (CO_2), car nous n'atteignons normalement pas des concentrations nocives pour les humains dans un bâtiment ordinaire [7]. La concentration de dioxyde de carbone est en revanche utilisée comme indicateur sur les contaminants produits par le corps humain, par exemple l'odeur et l'humidité qui est perçue comme de l'air vicié. La qualité d'air optimale peut être définie comme de l'air pur, sans présence de polluants qui provoquent une irritation, une gêne ou une mauvaise santé chez les occupants.

Les polluants typiques sont :

- Odeur et humidité provenant du corps humain et des activités humaines.
- Émissions provenant des matériaux de construction, de l'ameublement, des accessoires, de l'équipement, des détergents, etc. (Composés organiques et chimiques volatils, par exemple le formaldéhyde).
- Fumée de tabac et pollution provenant des processus de combustion (par exemple CO).
- Radon et pollution provenant de sources extérieures.

3. Principes et éléments de la ventilation naturelle

L'emplacement physique du bâtiment ainsi que son aménagement intérieur sont des paramètres cruciaux. Le concepteur doit en outre tenir compte des fluctuations des caractéristiques de l'environnement extérieur : température, humidité, vitesse et direction du vent. Après l'identification de la ventilation naturelle, la conception d'un bâtiment naturellement ventilé implique d'intégrer et de suivre les trois directives majeures à la conception lors des différentes étapes du processus. Ces lignes directrices sont liées à :

- Conception du site - emplacement du bâtiment, aménagement, orientation du bâtiment, aménagement paysager, (figure 4.1),
- Conception du bâtiment : type, fonction, forme et enveloppe du bâtiment, stratégie de la ventilation naturelle, répartition interne des espaces, masse thermique,
- Conception des ouvertures et leur position, leur type, leur dimensionnement et leur stratégie de contrôle.

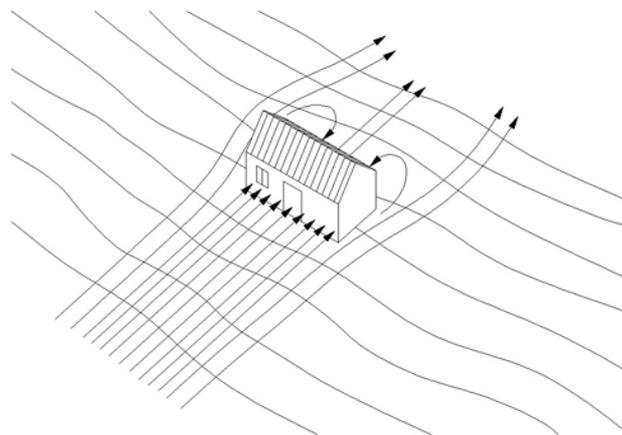


Figure 4.1 : Influence du Relief sur la distribution des lignes du vent autour d'un habitat.

La stratégie de la ventilation naturelle est établie sur la base d'un processus conceptuel, ce qui conduit donc à une intégration des dispositifs de ventilation naturelle.

3.1. Prise en compte de la ventilation naturelle dans le processus de conception

Du moment où la conception des bâtiments est cruciale pour que la ventilation naturelle soit efficace, de nombreux facteurs doivent être pris en compte lors de la construction d'un bâtiment qui utilisera une ventilation naturelle. Quelques-uns d'entre eux sont énumérés ci-dessous [8] :

- L'emplacement du bâtiment,
- Son orientation,
- Ses dimensions,
- Les ouvertures (c'est-à-dire fenêtres, portes, cheminées tout en s'assurant que ces dernières ne sont pas obstruées),
- Placement des ouvertures au mur,
- La direction du vent.

Le choix du mécanisme de ventilation naturelle dépend non seulement des contraintes liées à l'environnement du bâtiment et au fonctionnement de l'environnement intérieur mais dépend également de l'objectif de la ventilation. Donc, il est important de distinguer la ventilation estivale et la ventilation hivernale. Pour la ventilation d'été, le critère le plus important est le niveau de la température de l'air intérieur. En ventilation d'hiver, c'est la qualité de l'air intérieur.

L'élaboration du design d'un bâtiment à ventilation naturelle intégrant le contrôle de la qualité de l'air intérieur trois étapes de base [9] :

- Spécifiez le modèle de débit d'air souhaité entre les ouvertures d'entrée et les ouvertures de sortie,
- Identifier les principales forces motrices disponibles qui permettent d'obtenir le modèle d'écoulement d'air souhaité,
- Dimensionner et localiser les ouvertures afin que les débits de ventilation requis puissent être délivrés dans tous les régimes de fonctionnement.

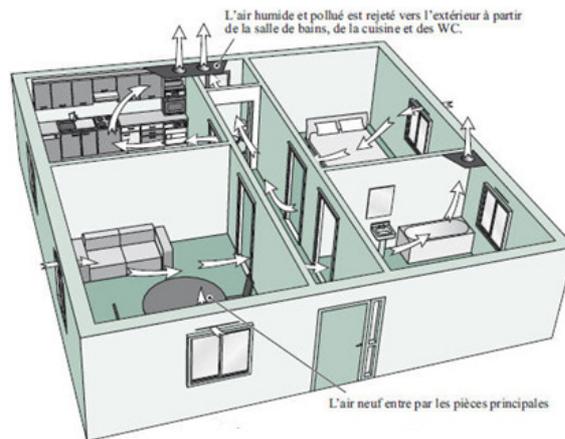


Figure 4.2 : Principe de la ventilation naturelle [10].

3.2. Stratégies de la ventilation naturelle

La ventilation naturelle est possible grâce à la présence d'une force motrice naturelle. Principalement, il n'y a que deux types différents de forces motrices naturelles disponibles ; le vent et la flottabilité thermique. Les propriétés de ces deux phénomènes sont développées dans la section suivante. A partir des différences de pression, un débit d'air à travers l'ouverture se peut être calculé. Ce calcul dépend du type de ventilation naturelle (ventilation transversale ou ventilation unilatérale).

a) Le vent

La ventilation par le vent résulte de diverses pressions créées par l'énergie éolienne sur l'enveloppe du bâtiment. Ces différences de pression entraînent l'air dans le bâtiment à travers des ouvertures dans le sens du vent du côté de l'enveloppe du bâtiment, et chassent l'air du bâtiment par des ouvertures qui se trouvent dans le côté opposé de l'enveloppe du bâtiment comme l'indique la figure suivante :



Figure 4.3 : Ventilation naturelle par effet du vent [11].

La pression du vent sur une surface dans l'enveloppe du bâtiment est la pression dynamique donnée par :

$$\Delta_p = \frac{1}{2} C_p \rho v^2 \quad (1)$$

Où Δ_p est la pression du vent,

C_p est le coefficient de pression statique,

ρ la masse volumique de l'air et

v la vitesse du vent à une hauteur de référence

La hauteur de référence est la hauteur où la vitesse du vent est mesurée simultanément avec la mesure de la pression du vent pour la détermination du coefficient de pression statique. Le coefficient C_p est déterminé par la forme du bâtiment, la direction du vent et le terrain environnant. Un exemple de la répartition du C_p sur un bâtiment est illustré à la figure 4.

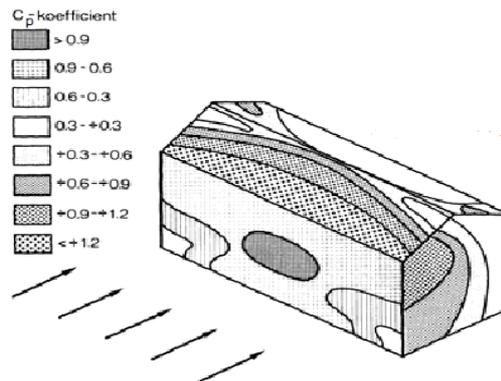


Figure 4.4 : Exemple de valeurs C_p sur un bâtiment [12].

b) Le tirage thermique

Lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure, une différence de pression est créée par la différence de densité entre l'air chaud et froid. L'air intérieur chaud sort dans la partie supérieure de l'ouverture et l'air extérieur plus froid entre par le bas de l'ouverture (figure 5). Il existe une hauteur pour laquelle les pressions intérieures et extérieures s'équilibrent [13].

La ventilation par tirage thermique est due à la différence de densité d'air entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, l'expression de cette différence est donnée par l'équation 2.

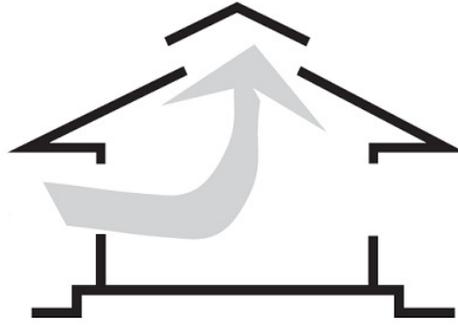


Figure 4.5 : Ventilation naturelle par tirage thermique [11].

$$\Delta_p = \rho_i g h \frac{T_i - T_e}{T_e} \quad (2)$$

Où Δ_p est la différence de pression,

g est la pesanteur,

ρ la masse volumique de l'air,

h la hauteur de référence et

T_i et T_e étant respectivement, la température interne et la température externe de l'air.

c) Combinaison des deux phénomènes

Il est également possible d'exploiter les deux phénomènes simultanément mais cela demande une gestion des ouvrants et une conception du bâtiment plus complexe. Les deux forces motrices peuvent se produire séparément mais très probablement elles se produisent en même temps [14]. Le tirage thermique sera généralement la force dominante sur une journée froide et calme avec pratiquement aucun vent, alors que les différences de pression créées par le vent seront généralement la force motrice dominante sur une journée chaude et venteuse. Leurs forces peuvent s'opposer ou se compléter en fonction du positionnement des ouvertures d'entrée et de sortie par rapport à la direction du vent.

$$\Delta_p = \Delta_{p_vent} + \Delta_{p_tirtherm} = \frac{1}{2} C_p \rho v^2 + \rho_i g h \frac{T_i - T_e}{T_e} \quad (3)$$

Le flux d'air naturel à l'intérieur des bâtiments est une combinaison des effets des forces thermiques et éoliennes. Cependant, le flux d'air généré par le couplage

des deux forces ne dépasse pas 40% du flux de vent généré par la force la plus élevée même lorsque les deux forces sont dans la même direction [15].

3.3. Types de la ventilation naturelle

Généralement, il existe quatre types de ventilation naturelle: ventilation unilatérale (fenêtres ouvrantes), ventilation transversale (c.-à-d. Volets hauts et bas), ventilation par cheminée (tourelles passives) et la ventilation par système de captage du vent de haut en bas ventilation [16].

a) Ventilation unilatérale

La ventilation unilatérale (mono-façade), habituellement à travers de grands dispositifs d'ouvertures situées sur la même façade (figure 6), est principalement entraînée par la turbulence du vent. Des taux de ventilation relativement faibles sont atteints, sauf avec des profondeurs de pénétration inférieures à 2 fois et demie la hauteur du sol au plafond. Les profondeurs de pénétration sont basées sur de basses densités d'occupants de bureau et ne sont pas applicables à des densités d'occupants plus élevées telles que des espaces d'enseignement et des salles de séminaire. Des versions Hybrides des systèmes de ventilation unilatérale sont disponibles pour préchauffer l'air entrant en hiver et faciliter la circulation de l'air pendant les mois les plus chauds de l'été.

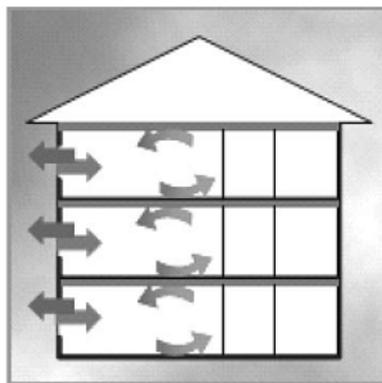


Figure 4.6 : Ventilation unilatérale.

b) Ventilation transversale

La ventilation transversale permet d'obtenir de bons taux de renouvellement de l'air, entraînés par des différences de pression à travers le bâtiment. Cette méthode utilise des entrées / sorties à grande capacité contrôlables sur deux

façades de bâtiments opposées et peut atteindre des profondeurs de pénétration allant jusqu'à 5 fois la hauteur du sol au plafond.

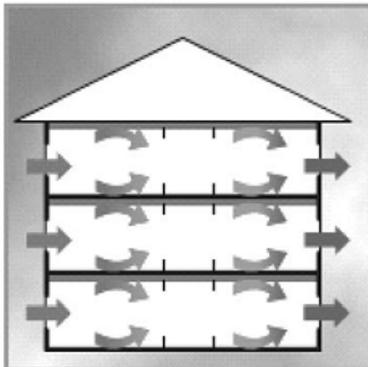


Figure 4.7 : Ventilation transversale.

c) Ventilation par cheminée

La ventilation passive par cheminée est la stratégie de ventilation naturelle la plus efficace car elle utilise une combinaison de ventilation transversale et l'effet du tirage thermique lors de la présence du vent. Elle peut ventiler jusqu'à deux fois la profondeur de la ventilation transversale, jusqu'à 10 fois la hauteur du sol au plafond, car la sortie peut être dans le centre d'un bâtiment. Il peut s'agir également d'une stratégie de refroidissement nocturne efficace car les différences de température internes et externes la nuit sont généralement élevées, ce qui augmente la convection.

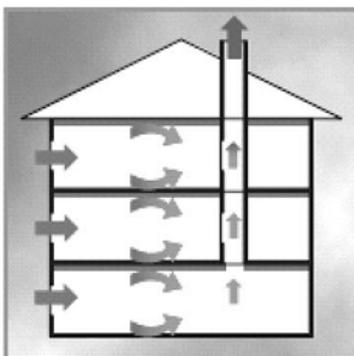


Figure 4.8 : Ventilation par cheminée.

d) Ventilation descendante

Le système de ventilation descendante utilise des tourelles de toit capturant le vent de n'importe quelle direction. Il s'est avéré être l'une des formes de ventilation naturelle les plus fiables, simplement parce qu'il utilise les éléments

naturels du mouvement du vent pour capter l'air frais et propre du toit et que la pression du vent pousse l'air frais à pénétrer dans le dispositif capteur de vent comme il est illustré dans le bâtiment ci-dessous [17].

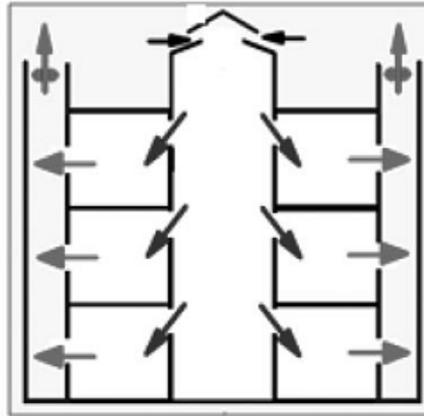


Figure 4.9 : Ventilation descendante.

3.4. Avantages et inconvénients de la ventilation naturelle

S'ils sont bien installés et entretenus, les systèmes de ventilation naturelle peuvent présenter plusieurs avantages par rapport aux systèmes de ventilation mécanique, citons à titre d'exemple :

- La ventilation naturelle peut généralement fournir un taux de ventilation élevé et plus économique, en raison de l'utilisation de forces naturelles et de grandes ouvertures.
- La ventilation naturelle peut être plus économe en énergie, en particulier si le chauffage n'est pas nécessaire.
- Une ventilation naturelle bien conçue pourrait être utilisée pour accéder à des niveaux plus élevés de lumière du jour.

D'un point de vue technologique, la ventilation naturelle peut être classée dans des systèmes de ventilation naturels simples et des systèmes de ventilation naturelle de haute technologie. Ces derniers sont commandés par ordinateur et peuvent être assistés par des systèmes de ventilation mécanique (systèmes hybrides ou en mode mixte). La ventilation naturelle de haute technologie peut avoir les mêmes limites que les systèmes de ventilation mécanique; cependant, elle a également les avantages des systèmes de ventilation mécaniques et naturels. Si elle est correctement conçue, la ventilation naturelle peut être fiable, en particulier lorsqu'elle est combinée à un système mécanique utilisant le

principe de ventilation hybride (mode mixte), bien que certains de ces systèmes de ventilation naturels modernes soient plus coûteux à construire et à concevoir.

En général, l'avantage de la ventilation naturelle est sa capacité à fournir un très haut taux de renouvellement de l'air à faible coût, avec un système très simple. Bien que le taux de renouvellement de l'air puisse varier considérablement, les bâtiments dotés de systèmes de ventilation naturels modernes (conçus et exploités correctement) peuvent atteindre des taux de renouvellement d'air très élevés grâce aux forces naturelles, qui peuvent largement dépasser les exigences minimales de ventilation.

Il y a également un certain nombre d'inconvénients à un système de ventilation naturelle :

- La ventilation naturelle est variable et dépend des conditions climatiques extérieures par rapport à l'environnement intérieur. Les deux forces motrices qui génèrent le débit d'air (c'est-à-dire le vent et le tirage thermique) varient de manière stochastique. La ventilation naturelle peut être difficile à contrôler, le flux d'air étant inconfortablement élevé à certains endroits et stagnant dans d'autres. Il est possible que le taux de renouvellement d'air soit faible dans certaines conditions climatiques défavorables.
- Il peut être difficile de contrôler la direction du flux d'air en raison de l'absence d'une pression négative bien soutenue; la contamination des couloirs et des pièces adjacentes est donc un risque.
- La ventilation naturelle empêche l'utilisation de filtres à particules. Des critères climatiques, sécuritaires et culturels peuvent imposer que les fenêtres et les événements restent fermés; dans ces circonstances, les taux de ventilation peuvent être beaucoup plus faibles.
- Les systèmes de ventilation naturelle ne fonctionnent souvent pas comme prévu, et le fonctionnement normal peut être interrompu pour de nombreuses raisons: fenêtres ou portes non ouvertes, défaillance de l'équipement (s'il s'agit d'un système de haute technologie), mauvaise conception, mauvaise maintenance ou mauvaise gestion.
- Bien que le coût d'entretien de systèmes de ventilation naturels simples puisse être très faible, si un système de ventilation naturel ne peut pas être installé correctement ou entretenu en raison d'une pénurie de fonds, ses performances

peuvent être compromises, augmentant ainsi le risque de transmission de pathogènes aéroportés. .

Ces difficultés peuvent être surmontées, par exemple, en utilisant un meilleur design ou une ventilation hybride (en mode mixte). D'autres inconvénients possibles, tels que le bruit, la pollution de l'air, les insectes vecteurs et la sécurité, doivent également être pris en compte. En raison de ces problèmes, les systèmes de ventilation naturelle peuvent entraîner la propagation de maladies infectieuses dans les établissements de santé, au lieu d'être un outil important pour le contrôle des infections [18].

3.5. Effet du design des ouvertures sur la ventilation naturelle

Dans n'importe quelle conception, la zone d'ouverture influe remarquablement sur le débit de la ventilation naturelle. Les ouvertures d'entrée et de sortie doivent avoir des dimensions aussi égales que possible afin de maximiser le débit d'air. La position des ouvertures doit être considérée avec soin, en raison du conflit possible entre la ventilation transversale et la ventilation par tirage thermique (figure 10)[18].

Une bonne sélection et conception des ouvertures telles que les fenêtres, les persiennes, les cheminées, les cheminées passives, est également importante. Le dimensionnement approprié doit être fait en considérant les stratégies et les fins de la ventilation.

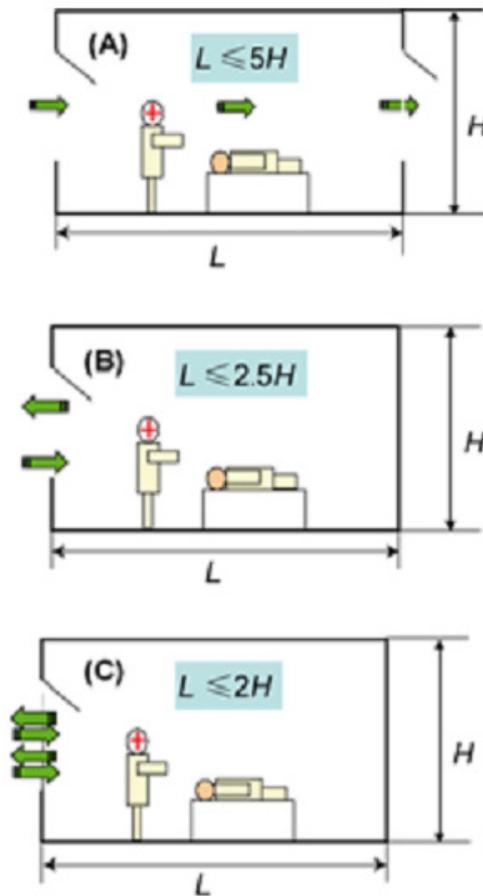


Figure 4.10 : Règles de base pour la profondeur de la salle pour trois stratégies de ventilation différentes.

(A) ventilation transversale. (B) Ventilation unilatérale entraînée uniquement par les forces de tirage thermique. (C) Ventilation unilatérale.[18]

Il y a également d'autres aspects à considérer :

- Les ouvertures ne doivent pas être obstruées, et la disposition des meubles et le cloisonnement interne ne doivent pas restreindre le chemin d'écoulement prévu.
- La profondeur de la cloison : contrairement à la ventilation mécanique, les bâtiments naturellement ventilés doivent être étroit. Les courants d'air naturels peuvent pénétrer profondément dans un bâtiment [19].
- L'ombrage : les stores, les surplombs et les projections (y compris les fenêtres profondes) peuvent être utilisés. L'auto-ombrage par le bâtiment lui-même et l'ombrage à distance (par exemple par un autre bâtiment ou arbres) peuvent également fonctionner s'ils sont correctement pris en compte.
- Le Contrôle de la lumière du jour et de l'éblouissement : les fenêtres peuvent être munies d'un écran pour éviter la lumière directe du soleil. La forme et la

position des ouvertures des fenêtres sont également importantes. La couleur et les finitions des surfaces doivent également être choisies correctement afin d'éviter l'éblouissement [20].

- Le confort acoustique : le bruit extérieur peut être évité en plaçant les fenêtres et autres ouvertures de ventilation à l'écart des bruits primaires. Les cloisons absorbantes, les bannières de plafond, etc., peuvent également être utilisés pour absorber le bruit.
- La sécurité contre les incendies : la conception d'un bâtiment avec des ouvertures reliant les pièces peut être incompatible avec les exigences de sécurité des incendies et de contrôle de la fumée. Les bâtiments naturellement ventilés peuvent être conçus pour être conformes aux exigences de compartimentation pour le contrôle de la fumée. La voie d'évacuation nécessite une attention particulière, car la conception de la ventilation naturelle a également un impact sur le flux de fumée.
- Les risques d'intrusion peuvent être créés en ouvrant les fenêtres, en particulier au rez-de-chaussée.

4. Identification des principaux paramètres du confort en présence d'une ventilation contrôlée

L'étude est menée sous des conditions climatiques propres à la vallée du Mzab. Cette zone est caractérisée par un tissu urbain moins dense et l'absence de végétation périphérique, ce qui la rend vulnérable à tout. Le modèle de notre étude est un studio dont sa fiche technique détaillée est déjà décrite dans le chapitre 2. L'emplacement des ouvertures est sur les façades Nord et Sud du bâtiment avec une porte principale sur le côté Est.

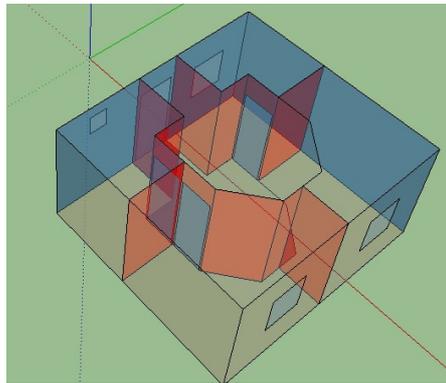


Figure 4.11 : Plan descriptif du studio, vue en 3D.

Pour pouvoir effectuer la simulation, certains éléments ont été définis: les conceptions architecturales, modèle 3D de base - modèle avec uniquement les faces des plans utilisant l'outil Sketch Up, l'orientation du déploiement, la représentation des types de murs et de toits et spécifications matérielles. Le modèle de refroidissement par ventilation nocturne dans EnergyPlus intégré à un fichier d'entrée est généré par Google Sketch Up. Lors de cette simulation, nous utilisons un scénario d'ouverture et de fermeture des fenêtres verticales pour assurer une ventilation contrôlée durant une période chaude.

Les statistiques ont montré que les températures maximales mensuelles pour l'année 2016 étaient de 30.15, 35.14, 39.02, 45.20, 43.50, 36.62 et 31.98 °C pour une période allant du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre respectivement. Les températures minimales mensuelles ont enregistré des valeurs de 15.10, 20.11, 24.22, 26.13, 25.69, 22.40 et 17.01 °C pour la même période. Les différences en températures enregistrées dans cette zone entraînent une différence de pression. Selon ces données, on peut conclure que la ventilation nocturne peut contribuer à la diminution des températures ambiantes tout en profitant de la fraîcheur nocturne.

Au-delà de cette période, le problème se complique, la contribution de cette technique n'est pas significative. La température nocturne est souvent supérieure à 27 °C. Afin de montrer cet aspect, on a choisi de simuler trois jours appartenant au mois de juillet ont été choisis (du 4 au 7 juillet 2016) caractérisée par un ciel totalement clair. Les températures ambiantes varient de 28,4 °C au 45,6 °C. La vitesse du vent était comprise entre 0 et 5.5 km/h. L'humidité relative de l'air ambiant entrant à la zone varie entre 15.5 et 67.3%.

En été, les valeurs initiales pour toutes les températures (surfaces isothermes des couches des murs et de l'air intérieur) ont été fixées à 30 °C. L'humidité relative de l'air intérieur a été calculée pour une teneur initiale en eau de 10^{-2} Kg_{eau}/Kg_{air_sec}. Le débit massique de l'air entrant a été fixé à une valeur de $5 \cdot 10^{-4}$ Kg/s. Nous avons choisi un studio totalement exposé comme le montre la figure 2.3 du chapitre 2. Les profils des températures obtenus sont tracés sur la figure 4.12

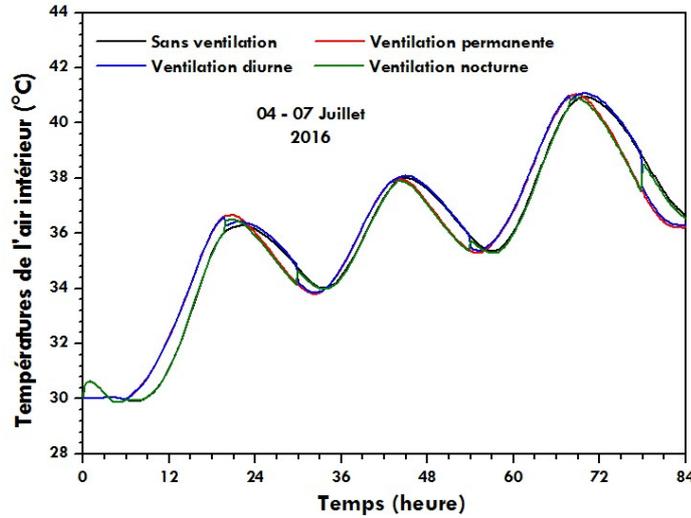


Figure 4.12 : Températures de l'air intérieur pour différents types de ventilation.

Les résultats affichés indiquent que seule une ventilation nocturne apporte une légère diminution des températures intérieures, mais ça reste très insuffisant. Une minimisation de jusqu'à 1.2 °C peut être achevée durant la nuit du troisième jour. A l'échelle journalier, et en terme de température moyenne, ce concept ne semble pas rentable, les valeurs moyennes sont comme suit :

- Sans ventilation : $T_{\text{air_moy}} = 36.66 \text{ °C}$
- Ventilation permanente : $T_{\text{air_moy}} = 36.25 \text{ °C}$
- Ventilation diurne : $T_{\text{air_moy}} = 36.55 \text{ °C}$
- Ventilation nocturne $T_{\text{air_moy}} = 36.18 \text{ °C}$

En se situant dans un cas plus favorable de point de vue confort, c'est-à-dire, en se référant à un studio isolé et plus compact, comme il est montré dans la figure 2.6 du chapitre 2, les valeurs calculées se sont fixées à :

- Sans ventilation : $T_{\text{air_moy}} = 31.29 \text{ °C}$
- Ventilation permanente : $T_{\text{air_moy}} = 32.19 \text{ °C}$
- Ventilation diurne : $T_{\text{air_moy}} = 32.04 \text{ °C}$
- Ventilation nocturne $T_{\text{air_moy}} = 31.50 \text{ °C}$

Les calculs prouvent qu'aucune technique n'a apporté une nette amélioration au confort en raison de la température intérieure de l'air qui reste toujours inférieure (durant 24 heures) en la comparant avec celle de l'ambient extérieur.

Faisant suite à ces résultats, ce constat nous a motivé de refaire la simulation pour une autre période dont la température intérieure est à la limite de la température du confort. Notre choix s'est fixé sur des murs opaques en brique de

30 non isolés. Les figures ci-dessous apportent des informations précieuses sur les profils des températures et des humidités relatives tout en couvrant tous les cas possibles. Les températures environnantes des parois intérieures et la température initiale de l'air sont au voisinage de la limite de la température du confort.

Dans le premier exemple (figures 4.13), la température extérieure est légèrement supérieure par rapport à la température intérieure de l'air. La différence est moyennement de 1.85 °C durant la journée. Durant la nuit, elle est inférieure par rapport à la température intérieure de l'air (en moyenne 3.76 °C). Le débit massique de l'air entrant est fixé à 0.007 Kg/s.

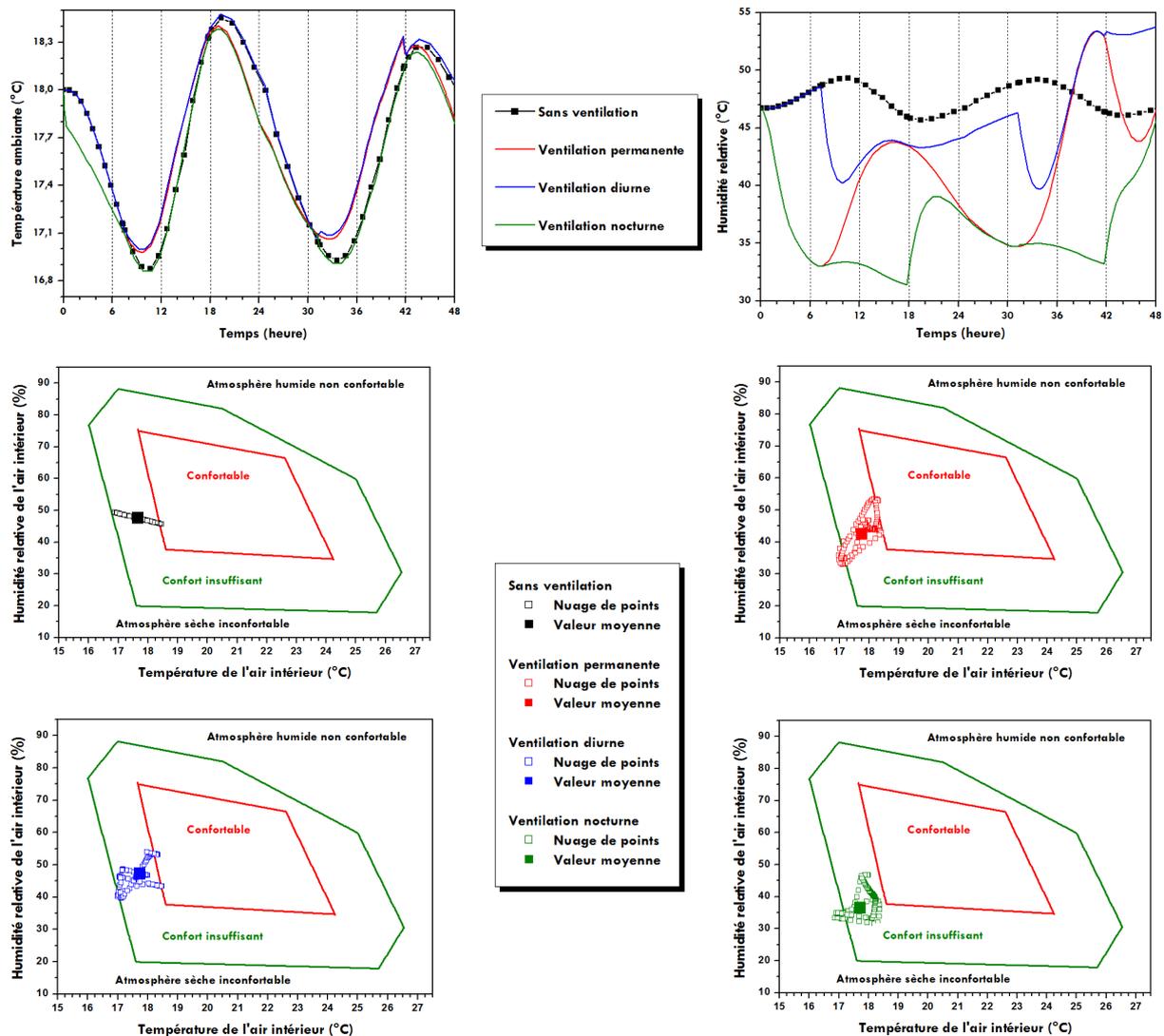


Figure 4.13 : Paramètres du confort (températures et humidités) pour différents types de ventilation, la teneur en eau initiale est $5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}} / \text{Kg}_{\text{air}_{\text{sec}}}$, le débit massique de l'air entrant est de 0.007 Kg/s.

Les résultats indiquent que la ventilation diurne apporte une légère et une meilleure amélioration des températures intérieures, mais ça reste très insuffisant. Une augmentation de jusqu'à 1.15 °C peut être achevée durant la journée. Cette valeur peut devenir plus élevée si la différence en température entre l'intérieur et l'extérieur est plus remarquante. L'humidité relative est inversement proportionnelle par rapport à la température en absence d'une ventilation. Cette proportionnalité est due à la teneur en eau (humidité absolue) qui restera constante. Dans les autres cas, les résultats vont complètement changer puisque l'échange d'air avec l'extérieur causera une variation continue de la teneur en eau. En conséquence, cette technique n'a pas apporté une nette amélioration du confort thermique vu que la différence en température entre l'intérieur et l'extérieur n'est pas significative.

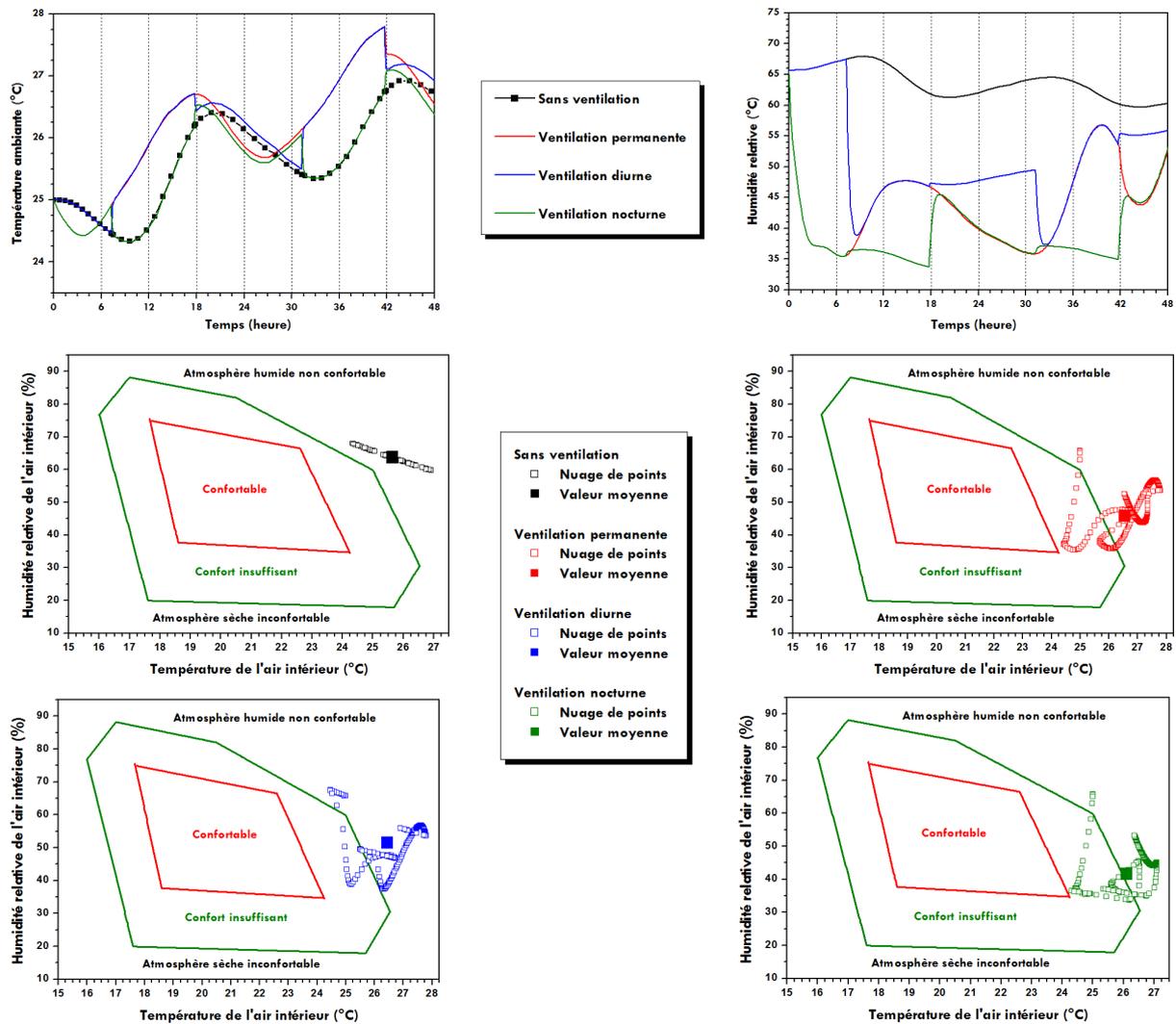


Figure 4.14 : Paramètres du confort (températures et humidités) pour différents types de ventilation, la teneur en eau initiale est $5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{eau}} / \text{Kg}_{\text{air}_{\text{sec}}}$, le débit massique de l'air entrant est de 0.007 Kg/s .

L'exemple projeté par la figure 1.14 indique que la meilleure démarche pour l'amélioration du confort est obtenue par une ventilation nocturne pour une période chaude. Cette phase est caractérisée par une température extérieure inférieure par rapport à la température intérieure de l'air. Contrairement à la ventilation diurne et permanente, ce type de ventilation permet de se rapprocher vers la zone du confort durant toutes les 48 heures. Un gain de température de 1.62 °C peut être bénéficié durant la nuit ce qui se répercute positivement sur la consommation énergétique totale.

L'humidité relative et la teneur en eau de l'air sont les paramètres du confort les plus influents en introduisant une ventilation contrôlée. Ses profils dépendent en premier lieu de l'humidité de l'air ambiant extérieur. Par contre, la température de l'air intérieur est influencée par la température de l'air ambiant extérieur entrant et plus particulièrement par l'écart de température entre l'air intérieur et l'air entrant.

5. Conclusion

La ventilation des bâtiments est une mesure destinée à approvisionner les espaces intérieurs en air neuf et à évacuer l'air vicié. La ventilation est bénéfique tout d'abord pour la santé et parfois pour le confort des occupants. L'isolation est recommandée, mais on devra aussi aérer. En renforçant l'isolation du bâtiment, on évite plus les déperditions énergétiques et on augmente l'étanchéité à l'air ce qui provoque une réduction de leur capacité à respirer.

Le phénomène de ventilation est à la fois un mécanisme vaste et complexe, c'est pourquoi, des normes doivent s'imposer en vu de concevoir des systèmes efficaces et corrects. A cet effet, les solutions qui peuvent être envisagées dépendent :

- Des débits de ventilation
 - Débit fixe contrôlé
 - Débit arbitraire pour satisfaire à une ventilation naturelle
- Du type de locaux, leur usage et leur surface
 - Performances thermiques de l'enveloppe
 - Types et localisation d'ouvertures
 - De la période (chauffage et/ou refroidissement)

- La zone à chauffer ou à refroidir
- ...etc.

Les paramètres du confort les plus sensibles à une ventilation contrôlée (débit fixe) sont l'humidité relative et la teneur en eau de l'air intérieur. Ses profils dépendent en premier lieu de l'humidité de l'air ambiant extérieur.

La température de l'air intérieur est influencée principalement par la température de l'air ambiant extérieur entrant, notamment par l'écart de température entre l'air intérieur et l'air entrant.

Une ventilation diurne est parfois conseillée pour améliorer le confort durant une période froide. Néanmoins, pendant une période chaude, seule une ventilation nocturne est parfois rentable pour se rapprocher du confort thermique intérieur.

Références

1. A. M. Omer, Renewable building energy systems and passive human comfort solutions, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, n°. 6, pp. 1562–1587, 2008.
2. L. Gu, Airflow network modeling in EnergyPlus, *Build. Simul.* 2007, n°. February, pp. 964–971, 2007.
3. R. De Dear, G. Brager, C. Donna, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Trans.*, vol. 104, n°. Part 1, pp. 1–18, 1998.
4. C. O. E. U.S. ARMY, Design : Cooling Buildings by Natural Ventilation, n°. January, 2004.
5. K. Dohsi, 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), Université : Mohamed Khider - Biskra, 2017.
6. F. Allard, Natural Ventilation in the Urban Environment, Assessment and Design. 2012.
7. I. Report and T. O. Project, Absolute passive energy design Achieving passive house level by utilizing, n°. December, pp. 1–53, 2014.
8. Natural Ventilation http://www.appropedia.org/Natural_Ventilation.
9. M. Caciolo, D. Marchio, P. Stabat, Survey of the Existing Approaches To Assess and Design Natural Ventilation and Need for Further Developments, *Build. Simul.*, pp. 220–227, 2009.
10. Ventilation naturelle: <https://www.batiproduits.com/batiwiki/ventilation-naturelle/definition/9587736A-AC86-452B-9B7E-1A6AD9A116B1/>.
11. A. M. K. Sharag-Eldin, Predicting natural ventilation in residential buildings in the context of urban environments, University of California, Berkeley, 1998.

12. T. S. Larsen, Natural Ventilation Driven by Wind and Temperature Difference, n°. 2, 1901.
13. P. Stabat, Optimisation de l'intégration de solutions énergétiques dans les bâtiments, 2017.
14. G. A. Faggianelli, Rafrâchissement par la ventilation naturelle traversante des bâtiments en climat méditerranéen, Université Pascal Paoli, 2014.
15. B. Givoni, Man, Climate and Architecture. Van Nostrand Reinhold, 1981.
16. M. Ohba and I. Lun, Overview of natural crossventilation studies and the latest simulation design tools used in building ventilation-related research, Adv. Build. Energy Res., vol. 4, n°. 1, pp. 127–166, 2010.
17. Passivent, Natural ventilation strategies, n°. September, 2015.
18. J. J. Atkinson, Y. Chartier, C. L. Pessoa-Silva, P. Jensen, Y. Li, and W.-H. Seto, Natural ventilation for infection control in health-care settings, WHO Publ., p. 77, 2009.
19. Z. Ghiabaklou, Natural Ventilation as a Design Strategy for Energy Saving, vol. 4, n°. 11, pp. 260–265, 2010.
20. Y. Lavafpour, M. Surat, Passive Low Energy Architecture in Hot and Dry Climate, Aust. J. Basic Appl. Sci., vol. 5, no. 8, pp. 757–765, 2011.
21. Levin, H. 1987. Protocols to improve indoor environmental quality in new construction, in Proceedings of IAQ '87. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
22. Lin, W., Ma, Z., Sohel, M.I., Cooper P., Development and Evaluation of a Ceiling Ventilation System Enhanced by Solar Photovoltaic Thermal Collectors and Phase Change Materials, Energy Conversion and Management, 88 (2014), pp. 218-230.
23. Kalagasidis, A. S., The Efficiency of a Dynamically Insulated Wall in the Presence of Air Leakages, Thermal Science, 8 (2004), 1, pp. 83-94.
24. Tetsu K., Doris T. H. C., Supian A., The Effects of Night Ventilation Technique on Indoor Thermal Environment for Residential Buildings in Hot-humid Climate of Malaysia, Energy and Buildings, 41 (2009), pp. 829-839.
25. Wang, Z., Ding, Y., Geng, G., Zhu, N., Analysis of Energy Efficiency Retrofit Schemes for Heating, Ventilating and Air-conditioning Systems in Existing Office Buildings Based on the Modified Bin Method, Energy Conversion and Management ,77 (2014), pp. 233-242.
26. M. Haase, A. Amato, An Investigation of the Potential for Natural Ventilation and Building Orientation to Achieve Thermal Comfort in Warm and Humid Climates, Solar Energy 83 (2009) 389 - 399.
27. Allard F. (Ed.) (1998) Natural Ventilation in Buildings; A Design Handbook London, James and James Science Publishers Ltd.
28. Givoni, B., Effectiveness of Mass and Night Ventilation in Lowering the Indoor Daytime Temperatures, Part I: 1993 Experimental Periods, Energy and Buildings, 28 (1998), pp. 25-32.

L'Incidence des Gains Solaires sur le Confort Thermique et les Besoins Énergétiques

L'Incidence des Gains Solaires sur le Confort Thermique et les Besoins Énergétiques

1. Introduction

Le choix d'un système de chauffage du bâtiment est un élément clé pour son fonctionnement économique et écologique. L'apport solaire est la partie du bilan thermique d'un bâtiment correspondant aux gains solaires. La plus ancienne et la plus économique utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire à travers les fenêtres et les portes-fenêtres bien dimensionnées et correctement orientées. C'est dans ce contexte que l'orientation du bâtiment sera choisie pour maximiser le gain solaire hivernal. Le chauffage passif peut fournir une température interne stable malgré les fluctuations de température au cours de la même journée. Le contrôle de la consommation énergétique est une priorité majeure dans le domaine de la construction thermique. Cette étape nécessite des connaissances sur la performance énergétique de l'enveloppe des bâtiments et l'utilisation de méthodes d'évaluation [1]. Piotrowski et al. [2] ont présenté des résultats numériques de certains modèles mathématiques développés de transfert de chaleur en régime permanent. Ils s'intéressaient à l'étude de plusieurs systèmes de chauffage solaire passif. Dans un climat saharien, les bâtiments orientés au Sud sont préférables, car ils produisent le plus grand gain solaire de la saison de chauffage et le plus faible en été. Il est à noter aussi que de nombreux bâtiments ont un système de chauffage central (chauffage à eau chaude) utilisant du gaz naturel comme combustible. La consommation d'énergie relative à cette transaction est l'une des contraintes majeures dans ce domaine. De nombreux travaux antérieurs concernant l'étude du chauffage des bâtiments ont été réalisés au cours des dernières décennies. Une étude réalisée par Jaffal et al. [3] a été menée pour décrire une méthode efficace pour calculer les besoins de chauffage. Tsoutsou et al. [4] ont axé leurs travaux sur le couplage d'un système de collecte solaire à lentilles de Fresnel avec les façades des bâtiments. En effet, un autre travail [5] contenait une déclaration sommaire sur les technologies solaires passives pour le chauffage des locaux. Les avantages, les limites et les défis des technologies ont été mis en évidence. Pour

le chauffage solaire, il est également possible d'utiliser les matériaux à changement de phase [6-10] vu que la température intérieure est affectée par le climat extérieur. Si la température extérieure est suffisamment élevée pendant la journée, elle peut être utilisée comme système de chauffage efficace. Généralement, avec une conception solaire passive, l'occupant peut bénéficier du potentiel de chauffage du soleil en hiver. Cependant, la relation entre masse thermique et isolation est un paramètre clé pour obtenir et maintenir une bonne température en saison froide quelles que soient les conditions météorologiques extérieures [11]. Pour un coût abordable et économique, la plupart des ouvrages publiés [12-14] mettent l'accent sur les besoins totaux de consommation d'énergie des bâtiments résidentiels afin de rechercher tous les moyens possibles qui servent à réduire les coûts énergétiques.

Le but de ce travail est d'étudier les paramètres de confort thermique d'une maison unifamiliale tels que la température de l'air et l'humidité relative. L'approche retenue consiste à utiliser un modèle développé approprié pour la simulation du comportement thermique transitoire des bâtiments multizones. La méthode des nœuds thermiques (nodale) a été utilisée pour décrire le comportement thermo-aéraulique de l'air soumis à diverses sollicitations. Les avantages de ce modèle récent ont été prouvés scientifiquement [15-16]. Il est connu que, pour les courtes périodes de l'année, l'utilisation de certains outils de simulation de bâtiments actuels (par exemple EnergyPlus, TRNSYS) entraîne des erreurs dues aux conditions initiales, en particulier pour la température du sol. Cependant, contrairement à ces modèles utilisés dans ces logiciels, le modèle proposé par nous même ne présente pas de difficulté en termes de conditions initiales, il est largement suffisant de faire des simulations au-delà d'une journée. Ce présent chapitre traite également un diagnostic et une évaluation quantitative des charges énergétiques pour deux cas, sans et avec isolation thermique. Cette étape est également consacrée aux études technico-économiques; la consommation estimée est basée sur les coûts énergétiques et les lectures des compteurs d'énergie.

2. Climat local et modèle de bâtiment

Nous rappelons que Ghardaïa ($32,36^\circ$ Nord, $3,81^\circ$ Ouest et 450 m au-dessus de la mer) a un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud. Il se

caractérise par un ensoleillement exceptionnel, le plus souvent, il a un taux d'insolation très important (75% en moyenne) et l'ensoleillement moyen annuel mesuré sur plan horizontal dépasse 20 (MJ/m²). La durée d'ensoleillement est supérieure à 3000 heures par an, ce qui favorise l'utilisation de l'énergie solaire dans différents domaines [17]. La durée d'ensoleillement la plus faible est enregistrée en décembre avec 234.5 heures, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en juillet avec 337.3 heures. La durée moyenne d'ensoleillement entre 2000 et 2009 était de 3391.20 heures/année, soit environ 9 heures/jour. La température moyenne annuelle est d'environ 22.61 °C. Les températures minimales du mois le plus froid sont observées au mois de janvier avec 5.5 °C, alors que les températures maximales du mois le plus chaud sont observées au mois de juillet avec 41.7 °C. L'humidité relative est très faible, elle est de l'ordre de 21.60 % en juillet, atteignant un maximum de 55.80% en janvier et une moyenne annuelle de 38.33 % [18].

Cette étude porte sur une maison unifamiliale (figure 5.1) dont les caractéristiques sont données sur le tableau 5.1. La surface habitable est de 95.81 m². Les propriétés thermiques et physiques des éléments constructifs sont dans l'ensemble les mêmes dans la région. Le coût est une considération essentielle dans le choix des matériaux de construction, les matériaux de construction utilisés sont locaux, disponibles et durables; la pierre est le matériau de construction le plus utilisé.

Selon les données techniques apportées, la maison est de faible performance thermique, ce qui entraîne forcément des déperditions thermiques importantes. Une enveloppe de maison inefficace qui nécessite une isolation thermique est souvent synonyme de coûts énergétiques élevés. Comme le montre la figure 5.1, l'orientation de cette maison sera choisie pour permettre à l'énergie solaire d'entrer dans l'espace à chauffer, tout en fournissant une source d'énergie gratuite en hiver à travers les fenêtres situées sur la façade Sud. Les surfaces vitrées sont entièrement transparentes. Le sol est massif offre la possibilité de stocker le gain solaire pendant la journée afin de le réutiliser plus tard (pendant la nuit).

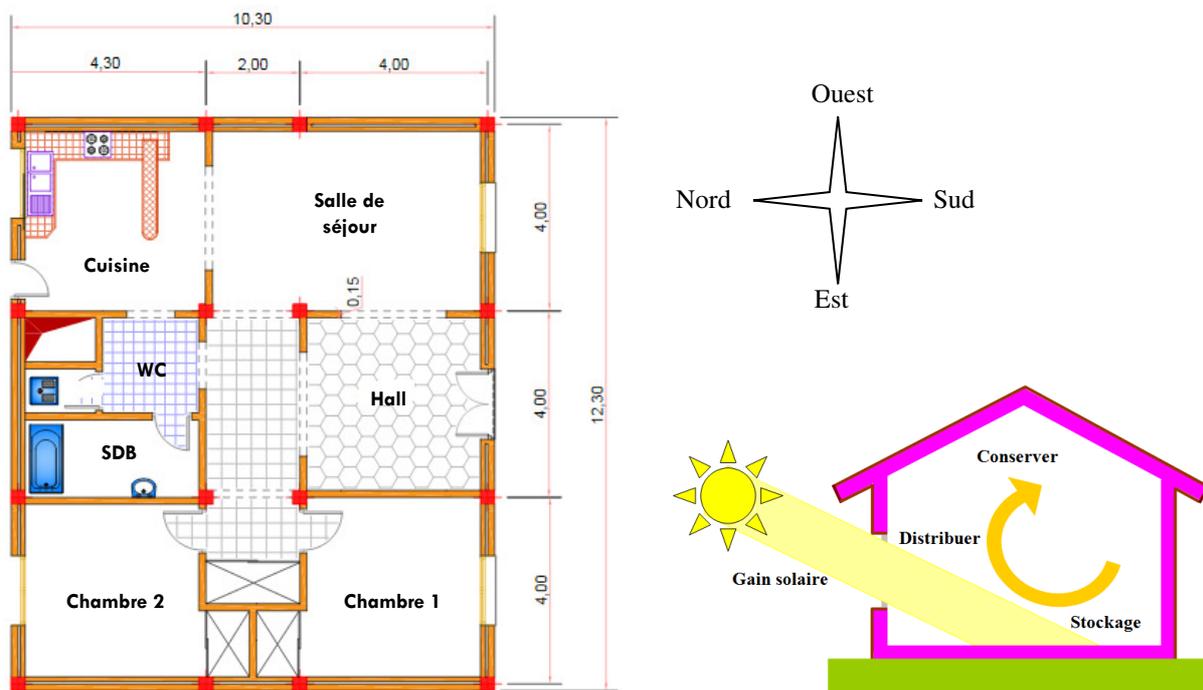


Figure 5.1 : Plan descriptif 2D et concept de chauffage passif.

Tableau 5.1. Composition de la maçonnerie et propriétés des matériaux de construction.

	Matériau de construction	Épaisseur (m)	Valeurs de transmission thermique U (W/m ² K)
Murs extérieurs	Ciment mortier	0.015	1.70
	Pierre	0.370	
	Ciment mortier	0.015	
	Plâtre	0.015	
Toit	Dalle de ciment	0.32	1.31
	Hourdi		
	Ciment de mortier	0.015	
	Plâtre	0.015	
Plancher	Carrelage	0.025	1.59
	Chape	0.040	
	Dalle	0.150	
	Sable sec	0.020	
	Film de polyane pour empêcher la remontée de l'humidité Pierres + graviers	0.150	
	Fenêtre simple vitrage		4.500
	Porte en bois		3.195

3. Modèle mathématique et équations de base

Le modèle mathématique est basé sur les équations du bilan massique et d'enthalpique (1, 2) [19-20].

Le bilan sensible peut être transformé en un bilan de température.

$$\rho_{\text{air}} C_{\text{air}} V_{\text{air},i} \frac{dT_{\text{air},i}}{dt} = \sum_{i=0}^N [Q_{\text{mas}}^{\text{trans}}(i,n) C_{\text{air}} (T_{\text{air},n} - T_{\text{air},i})] + Q_{\text{cv}}(i,j) + P_{\text{S}_{\text{int}}} + P_{\text{S}_{\text{air}}} \quad (1)$$

ρ_{air} : masse volumique de l'air [kg m^3].

C_{air} : capacité calorifique de la masse d'air [$\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$].

$V_{\text{air},i}$: volume de la zone i [m^3].

$T_{\text{air},n}$: température de l'air de la zone n [K].

$T_{\text{air},i}$: température de l'air de la zone i [K].

$Q_{\text{mas}}^{\text{trans}}(i,n)$: flux de masse transitant de la zone n à la zone i [kg s^{-1}].

$Q_{\text{cv}}(i,j)$: échange de flux convectif entre les surfaces j des murs de la zone i correspondant à une température T_j et la masse d'air dans cette zone correspondant à une température T_{air} [W].

$P_{\text{S}_{\text{int}}}$: puissance sensible interne due aux appareils, aux occupants et à l'éclairage [W].

$P_{\text{S}_{\text{air}}}$: puissance sensible fournie par la climatisation [W].

Ce système de N équations à N inconnus doit être résolu pour déterminer les températures de l'air dans chaque zone. Les échanges superficiels, notamment les échanges convectifs, sont des phénomènes complexes régis par les lois de la mécanique des fluides [19]. Ceux-ci devraient être basés sur le modèle de conduction donné dans les références [21-23], [15] et [20]. L'approche proposée permet de représenter le système multicouche par un modèle basé sur une analogie électrique. Il est souvent utilisé lorsque l'objectif est de déterminer la température de n'importe quel nœud à l'intérieur d'un mur. Les hypothèses de travail sont les suivantes:

- Le transfert de chaleur est unidirectionnel et perpendiculaire au mur
- L'air est considéré comme gaz transparent parfait
- Les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction sont constantes
- La température de l'air à l'intérieur des zones est uniforme (méthode nodale)
- La contribution de l'apport énergétique interne dû à l'occupant et d'autres gains internes est négligeable

En ce qui concerne le bilan latent, on utilise l'équation de conservation de la masse d'air sec et en considérant que les variations temporelles de masse sont de très faibles quantités, on aboutit par la suite à l'équation suivante [19-20] :

$$m_{\text{air}}(i) \frac{dH_{\text{air}}(i)}{dt} = \sum_{i=0}^N [Q_{\text{mas}}^{\text{trans}}(i, n) (H_{\text{air},n} - H_{\text{air},i})] + \frac{Pl_{\text{int}}}{Lv} + \frac{Pl_{\text{air}}}{Lv} \quad (2)$$

m_{air} : masse de l'air sec [kg].

$H_{\text{air}, n}$: humidité spécifique: masse de vapeur d'eau contenue dans la masse unitaire d'air sec dans la zone n [kg_{vap} / kg_{air} ou %].

$H_{\text{air}, i}$: humidité spécifique: masse de vapeur d'eau contenue dans la masse unitaire d'air sec dans la zone i [kg_{vap} / kg_{air} ou %].

Pl_{int} : puissance latente interne due aux appareils, aux occupants, à l'éclairage ... [W].

Pl_{air} : puissance latente fournie par la climatisation [W].

Lv : chaleur latente de vaporisation de l'eau [J / kg].

On aboutit donc à un système de N équations à N inconnus dont les variables principales sont les humidités spécifiques de chaque zone.

Les formules empiriques de Nadeau et Puiggali peuvent être utilisées, l'humidité spécifique dans ce cas peut être exprimée en fonction de l'humidité relative par la relation suivante:

$$H_s = \frac{0.622 P_{\text{sat}}(T) Hr}{101325 - P_{\text{sat}}(T) Hr} \quad (3)$$

$$P_{\text{sat}}(T) = e^{23.3265 - \frac{3802.7}{T} - \frac{2.2343 \cdot 10^5}{T^2}} \quad (4)$$

Hr : humidité relative [%].

P_{sat} : pression de vapeur de saturation [Pa].

L'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments est l'une des solutions efficaces pour réduire la consommation énergétique et l'émission de gaz à effet de serre. Plus de 40% de la consommation totale d'énergie est due au chauffage et au refroidissement des bâtiments [24]. Le flux de chaleur du sol est un facteur physique important. Pour cette raison, les ingénieurs et les architectes qui travaillent sur la bioclimatique recommandent généralement 40 à 60% de surface vitrée sur la façade Sud pour chauffer le sol et dissiper le transfert de chaleur sensible vers l'atmosphère. Ce transfert est accompli dans un processus en deux étapes. La chaleur est d'abord transférée dans l'air par conduction causée par la

collision de molécules, puis l'air se réchauffe et circule vers le haut par convection. Lorsque la surface est plus chaude que l'air ci-dessus, la chaleur est transférée vers le haut dans l'air sous forme de transfert de chaleur sensible positif (figure 5.1). Dans cette étude, notre raisonnement est basé sur la part de la surface du sol exposé aux rayonnements du soleil. Le bilan énergétique de la surface du sol est représenté par l'équation 5, [15], [20-22]:

$$C_{cer} \frac{dT_{sol}}{dt} = \frac{T_B - T_{sol}}{R_{B-sol}} + \sum S_i F_{gr-i} (T_i^4 - T_{sol}^4) + S h_{convij} (T_{air,i} - T_{sol}) \quad (5)$$

Lorsque le sol est exposé à la lumière directe du soleil, il y aura alors un terme supplémentaire et l'équation 5 devient comme suit:

$$C_{cer} \frac{dT_{sol}}{dt} = \tau_{glass} \alpha_{sol} (\chi S_{sol}/100) G_{hor} + \frac{T_B - T_{sol}}{R_{B-sol}} + \sum S_i F_{sol-i} (T_i^4 - T_{sol}^4) + S h_{convij} (T_{air,i} - T_{sol}) \quad (6)$$

C_{cer} : chaleur spécifique des carreaux céramiques [J / kg K].

T_{sol} : température des carreaux de céramique [K].

T_i : température des surfaces intérieures (toit et murs) dans la même zone [K].

T_B : température de la dernière couche (inférieure) [K].

R_{B-gr} : résistance équivalente entre le nœud supérieur et le nœud inférieur [KW^{-1}].

F_{gr-i} : facteur de forme entre le sol et les autres surfaces d'échange dans la même zone

ρ_{air} : densité de la masse d'air [$kg\ m^{-3}$].

σ : Constante de Stephane-Boltzmann [$W/m^2\ K^4$].

α_{gr} : coefficient d'absorption du sol

S_{gr} : Surface du sol [m^2].

τ_{glass} : transmissivité du verre.

4. Résultats de simulation & Effets potentiels des gains solaires sur le confort thermique

Les résultats à entreprendre concernent six jours, du 28 décembre 2014 au 2 janvier 2015. Ces jours correspondent généralement à un ciel clair; le rayonnement solaire incident sur toutes les surfaces opaques (horizontale et parois verticales) a été déterminé par le modèle de Perrin Brichambaut [25]. En effet, en hiver, la position du soleil est proche du solstice d'hiver. Le rayonnement solaire reçu de la façade Sud a atteint son seuil qui est de 849.47

W/m², valeur qui correspond à la journée du 28 décembre 2015. Le rayonnement solaire incident sur les façades Est et Ouest a atteint est maximale le matin à 09h 25mn et à 16h 08mn l'après-midi pour la façade Ouest. La température de l'air extérieur a oscillé entre 2 et 18 °C, avec une valeur moyenne d'environ 10.05 °C. L'humidité relative varie inversement avec la température de 37.16 à 58.16% avec une valeur moyenne égale à 44.02 %. La vitesse du vent varie de manière aléatoire de 0 à 36.8 Km/h, sa valeur moyenne est de 11.97 Km/h. La chambre 1 a été sélectionnée pour décrire la variation temporelle de la température et de l'humidité relative de l'air. La figure 5.2 est un indicateur de paramètres de confort thermique en fonction du pourcentage de la surface exposée. L'humidité relative de l'air intérieur est calculée pour une teneur en eau fixe à $5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}_{\text{water}} / \text{Kg}_{\text{dry_air}}$.

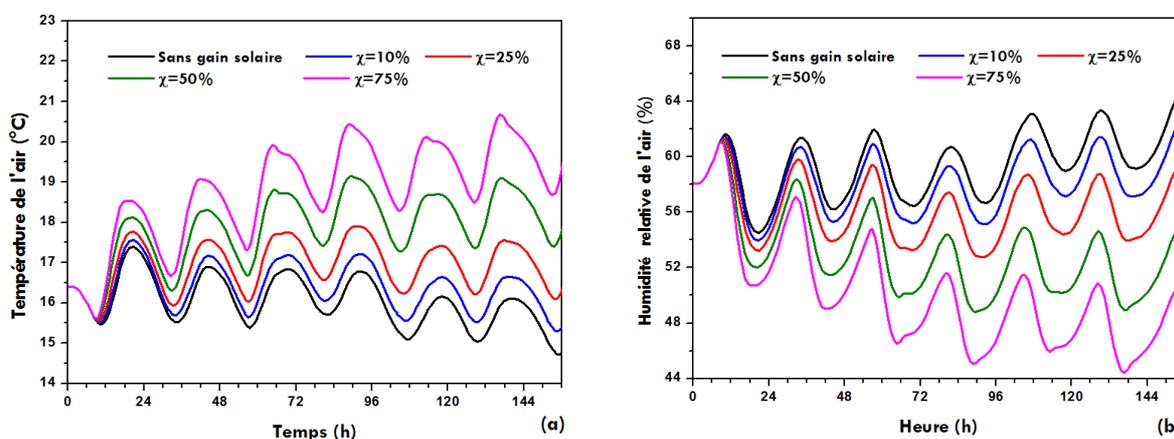


Figure 5.2 : Paramètres de base du confort thermique: (a) Température, (b) Humidité relative, Ghardaïa du 28 décembre 2014 au 02 janvier 2015.

Ces résultats indiquent qu'en profitant du rayonnement solaire entrant, il est possible de se rapprocher de la température désirée. Au sol, un taux de couverture solaire proche de 75% peut faire augmenter les températures de plus de 4 °C. Par conséquent, la chaleur produite par les rayons du soleil constitue une contribution importante et substantielle. Une maison passive est une maison avec une architecture simple mais efficace, devrait idéalement faire face au Sud pour stocker suffisamment d'énergie solaire pendant la journée.

Le confort thermique dépend aussi de l'hygrométrie dans l'air ambiant. L'analyse bibliographique porte sur différents modèles et normes du confort thermique pour les bâtiments résidentiels. PMV et PPD sont couramment utilisés comme indicateur du confort thermique; ces indices ne sont pas adaptés à l'évaluation en climat chaud et humide. Ils sont utiles pour l'évaluation pour un bâtiment chauffé

et climatisé. D'autre part, en 1991, Givoni a suggéré une zone de confort entre 18 et 25 ° C en hiver pour les zones tempérées dans des conditions d'air calme [18]. Cependant, en utilisant le diagramme ci-dessous comme outil, conforme à la norme DIN 1946-4: 2008-12, il sera possible de positionner le degré de confort pour les deux cas étudiés: sans et avec gain solaire. La plage de la température confortable de l'air ambiant est représentée sur la figure 5.3.

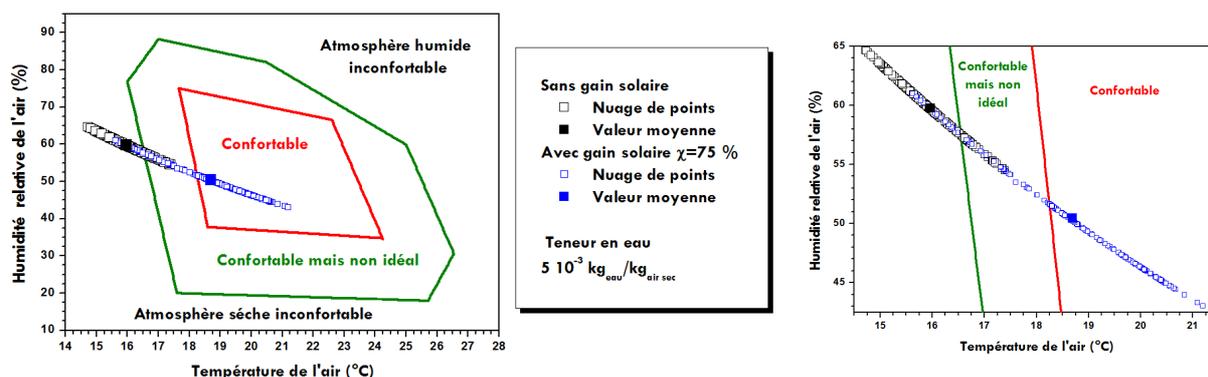


Figure 5.3 : Positionnement du confort vis-à-vis l'humidité et la température de l'air.

Les humains peuvent se sentir à l'aise pour une humidité relative comprise entre environ 35 et 70%. La limite supérieure de cette humidité est déterminée selon la norme DIN 1946-4: 2008-12 à 11.5 g d'eau par kg d'air sec. L'humidité relative de l'air peut atteindre un maximum de 65%, des valeurs plus élevées seront tolérées pour les basses températures ambiantes.

En ne tenant compte que des valeurs moyennes, le diagramme indique que la température et l'humidité (en cas de chauffage passif) sont modérément positionnées dans la plage de la zone de confort, mais les fluctuations sont plutôt importantes. Elles créent des sensations d'inconfort en particulier en l'absence de gains solaires. Leurs exploitations améliorent significativement les conditions de confort mais ne résolvent pas complètement les problèmes.

Ils peuvent contribuer de manière significative à minimiser les besoins énergétiques pour le chauffage hivernal. C'est le but principal de la section suivante. L'utilisation de l'isolation thermique comme moyen peut être considérée comme une solution efficace et fiable.

5. Diagnostic des déperditions et efficacité énergétique

La consommation énergétique dépend non seulement des performances thermiques de l'enveloppe du bâtiment et des charges internes, mais également de la température de consigne. Avant toute étude, il est nécessaire de quantifier les déperditions thermiques; nous cherchons le pourcentage de ces déperditions associé à chaque élément afin d'identifier correctement les déperditions dominantes. Pour l'air, une température de 21 °C a été imposée en tant que température de consigne de chauffage (confort), ce qui représente un compromis entre un confort optimal et une consommation électrique minimale. L'étude a été dédiée à cette maison familiale décrite précédemment. Contrairement au deuxième cas, le premier concerne l'étude d'une maison perméable à l'air. Le troisième cas correspond à une maison plus compacte et mitoyenne, les façades Est et Ouest sont adjacentes à d'autres maisons; elles ne seront donc pas exposées aux conditions météorologiques extérieures. La méthode de calcul des besoins de chauffage et / ou de refroidissement dus à l'enveloppe du bâtiment était basée sur les équations développées dans le chapitre 2. Les sources de déperditions thermiques sont illustrées par la figure 5.4.

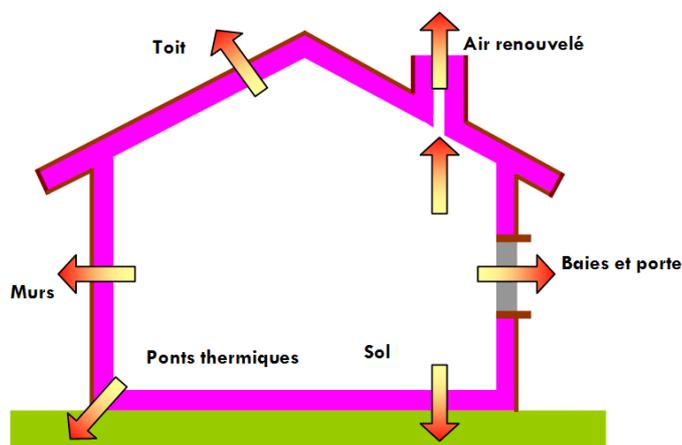


Figure 5.4 : Sources de déperditions thermiques dans une construction.

Le tableau 5.2 indique la part des déperditions thermiques conformément aux résultats obtenus en fonction des cas présentés.

Tableau 5.2: Sources et pourcentages des différentes déperditions thermiques.

	Toit	Murs	Sol	Portes et fenêtres	Ponts thermiques	Ventilation
Maison perméable à	29.60 %	28.00 %	10.68 %	8.03 %	5.54 %	18.16 %

l'air						
Maison parfaitement étanche	36.17 %	34.21 %	13.05 %	9.82 %	6.76 %	0 %
Maison plus compacte	34.55 %	16.28 %	12.46 %	9.38 %	6.46 %	20.87 %

Les calculs confirment que pour une maison parfaitement étanche, le toit, les murs extérieurs et le sol sont les principales sources de chaleur, ils représentent 83.43% des pertes totales. Pour les premier et troisième cas, ces pertes thermiques représentent respectivement 68.28% et 63.29% des pertes totales. Conformément à ces résultats et certains travaux de recherche publiés, il est conclu que la méthode optimale de réduire les besoins énergétiques est d'améliorer l'isolation thermique extérieure de l'enveloppe du bâtiment.

Les Labels peuvent être utiles pour attester ou certifier l'efficacité énergétique des bâtiments. Les architectes et les spécialistes de l'environnement ont pu utiliser des expériences réelles pour illustrer les systèmes d'étiquetage des bâtiments. Ces études actuelles donnent une bonne idée sur l'état actuel de la consommation d'énergie et des besoins du confort, et des évaluations subjectives en utilisant le modèle de bilan énergétique développé au chapitre 2. Les paramètres d'entrée sélectionnés sont les suivants:

T_{comf} : température du confort sera calculée à partir de l'équation 2 du chapitre 2,
 $C_d=1.30$: facteur multiplicatif des débits d'hygiène visant à prendre en compte les contraintes de dimensionnement de l'installation de ventilation et la dispersion des caractéristiques de composants.

$C_{fr}=0.833$, coefficient de fuite du réseau en basse pression (< 20 Pa)

$C_p=150$, chaleur dégagée par occupant (W/occupant)

$T_{\text{ECS}}=50$, température de l'eau chaude au point de soutirage

$q_{v\text{condext}}= 0$, débit d'air extrait par les conduits à tirage naturel

$Nb_{\text{occ}}=4$, nombre de personnes occupant le logement

$D_{\text{pres/day}}=14$ durée de présence par jour (h/jour)

Le tableau 5.3 donne en chiffres les besoins mensuels de chauffage et / ou de refroidissement requis correspondant à l'année 2016. Les quantités énergétiques calculées sont utilisées pour assurer un confort permanent dans toutes les zones de la maison. Les résultats affichés concernent le premier cas qui correspond à celui d'un bâtiment perméable à l'air.

Tableau 5.3 : Besoins énergétiques mensuels et annuels requis pour maintenir une température fixe à T_{Conf} .

	T_{ext} (°C)	T_{Conf} (°C)	T_{CW} (°C)	Dj	$Q_{enveloppe}$ (KWh)	Gains internes (KWh)		Q_{DHW} (KWh)	$Q_{Elec.consom}$ (KWh)	Q_{Tot} (KWh)
						Q_{occup}	Q_{Elec}			
Janvier	13.9323	22.1190	09.00	253.7881	5562.5123	-260.4000	-111.0420	295.5838	73.0282	5559.6823
Février	14.7552	22.3741	09.00	213.3301	4673.7408	-235.2000	-100.2960	266.9789	65.9610	4671.1847
Mars	17.1516	23.1170	11.50	184.9270	4045.0010	-260.4000	-111.0420	277.5604	73.0282	4024.14763
Avril	22.7367	24.8484	13.20	63.3510	1377.8004	-252.0000	-107.4600	256.7462	70.6725	1345.7591
Mai	27.2742	26.2550	15.80	31.5950	686.4674	260.4000	111.0420	246.5601	73.0282	1377.4977
Juin	31.8233	27.6652	18.50	124.7430	2741.4734	252.0000	107.4600	219.7692	70.6725	3391.3751
Juillet	34.3759	28.4565	19.30	183.4997	4061.7248	260.4000	111.0420	221.3273	73.0282	4727.5224
Août	32.9968	28.0290	19.10	154.0010	3395.4059	260.4000	111.0420	222.7692	73.0282	4062.6453
Septembre	29.4333	26.9243	18.00	75.2700	1643.9481	252.0000	107.4600	223.2576	70.6725	2297.3382
Octobre	24.9839	25.5450	15.80	17.3950	377.1474	-260.4000	-111.0420	246.5601	73.0282	325.2937
Novembre	16.5433	22.9284	12.30	191.553	4191.8385	-252.0000	-107.4600	263.0254	70.6725	4166.0764
Décembre	12,3000	21.6130	09.00	288.7030	6332.0606	-260.4000	-111.0420	295.5838	73.0282	6329.2306
Total (KWh)					39089.1206	-495.6000	-211.3380	3035.7220	859.8484	42277.7530

La maison étudiée est une construction à forte consommation énergétique, la demande globale était de 441,2666 kWh/m²/an. Dans ces circonstances difficiles, une intégration efficace de certaines solutions constructives solaires passives apparaît comme une démarche obligatoire. On remarque que la consommation totale qui maintient une température à T_{Conf} dans toutes les zones y compris la cuisine, la salle de bain, les toilettes et le hall, sans aucune rupture est estimée à 42277.7530 kWh. Toutefois, conformément à cette température retenue, l'estimation financière pour l'ensemble du volume habitable est de 274086,3532 DA. Une simple lecture montre que la facture d'électricité est très élevée et pèse lourdement sur le budget des citoyens. Les principales raisons de cette consommation élevée sont sans doute liées à l'absence d'isolation thermique.

Le label énergie nous a conduits à attribuer une nouvelle étiquette énergétique en intégrant une isolation au sol (4 cm) et sur les surfaces extérieures (8 cm). Les histogrammes mensuels sont tracés sur la figure 5.5 pour évaluer les besoins en énergie pour le chauffage et le refroidissement dans les deux cas (avec et sans isolation thermique). La conductivité thermique de ce matériau isolant (polystyrène) est de 0,04 W/m/K.

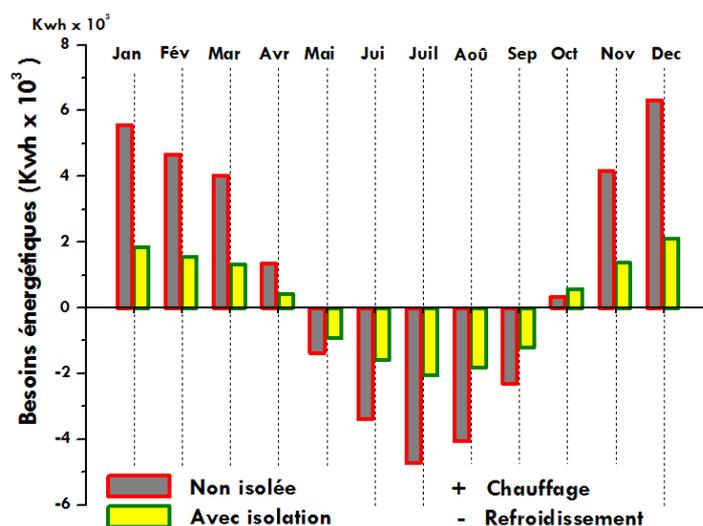


Figure 5.5 : Besoins énergétiques mensuels (sans et avec isolation thermique) en 2016 ; la température est maintenue constante à T_{Conf}.

Les valeurs calculées prouvent que la consommation totale d'énergie devient 16743.6783 KWh par an, ce qui équivalant à 174.7592 KWh/m²/an. La facture énergétique résultante correspond à un taux de réduction de 61.3702 % par rapport à la facture initiale globale.

Cependant, pour étudier l'influence des gains solaires sur l'efficacité énergétique de cette construction bâtie, il a fallu avoir les données mesurées de l'irradiation solaire journalière. A cause de cette contrainte, nous allons adopter une démarche approximative basée sur l'estimation du taux de couverture nuageuse calculé en connaissant les valeurs mesurées des irradiances solaires horizontales. Les moyennes mensuelles réelles de la durée d'ensoleillement seront exprimées en pourcentage et par rapport à la durée d'ensoleillement théorique pendant tout le mois pour un ciel totalement dégagé. Ainsi, en déterminant la durée moyenne d'ensoleillement journalier pour chaque mois, il est possible d'estimer les valeurs approximatives d'irradiation solaire interceptées sur le plan vertical Sud en convertissant les valeurs d'irradiation solaire incidentes sur le plan vertical sud pour un ciel totalement dégagé [28]. Toutes les valeurs seront enregistrées sur le tableau 5.4.

Tableau 5.4 : Valeurs moyennes mensuelles des gains solaires journaliers Q_{Solaire} par unité de surface (KWh/m²).

	Valeurs mesurées sur l'horizontal	Valeurs calculées pour un ciel clair horizontal	100 - Taux de couverture nuageuse calculé (%)	Valeurs calculées pour un ciel clair vertical Sud	Valeurs calculées pour un ciel avec passages nuageux, vertical Sud
Janvier	3.796	3.957	95.931	6.764	6.489
Février	4.557	4.860	93.765	6.576	6.166
Mars	6.124	6.327	96.791	5.492	5.316
Avril	6.703	7.181	93.343	3.929	3.667
Mai	7.208	7.774	92.719	2.695	2.499
Juin	7.749	7.978	97.130	2.153	2.091
Juillet	7.483	7.748	96.580	2.350	2.270
Aout	6.904	7.116	97.021	3.198	3.103
Septembre	5.672	6.239	90.912	4.470	4.064
Octobre	4.816	5.002	96.281	5.649	5.439
Novembre	3.838	4.022	95.425	6.313	6.024
Décembre	3.064	3.466	88.402	6.478	5.727

On remarque que la couverture nuageuse pour l'année 2016 est assez faible; sa valeur pendant cinq mois (janvier, février, mars, novembre et décembre) est estimée à 5.9372%. Elle est légèrement proche de la valeur annuelle de 5.475%. Ces résultats obtenus peuvent être considérés comme preuve vis-à-vis la disponibilité de l'intensité solaire durant cette période froide. Le tableau 5.5 donne par calcul un état récapitulatif des charges énergétiques et financières pour

répondre aux besoins énergétiques mensuels et annuels de ce logement. L'isolation de l'enveloppe du bâtiment aura une importance significative; deux cas seront considérés: une maison avec une consommation énergétique élevée et une maison familiale qui utilise l'énergie solaire pour assurer un chauffage passif entre novembre et mars. Les valeurs indiquées dans le tableau ne donnent pas l'effet des gains solaires du mois d'avril au mois d'octobre. Les effets financiers seront également d'une importance primordiale dans cette étude. La surface vitrée ($S = 1,2 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$) représente presque toute la surface de la fenêtre.

Tableau 5.5 : Consommation énergétique mensuelle requise pour maintenir une température fixe de T_{Conf} ; les gains solaires et l'isolation thermique ont été pris en compte

	Sans isolation thermique				Avec isolation thermique			
	Q_{Needs} (KWh)		Factures d'énergie (DZD)		Q_{Needs} (KWh)		Factures d'énergie (DZD)	
	Sans gains solaires	Avec gains solaires						
Janvier	5559.6823	5256.88	36 252.51	34 259.23	1850.8970	1548.09	11 827.65	9 832.20
Février	4671.1847	4411.28	30 399.76	28 689.88	1554.1782	1294.29	9 871.66	8 161.45
Mars	4024.1476	3776.08	26 138.85	24 505.38	1323.5149	1075.45	8 352.55	6 719.07
Avril	1345.7591	1345.75	8 499.51	8 499.51	421.6799	421.67	2 414.03	2 414.030
Mai	1377.4977	1377.49	8 708.00	8 708.00	916.7900	916.79	5 674.12	5 674.123
Juin	3391.3751	3391.37	21 972.07	21 972.07	1570.6563	1570.65	9 981.34	9 981.343
Juillet	4727.5224	4727.52	30 773.27	30 773.27	2047.7760	2047.77	13 089.06	13 089.06
Aout	4062.6453	4062.64	26 393.3	26 393.32	1814.3378	1814.33	11 586.22	11 586.22
Septembre	2297.3382	2297.33	14 767.07	14 767.07	1199.2678	1199.26	7 535.64	7 535.646
Octobre	325.2937	325.293	1 786.22	1 786.22	567.5005	567.50	3 373.55	3 373.550
Novembre	4166.0764	3894.05	27 074.13	25 282.49	1368.3230	1096.28	8 648.65	6 857.346
Décembre	6329.2306	6061.98	41 321.62	39 561.08	2108.7569	1841.51	13 524.49	11 763.95
Total annuel	42277.7531	40927.737	274086.35	265 197.54	16743.67	15393.65	105878.98	96094.17

Les résultats indiquent que le chauffage passif saisonnier réduira les besoins énergétiques annuels et les coûts annuels jusqu'à 3.1932% et 3.2431% respectivement. Au cours des cinq derniers mois, cette amélioration énergétique correspond à une minimisation des besoins énergétiques et à des factures d'électricité qui s'élèvent respectivement à 5.4454% et 5.5146%. Dans le cas d'une habitation bien isolée, les gains solaires gratuits réduiront les besoins énergétiques annuels et les factures jusqu'à 8.0629% et 9.2415% respectivement. Ceci est équivalent à une réduction des besoins en énergie et des factures

d'électricité estimée respectivement à 16.4523% et 17.0244%, pour les cinq mois précédents.

6. Conclusion

Une maison dite passive est une maison qui doit réduire environ 80% de ses coûts énergétiques de chauffage et de refroidissement par rapport à une maison neuve construite selon les normes allemandes. Dans cette contribution, il est prouvé que les murs de façades, le toit et le sol sont les principales sources de déperditions thermiques. La contribution des gains solaires d'hiver pour le chauffage des locaux intérieurs sera donc recommandée. La chaleur produite par les rayons du soleil constitue une part remarquable et importante. Une maison passive est une maison avec une architecture simple mais efficace, elle devrait idéalement faire face au Sud pour stocker suffisamment d'énergie solaire pendant la journée.

Sur le sol, un taux de couverture solaire allant jusqu'à 75% peut entraîner une hausse de température de plus de 4 °C. Dans certaines études, les résultats obtenus montrent que la réduction de la température à un fort impact sur les besoins énergétiques, l'augmentation de la température de 1 °C entraîne une économie d'énergie de 15.0739 %. Un meilleur couplage entre les gains solaires d'hiver et l'isolation thermique efficace fournit des fluctuations de température stables, et améliore le confort intérieur.

Dans ce cas la consommation de cette construction est de 441.2666 kWh/m²/an. Les principales raisons de cette consommation élevée sont sans doute liées à l'absence d'une isolation thermique efficace. Son intégration peut être considérée comme une solution efficace et fiable, les charges énergétiques totales deviennent 174.7592 kWh/m²/an, ce qui correspond à une diminution de l'ordre de 60.3960%. Dans ce climat saharien, le chauffage solaire passif ne représente environ que 8,0629 % de l'approvisionnement énergétique au profit de ce bâtiment résidentiel.

Avant de s'engager à construire un bâtiment, il est possible d'attribuer d'abord un label énergétique tout en fournissant des paramètres, des scénarios d'occupation, du style de vie et de toutes les données nécessaires. En intégrant certaines mesures passives, telles que l'isolation thermique et le chauffage solaire

passif, ce type de construction peuvent rejoindre les bâtiments ayant un label énergétique de type D 160,6685 KWh/m²/ an.

Références

1. N. Lajimi, N. Boukadida, Numerical study of the thermal behavior of bi-zone buildings, *Comptes Rendus Phys.*, vol. 16, n° 8, pp. 708–720, 2015.
2. J. Z. Piotrowski, A. Stroy, M. Olenets, Mathematical modelling of the steady state heat transfer processes in the convectional elements of passive solar heating systems, *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 13, n° 3, pp. 394–400, 2013.
3. I. Jaffal, C. Inard, E. Bozonnet, Toward integrated building design: A parametric method for evaluating heating demand, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 40, pp. 267–274, 2012.
4. S. Tsoutsou, C. Infante Ferreira, J. Krieg, M. Ezzahiri, Building integration of concentrating solar systems for heating applications, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 70, n° 1, pp. 647–654, 2014.
5. H. Y. Chan, S. B. Riffat, J. Zhu, Review of passive solar heating and cooling technologies, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, n° 2, pp. 781–789, 2010.
6. A. H. Mosaffa, C. A. Infante Ferreira, M. A. Rosen, F. Talati, Thermal performance optimization of free cooling systems using enhanced latent heat thermal storage unit, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 59, n° 1–2, pp. 473–479, 2013.
7. L. A. Chidambaram, A. S. Ramana, G. Kamaraj, R. Velraj, Review of solar cooling methods and thermal storage options, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, n° 6, pp. 3220–3228, 2011.
8. W. Xiao, X. Wang, Y. Zhang, Analytical optimization of interior PCM for energy storage in a lightweight passive solar room, *Appl. Energy*, vol. 86, n° 10, pp. 2013–2018, 2009.
9. M. Esen, A. Durmuş, A. Durmuş, Geometric design of solar-aided latent heat store depending on various parameters and phase change materials, *Sol. Energy*, vol. 62, n° 1, pp. 19–28, 1998.
10. H. Yan, L. Yang, W. Zheng, D. Li, Influence of outdoor temperature on the indoor environment and thermal adaptation in Chinese residential buildings during the heating season, *Energy Build.*, vol. 116, pp. 133–140, 2016.
11. E. Kossecka, J. Kosny, Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building, *Energy Build.*, vol. 34, n° 4, pp. 321–331, 2002.
12. X. Lü, T. Lu, C. J. Kibert, M. Viljanen, Modeling and forecasting energy consumption for heterogeneous buildings using a physical-statistical approach, *Appl. Energy*, vol. 144, pp. 261–275, 2015.

13. T. Babaei, H. Abdi, C. P. Lim, S. Nahavandi, A study and a directory of energy consumption data sets of buildings, *Energy Build.*, vol. 94, pp. 91–99, 2015.
14. Z. Fang, N. Li, B. Li, G. Luo, Y. Huang, The effect of building envelope insulation on cooling energy consumption in summer, *Energy Build.*, vol. 77, pp. 197–205, 2014.
15. S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, M. K. Cherier, M. Hamdani, N. Benamrane, M. R. Yaiche, Thermal resistances of local building materials and their effect upon the interior temperatures case of a building located in Ghardaïa region, *Constr. Build. Mater.*, vol. 52, pp. 59–70, 2014.
16. S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, M. K. Cherier, M. R. Yaiche, N. Benamrane, Modelling and experiment of buildings thermo-aeraulic behavior according to the level-compactness in Saharan climate conditions, *Eng. Struct. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 117–130, 2016.
17. K. Gairaa, Y. Bakelli, An overview of global solar radiation measurements in Ghardaïa area, south Algeria,” *Int. J. Energy Environ*, vol. 2, no. 2, pp. 255–260, 2011.
18. S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, M. K. Cherier, M. R. Yaiche, N. Benamrane, Diagnosis and comprehensive quantification of energy needs for existing residential buildings under Sahara weather conditions, *Adv. Build. Energy Res.*, vol. 11, no. 1, pp. 37–51, 2017.
19. S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, M. K. Cherier, M. R. Yaiche, N. Benamrane, Judicious choice of the building compactness to improve thermo-aeraulic comfort in hot climate, *J. Build. Eng.*, vol. 1, pp. 42–52, 2015.
20. M. Hamdani, S. M. E. A. Bekkouche, T. Benouaz, M. K. Cherier, A new modelling approach of a multizone building to assess the influence of building orientation in Saharan climate, *Therm. Sci.*, vol. 19, pp. S591–S601, 2015.
21. P. Rumianowski, J. Brau, and J. J. Roux, An adapted model for simulation of the interaction between a wall and the building heating system, *Proc. Therm. Perform. Exter. Envel. Build.* IV, no. 1, pp. 224–233, 1989.
22. M.K. Cherier, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, N. Benamrane, O. Halloufi, Studies and Choice of Local Building Materials for Improving Interior Temperatures of a Building Located in Ghardaia Region, in 13th SGEM GeoConference on Energy And Clean Technologies, 2013, no. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2013, pp. 235–242.
23. S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, M. K. Cherier, M. Hamdani, M. R. Yaiche, and N. Benamrane, Influence of the compactness index to increase the internal temperature of a building in Saharan climate, *Energy Build.*, vol. 66, pp. 678–687, 2013.
24. R. Kharchi, B. Benyoucef, and M. Belhamel, Influence of passive solar gains on the energy consumption of a typical house in Algiers, vol. 14, pp. 417–425, 2011.

25. JORF, NOR ETLL1234842A. (2012). Méthode 3CL-DPE. V1(3), Office des. Algérie: Office des Publications Universitaires, 1987.
26. S. Belgherras, S. M. A. Bekkouche, T. benouaz, N. Benamrane, Prospective analysis of the energy efficiency in a farm studio under Saharan weather conditions, *Energy Build.*, vol. 145, pp. 342–353, 2017.
27. N. Adra, Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2001.
28. M. A. C. Haddam, Application de quelques notions de la conception bioclimatique pour l'amélioration de la température interne d'un habitat, Université Abou Bakr Belkaïd – Tlemcen, 2015.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ces travaux, il est prouvé qu'une importante demande énergétique due au chauffage et au refroidissement des espaces à conditionner est requise pour maintenir un confort thermique acceptable. En Algérie comme dans un certain nombre de pays, et suite à ces circonstances, le comportement des individus anticipe le changement climatique - y compris le recours croissant à la climatisation - et augmente encore les besoins énergétiques et les émissions des gaz à effet de serre. Il est devenu donc inévitable de revoir la situation énergétique actuelle et de penser sérieusement à trouver des solutions qui peuvent contourner cette conjoncture. La conception passive se montre l'une des solutions les plus prometteuses dans ce contexte.

La conception passive maximise l'utilisation de ressources "naturelles" de chauffage, de refroidissement et de ventilation pour créer des conditions confortables à l'intérieur des bâtiments en mettant à profit les conditions climatiques existantes. Elle exploite les conditions environnementales telles que le rayonnement solaire, l'air frais de nuit et les différences de pression d'air pour adapter l'environnement interne.

Les travaux effectués dans cette thèse ont fait le point sur quelques techniques de conception passive qui peuvent être appliquées dans un climat sec et aride. Le but primordial était de prédire l'influence de ces concepts architecturaux et de prouver l'importance de l'aspect passif et sa capacité à réduire la demande énergétique d'un bâtiment, tout en assurant un confort thermique intérieur satisfaisant. A cet égard, nous avons formulé des problèmes physiques basés sur des modèles mathématiques validés et publiés. Les résultats ont été effectués en utilisant aussi un couplage entre certains codes de simulation (GOOGLE SketchUp et EnergyPlus), permettant d'étudier le transfert de chaleur à l'intérieur d'un espace mono ou multizone.

A travers une étude d'isolation thermique et de compacité, il a été constaté que :

- L'enveloppe est la source principale des déperditions thermiques dans un bâtiment. Cette situation pèse lourd sur le budget de l'état. Faire recours à une isolation thermique appropriée devient donc une nécessité.

- Une meilleure compacité engendre une réduction énergétique qui peut atteindre 7.76 % si l'édifice n'est pas isolé, cette valeur peut s'élever jusqu'à 19.00 % si la construction est bien isolée.
- En prolongeant l'intervalle du confort durant toute l'année (à l'exception des intersaisons) par 1 °C, une économie en énergie de l'ordre de 15.3983 % peut être épargnée.

Cependant, le choix pertinent d'un matériau de construction disponible et adapté au climat local a été le sujet du troisième chapitre. A l'aide de l'outil de simulation EnergyPlus, il a été confirmé que :

- Le matériau de construction le plus adéquat en termes de confort thermique est la brique de 30 cm d'épaisseur.
- L'isolation de l'enveloppe est une exigence, du moment qu'elle influe considérablement sur les températures intérieures, et permet de réduire de manière remarquable les fluctuations en température. Elle s'est avérée plus rentable durant la période de chauffage.

Le phénomène de ventilation est un concept qui ne peut être omis lors de la conception passive. Le quatrième chapitre a été consacré à l'étude de ce dernier. Même en présence de la ventilation, l'isolation thermique est de nouveau requise pour éviter les déperditions énergétiques. Comme solution, la ventilation peut être envisagée mais en considérant les débits de ventilation, le type du bâtiment ventilé, son usage et sa surface.

Le dernier chapitre a été dédié à analyser l'incidence des gains solaires sur, à la fois le confort thermique et les besoins énergétiques d'un habitat. Les résultats ont permis de conclure que :

- Un meilleur couplage entre les gains solaires d'hiver et une isolation thermique efficace résulte une meilleure stabilité des fluctuations des températures et améliore le confort intérieur.
- Dans ce climat Saharien, le chauffage solaire passif ne représente environ que 8,0629 % de l'approvisionnement énergétique au profit du bâtiment résidentiel mise en question.

Par ailleurs, avant de s'engager à construire un bâtiment, il est possible d'attribuer d'abord un label énergétique tout en fournissant les paramètres, les scénarios d'occupation, le style de vie et toutes les données nécessaires. En intégrant certaines mesures passives, telles que l'isolation thermique et le chauffage solaire

passif, le type de construction étudié peut rejoindre les bâtiments ayant un label énergétique de type D : 160.6685 KWh/m²/ an.

Enfin, nous espérons dans un prochain avenir étendre nos connaissances dans le domaine de la conception passive, et participer à développer des recherches plus avancées en abordant d'autres techniques passives. Ces recherches peuvent être intéressantes, sur le plan énergétique, économique et même sur le plan environnemental.

Nous souhaitons enfin, que ce travail puisse contribuer à sensibiliser davantage les étudiants sur l'intérêt de ce thème, et que notre modeste thèse trouvera sa place dans les laboratoires de notre université.

Production Scientifique

Production Scientifique

Publications Nationales et Internationales

- [01] : **M.K. Cherier**, T. Benouaz, S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani, ome solar passive concepts in habitat through natural ventilation case study: Dry climate in Algeria Ghardaia, Case Studies in Thermal Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.02.002>.
- [02] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Belarbi, **M.K. Cherier**, Study of Natural Ventilation Through Openings on Buildings Under Saharan Climatic Conditions, paper Code: 60605, International Journal of Applied Environmental Sciences, (IJAES) , ISSN 0973-6077 Volume 13, Number 1 (2018), pp. 39-57© Research India Publications <http://www.ripublication.com>
- [03] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Belarbi, **M.K. Cherier**, Interior Insulation of Walls Exposed by Polystyrene in South Algeria , Indian Journal of Science and Technology (INDJST,Vol11(7),DOI: 10.17485/ijst/2018/v11i07/120903,February 2018 ISSN (Print): 0974-6846 ISSN (Online): 0974-5645.
- [04] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Belarbi, **M.K. Cherier**, The Study Natural Ventilation by Using Buildings Windows: Case Study in a Hot Dry Climate, Ghardaia, Algeria, Energy Procedia, Volume 139, December 2017, Pages 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.240>
- [05] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, **M.K. Cherier**, T. Benouaz, R. Belarbi, Study on effects of window with an external shutters for natural ventilation for buildings in hot climates, Published in: Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2016 International IEEE Xplore: 20 July 2017. DOI: 10.1109/IRSEC.2016.7983905_
- [06] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Diagnosis and comprehensive quantification of energy needs for existing residential buildings under Sahara weather conditions, Advances in Building Energy Research, Volume 11, 2017 - Issue 1, pages: 37-51. DOI:10.1080/17512549.2015.1119059.
- [07] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Modelling and experiment of buildings thermo-aeraulic behaviour according to the level-compactness in Saharan climate conditions, Engineering Structures and Technologies, Taylor & Francis, 2016 8(3): 117–130, doi:10.3846/2029882X.2016.1211492.
- [08] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Kaoulal , M. Hamdani , **M. K. Cherier**, Improvement of thermo-aeraulic comfort with integrated solar wall system under Saharan climate, Renew. Energy Environ. Sustain. 1, 9 (2016) 2016DOI: 10.1051/rees/2016009.
- [09] : M.A.C. Haddam, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M. K. Cherier**, N. Benamran, Integration of eaves and shading devices for improving the thermal comfort in a multi-zone building, Thermal Science, Year 2015, Vol. 19, Suppl. 2, pp. S615-S624, doi: 10.2298/TSCI140422117H
- [10] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, A new modelling approach of a multizone building to assess the influence of building orientation in Saharan climate, Thermal Science, Year 2015, Vol. 19, Suppl. 2, pp. S591-S601, doi: 10.2298/TSCI131217026H
- [11] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Judicious choice of the building compactness to improve thermo-aeraulic comfort in hot climate,

Journal of Building Engineering, 01 (2015) 42–52 Elsevier, 2015

- [12] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, **M.K. Cherier**, N. Benamrane, T. Benouaz, Orientation of buildings: predictive control based on the calculation of temperature and solar direct contribution, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy* Vol. 55 (2015) pp 96-103, © (2015) SciPress Ltd., Switzerland doi:10.18052/www.scipress.com/ILCPA.55.96
- [13] : M. Hamdani, S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Belarbi, **M. K. Cherier**, Minimization of indoor temperatures and total solar insolation by optimizing the building orientation in hot climate, *Engineering Structures And Technologies*, Taylor & Francis: ISSN 2029-882X / eISSN 2029-8838 2014 6(3): 131–149, doi:10.3846/2029882X.2012.988756
- [14] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, N. Benamrane, M.R. Yaiche, Thermal resistances of local building materials and their effect upon the interior temperatures case of a building located in Ghardaïa region, *Construction and Building Materials* 52 (2014) 59–70
- [15] : S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, **M. K. Cherier**, M. Hamdani, M. R. Yaiche et N Benamrane, Influence of the Compactness Index to Increase the Internal Temperature of a Building in Saharan Climate, Elsevier, *Energy and Buildings* vol 66 (2013) pp. 678–687
- [16] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Thermal resistances of air in cavity walls and their effect upon the thermal insulation performance, *International Journal of Energy and Environment*, Volume 4, Issue 3, 2013 pp. 459-466
- [17] : **M.K. Cherier**, T. Benouaz, S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani, N. Benamrane, Improving of interior temperatures by reinforced thermal insulation of the building envelope in Ghardaïa climate, *Revue Internationale d'Héliotechnique* N° 45 (2013) 1-7
- [18] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R. Yaiche, R. Khanniche, Influence of building orientation on internal temperature in Saharan climates, building located in Ghardaïa region (Algeria), *International Scientific Journal, Thermal Science*, 2013, Vol. 17, No. 2, pp. 349-364
- [19] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, N. Benamrane, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, Practical installation methods of thermal insulation in a residential building in hot climate, Published in POWERENG2013 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 13 - 17 May 2013, Istanbul, Turkey. Page(s): 1050 – 1059 ISSN: 2155-5516, DOI [10.1109/PowerEng.2013.6635756](https://doi.org/10.1109/PowerEng.2013.6635756)
- [20] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, N. Benamrane, O. Halloufi, Effect of orientation of buildings with different materials in distribution of temperatures in walls thickness, 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013, June 16-22, 2013, 91 - 98 pp, Albena, Bulgaria. SGEM Scientific Papers DataBase -Renewable Energy Sources and Clean Technologies, DOI:10.5593/SGEM2013/BD4/S17.012
- [21] : **M.K. Cherier**, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, N. Benamrane, O. Halloufi, Studies and choice of local building materials for Improving interior temperatures of a building located in Ghardaïa region, 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013, June 16-22, 2013, 235 - 242 pp. Albena, Bulgaria. SGEM Scientific Papers DataBase -Renewable Energy Sources and Clean Technologies. DOI:10.5593/SGEM2013/BD4/S17.030
- [22] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R. Yaiche, N Benamrane, L'apport de l'émissivité thermique, cas d'un mur type opaque muni de cavités d'air, *Revue des*

- [23] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, Study and effect of orientation two rooms of buildings located in Ghardaïa, Algeria, Energy Procedia Vol 18, pp 636–642, 2012, doi: 10.1016/ S1876-6102 (12) 00986-1
- [24] : **M.K. Cherier**, T. Benouaz, S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani, N. Benamrane, Improving of Interior Temperatures by Reinforced Thermal Insulation of the Building Envelope in Ghardaïa Climate, Physics Procedia 00 (2011) 000–000.
- [25] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R. Yaïche, N. Benamrane, Thermal resistances of air in cavity walls and their effect upon the thermal insulation performance, Physics Procedia 00 (2011) 000–000
- [26] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.R. Yaïche, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, F. Chellali, Introduction to control of solar gain and internal temperatures by thermal insulation, proper orientation and eaves, Elsevier, Energy and Buildings vol.43 (2011) pp. 2414–2421
- [27] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, Etude et modélisation du potentiel solaire adéquat pour l'estimation des éclaircissements incidents à Ghardaïa, Revue Internationale d'Héliotechnique N° 43 (2011) 8-13
- [28] : S.M.A. Bekkouche , T. Benouaz , **M.K. Cherier** , M. Hamdani , M.R. Yaïche and N. Benamran , Improving of Interior Temperatures by Controlling the Solar Gain and Reinforced Thermal Insulation of the Building Envelope in Ghardaïa Climate, IJACE International Journal of Advanced Computer Engineering, June 2009, Volume 2, issue 1.

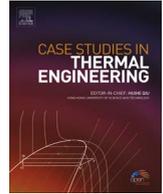
Communications Nationales et Internationales

- [01] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Belarbi and **M.K. Cherier** « Parametric simulations to evaluate the necessary thickness of the massive layer in the soil of building ». The 2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development (SEED'17), du 14 au 17 Novembre 2017, Cracovie, Pologne.
- [02] : **M.K. Cherier**, T. Benouaz, S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani, R. Djeflal, « Improvement Temperatures of a Studio Apartment Through Judicious Choice of Materials and Eco building Materials Under an Arid Climate - Case Study Ghardaïa ». The 2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development (SEED'17), du 14 au 17 Novembre 2017, Cracovie, Pologne.
- [03] : S.M.A. Bekkouche, N. Benamrane, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, T. Benouaz, S. Belgherras, S. Bendara, H. Kadraoui, 5eme International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC'17), Application of some Solar Passive Concepts to Create More Energy Efficient Studio Apartment, 04 -07 Decembre 2017, Tanger, Maroc.
- [04] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Belarbi, **M.K. Cherier** , The study of natural ventilation by using buildings windows: case study in a hot dry climate, Ghardaïa, Algeria, ICOME'16 International Conference on Materials and Energy La Rochelle, France on Mai, 17-20, 2016.
- [05] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, R. Belarbi and **M.K. Cherier**, Study on Effects of Window with an external shutters For Natural Ventilation for Buildings in Hot Climates, IRSEC'16, 4th Edition of the International Renewable and Sustainable Energy Conference,

Novembre 14 au 17, 2016 à Marrakech, Morocco.

- [06] : **M.K. Cherier**, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, L'influence de l'emplacement des MCP au sein des parois sur les températures intérieures, Cas d'une maison multizone à faible compacité, Séminaire National sur les Systèmes Énergétiques Hybrides Ghardaïa les 29 - 30 Novembre 2015.
- [07] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, N. Benamrane, Thermo-aéraulique des bâtiments multizones : solutions proposées et calcul prévisionnel de la consommation énergétique, Séminaire National sur les Systèmes Énergétiques Hybrides Ghardaïa les 29 - 30 Novembre 2015
- [08] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Prediction of the compactness for different heights of walls, International Conference on Nuclear and Renewable Energy Resources, Antalya, TURKEY, 26-29 Oct. 2014
- [09] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, M.R Yaiche, N. Benamrane, Modélisation thermo-aéraulique d'une habitation multizone & Apport de l'indice de compacité par rapport au mode de contact en milieu désertique, Troisième Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables, SIENR14 - Ghardaïa. 13 - 14 Octobre 2014
- [10] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, N. Benamrane, Orientation des bâtiments : contrôle prédictif base sur les calculs des temperatures et des apports solaires directes, World Symposium Mechatronics Engineering & Applied Physics WSMEAP'2014, June 18-20, 2014, Sousse, Tunisie
- [11] : **M.K. Cherier**, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, R. Djeflal, N. Benamrane, Contribution à l'amélioration du confort thermique des bâtiments par une simulation spécifique aux matériaux a changement de phase, au World Symposium Mechatronics Engineering & Applied Physics WSMEAP'2014, June 18-20, 2014, Sousse, Tunisie
- [12] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Thermo-aeraulique d'une Habitation Multizone & Apport des Avant-toits en Milieu Saharien, 1^{er} Colloque International CBE 2014 sur le thème : Vers Un Cadre Bâti Soutenable Dans Le Contexte Méditerranéen, Du 27 au 29 Mai 2014 à Jijel, Algérie
- [13] : R. Djeflal, S.M.A. Bekkouche, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, B. Tidjar, M. Samai, L'influence de l'humidité relative, des températures et des débits massiques entrants sur les bilans sensible et latent d'une construction multi-zone, 1^{er} Colloque International CBE 2014 sur le thème: Vers Un Cadre Bâti Soutenable Dans Le Contexte Méditerranéen, Du 27 au 29 Mai 2014 à Jijel, Algérie
- [14] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R. Yaiche, N. Benamrane, A new modelling approach of a multizone building, influence of the compactness index in hot climate, 16^{èmes} Journées Internationales de Thermique JITH 2013, du 13 au 15 Novembre 2013, Marrakech Maroc
- [15] : S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Thermo-aeraulic studies of a multizone building & influence of the compactness index, Energy Technologies Conference, ENTECH '13, December 26 - 28, 2013 Turkey
- [16] : M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, O.Halloufi, Comparative study of solar irradiance and control of the direct solar gain in Ghardaia region, Energy Technologies Conference, ENTECH '13, December 26 - 28, 2013 Turkey

- [17]: M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, Experimental study of the isolation and orientation of a habitat in stones located in hot dry regions, Proceedings of the International Conference on Solar energy for MENA region (INCOSOL), Amman, Jordan, 22-23 October 2012 Paper Number: INCOSOL 14
- [18]: M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, N. Benamrane, Effet de l'orientation d'une habitation en brique creuse sur les températures intérieures, Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012
- [19]: M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, An investigation into the thermal performance of housing in the hot dry climate of Algeria, 2nd International Scientific Conference on Engineering Manufacturing and Advanced Technologies, MAT 2012, Antalya Turkey, 22-24 November 2012
- [20]: S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier** et M.R Yaiche, Passive house solutions for improving interior temperatures of a building located in Ghardaïa region, 15^{èmes} Journées Internationales de Thermique, Tlemcen les 24, 25 et 26 Septembre 2011
- [21]: **M.K. Cherier**, T. Benouaz, S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani, Etude des performances thermiques d'un mur trombe, 15^{èmes} Journées Internationales de Thermique, Tlemcen les 24, 25 et 26 Septembre 2011
- [22]: S. M. A. Bekkouche, T. Benouaz, M.R Yaiche, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, L'Influence de l'orientation sur les apports solaires d'un habitat situe dans la région de l'atlas Saharien ", Premier Séminaire National sur l'Habitat Traditionnel dans la Région de l'Atlas Saharien Laghouat les 24 et 25 Avril 2011
- [23]: M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.R Yaiche, **M.K. Cherier**, L'Influence de l'orientation sur la température intérieure d'un bâtiment en pierre lourde situe à Ghardaïa, Premier Séminaire National sur l'Habitat Traditionnel dans la Région de l'Atlas Saharien Laghouat les 24 et 25 Avril 2011
- [24]: S.M.A Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, **M.K. Cherier**, S. Kherrou, Effet de l'orientation sur la température intérieure d'un habitat en pierre situe à Ghardaïa ", Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique, SIGCLE'2010 Constantine 6-7 Décembre 2010
- [25]: S.M.A Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R Yaiche, Choix des matériaux de construction d'un habitat, considérations thermiques et environnementales, Premier Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables SIENR 2010 Ghardaïa, 11-12 Octobre 2010
- [26]: **M.K. Cherier**, A. Cheknane, S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani, Modélisation dynamique de l'isolation thermique par un système à deux variables d'état, Premier Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables SIENR 2010 Ghardaïa, 11-12 Octobre 2010
- [27]: M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, Choix d'un modèle numérique adéquat pour l'estimation des éclaircissements incidents à Ghardaïa, Premier Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables SIENR 2010 Ghardaïa, 11-12 Octobre 2010
- [28]: S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, **M.K. Cherier**, M. Hamdani, M.R Yaiche, Contribution à l'amélioration des températures intérieures des bâtiments, Premier Salon National des Energies Renouvelables, Laghouat les 01 et 02 Juin 2010



Some solar passive concepts in habitat through natural ventilation case study: Dry climate in Algeria Ghardaia



M.K. Cherier^{a,b}, T. Benouaz^b, S.M.A. Bekkouche^a, M. Hamdani^{a,*}

^a *Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaia, Algeria*

^b *University of Tlemcen, BP. 119, Tlemcen R.p. 13000, Algeria*

ARTICLE INFO

Keywords:

Solar passive concepts
Natural ventilation
Temperature
Building
Climate
Windows opening

ABSTRACT

The main objective of this paper is to study the effect of one of the most important negative concepts through natural ventilation as an economical solution and an inexpensive health phenomenon. Ventilation of buildings is a commitment and requires a minimum of flue that must be guaranteed to avoid discomfort. Air leakage in heated space increased incoming flow rates. Therefore, the leakage in the envelope building plays a major role in thermal losses. Loss created by air exchange system. So experts stressed that opening and closing windows provides a way to control the outside air in all cases. Through the daily programming schedule by climate and region, for example Ghardaia. The area of Ghardaia features characteristics of a high temperature zone especially for the months May to October. This period is characterized by climate and is often hot and in our case with habitat to strong thermal inertia of it can generate discomfort. In this case the thermal inertia is not suitable. Therefore, no other solution of ventilation night becomes more important in hot weather.

1. Introduction

Ventilation in a building is a fundamental function, at the same time the importance of good indoor air quality is evident [1]. Natural ventilation occurs in buildings, it realizes the air exchange for the hygienic minimum or even more, protects from moisture damages and can provide good thermal comfort by intensive ventilation [2]. There are also improper practices, especially in the urban areas where congestion through roads and pollution caused by the deterioration of indoor air quality of homes when close to the roads and this is the result of not taking these influences into account. Studies have shown both (Chen and Chao, 2011; Leung, 2015; US EPA, 2014). That the negative practices of natural ventilation may cause deterioration in indoor air quality. Where the study conducted by Zheming Tong showed, we employed a CFD-based air quality model to quantify the impact of traffic-related air pollution on the indoor air quality of a naturally ventilated building. To minimize the problem, we have to understand the relationship between air quality in indoor and outdoor environments, especially for design, effective natural ventilation strategies [3]. The natural ventilation of buildings depends on climate, building design and human behaviour. With natural ventilation the internal building structure is cooled through open windows and/or air vents.

In the literature, numerous research studies have been undertaken on whether to use natural ventilation in buildings, several research works have revealed that natural ventilation solutions of the building have a significant effect on both the thermal performance and of energy consumption cost [4].

* Corresponding author.

E-mail address: hamdanimaamar@uraer.dz (M. Hamdani).

<https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.02.002>

Received 5 November 2017; Received in revised form 14 February 2018; Accepted 17 February 2018

2214-157X/© 2018 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

The circulation of air around buildings is complex and is the subject of many textbooks (Aynsley, Melbourne & Vickery (1977), Liu (1991), for example). Wang et al. [2] justified that heating and ventilation are certainly the key parameters to ensure a pleasant thermal comfort [2].

Yujiao Chen study the impact of climate on natural ventilation for 1854 locations around the world by calculating the NV hour. she demonstrated that NV hour derived from outdoor meteorological data can measure maximum energy saving potential of NV without conducting detailed Building Energy Simulation.

While the design of buildings according to natural ventilation systems depends heavily on the characteristics of the local climate, which vary from region to region.

This research enabling us to develop plans that are appropriate for each region according to the circumstances Climatic conditions, which is based the maximum and minimum variable values of days of cooling degree and days of heating degree.

Yujiao Chen has used the adaptive comfort model De Deer and Brager instead of using a higher temperature threshold in general, which is based on the idea that the external climate affects indoor comfort because humans can adapt to different temperatures during different times of the year.

Where the NV clock is used as an indicator to measure the maximum natural ventilation potential of each location and determine the appropriate number of hours to take advantage of natural ventilation. Through meteorological data, we can say that natural ventilation alone cannot satisfy satisfactory thermal comfort due to high build load especially in the highly deserts and low rainfall with large diurnal temperature range such as my country Algeria in Ghardaia the big south.

2. General characteristics of the city of ghardaia

The city of Ghardaia is located north of the Sahara and north-east of the Great Western Erg, and it is characterized by an arid or even hyper arid (Saharan) climate where temperatures can reach 50 °C in summer and –3 °C in winter. Characterized by a dry and hot desert climate (Köppen classification: BWh), the municipality is located in the time zone UTC +1: 00 (Africa / Algiers).

Ghardaia (latitude 32.48°N, longitude 3.80°E) has a hot, dry and desert climate, the region is marked by large temperature differences with a clarity index of 0.8. It has a very important rate of insolation (75% on average) and the mean annual of global solar radiation measured on horizontal plane exceeds 20 (MJ/m²). The annual average temperature is about 22.61 °C.

Minimum temperatures of the coldest month are observed during the month of January with 5.5 °C, while maximum temperatures of the warmest month are observed during the month of July with 41.7 °C. The relative humidity is very low; it is of the order of 21.60% in July, reaching a maximum of 55.80% in January and an annual average of 38.33% [5–8].

In recent years this city has undergone a metamorphosis with a very high rate of urbanization. The use of building materials unsuited to the Saharan climate has pushed the inhabitant to resort to artificial heating and cooling solutions (appliances) that are known to be very energy-intensive.

This has led us to seriously consider finding alternative and negative solutions to reduce consumption, for example, night ventilation to renew and refresh the air.

3. Presentation and building modelling

The studio is located in the research unit Applied Renewable Energy Unit in Ghardaia (URAER), located on a plateau overlooking the Mezab Valley. This zone is characterized by a less dense urban fabric and the absence of peripheral vegetation, which makes it vulnerable to all directions of the wind. The study was carried out on a studio apartment in Ghardaia. The exterior envelope apart from contributing to the energy savings during the building life by controlling the energy exchange between indoor space and environment developed a comfortable indoor environment [9,12,13]. Fig. 1 is a schematic outline of This studio apartment, the studio has a net area of 43.56 m² (6.6 × 6.6), and wall heights are equal to 2.8 m while the other dimensions are shown in detail in Fig. 1. The flooring is placed on plan ground to lodge the ground floor. The concrete of the flooring is directly poured on the ground thus minimizing losses. Floor tiles are end coating resisting to corrosion and chemical agents [13]. The roof is composed of cement slabs and concrete slab made so that it handles the load and be economical. A roof sloping of 5° allowed water evacuation through several openings. The flat roofs are considered the air infiltration in it as architectural solution. Windows and doors contribute significantly to the energetic balance. Their contribution however depends on several parameters as: local climate, orientation, frame, relative surface (window-flooring), and concealment performance during night and sunny days. In this case focus is made particularly on windows and doors dimensions and all are made of woods.

The thermal comfort in the different areas of the habitat cannot be achieved without making a preliminary and judicious choice of building materials. Habitat must therefore ensure a direct response to climatic constraints specific to each region.

For heat exchanges between the exterior and interior environments of the habitat, the envelope plays a decisive role thanks to its thermal properties. Depending on the nature of the envelope materials, the heat from the outside can be damped and even delayed before it enters the room.

In our model, the openings are on both north and south surface for the building with a main door on the East side, during the day the temperature of the outside air is greater than that of the interior. To eliminate the exchange ventilation with outdoor air, the windows and the door will be closed during the day, opened the night (the window and the door will be closed is the time or $T_{ai} < T_{ao}$ and be opened $T_{ai} > T_{ao}$) [9–12]. By numerical simulation of the model is determined corresponding to each case. For better ventilation of the interior during the night, the door and the window will be on two different opposite wall, it is necessary to seek their guidance for minimized heat gain. During the day the windows and the door will be closed. heat transfer is carried out as

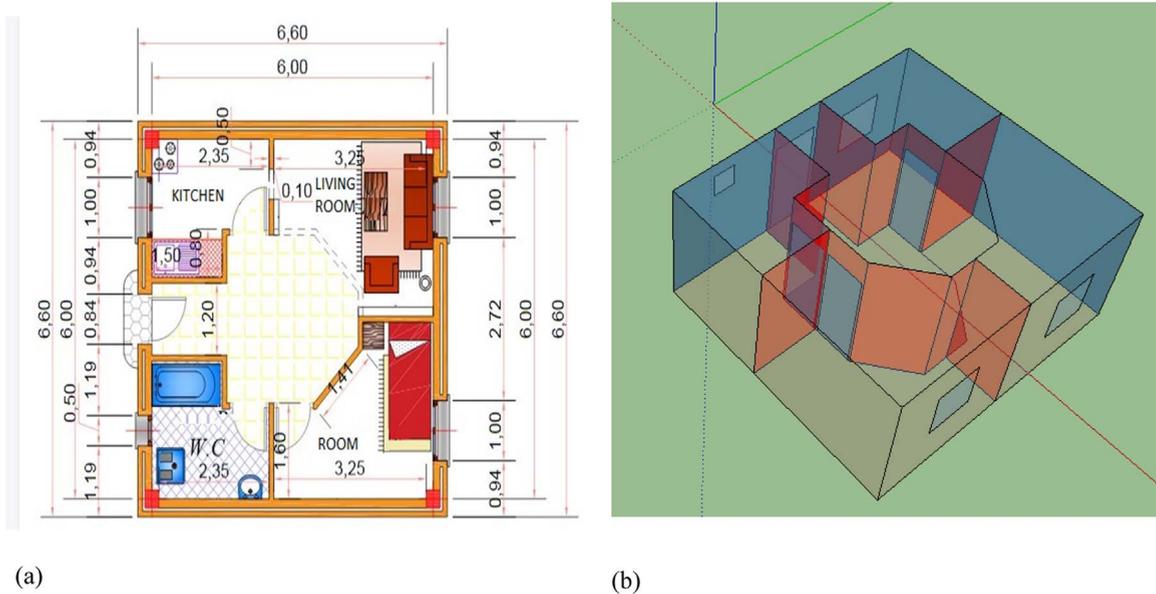


Fig. 1. Descriptive plan of the studio apartment (a) 3D view (b).

the case of an opaque member. To calculate the temperature in the inside face of the window and the door, the same method and the same steps in the case of wall are followed [13–15].

The thermal characteristics (e.g., U factor) of the building envelope in each climate zone are shown in Table 1

4. Numerical modelization

Simulations were made to see the importance of ventilation structure on dwellings located in arid climatic zone.

To be able to perform the simulation, certain elements were then defined: the architectural designs, basic 3D model - model with only the faces of the plans using the SketchUP tool, the orientation of the deployment, the representation of the types of walls and roofs and material specifications. These specifications were provided in detail, such as thermal conductivity values, specific gravity, specific heat, solar radiation absorption of all layers of walls, floors and ceilings.

the nighttime ventilation cooling model in Energy Plus that we've built onto a Google SketchUp generated input file.

All data was then entered into the Energy Plus software, version 8.8, to see the effect of ventilation on thermal comfort intern, and to calculate the energy consumption at the operation.

Other input data includes thermal comfort range, ventilation airflow, and lighting power. The simulated period was established between January 1st and December 31st. the range of comfort has been established between 18.5 °C and 27 °C; The ventilation was defined as 5 ac / h between 19:00 and 07:00.

Table 1
Materials and composition of walls.

	Building material	Thermal conductivity (W/m K)	Layer thickness (m)	Thermal transmittance values U (W/m ² K)
Exterior walls	Mortar cement	1.40	0.015	2.5306
	Heavy Stone	2.30	0.370	
	Mortar cement	1.40	0.015	
	Plaster	0.35	0.015	
Roofs	Cement slab	1.45	0.250	2.2936
	HOLLOW-CORE SLAB	1.45	0.250	
	Mortar cement	1.40	0.015	
	Plaster	0.35	0.015	
	Tiling	6.14	0.025	
Ground floor	Screed	1.40	0.040	2.1659
	Slab	1.75	0.150	
	Dry sand	0.4	0.020	
	Polyane film to prevent rising damp	2.4	0.200	
	Stones + gravels	2.4	0.200	
	Single glazed windows, allowing for frames			
Wooden door including the frame				3.195

5. Energy model in energy plus

In this article, two tools were used to build the building energy models. To produce an accurate model, four steps must be taken:

- SketchUp, a 3D drawing tool,
- Energy Plus, simulation software of energy systems.

The building can be modeled by Google Sketch Up program, a free drawing software capable of creating three-dimensional models. With the Open Studio plug-in, it is possible to export files created in Google Sketch Up into thermal simulation software. It has numerous advantages, notably in terms of the ease of use of its presentation interface as well as the numerous opportunities offered for the presentation of the model. Its versatility makes it today a tool used by many fields of study; it is possible to modify the display of the different volumes present in the 3D world. Thus, it is possible to decide whether to make opaque or transparent the thermal volumes drawn but also to make opaque, transparent or even invisible elements of the environment imported. All of these options are available in the menu, by checking the various options [4,6]

Therefore, the first step is to model or import the geometry of the building. It can be achieved in different ways:

- Creating 3D drawing geometry with the Open Studio plug-in in Google Sketch Up (generating a *.osm or *.idf file),
- Importing an *.idf file into the simulation software.

A building designed in SketchUp can be directly imported as Energy plus.

Material characteristics, occupation, lighting, electrical loads and weather conditions are then configured directly under Energy plus [09].

EnergyPlus™ is an open source thermal and energy building simulation program developed by DOE (Department of Energy, USA) that allows building analysis using dynamic simulation, Even allowing calculation of the heating and cooling loads required to maintain the thermal control set points.

6. Determination of the comfort zone and potential control areas for the city of Ghardaia

In this context, the use of controlled aperture as a means of passive cooling constitutes an interesting and rational prospect to limit discomfort and, as a result, avoid or minimize the use of air conditioning.

In fact, the opening of the windows makes it possible to cool by introducing fresh outdoor air into the building, without the use of mechanical ventilation ("free cooling"). However, taking into account the cooling effect of natural ventilation requires an understanding of the phenomena involved, which are more complex than those of mechanical ventilation, and of having reliable tools for evaluating the ventilation rate as a function of external conditions and aperture configuration.

In order to achieve this study, the residential housing units located in the Applied Research Unit for Renewable Energy Ghardaia were selected as an applied example.

Various investigations have been initiated to know the limits of thermal comfort. And through the Psychrometric graph in Ghardaia shows us from the graphs: Dry bulb temperature (.C) as absolute humidity function (grams of dry air) for annual comfort, passive and active control areas.

Drawing on the Szokolay method we have defined a bioclimatic diagram of the region of Ghardaia. (Fig. 2)

The projection of meteorological data on the Szokolay Diagram identified areas of comfort and strategies to address thermal discomfort issues, including classifying the region's climate into two distinct periods [16]:

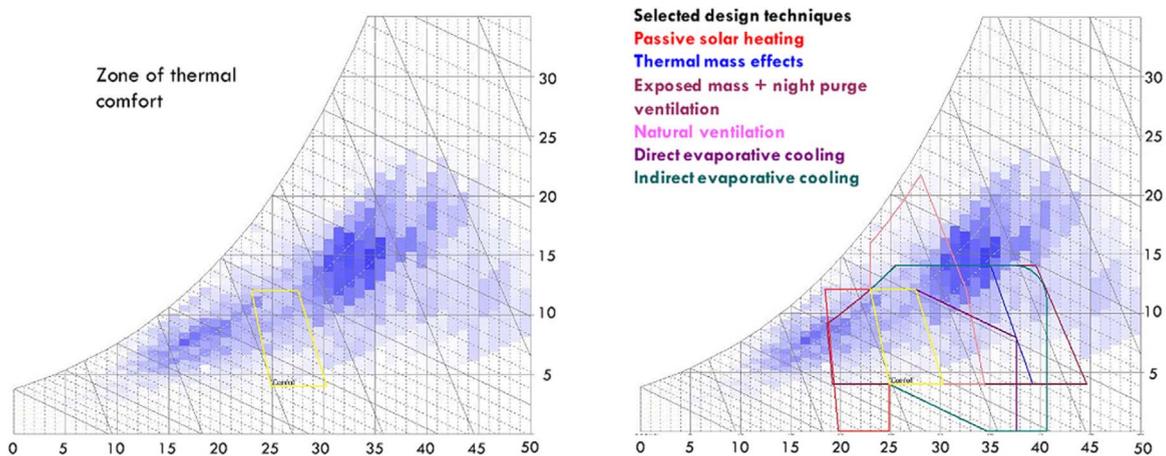


Fig. 2. Psychrometric diagram of Ghardaia.

- A period of very high temperatures associated with a relative average humidity using a control by mass effect and night ventilation. This period corresponds to the months of June, July, August, September and October (Fig. 2)

- A cool period characterized by low temperatures, or passive solar heating alone is able to bring the atmosphere of thermal comfort for the months of May and November. Additional heating is a complementary solution for the coldest days of April and March; While, thermal comfort can not be achieved without backup heating for the colder months of the year: December, January and February.

7. Results and discussions

Using the opening and closing strategies through the vertical windows for the ventilation of nature, especially during the summer and the cooling of the building by ventilation system using and free energy from the outside air when this one offers a temperature below the indoor temperature. In Ghardaia, the average monthly maximum temperature values for in 2017 was 30.15, 35.14, 39.02, 45.20, 43.50, 36.62 and 31.98 °C in April Until October, respectively. At night, the average monthly minimum temperature values for The year 2017 is estimated respectively in 15.10, 20.11, 24.22, 26.13, 25.69, 22.40, 17.01 °C ranging from April to October. For the months of April, May, June, September, October, this difference in temperature between maximum and minimum values results in pressure difference and thus controls air circulation. Through the Night ventilation the cooling allows preserving the night freshness and then restoring it during the day to minimize the overheating or to decrease the cooling needs. The advantage of this strategy is to refresh the interior air even when daytime temperatures are relatively high in the case of a decreased of the night outside temperature. Unfortunately, in my city Ghardaia during the four months of the summer from June to October the temperature is at its peak through the following results.

Three days of July were chosen from 4 to 7 of July 2016 in a clear sky were selected to carry out this work. Ambient temperatures range from 28.4 °C to 45.6 °C for summer days. The wind speed was between 0 and 5.5 km/h. The relative humidity of ambient air in the open air is very variable; it ranges between 15.5% and 67.3%.

In summer period, initial values for all temperatures (isothermal surfaces of the walls' layers and indoor air) are set at 30 °C; the relative humidity of the indoor air is calculated for an initial water content set at 10–2 Kgwater/Kgdry_air. The air mass-flow can be maintained at a fixed value of 5 10–4 kg/s.

The first one a comparison was made between the two cases to show the importance of ventilation, where we observe in the first case where there is a completely non-isolated studio (with total exposure) see Fig. 3.

We have four strategies:

Without ventilation (summer) average value of air temperature
ans = 3.665608064741830e+ 01

- Permanent ventilation (summer) 0.04 kg/s average value of the air temperature

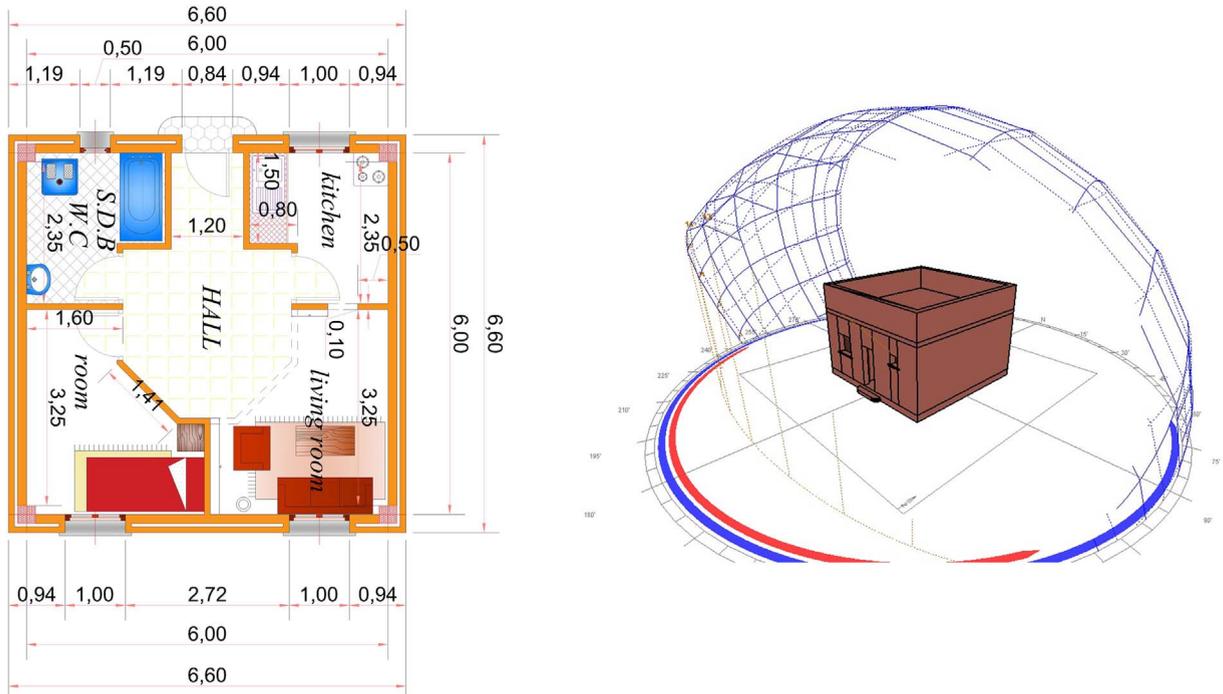


Fig. 3. Descriptive plane, cases study: total exposure.

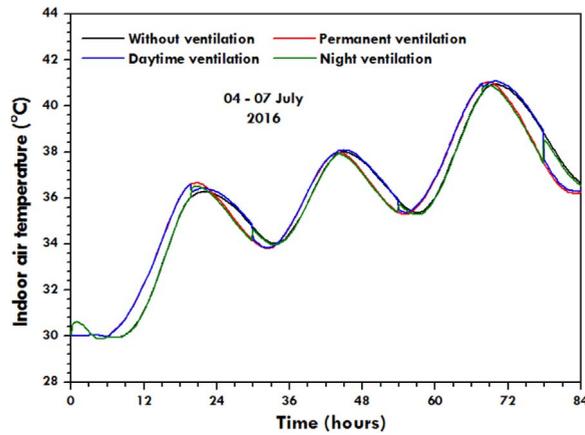


Fig. 4. Different air temperature strategies for ventilation for total exposure.

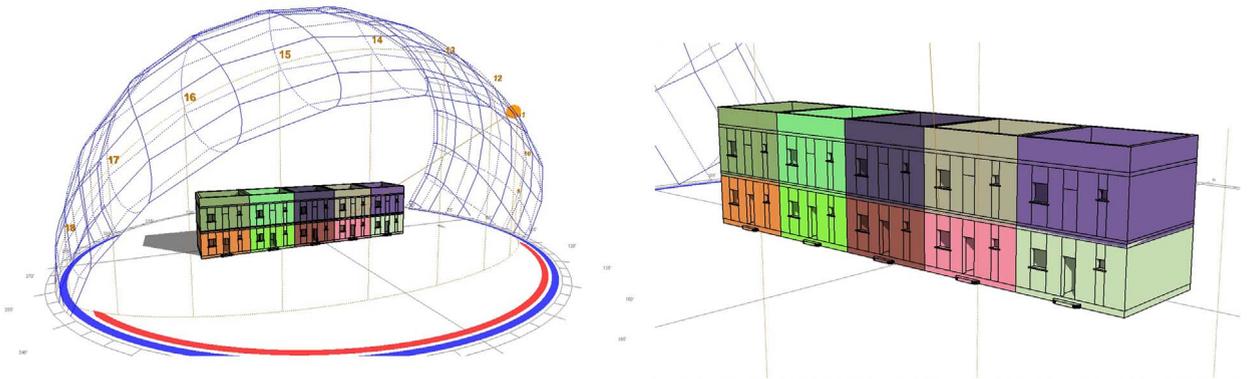


Fig. 5. Descriptive plane, cases study: Insulated and more compact studio.

ans = 3.625106374788238e + 01

- Daytime ventilation (summer) 0.02 kg/s average value of the air temperature

ans = 3.655402997526640e + 01

- Night ventilation (summer) 0.02 kg/s average value of the air temperature

ans = 3.618484484486879e + 01

secondly in order to optimize the ventilation, the same steps will be taken to have comfort settings for an isolated and more compact studio. According to Fig. 5, additional layers of an insulating material (0.04 W/mK, 10 kg/m³) on the exterior walls (12 cm), roof (12 cm), and floor (4 cm) have been added.

In this case we have four strategies: for insulated and more compact studio

- Without ventilation (summer with insulation) average value of the air temperature

ans = 3.128832975430760e + 01

- Permanent ventilation (summer) 0.04 kg/s average value of air temperature

ans = 3.218740828517496e + 01

- Daytime ventilation (summer) 0.04 kg/s average value of air temperature

ans = 3.204431240936047e + 01

- Night ventilation (summer) 0.04 kg/s average value of air temperature

ans = 3.149809435444288e + 01

8. Conclusion

We observe planners 4 and 6 the difference between the two types of first building is not completely isolated and the second with the insulation and the middle of a residential complex where the development of ventilation strategies and this through the cases following in summer

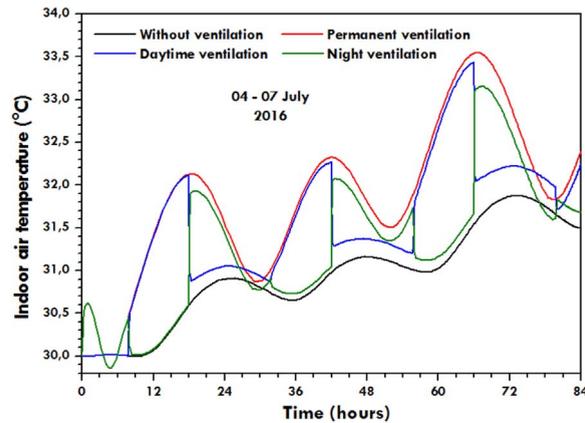


Fig. 6. Different air temperature strategies for ventilation for Insulated and more compact studio.

- Without ventilation
- Permanent ventilation
- Daytime ventilation
- Night ventilation

It has been adopted for us that ventilation in general is useful especially night ventilation as shown in Fig. 4 in the case of studio completely exposed to the sun on all four sides and the roof and the lack of internal or external insulation

In the case of a building surrounded and isolated, the importance of natural ventilation is inaccurate but it remains mandatory and that to renew the air and change from one period to another as a phenomenon of health

Unfortunately, in the extreme conditions in the desert areas of Ghardaia ventilation remains as a solution when the heat exceeded all expectations, but in the months that know a slight rise in temperature remains natural ventilation, especially the night as a suitable solution and a healthy look is not quite expensive (Figs. 5 and 6).

References

- [1] Y. Chen, Z. Tong, A. Malkawi, Investigating natural ventilation potentials across the globe: regional and climatic variations, *Build. Environ.* 122 (2017) 386–396.
- [2] Zheming Tong, Yujiao Chen, Ali Malkawi, Zhu Liu, RichardB. Freeman. Energy saving potential of natural ventilation in China: The impact of ambient air pollution. Original Research Article, pp. 660–668.
- [3] Tong a. Zheming, Chen a. Yujiao, Malkawi a. Ali, Adamkiewicz b. Gary, D. John, B. Spengler, Quantifying the impact of traffic-related air pollution on the indoor air quality of a naturally ventilated building, *Environ. Int.* 89–90 (2016) 138–146.
- [4] Y. Papadopoulos, V. Soebarto, Investigation of thermal comfort and airflow in a naturally ventilated lightweight house in a bush fire prone area school of civil, environmental & mining engineering, university of adelaide, school of architecture & built environment, university of a. *Build. Simul.*, 2015, pp. 1676–1683.
- [5] F. Aldawi, A. Date, F. Alam, I. Khan, M. Alghamdi, Energy efficient residential house wall system, *Appl. Therm. Eng.* 58 (2013) 400–410.
- [6] M. Haase, A. Amato, An Investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates, *Sol. Energy* 83 (2009) 389–399.
- [7] F. Allard (Ed.), *Natural Ventilation in Buildings; A Design Handbook* London, James and James Science Publishers Ltd., 1998.
- [8] B. Givoni, Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures, Part I: 1993 experimental periods, *Energy Build.* 28 (1998) 25–32.
- [9] Hamdani Maamar, *Choix de l’Orientation et des Matériaux de Construction en Vue d’Améliorer les Performances Thermiques des Bâtiments*, Thèses, Université of Tlemcen, 2016.
- [10] J.L.M. Hensen, J. van der Maas, A. Roos, Air and Heat Flow through Large Vertical Openings, Eindhoven University of Technology, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.
- [11] Monika Woloszyn, Gilles Rusauœn, airflow through large vertical openings In multizone modelling, cethyl-etb, insa de lyon, Bat. 307, 20, av. A. Einstein, 69621 villeurbanne cedex, France.
- [12] Hans-Martin Midtbust, Simulation of Indoor Climate In Zeb In Relation To Heating And Cooling System.
- [13] Stefano Schiavon, Fred Bauman, Cooling Airflow Design Tool for Displacement Ventilation (dv), version 1.0 (beta) September 24, 2009.
- [14] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.R. Yaiche, M.K. Cherier, M. Hamdani, F. Chellali, Introduction to Control of Solar Gain and Internal Temperatures by Thermal Insulation, Proper Orientation and Eaves, 43 Elsevier, 2011, pp. 2414–2421 *Energy and Buildings*.
- [15] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.K. Cherier, M. Hamdani, R.M. Yaiche, R. Khanniche, Influence of building orientation on internal temperature in Saharan climates, building located in Ghardaia region (Algeria), *Int. Sci. J. Therm. Sci.* 17 (2) (2013) 349–364.
- [16] Rabéa Kaoulal, Sidi Mohammed El. Amine Bekkouche, Tayeb Benouaz, Sofiane Kherrou, New opportunities For ventilation assistance in buildings Under Saharan climatic conditions, *Int. Sci. J. Therm. Sci.* (2016), <http://dx.doi.org/10.2298/TSCI151205167K>.

استعرض العمل المنجز في هذه الرسالة بعض تقنيات التصميم السلبي التي يمكن تطبيقها في المناخ الجاف. كان الهدف الأساسي هو تأثير هذه المفاهيم المعمارية وإثبات أهمية التصميم السلبي وقدرته رية داخلية مرضية. في هذا الصدد، قمنا بصياغة فيزيائية تعتمد على نماذج رياضية تم التحقق منها ونشرها ربط بين (Google SketchUp, EnergyPlus). كان اختيار مواد والتهوية الطبيعية هي الموضوعات الرئيسية لهذه التحقيقات. ونتيجة لذلك، تم اقتراح حلول معمارية، ما يمكن الراحة الحرارية.

ABSTRACT

The work presented in this thesis investigates different literature review of few different passive design techniques that can be applied in dry and arid climate. The primary purpose was to predict the influence of these architectural concepts and then to prove the importance of the passive aspect, as well as to study its ability to reduce the energy demand of building, while ensuring sufficient indoor thermal comfort. Accordingly, we have adopted physical problem issues, based on validated and published mathematical models then after coupling between some simulation codes (Google SketchUp and EnergyPlus). The selection of building materials, thermal insulation, compactness and natural ventilation were the main options of these investigations. Therefore, following the obtained results, architectural solutions have been proposed, whereas, making more possible to get better close to efficient thermal comfort.

RÉSUMÉ

Les travaux présentés dans cette thèse ont fait le point sur certaines techniques de conception passive qui peuvent être appliquées dans un climat sec et aride. L'objectif principal était de prédire l'influence de ces concepts architecturaux et de prouver l'importance de l'aspect passif et sa capacité à réduire la demande énergétique d'un bâtiment, tout en assurant un confort thermique intérieur satisfaisant. A cet égard, nous avons adopté des problèmes physiques à partir de modèles mathématiques validés et publiés. On s'est basé aussi sur le couplage entre certains codes de simulation (Google SketchUp et EnergyPlus). Le choix des matériaux de construction, l'isolation thermique, la compacité et la ventilation naturelle ont été les principaux sujets de ces investigations. En conséquence, et à la suite des résultats obtenus, des solutions architecturales ont été proposées, permettant de s'approcher au maximum du confort thermique.