

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE

**FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME**

N°d'ordre.....
Série.....

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Magistère

Option : Architecture Bioclimatique

THEME

***LA REHABILITATION ENERGETIQUE
DANS LES LOGEMENTS COLLECTIFS EXISTANTS***

CAS DU CLIMAT SEMI ARIDE DE CONSTANTINE

Présenté par : **M^{me} NAIT Nadia**

Sous la direction de : **Pr. BOURBIA Fatiha**

Jury d'examen :

Président : Pr. DEBBACHE Samira
Examineur : Dr. ABDOU Saliha
Examineur : Pr. BOUCHAHM Yasmina
Rapporteur : Pr. BOURBIA Fatiha

Université de Constantine
Université de Constantine
Université de Constantine
Université de Constantine

Soutenu le...../...../2011

Remerciements

*Je tiens à adresser, dans un premier temps, mes vifs remerciements au Professeur **Fatiha BOURBIA** pour ses conseils et son soutien.*

*Je voudrais également remercier très sincèrement le Docteur **ABDOU Saliha** et le Professeur **BOUCHAHM Yasmina**, Membres du Laboratoire ABE pour leur soutien infaillible tout au long de ma formation et pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail.*

*Je remercie vivement le Professeur **DEBBACHE Samira** de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury.*

*Mes remerciements s'adressent aussi au Docteur **NINI Garmia**, à tout le personnel du laboratoire ABE et à tous mes camarades de promotion « 2007 ». Sans oublier toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont soutenu.*

Sommaire

Table des matières	I
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	XI
Nomenclature.....	XII
Abréviations.....	XIII

Introduction générale

Introduction.....	1
Problématique.....	3
Objectifs.....	5
Méthodologie et outils de recherche.....	5

Chapitre I : Le contexte énergétique et environnemental

Introduction :	7
I.1 Epuisement des ressources d'énergie :	8
I.1.1 Les différentes énergies :	9
I.1.1.1 Caractéristiques des énergies fossiles :	9
I.1.1.2 Les énergies renouvelables :	11
I.1.1.2.1 Les sources des énergies renouvelables :	12
I.1.1.2.2 Applications dans le bâtiment :	12
I.1.1.2.3 Avantages des énergies renouvelables :	12
I.1.2 Coûts de l'énergie :	13
I.2 Les enjeux énergétiques à l'échelle planétaire :	13
I.2.1 L'effet de serre :	14
I.2.1.1 Conséquences de l'effet de serre :	14
I.2.1.2 Les accords de Kyoto :	15
I.2.2 Impacts sur l'environnement :	16
I.2.2.1 Changement climatique :	16
I.2.2.2 Les causes du réchauffement climatique :	17
I.2.2.3 Le bilan énergétique de la ville :	18
I.2.2.4 L'ilot de chaleur urbain :	18
I.2.2.5 Objectifs des politiques énergétiques :	19
I.3 Panorama de l'énergie en Algérie :	19
I.3.1 Les sources d'énergie utilisée :	20
I.3.2 La consommation des énergies fossiles :	20
I.3.3 Consommation énergétique des différents secteurs :	22
I.3.4 Consommation énergétique du secteur résidentiel :	23
I.3.4.1 La consommation d'électricité :	24
I.3.4.2 La consommation du gaz naturel :	25
I.3.5 Le prix des principales énergies :	26
I.3.6 Inventaire des émissions :	26
I.3.7 Les énergies renouvelables en Algérie :	27
I.3.7.1 Bilan énergétique national et énergies renouvelables:	28
I.3.7.2 L'énergie solaire en Algérie :	28
I.3.7.3 Sources d'énergie renouvelables en Algérie :	29
I.3.8 Stratégie nationale de maîtrise de l'énergie :	29
Conclusion :	29

Chapitre II : L'efficacité énergétique des bâtiments et la réglementation thermique

Introduction :	31
II.1 Qu'entend-on par efficacité énergétique ?	31
II.2 L'efficacité énergétique et le développement durable :	32
II.2.1 L'influence d'un bâtiment sur son environnement :	33
II.2.1.1 Maitrise des impacts sur l'environnement extérieur :	33
II.2.1.1.1 L'éco- construction :	33
II.2.1.1.2 L'éco- gestion :	33
II.2.1.2 Création d'un environnement intérieur de qualité :	34
II.2.2 Pourquoi un logement émet-il des gaz à effet de serre ?	34
II.3 La réglementation thermique :	35
II.3.1 Le contenu de la réglementation thermique :	35
II.3.2 La réglementation thermique de l'existant :	36
II.3.3 Les différents aspects de la réglementation thermique :	36
II.3.4 Amélioration de la performance énergétique de l'existant :	37
II.3.4.1 Le diagnostic de performance énergétique DPE:	37
II.3.4.1.1 Les étiquettes Energie et Climat :	38
II.3.4.1.2 Les préceptes d'un bon DPE :	40
II.3.4.2 Les certificats d'économies d'énergie :	40
II.3.4.3 L'audit énergétique :	40
II.3.4.4 Bilan thermique d'un bâtiment :	40
II.3.4.4.1 Les grandeurs énergétiques du bilan thermique :	41
II.3.4.4.2 Calcul du bilan énergétique :	42
II.4 Adoption d'une réglementation thermique en Algérie :	43
II.4.1 Position de l'Algérie par rapport à la maitrise de l'énergie :	43
II.4.2 Stratégie de maitrise de l'énergie en Algérie :	44
II.4.2.1 Objectifs de la politique de maitrise de l'énergie :	45
II.4.2.2 Limites de la réglementation thermique :	45
II.4.3 Politique d'amélioration énergétique en Algérie :	46
II.4.3.1 Outils réglementaires et opérationnels mis en application en Algérie :	46
II.4.3.2 Mise en œuvre de la réglementation thermique algérienne :	47
II.4.3.3 L'Algérie et les émissions de CO ₂ :	48
II.4.4 Les études dans le secteur bâtiment :	48
II.4.5 Caractéristiques énergétiques du secteur habitat :	50
II.4.5.1 Indice énergétique d'un bâtiment :	50
II.4.5.2 Estimation des besoins d'énergie d'un bâtiment :	51
II.4.5.3 La facture énergétique :	51
II.4.5.4 Les actions de maitrise d'énergie dans l'habitat :	51
Conclusion :	52

Chapitre III : Contexte de la réhabilitation énergétique

Introduction :	53
III.1 Qu'est-ce que la réhabilitation énergétique ?	53
III.1.1 Les différents niveaux de la réhabilitation énergétique :	54
III.1.2 Pourquoi réhabiliter un logement énergétiquement ?	55
III.1.3 Les enjeux de la réhabilitation énergétique dans le logement :	55
III.1.3.1 Des enjeux environnementaux :	55

III.1.3.2	Des enjeux sociaux :	56
III.1.3.3	Des enjeux économiques :	56
III.2	La réhabilitation énergétique et le confort thermique :	56
III.2.1	Le confort d'hiver :	57
III.2.2	Le confort d'été :	57
III.3	Les principales solutions techniques de la réhabilitation énergétique:	57
III.3.1	Les parois opaques :	58
III.3.1.1	L'isolation des murs par l'extérieur :	60
III.3.1.1.1	Avantages et inconvénients de l'isolation par l'extérieur :	60
III.3.1.1.2	Comment réaliser l'isolation extérieure ?	61
III.3.1.2	L'isolation des murs par l'intérieur :	63
III.3.1.2.1	Avantages et inconvénients de l'isolation par l'intérieur :	64
III.3.1.2.2	Comment réaliser l'isolation intérieure?	64
III.3.1.3	L'isolation des murs dans leur épaisseur :	65
III.3.1.4	L'isolation des toitures :	66
III.3.1.4.1	L'isolation des charpentes :	66
III.3.1.4.2	Les toitures terrasse :	66
III.3.1.5	L'isolation des planchers :	67
III.3.2	Les parois vitrées :	67
III.3.2.1	Caractéristiques physiques des vitrages :	68
III.3.2.1.1	Le double vitrage classique :	70
III.3.2.1.2	Le double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR) ou peu émissif:	70
III.3.2.1.3	Le triple vitrage :	70
III.3.2.1.4	Influence du choix du vitrage sur les économies d'énergie :	71
III.3.2.2	Les Menuiseries:	72
III.3.2.3	Les techniques d'isolation d'une paroi vitrée dans l'existant :	73
III.3.2.3.1	Le survitrage :	73
III.3.2.3.2	Le double vitrage de rénovation :	73
III.3.2.3.3	Le changement de fenêtre avec conservation du dormant existant :	73
III.3.2.3.4	Le remplacement total de l'ancienne fenêtre :	74
III.3.2.4	Les protections solaires :	74
III.3.3	La ventilation :	74
III.3.4	Les équipements :	75
III.3.4.1	Le chauffage :	76
III.3.4.2	L'eau chaude sanitaire :	76
III.3.4.3	La climatisation :	77
III.3.4.4	L'éclairage :	77
Conclusion	:	78

Chapitre IV : Enjeux de la réhabilitation énergétique

Introduction	:	79
IV.1	Etudes expérimentales et analytiques :	79
IV.1.1	Etudes générales menées dans le cadre de la réhabilitation énergétique :	80
IV.1.2	Etudes paramétriques :	82
IV.1.3	Etudes expérimentales et numériques :	85
IV.1.3.1	Expériences menées en climats froids:	85
IV.1.3.2	Expériences menées en climats chauds :	88
IV.1.4	Etudes de réhabilitation de quartiers existants :	95
IV.1.4.1	L'expérience de Fribourg en Allemagne :	95

IV.1.4.2	Le quartier de Vesterbro à Copenhague au Danemark :	96
IV.1.4.3	Expérience menée sur l'îlot 13 à Genève :	97
IV.2	Les caractéristiques des matériaux isolants :	98
IV.2.1	Les propriétés physiques des isolants :	99
IV.2.2	La performance des matériaux isolants :	100
IV.2.3	Épaisseur optimale et emplacement des isolants :	101
IV.2.4	Caractéristiques des parois isolées :	105
Conclusion	:	106

Chapitre V : Investigation

Introduction	:	107
V.1	Aperçu sur la ville de Constantine :	108
V.1.1	Situation de la ville de Constantine :	108
V.1.2	Aperçu sur le climat de la ville de Constantine :	108
V.1.2.1	La température :	109
V.1.2.2	L'humidité :	109
V.1.2.3	L'ensoleillement :	109
V.1.2.4	Le régime des vents :	109
V.1.2.5	Les précipitations :	109
V.1.3	Aperçu sur l'habitat à Constantine :	111
V.1.4	Consommation énergétique de la ville de Constantine :	112
V.2	Présentation du site du cas d'étude :	112
V.2.1	Critères de choix du cas d'étude :	113
V.2.2	Données sur le bâtiment :	113
V.2.2.1	Forme et orientation des bâtiments :	114
V.2.2.2	Les ouvertures :	115
V.2.3	Caractéristiques climatiques du secteur résidentiel choisi :	115
V.2.3.1	Exposition aux vents dominants :	115
V.2.3.2	Ensoleillement :	115
V.2.3.3	Les techniques passives de contrôle solaire :	116
V.2.3.4	La protection des loggias :	116
V.2.3.5	Surface des fenêtres :	118
V.2.4	Analyse architecturale du cas d'étude :	118
V.2.4.1	Situation du bâtiment d'étude :	118
V.2.4.2	Description du logement :	118
V.2.4.3	Méthodologie de travail :	120
V.2.4.4	Description technique du bâtiment :	125
V.2.5	Comportement bioclimatique du bâti et confort thermique :	125
V.2.5.1	L'isolation :	125
V.2.5.2	Perméabilité à l'air :	126
V.2.5.3	Perméabilité à l'humidité :	126
V.2.5.4	Fonctionnement thermique des matériaux :	126
V.2.5.5	Recensement des défaillances techniques :	127
V.2.5.6	Analyse des consommations énergétiques :	127
V.3	Investigation :	128
V.3.1	Périodes de l'investigation :	129
V.3.1.1	Période printanière :	129
V.3.1.2	Période estivale :	130
V.3.2	Facteurs climatiques mesurés :	131

V.3.3	Description de l'appareil de mesure :	131
V.3.4	Scénario d'occupation et d'utilisation des espaces de l'appartement :	132
V.4	Résultats et interprétation de l'investigation de printemps :	133
V.4.1	Résultats de mesures du RDC :	133
V.4.2	Résultats de mesures de l'étage intermédiaire :	135
V.4.3	Résultats de mesures du dernier étage :	137
V.4.4	Conclusion de l'investigation printanière:	139
V.5	Résultats et interprétation de l'investigation d'été :	139
V.5.1	Confort en période estivale :	140
V.5.2	Déroulement des mesures d'été :	140
V.5.3	Résultats de mesures pour le RDC :	140
V.5.3.1	Comparaison de la température extérieure et intérieure au RDC :	141
V.5.3.2	Ambiance thermique dans le logement du RDC :	142
V.5.3.3	Variation des humidités relatives intérieures et extérieures :	143
V.5.3.4	Evaluation du confort au RDC pendant une journée :	144
V.5.4	Résultats des mesures de l'étage intermédiaire :	146
V.5.4.1	Comparaison de la température extérieure et intérieure:	146
V.5.4.2	Ambiance thermique dans le logement de l'étage intermédiaire :	147
V.5.4.3	Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure :	148
V.5.4.4	Evaluation du confort à l'étage intermédiaire :	149
V.5.5	Résultats des mesures au dernier étage :	150
V.5.5.1	Comparaison des températures intérieures et extérieures :	150
V.5.5.2	Ambiance thermique dans le logement du dernier étage :	152
V.5.5.3	Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure :	153
V.5.5.4	Evaluation du confort au dernier étage :	153
V.5.6	Comparaison des résultats des trois appartements :	155
	Conclusion :	156

Chapitre VI : Simulation

	Introduction :	157
VI.1	Présentation du logiciel :	158
VI.2	Contenus du programme :	159
VI.2.1	Les entrées du programme :	160
VI.2.1.1	Spécification du bâtiment :	160
VI.2.1.2	Période de simulation et climat :	163
VI.2.1.3	Apports internes :	164
VI.2.1.4	Composition des parois et propriétés des matériaux :	165
VI.2.2	Les sorties :	166
VI.3	Déroulement de la simulation :	167
VI.4	Simulation du bâtiment à l'état actuel :	168
VI.4.1	Résultats de la période printanière:	168
VI.4.1.1	Résultats obtenus de la simulation de l'enveloppe avec polystyrène :	168
VI.4.1.2	Analyse des résultats de la simulation et confrontation avec les résultats expérimentaux à l'étage intermédiaire:	169
VI.4.1.3	Résultats obtenus de la simulation de l'enveloppe avec lame d'air :	171
VI.4.2	Résultats de la période estivale :	172
VI.4.2.1	Résultats obtenus de la simulation de l'enveloppe avec polystyrène :	173
VI.4.2.2	Analyse des résultats obtenus et confrontation avec les résultats expérimentaux au dernier étage:	174

VI.4.2.3	Résultats de la simulation de l'enveloppe avec lame d'air :.....	176
VI.5	Changement des paramètres :.....	177
VI.5.1	Influence du type de vitrage :.....	178
VI.5.1.1	Choix du vitrage :.....	178
VI.5.1.2	Evaluation de la performance thermique du bâtiment en utilisant le double vitrage :	178
VI.5.2	Influence de l'isolant :.....	180
VI.5.2.1	L'emplacement de l'isolant :	180
VI.5.2.2	Le choix de l'isolant :	181
VI.5.2.3	L'épaisseur de l'isolant :.....	182
VI.5.3	Evaluation des performances thermiques de l'enveloppe après isolation :.....	184
VI.5.3.1	Isolation externe de l'enveloppe avec du polystyrène :.....	184
VI.5.3.2	Isolation externe de l'enveloppe avec du polyuréthane :.....	185
VI.5.3.3	Isolation externe de l'enveloppe avec la laine de verre :.....	186
VI.5.4	Evaluation des performances thermiques du bâtiment après isolation extérieure de l'enveloppe et utilisation du double vitrage :	188
VI.5.4.1	Isolation de l'enveloppe avec du polystyrène et utilisation du DV:.....	188
VI.5.4.2	Isolation de l'enveloppe avec du polyuréthane et utilisation du DV:.....	189
VI.5.4.3	Isolation de l'enveloppe avec la laine de verre et utilisation du DV:.....	190
VI.5.5	Evaluation des performances thermiques du bâtiment après isolation extérieure de l'enveloppe et l'isolation du toit :.....	192
VI.5.5.1	Isolation externe avec du polystyrène et isolation du toit :.....	192
VI.5.5.2	Isolation de l'enveloppe avec du polyuréthane et isolation du toit :.....	192
VI.5.5.3	Isolation de l'enveloppe avec la laine de verre et isolation du toit:.....	193
VI.5.6	Evaluation des performances thermiques du bâtiment après isolation extérieure de l'enveloppe, isolation du toit et utilisation du DV :	194
VI.5.6.1	Isolation avec du polystyrène, isolation du Toit et utilisation du DV :	194
VI.5.6.2	Isolation avec du polyuréthane, isolation du toit et utilisation du DV:	194
VI.5.6.3	Isolation avec la laine de verre, isolation du toit et utilisation du DV :.....	195
VI.5.7	Influence de la climatisation :	196
VI.5.7.1	Consommation d'énergie selon les différentes variantes:	197
VI.5.7.2	Besoins en climatisation et économie d'énergie au RDC :.....	201
VI.5.7.3	Besoins en climatisation et gain d'énergie à l'étage intermédiaire :	201
VI.5.7.4	Besoins en climatisation et gain d'énergie au dernier étage :.....	202
VI.5.7.5	Comparaison des économies d'énergies réalisées aux différents niveaux :	203
Conclusion	:.....	205
Conclusion générale et recommandations	206
Bibliographie	210
Annexes	221
Résumés		

Liste des figures :

Chapitre I :

Fig. I. 1 : Ressources énergétiques fossiles et consommation d'énergie.....	8
Fig. I. 2 : Consommation moyenne d'énergie par habitant en 2001	10
Fig. I. 3 : Evolution du taux de CO2 sur terre.	11
Fig. I. 4 : Prix du baril de pétrole (US\$).....	13
Fig. I. 5 : Principe de l'effet de serre.	14
Fig. I. 6 : Prévisions d'évolution des émissions de GES dans les différentes régions du monde. .15	
Fig. I. 7 : Le réchauffement de la terre.	16
Fig. I. 8 : Répartition des émissions de CO2 mondiales en 2000 par type d'énergie.....	17
Fig. I. 9 : Représentation d'un profil de température type d'îlot thermique urbain	19
Fig. I. 10 : Répartition de la consommation finale par type d'énergie en 2005.	21
Fig. I. 11 : Consommation d'électricité (Kwh/personne) Algérie.....	21
Fig. I. 12 : Consommation totale d'électricité (en Kwh) en Algérie.	22
Fig. I. 13 : Consommation finale de l'Algérie par secteur d'activité en 2005.	23
Fig. I. 14 : Evolution de la Consommation du Secteur Résidentiel.....	24
Fig. I. 15 : Répartition de la consommation électrique des ménages en % (en 2009).....	25
Fig. I. 16 : Consommation du secteur résidentiel par type d'énergie.....	25

Chapitre II :

Fig. II. 1 : Les points de la réglementation thermique.....	37
Fig. II. 2 : Etiquette Energie pour le bâtiment.....	39
Fig. II. 3 : Etiquette Climat.....	39
Fig. II. 4 : Le dispositif d'ensemble.....	44
Fig. II. 5 : Energy savings.....	49

Chapitre III :

Fig.III. 1 : Situation des ponts thermiques.....	59
Fig.III. 2 : L'enduit hydraulique sur isolant	62
Fig.III. 3 : parements sur isolants	62
Fig.III. 4 : Vêture et vêtage.....	63
Fig.III. 5 : L'isolant est derrière une contre-cloison.....	65
Fig.III. 6 : Les panneaux composites (à gauche)	65
Fig.III. 7 : La brique alvéolée en terre cuite (à gauche) et le béton cellulaire à (droite).	66
Fig.III. 8 : Pertes de chaleur d'une maison traditionnelle non isolée à gauche	68
Fig.III. 9 : Valeurs du coefficient U pour différents types de vitrages.....	69
Fig.III. 10 : Evolution des vitrages	69
Fig.III. 11 : Importance de la position de la couche basse émissivité	70
Fig.III. 12 : Choix des composants et identification des facteurs intervenant dans la thermique de la fenêtre.	72

Chapitre IV :

Fig. IV. 1 : Scénario dit de la « Solution Universelle ».....	81
Fig. IV. 2 : Configuration des parois étudiées par Kossecka et Kosny 2002.	83
Fig. IV. 3 : Effet de l'épaisseur de l'isolant sur les économies annuelles à Erzurum, Kars et Erzincan et sur le coût total du fuel à Erzurum.	85
Fig. IV. 4 : Le bloc Libellules dans son état actuel (vue de l'aile sud) et vue d'un balcon transformé.....	86
Fig. IV. 5 : Les étapes du Design 1. Nouvelles ouvertures 2. Nouvelle enveloppe du bâtiment .87	

Fig. IV. 6 : Pertes de chaleur à travers un mur par rapport à l'épaisseur de l'isolation thermique.	87
Fig. IV. 7 : Charges de chauffage avec différents matériaux d'isolation	89
Fig. IV. 8 : Secondary roof system construction.	91
Fig. IV. 9 : Effet de l'isolation avec lame d'air et d'autres matériaux analysés sur les charges de refroidissement mensuels.	93
Fig. IV. 10 : Effet de la température intérieure sur les charges de refroidissement et sur l'épaisseur optimale de l'isolant (Comparaison des deux méthodes).	93
Fig. IV. 11 : Ilot Hedebygade.	97
Fig. IV. 12 : Vues de l'ilot 13.	98
Fig. IV. 13 : Valeurs de la résistance thermique de certains isolants pour une épaisseur de 5cm.	101
Fig. IV. 14 : Compression des épaisseurs de deux matériaux pour obtenir une même résistance thermique.	101
Fig. IV. 15 : Optimisation de l'épaisseur de l'isolant.	102
Fig. IV. 16 : Influence de l'épaisseur de l'isolant sur la réduction des besoins en énergie du bâtiment.	103
Fig. IV. 17 : Variation de la température intérieure simulée avec le changement de l'emplacement de l'isolant (à gauche) et le changement de l'épaisseur de l'isolant (à droite) ...	104

Chapitre V:

Fig. V. 1 : Situation de la ville de Constantine.	108
Fig. V. 2 : Ville de Constantine : Extension urbaine.	111
Fig. V. 3 : Consommation d'électricité (en GWh) et de gaz (en Mth) dans la ville de Constantine	112
Fig. V. 4 : Plan d'urbanisme de la cité du 20 Août Constantine	113
Fig. V. 5 : Orientation des bâtiments.	114
Fig. V. 6 : Course du soleil par rapport à l'orientation des bâtiments.	116
Fig. V. 7 : Protection des espaces vitrés	117
Fig. V. 8 : Situation du site d'étude (bâtiments investigués	118
Fig. V. 9 : Façade principale.	119
Fig. V. 10 : Plans des différents niveaux	121
Fig. V. 11 : Ensoleillement d'été et d'hiver du logement étudié.	123
Fig. V. 12 : Emplacement du chauffage.	124
Fig. V. 13 : Ecoulement du vent à l'intérieur de l'appartement	124
Fig. V. 14 : Constitution des parois de l'appartement.	126
Fig. V. 15 : Consommation de gaz et d'électricité de la cité du 20 août 1955 en 2009.	128
Fig. V. 16 : Emplacement des différentes stations de mesures.	130
Fig. V. 17 : Photos de la station météo.	132
Fig. V. 18 : Evolution de la température au RDC le 02/04/2010.	134
Fig. V. 19 : Variation de l'humidité relative le 02/04/2010 au RDC.	135
Fig. V. 20 : Evolution de la température le 30/03/2010 à l'étage intermédiaire.	136
Fig. V. 21 : Variation de l'humidité relative le 30/03/2010 à l'étage intermédiaire.	137
Fig. V. 22 : Evolution de la température intérieure et extérieure le 1 ^{er} avril 2010 au dernier étage	138
Fig. V. 23 : Variation de l'humidité relative au dernier étage le 1 ^{er} /04/2010.	138
Fig. V. 24 : Variation horaire de la température extérieure et intérieure au RDC du 18 au 20/07/2010.	141
Fig. V. 25 : Variation de l'humidité relative au RDC du 18 au 20 juillet 2010.	144
Fig. V. 26 : Evolution de la température au RDC le 17/07/2010.	145

Fig. V. 27 : Ecart horaire entre les températures intérieures et extérieures au RDC le 17/07/2010	145
Fig. V. 28 : Variation de l'humidité relative au RDC le 17/07/2010.	146
Fig. V. 29 : Exemple de courbes de température le 10,11 et12 juillet à l'étage intermédiaire. ..	147
Fig. V. 30 : Ecart de température dans l'appartement le 11/07/2010.	148
Fig. V. 31 : Comparaison de l'humidité relative intérieure et extérieure à l'étage intermédiaire.	149
Fig. V. 32 : Evolution de la température à l'étage intermédiaire le 11/07/2010.	149
Fig. V. 33 : Variation de l'humidité relative le 11/07/2010.	150
Fig. V. 34 : exemple de courbes de température dans l'appartement situé au dernier du 14 au 17/07/2010	151
Fig. V. 35 : Ecart de température dans l'appartement le 15/07/2010.	152
Fig. V. 36 : Variation de l'humidité relative de l'appartement du dernier étage.	153
Fig. V. 37 : Evolution de la température au dernier étage le 15/07/2010.	154
Fig. V. 38 : Variation de l'humidité relative le 15/07/2010.	155

Chapitre VI :

Fig. VI. 1 : Les composants de TAS Building Désigner.	158
Fig. VI. 2 : Les trois applications de TAS	158
Fig. VI. 3 : TAS Ambiens.	159
Fig. VI. 4 : TAS Building Simulator	160
Fig. VI. 5 : Modèle géométrique 3D du bâtiment étudié.	161
Fig. VI. 6 : Zones du bâtiment à simuler dans TAS Building simulator	161
Fig. VI. 7 : Les éléments constructifs du bâtiment.	162
Fig. VI. 8 : Composantes de la toiture terrasse.	162
Fig. VI. 9 : Entrée des propriétés thermo physiques du verre utilisé	163
Fig. VI. 10 : Exemple de fichier météo de la journée du 29 mars 2010 de Constantine.	164
Fig. VI. 11 : Graphe représentatif de la journée du 29 mars 2010 de Constantine.	164
Fig. VI. 12 : Variation des températures extérieure et intérieures dans les 3 appartements.	168
Fig. VI. 13 : Variation des températures extérieure et intérieures à l'étage intermédiaire le 30/03/2010 (parois d'origine)	170
Fig. VI. 14 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure à l'étage intermédiaire 30 mars 2010 (parois d'origine)	170
Fig. VI. 15 : Ecart de température entre la paroi avec lame d'air et la paroi d'origine le 30/03/2010	171
Fig. VI. 16 : Variation de l'humidité relative extérieure et intérieure 30/03/2010(parois avec lame d'air)	172
Fig. VI. 17 : Variation de la température de l'air en fonction de la température extérieure et de l'humidité relative le 14/07/2010	173
Fig. VI. 18 : Variation des températures intérieures et extérieure le 14/07/2010 dans les trois appartements.	173
Fig. VI. 19 : Variation des températures extérieure et intérieures le 14/07/2010 au dernier étage.	175
Fig. VI. 20 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure le 14/07/2010 au dernier étage.	175
Fig. VI. 21 : Ecart de température entre la paroi avec lame d'air et la paroi d'origine le 14/07/2010	176
Fig. VI. 22 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure 14/07/2010 pour la paroi avec lame d'air.	177

Fig. VI. 23 : Différence des températures de l'air entre l'état initial et l'utilisation du DV pour le mois de juillet	179
Fig. VI. 24 : Influence de l'épaisseur de l'isolant (polystyrène) sur la température intérieure à l'étage intermédiaire du 10 au 16 juillet 2010	183
Fig. VI. 25 : Influence de l'épaisseur de l'isolant (polystyrène) associé à l'utilisation du double vitrage sur la température intérieure à l'étage intermédiaire du 10 au 16 juillet 2010.....	183
Fig. VI. 26 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée en polystyrène et la paroi d'origine 14 juillet 2010	184
Fig. VI. 27 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée en polyuréthane et la paroi d'origine 14 juillet 2010.....	186
Fig. VI. 28 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre et la paroi d'origine 14 juillet 2010.....	187
Fig. VI. 29 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polystyrène couplée à l'utilisation du DV et le cas initial le 14 juillet 2010.....	189
Fig. VI. 30 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polyuréthane couplée à l'utilisation du DV et le cas initial le 14 juillet 2010.....	190
Fig. VI. 31 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre couplée à l'utilisation du DV et le cas initial le 14 juillet 2010.....	191
Fig. VI. 32 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polystyrène couplée à l'isolation de la toiture et le cas initial le 14 juillet 2010	192
Fig. VI. 33 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polyuréthane couplée à l'isolation de la toiture et le cas initial le 14 juillet 2010.....	193
Fig. VI. 34 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre couplée à l'isolation de la toiture et le cas initial le 14 juillet 2010.....	193
Fig. VI. 35 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polystyrène couplée à l'isolation de la toiture et l'utilisation du DV / cas initial le 14 juillet 2010.	194
Fig. VI. 36 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polyuréthane couplée à l'isolation de la toiture et l'utilisation du DV / au cas initial le 14 juillet 2010.	195
Fig. VI. 37 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre couplée à l'isolation de la toiture et l'utilisation du DV / au cas initial le 14 juillet 2010.	195
Fig. VI. 38 : Evaluation des charges de climatisation à l'état initial pour le mois de juillet.....	197
Fig. VI. 39 : Evaluation des charges de climatisation à l'état initial et après utilisation du DV pour le mois de juillet.....	198
Fig. VI. 40 : Estimation des besoins en énergie de climatisation pour le mois de juillet au RDC selon les différentes variantes.....	198
Fig. VI. 41 : Estimation des besoins en énergie de climatisation pour le mois de juillet à l'étage intermédiaire.....	199
Fig. VI. 42 : Estimation des besoins en énergie de climatisation pour le mois de juillet au dernier étage.....	199
Fig. VI. 43 : Evaluation en énergie de climatisation selon les différentes variantes pour le mois de juillet.....	200
Fig. VI. 44 : Economies d'énergie selon les différentes variantes à tous les niveaux.....	204
Fig. VI. 45 : Economies d'énergie au dernier étage selon les différentes variantes.....	204

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tab. I. 1 : Emissions de carbone associées aux combustibles fossiles.....	11
Tab. I. 2 : Consommation totale par secteur d'activité.....	23
Tab. I. 3 : Bilan des émissions par secteur	27
Tab. I. 4 : Durée de séjour approximative dans l'atmosphère des gaz à effet de serre.....	27

Chapitre II :

Tab. II. 1 : Consommation d'énergie dans un logement.	34
Tab. II. 2 : Caractéristiques des classes A & G	38
Tab. II. 3 : Caractéristiques des classes A & G.	39

Chapitre III :

Tab.III. 1 : Les signes d'une mauvaise isolation.	59
Tab.III. 2 : Avantages et inconvénients de l'isolation extérieure.....	61
Tab.III. 3 : Avantages et inconvénients de l'isolation par l'intérieur.....	64
Tab.III. 4 : Influence du choix du vitrage sur les économies d'énergie	71
Tab.III. 5 : Valeurs de la performance thermique des ouvrants.	73
Tab.III. 6 : Les concepts de ventilation dans l'existant.	75
Tab.III. 7 : Efficacité des lampes basse consommation / lampes classiques.....	78

Chapitre IV :

Tab. IV. 1 : Structure des murs et caractéristiques thermiques.	88
Tab. IV. 2: Coefficients de transfert thermique (U) et épaisseur de l'isolant (L).	94
Tab. IV. 3 : Les interventions effectuées à Fribourg.	95
Tab. IV. 4: Les consommations énergétiques après rénovation des logements.	96
Tab. IV. 5: Les caractéristiques des principaux matériaux isolants.	99
Tab. IV. 6: Propositions de valeurs de la résistance thermique de certaines parties à isoler.	100

Chapitre V:

Tab. V. 1 : Interprétation des données météorologiques de Constantine Période 1995-2005.....	110
Tab. V. 2 : Répartition des surfaces dans le logement.	119
Tab. V. 3 : Données sur le bâtiment.	120
Tab. V. 4 : Les caractéristiques thermiques et la performance d'isolation des matériaux de l'enveloppe.	122
Tab. V. 5 : Systèmes électriques utilisés.	122
Tab. V. 6 : Eléments constructifs du bâtiment	125
Tab. V. 7 : Données Sonelgaz année 2009 (cité 20 Aout 1955).....	128
Tab. V. 8 : Séquences de temps du suivi expérimental de la période froide.....	130
Tab. V. 9 : Séquences de temps du suivi expérimental de la période de refroidissement.....	131

Chapitre VI :

Tab. VI. 1 : Composition des parois du bâtiment.....	165
Tab. VI. 2 : Propriétés thermo physiques des matériaux de construction utilisés.	166
Tab. VI. 3 : Propriétés thermo physiques de la lame d'air	166
Tab. VI. 4 : Propriétés thermo physiques du verre utilisé.	166
Tab. VI. 5 : Variantes proposées pour la simulation	167
Tab. VI. 6 : Caractéristiques du double vitrage proposé pour la simulation.	178
Tab. VI. 7 : Caractéristiques des isolants proposés pour la simulation.	182
Tab. VI. 8 : Economies d'énergie selon les différentes variantes au RDC	201
Tab. VI. 9 : Economies d'énergie selon les différentes variantes à l'étage intermédiaire.	202
Tab. VI.10: Economies d'énergie selon les différentes variantes au dernier étage.....	203

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
λ	Conductivité	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
C	Capacité thermique	$J/kg \cdot ^\circ C$
ρ	Masse volumique	kg/m^3
a	diffusivité thermique	m^2/s
e	effusivité thermique d'un matériau	$Ws / m^2 \cdot ^\circ C$
R	résistance thermique totale	$m^2 \cdot ^\circ C / W$
K	conductance totale ou coefficient de transmission thermique	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
U	coefficient de transfert thermique global	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
t_e	température air extérieur	$^\circ C$
t_i	température air intérieur	$^\circ C$
T_b	température de base	$^\circ C$
T_o	température extérieure quotidienne moyenne	$^\circ C$
Δt	Différence de température entre l'intérieur et l'extérieur	$^\circ C$
Q	flux de chaleur total	W / m^2
Q_{le}	Pertes par conduction de l'enveloppe.	W / m^2
Q_{lv}	Pertes par renouvellement d'air.	W / m^2
Q_{gs}	Gains solaires.	W / m^2
Q_{gi}	Gains internes.	W / m^2
I_s	Irradiation solaire	W / m^2
A	Aire réceptrice équivalente / surface fonctionnelle du bâtiment	m^2
I_e	Indice énergétique	Kwh/m^2
SRE	Surface de référence énergétique	m^2
η	efficacité du système de chauffage.	
COP	coefficient de performance du système de refroidissement système.	

Abréviations :

Symbole	Définition
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AIE (IEA)	Agence internationale de l'énergie (International Energy Agency)
AIVC	Air Infiltration and Ventilation Centre
AFNOR	Association française de normalisation
ANAH	Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat
APRUE	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASPO	Association for study of peak oil
BBC	Bâtiment Basse consommation
BTS	Béton de terre stabilisé
CDD	Cooling Degree-Day
CDER	Centre de développement des énergies renouvelables
CIME	Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Energie
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DPE	Diagnostic de performances énergétiques
DTR	Documents techniques réglementaires
ECS	Eau chaude sanitaire
EDSL	Environmental Design Solution Limited
FFB	Federation Française du Bâtiment
FNME	Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
HDD	Heating Degree-Day
HPE	Haute performance énergétique
HQE	Haute qualité environnementale
ISO	International Standard Organization
MCP	Matériaux à changement de Phase
NEAL	New Energy Algeria
PNME	Programme national de maîtrise de l'énergie
PREBAT	Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment

PSD	Plancher solaire direct
PVC	Poly chlorure de Vinyle
QEB	Qualité environnementale des bâtiments
RT	Réglementation thermique.
Tep	Tonne équivalent pétrole
TCAM	Taux de croissance annuel moyen
THPE	Très haute performance énergétique
UNFCCC	Nations unies dédié au changement climatique
VIR	Vitrage à isolation renforcée
VMC	Ventilation motrice contrôlée

Introduction :

Notre planète subit de nombreuses mutations climatiques dont le réchauffement planétaire. Les climatologues ont constaté que la température moyenne de la planète avait augmenté de 0,6°C au cours du XXe siècle.¹ Les activités humaines sont en majeure partie responsables de ce réchauffement et les causes sont multiples se résumant en l'émission considérable des gaz à effet de serre. Les conséquences sont néfastes, et pour l'environnement, et pour l'être humain.

Selon Gauzin-Müller², le constat mondial est plutôt sombre : le climat se dégrade, les pollutions sont de plus en plus tenaces, les ressources trop souvent surexploitées, de nombreuses espèces sont en danger, et la prospérité réservée à seulement 20% des habitants de la planète. Il faut donc agir par une action immédiate et à long terme qui passe en tout premier lieu par la diminution de nos émissions de gaz à effet de serre.

Avec l'intérêt grandissant pour le développement durable et la lutte contre le changement climatique, il devient pressant de réduire les dépenses énergétiques dans les bâtiments afin de parvenir à respecter les exigences de réduction des émissions de GES dans le cadre du protocole de Kyoto.³ Le développement durable a longtemps été abordé prioritairement sous l'angle des transports, mais on sait aujourd'hui que pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre, il est nécessaire de traiter la maîtrise de l'énergie et du développement durable dans le bâtiment. Selon Sidler⁴, dans la situation d'urgence actuelle, il faut d'abord maîtriser l'énergie parce que c'est facile et spectaculaire, puis rechercher des solutions énergétiques de substitution pérennes capables de répondre à nos besoins à long terme.

Le sommet de Rio de Janeiro en 1992 et les engagements pris depuis par les gouvernements de nombreux pays ont accéléré le processus menant à la généralisation de la démarche environnementale dans tous les secteurs économiques et en particulier dans le bâtiment. Dans les pays industrialisés d'Europe, les mesures sur l'isolation renforcée de l'enveloppe sont systématiquement associées à des installations techniques optimisées⁵.

¹ <http://www.legrenelle-environnement.fr/>

² **Gauzin-Müller D.** « *L'architecture écologique, 29 exemples européens* » éd Le Moniteur, 2001.

³ **Moujalled B.** « *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés* », Thèse de doctorat, Lyon 2007. p 17.

⁴ **Sidler O.** Directeur ENERTECH : « *Les bâtiments à faible consommation d'énergie - Eléments de contexte* » Journée technique sur l'étanchéité à l'air des bâtiments Dijon - 21 Novembre 2007.

⁵ **Gauzin-Müller D.** « *25 maisons écologiques* », Edition le Moniteur 2005. Page 9

Ceci nous amène à souligner l'importance que revêt la problématique de l'énergie, qui occupe une place chaque jour grandissante dans l'actualité. La diminution progressive des énergies fossiles et l'augmentation du prix de ces énergies qui en découle, les effets annoncés du réchauffement climatique, d'autant plus que le 4^{ème} rapport du GIEC⁶ est particulièrement alarmiste sur les effets induits, renforçant l'idée que la maîtrise des consommations d'énergie va devenir un des enjeux essentiels du XXI^e siècle.

Les enjeux de la consommation excessive de l'énergie dans le bâtiment sont de trois ordres :

- ✚ sociaux de par l'augmentation du coût et des tarifs de l'énergie.
- ✚ économiques de par l'épuisement des énergies fossiles et l'incapacité aux pouvoirs politiques de chaque pays à bien gérer les demandes énergétiques.
- ✚ environnementaux compte tenu de la contribution de ce secteur dans l'émission des GES.

Les bâtiments, construits pour la plupart avant 1975, alors qu'aucune réglementation thermique n'encadrerait leur construction, sont aujourd'hui largement responsables des émissions de gaz à effet de serre et de la surconsommation d'énergies non renouvelables un peu partout dans le monde⁷. Il y a donc urgence à les mettre aux normes pour en maîtriser la consommation énergétique, conformément aux engagements pris au niveau international pour la lutte contre le changement climatique. Par ailleurs, on sait que les besoins de l'homme moderne en matière énergétique ne cessent de croître en exerçant de fortes pressions sur la demande énergétique. Ces pressions engendrent des conflits qui aboutissent à une utilisation énergétique excessive et une confrontation au quotidien à des problèmes de pollution.

En matière d'économie d'énergie, le bâtiment se décline comme un secteur prioritaire puisqu'il représente, selon le pays, de 30 à 50% de la demande énergétique totale.⁸ Selon Nadine (2001), parmi les secteurs où des études pourraient être faites en vue de réduire la demande énergétique, le résidentiel offre des possibilités importantes.⁹ Sachant que la consommation d'énergie dans l'habitat est à l'origine d'émissions importantes de gaz à effet de serre et pèse lourd

⁶ GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, « rapport d'évaluation n°4 », 2007.

[En ligne] <http://www.ipcc.ch>

⁷ [En ligne] <http://www.cstb.fr>.

⁸ Tissot B. et al. « Energie 2007-2050 les choix et les pièges », Paris : Académie des sciences, institut de France, 2007. [En ligne] <http://www.academie-sciences.fr>

⁹ Nadine A. « proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais » Thèse de doctorat, Lyon, 2001. page 17.

dans le budget des ménages¹⁰, il faut dès lors agir sur nos comportements quotidiens, mais il apparaît aussi qu'une conception adaptée lors des constructions et la mise en œuvre d'équipements performants lors des rénovations permet de réduire les factures énergétiques et de réduire ainsi les dépenses, sachant que la croissance de la consommation des combustibles fossiles demeure exponentielle.

L'Algérie ne fait pas exception à ce schéma exponentiel, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) étant responsable de 41% de la consommation énergétique nationale finale, et représente un taux de croissance annuel estimé à 6.28%.¹¹ Et comme partout ailleurs, la question concernant la réduction de la consommation d'énergie est d'actualité dans notre pays, lequel par une négligence des paramètres climatiques lors des différentes conceptions, se trouve confronté crucialement au problème de l'augmentation de la consommation énergétique, en particulier en été pour la climatisation.

Problématique :

Le parc de logements existants en Algérie est considérable, il avoisine les 6 298 309 unités.¹² La plupart des bâtiments existants sont inadaptés et gros consommateurs d'énergie de part la négligence des aspects climatiques lors de leur construction, dont l'importance ne paraît aux yeux du propriétaire ni même du concepteur que lors de dépenses supplémentaires de chauffage et de la climatisation.

Ces logements n'ayant été soumis à aucune exigence réglementaire thermique ou énergétique à leur construction, il s'avère donc nécessaire de réduire leur impact environnemental en promouvant le concept de la réhabilitation énergétique et les mettre aux normes pour en maîtriser la consommation énergétique.

Est-il acceptable que la plus part des logements sociaux existants ont déjà été réhabilités ces dernières années sans qu'un effort majeur soit consenti à l'amélioration des performances énergétiques de ces logements ? La durée de vie d'un ancien bâtiment peut être prolongée tout en

¹⁰ **Flory-Celini C.** « *Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant* », Thèse de doctorat, Université Lyon 1 Claude Bernard, 2008. P 21.

¹¹ **APRUE** « Consommation énergétique finale de l'Algérie. Chiffres clés, année 2005 » Données et indicateurs, Alger, APRUE 2007.

¹² **ONS** « Exploitation exhaustive du recensement général de la population et de l'habitat, Résultats 2002-2004 », 2006. [En ligne] <http://www.ons.org.dz>

améliorant son confort et en réduisant son coût énergétique.¹³ Il nous paraît alors crucial de porter un intérêt à l'introduction de l'efficacité énergétique dans les logements existants.

Il faut savoir que pour réduire les besoins énergétiques d'un bâtiment, on peut jouer sur plusieurs paramètres, à savoir :

- Le bâtiment lui-même: l'implantation et l'orientation du bâtiment, son architecture et son enveloppe: choix des matériaux, fenêtre, type de vitrage, brises soleils, forme de toiture, hauteur...
- L'amélioration des performances et du rendement des équipements.
- Le recours à l'utilisation des énergies renouvelables.

Parmi les problèmes d'ambiance qui peuvent apparaître dans un logement, celui de l'inconfort thermique est le plus redouté durant l'été. Ce constat nous incite donc à nous intéresser dans le présent travail tout particulièrement à ce problème par le biais d'analyse du comportement thermique de trois échantillons de logements situés à différents étages dans un immeuble d'habitation collective à Constantine durant le mois le plus chaud de l'année.

Le but essentiel recherché est l'obtention d'un logement qui va très loin dans les économies d'énergie en été pour les besoins de la climatisation, en protégeant le logement contre les apports solaires significatifs, qui sont fréquemment la cause de contraintes thermiques pouvant générer des surchauffes, avec un confort adapté aux besoins des occupants en température et humidité.

De ce fait, les questions que l'on se pose sont les suivantes :

- ✚ Quelle est l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique?
- ✚ Y a-t-il une relation entre l'amélioration des performances énergétiques des logements existants et la maîtrise de leur consommation énergétique ?
- ✚ Comment pourrait-on améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et la rendre aussi proche que possible que celle des bâtiments neufs normalisés?

¹³ **Mia Meftah M.** « *Etude de faisabilité de l'utilisation de l'énergie solaire en vue de la réhabilitation thermique du bâti existant* » colloque national : pathologie des constructions. Université Mentouri Constantine, 25-26 novembre 2008.

L'hypothèse est la suivante :

La réhabilitation énergétique des logements existants permet une plus grande performance énergétique en contribuant à la réduction de l'impact écologique de l'habitat sur son environnement, en permettant la réduction de la consommation d'énergie et en assurant un confort intérieur optimal.

Dans un premier temps, on se base sur la situation actuelle, ensuite on tentera de donner les meilleures combinaisons possibles pour atteindre deux cibles : économies d'énergie et confort thermique pour les bâtiments à usage d'habitation.

Objectifs :

Les objectifs à long terme d'une réhabilitation énergétique de l'existant sont :

- La diminution des émissions des gaz à effet de serre.
- L'économie des énergies dites non renouvelables.

L'objectif visé dans le cadre de ce travail est l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique. Dans ce sens notre travail convoitera les objectifs suivants :

1. Identifier les principales solutions techniques et de meilleure gestion des consommations énergétiques.
2. Définir et mettre en œuvre une stratégie de réhabilitation énergétique d'un logement.
3. Démontrer l'importance d'une opération de réhabilitation énergétique d'un logement.

Méthodologie et outils de recherche:

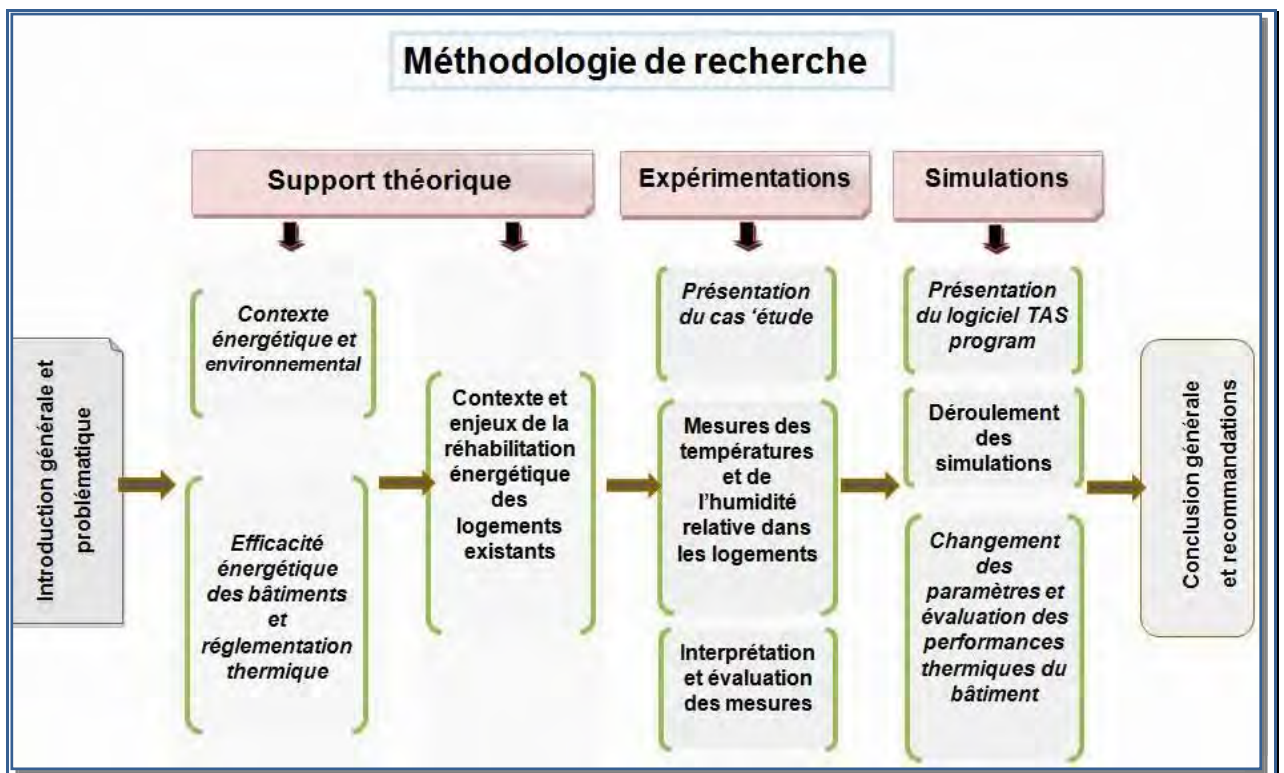
Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre des efforts menés pour maîtriser les impacts environnementaux du bâtiment tout en assurant une qualité des ambiances intérieures satisfaisantes. Il s'articule autour de deux volets :

- Le premier, étant théorique et consistera en une analyse des nouveaux concepts liés au sujet de la recherche ainsi que de l'observation de la problématique énergétique c'est à dire le développement du facteur énergie, son importance dans l'économie, les causes de l'augmentation de la consommation énergétique et son impact sur l'environnement.
- Le deuxième pratique, concerne l'investigation in situ et la simulation. Il se basera donc sur l'étude d'un bâtiment d'habitat collectif à Constantine construit en 1974 avant toute réglementation thermique, et qui consiste en une acquisition de données relatives à la

consommation énergétique ainsi que les mesures à l'aide d'instrumentation des températures et des humidités relatives.

L'utilisation d'un logiciel de modélisation thermique dynamique « EDSL TAS program version 9.1.4.2 » aura pour rôle la validation des différentes solutions thermiques (isolation de l'enveloppe extérieure, changement du simple vitrage, isolation de la toiture) pour prédire le comportement thermique de l'enveloppe et son impact sur la réduction des consommations de l'énergie de rafraîchissement en période chaude.

Le travail de cette recherche devra aboutir à des recommandations sur les principales solutions techniques de réhabilitation énergétique pour une meilleure efficacité énergétique du bâtiment et un confort optimal pour les habitants.



« Nous entrons dans une ère sans précédent.
L'industrie humaine modifiera le climat et la
vie sur la planète. » (Antonio Stoppani 1880)¹⁴

Introduction :

Avec l'augmentation vertigineuse des coûts des ressources énergétiques primaires, l'efficacité énergétique est devenue un facteur clé du développement économique et environnemental de tout pays, de toute communauté. Elle constitue un problème crucial dans un marché où la productivité et la compétitivité représentent d'importants indicateurs de performance. Par conséquent, l'augmentation de l'efficacité énergétique et l'atténuation des impacts climatiques représentent les principaux défis à relever au cours des années à venir. Le secteur du bâtiment dispose d'un grand potentiel pour contribuer à cet objectif.¹⁵

La maîtrise des consommations d'énergie arrive au premier rang des politiques qu'il faut rapidement mettre en œuvre parce que c'est elle qui possède le plus grand potentiel, qu'elle est applicable dans tous les secteurs et dans tous les pays, qu'elle est le meilleur instrument de la lutte contre le changement climatique, enfin qu'elle permet de ralentir l'épuisement des ressources fossiles et d'assurer qu'une part croissante de la consommation d'énergie soit assurée par les énergies renouvelables.

Elle constitue en outre un facteur de développement économique par la diminution des dépenses énergétiques et aussi par la création de nouvelles activités et d'emploi. C'est un impératif de premier ordre des politiques énergétiques et économiques.¹⁶

A l'échelle internationale, on sait déjà que des efforts considérables ont été déployés ces deux dernières décennies pour sensibiliser les gens aux problèmes d'économies de l'énergie et de l'environnement. La hausse des prix des énergies fossiles tend à renforcer cette prise de conscience. L'Algérie, comme tous les autres pays d'ailleurs, est en faveur d'une politique énergétique à l'échelle de tout son territoire.

Nous expliquons dans ce chapitre la relation qui existe entre l'utilisation excessive des énergies fossiles et le changement climatique, les différentes énergies utilisées en Algérie et le recours aux énergies renouvelables éventuellement.

¹⁴ [En ligne] <http://www.chantier.net/prebat/>

¹⁵ « Efficacité Énergétique dans le Secteur du Bâtiment en Méditerranée », [En ligne] www.medenec-gtz.fr

¹⁶ **Laponche B.** « Prospective et enjeux énergétiques mondiaux : un nouveau paradigme énergétique » 1^{er} Séminaire, Saline Royale d'Arc et Senans, 23-24 novembre 2006. [En ligne] www.imagine-conference-Laponche.fr

I.1 Épuisement des ressources d'énergie :

L'épuisement des ressources fossiles se fait de plus en plus ressentir dans tous les pays : la crise énergétique est mondiale (cf. Fig. I.1). D'ailleurs, certains estiment que le problème de l'énergie est le plus gros problème auquel devra faire face l'humanité au cours des 50 prochaines années.¹⁷ D'après Jean Christian L'Homme¹⁸, La fin des combustibles fossiles est annoncée depuis leur découverte : « nombre d'entre nous vivrons de profondes mutations, notamment dans l'industrie automobile et l'habitat. »

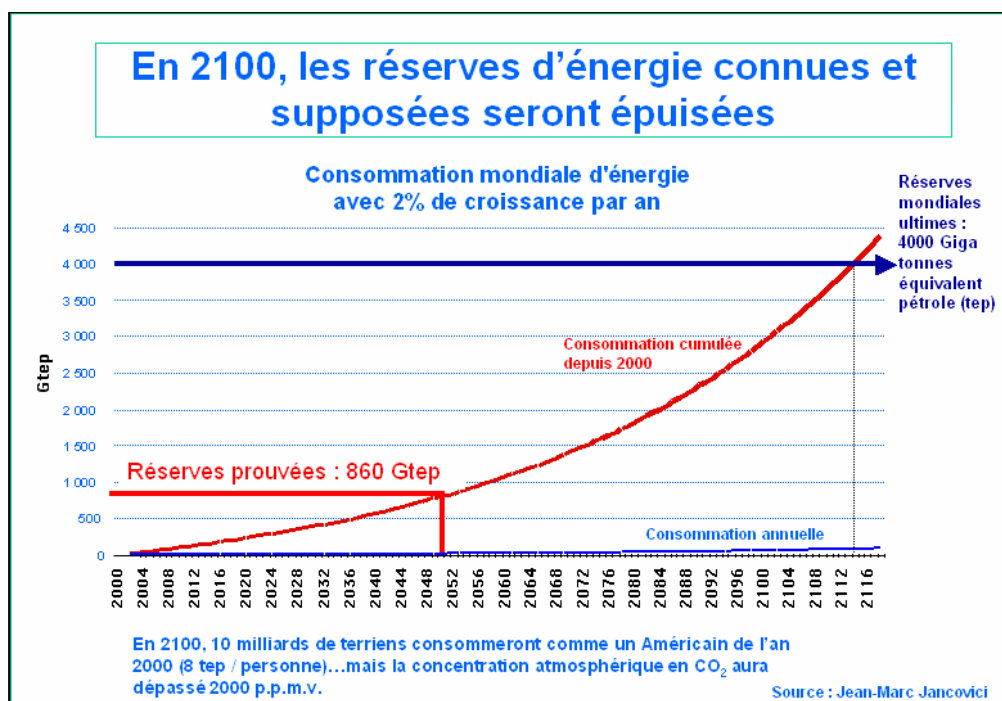


Fig. I. 1 : Ressources énergétiques fossiles et consommation d'énergie

Source : www.territoire-energie.fr

La prise de conscience en ce qui concerne le caractère non durable des ressources d'énergie a conduit à des accords internationaux suite aux conférences mondiales de Stockholm, de Rio de Janeiro et de Johannesburg. Néanmoins, le protocole de Kyoto est le plus important instrument visant à lutter contre les changements climatiques. Il contient l'engagement pris par la plupart des pays industrialisés de réduire leurs émissions de certains gaz à effet de serre, responsables du réchauffement planétaire, de 5% en moyenne.¹⁹

¹⁷ Smalley R. E., Rice University, allocution prononcée au 27e Illinois Junior Science and Humanities Symposium, le 3 avril 2005. [En ligne] <http://cohesion.rice.edu>

¹⁸ L'Homme J.C. « La maison économe. » Delachaux et Nestlé SA, Paris 2005. page12

¹⁹ [En ligne] http://europa.eu/legislation_summaries/environment/

Signé en 1997, il fixe aux pays industrialisés des objectifs, juridiquement contraignants, de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2008-2012, par rapport au niveau d'émissions de 1990. Il est entré en vigueur le 16 février 2005.

En ce début de XXIème siècle nous sommes donc confrontés à une double problématique : celle du réchauffement climatique qui menace notre survie sur Terre et celle de la pénurie en énergie fossile, avec pour corollaire une grave crise économique si la facture énergétique n'est pas contrôlée.²⁰ D'autre part, le secteur du bâtiment est responsable pour 36% de la consommation finale de l'énergie dans le monde²¹, ce qui nous amène à souligner toute l'importance de l'intérêt porté à ce secteur.

I.1.1 Les différentes énergies :

Les énergies sont multiples et diversifiées, des énergies fossiles aux énergies renouvelables, un véritable défi énergétique et environnemental à mener par tous les pays développés et ceux en voie de développement.

I.1.1.1 Caractéristiques des énergies fossiles :

Certaines matières premières tendent à devenir rares, à une échéance plus ou moins proche, entre autres les énergies fossiles qui ont longtemps dominé l'approvisionnement énergétique dans le monde. En effet, les réserves ont cessé d'augmenter depuis 1990 au moins, alors que la consommation, elle, continue de croître inexorablement.

Le pétrole, le charbon et le gaz naturel, trois énergies polluantes et non renouvelables, fournissent plus de 80 % de la consommation quotidienne mondiale d'énergie.²² Aujourd'hui la communauté scientifique reconnaît la responsabilité de cette consommation sur le réchauffement climatique qui risque d'avoir des effets dramatiques sur les équilibres physiques, économiques, sociaux et politiques de notre planète.

²⁰ **Sidler O.** Sté ENERTECH « *Les bâtiments à faible consommation d'énergie – Eléments de contexte* » Journée technique sur l'étanchéité à l'air des bâtiments Dijon 21 Novembre 2007. [En ligne] www.territoire-energie.fr

²¹ **Wenzel K.** « *Efficacité Energétique dans le Bâtiment-Expériences dans la Région MEDA* » Table Ronde «Energie et expériences sectorielles » ENERGAIA, Montpellier 2008. [En ligne] www.med-enec.com

²² **Chevalier J.M.** « *Les nouveaux défis de l'énergie – Climat - Economie - Géopolitique* » ed.EconomicaAuteur 2009. [En ligne] <http://www.notre-planete.info>

Les ressources énergétiques fossiles sont donc limitées et ne pourront répondre aux besoins croissants de la population mondiale. Mais elles sont en quantité suffisante pour que leur combustion déclenche un bouleversement climatique dangereux pour la planète.²³

Chaque région du monde a sa spécificité, son capital de ressources naturelles, son histoire, son niveau de développement économique, sa vulnérabilité au réchauffement climatique. Pour des centaines de millions d'individus, priorité est donnée à la croissance économique, à la création de richesses, mais cette priorité est synonyme d'augmentation de la consommation énergétique et donc d'augmentation des émissions de gaz à effet de serre.²⁴

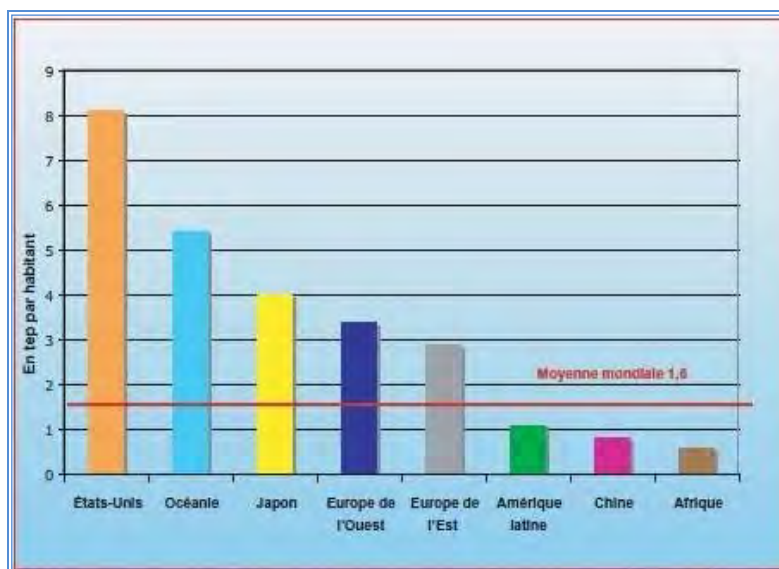


Fig. I. 2 : Consommation moyenne d'énergie par habitant en 2001
Source : AIE/OCDE (De Herde & Liébard 2005)

D'autre part, et du fait des évolutions démographiques et des modes de vie, tous les pays connaissent des taux de croissance de leur demande énergétique de plus en plus élevés (cf. Fig. I.2). Ces évolutions impliquent des risques et des enjeux à la fois géopolitiques, socio-économiques et environnementaux :

- ✚ Croissance de la dépendance énergétique : pour certains pays producteurs, il ya le risque de voir leurs capacités d'exportation réduites par l'accroissement de leur demande interne; pour les autres pays le risque est de faire face à un déficit énergétique croissant.
- ✚ Croissance des coûts d'approvisionnement : dans un contexte de hausse des prix des hydrocarbures et de leur volatilité, la croissance massive des importations d'énergie

²³ [En ligne] <http://www.moinsdeco2.com>

²⁴ Chevalier J.M. « *Op. Cit 9* »

pourrait alourdir le coût de la facture énergétique des pays et des ménages avec des incidences sociales graves.

- ✚ Impacts sur l'environnement : les émissions totales de CO₂ liées aux activités énergétiques s'accroîtraient d'année en année et constitueraient un danger potentiel pour toute la planète (cf. Fig. I.3).

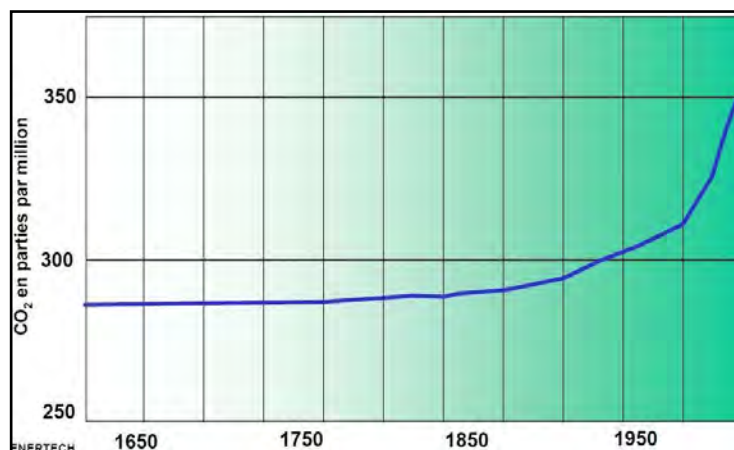


Fig. I. 3 : Evolution du taux de CO₂ sur terre.

Source : www.territoire-energie.fr

Les émissions relatives à chaque type d'énergie sont indiquées dans le tableau Tab .I.1 et souligne donc la gravité du danger qui pèse sur la planète de par l'utilisation des énergies fossiles.

Tab. I. 1 : Emissions de carbone associées aux combustibles fossiles.

Source : [Http://www.agora21.org](http://www.agora21.org)

Emissions unitaires	Charbon	Pétrole	Gaz naturel
Tonne de carbone/tep	1.123	0.83	0.653

Une utilisation plus rationnelle de ces énergies s'impose et doit se concrétiser par l'efficacité énergétique des logements, des équipements électroménagers plus performants, des technologies industrielles économes, des transports économes etc..... combinée à un recours plus intensif au potentiel d'énergies renouvelables de chaque pays.

I.1.1.2 Les énergies renouvelables :

L'impératif environnemental nécessite le développement d'énergies non émettrices de CO₂ et inépuisables, c'est là toute l'importance que revêt l'utilisation des énergies renouvelables.

Très attendues, ces énergies apparaissent en pleine santé et s'allient à la maîtrise des consommations pour concrétiser les accords de Kyoto.²⁵ L'intégration de ces énergies renouvelables dans l'habitat, vise un plus grand confort et favorise une nouvelle ère énergétique, plus performante et propre. Elles présentent d'énormes avantages dans la mesure où elles ne produisent pas de gaz à effet de serre. Les prochaines années s'annoncent donc prometteuses pour ces énergies dites énergies propres.

I.1.1.2.1 Les sources des énergies renouvelables :

Le recours aux énergies renouvelables, sources naturelles inépuisables, dans le bâtiment fait appel à une large gamme de produits et de procédés. Les principales sources d'énergies renouvelables se trouvent dans le soleil (solaire thermique, solaire photovoltaïque), dans le sol (géothermie), dans l'air (éolien), dans l'eau (hydroélectricité) et dans les forêts (bois énergie).

Elles sont donc classées en deux familles principales²⁶ :

- ✚ Les énergies « renouvelées » dont le soleil, le vent et l'eau qui sont constamment renouvelées, puissants mais diffus et intermittents. Il ya aussi la chaleur de la terre communément appelée la géothermie qui est une source inépuisable et opérationnelle.
- ✚ Les énergies « compensées » dont le bois, le biogaz, le bagasse...

I.1.1.2.2 Applications dans le bâtiment :

Les applications dans le bâtiment concernent principalement la production de chauffage, d'eau chaude et la production d'électricité. Cette production à partir d'énergies renouvelables, va de pair avec une utilisation rationnelle de l'énergie liée d'une part à la performance des enveloppes de bâtiments et d'autre part à la maîtrise de tous les usages des différentes énergies dans les bâtiments.

I.1.1.2.3 Avantages des énergies renouvelables :

Ils sont multiples et se résument en leur disponibilité et leur dispersion dans l'espace : constituant un potentiel important et inépuisable, particulièrement le solaire, elles peuvent, par conséquent, être utilisées partout où elles se trouvent. Ajouté à cela, leur caractère non polluant et par conséquent non nocif à l'environnement, ce qui en accentue l'intérêt.

Les énergies renouvelables contribuent d'une autre manière à la protection du climat, car l'énergie nécessaire à la fabrication des systèmes est inférieure à leur production.

²⁵ Lhomme J.C. « *Op. Cit 5* » page 91.

²⁶ *Ibid*, Page 92.

I.1.2 Coûts de l'énergie :

La crise climatique s'accompagne d'une crise énergétique due à la surconsommation de ressources énergétiques non renouvelables. C'est ce qui explique en grande partie l'élévation du prix de l'essence ainsi que le poids de la facture du chauffage ou de la climatisation dans le budget des ménages un peu partout dans le monde. Et bien que le prix de ces énergies soit en perpétuelle hausse (cf. Fig. I.4), la demande en énergie primaire augmente d'année en année, en réponse à un développement économique permanent et une recherche de confort plus soutenue. L'augmentation du coût de l'énergie nous a rappelé que son entretien l'était tout autant.



Fig. I. 4 : Prix du baril de pétrole (US\$)

Source: Energy Information Administration (US Government)

Ceci nous amène à souligner l'urgence de l'utilisation des énergies renouvelables en compensation aux énergies fossiles, énergies volatiles, à durée bien déterminée, aux prix inaccessibles flambants et nuisibles à l'environnement.

I.2 Les enjeux énergétiques à l'échelle planétaire :

Les enjeux énergétiques à l'échelle planétaire sont bien connus. Ils sont bien sûr directement liés aux risques de changement climatique qu'entraînent les émissions de CO₂.

Au niveau international, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, susceptible de bouleverser de manière irréversible le climat, place l'énergie au premier rang des défis à relever.²⁷

²⁷ **Gayral L.** « Gestion de l'énergie au sein du patrimoine bâti des collectivités territoriales européennes dans le cadre de la libéralisation des marchés : Etude économique des mécanismes financiers favorisant l'investissement dans l'efficacité énergétique », Thèse de doctorat, université de Paris, 2005, page18.

I.2.1 L'effet de serre :

Bien après la mise en évidence de l'effet de serre par le mathématicien français Joseph Fourier en 1827, le chimiste suédois Svante Arrhenius avance en 1896 qu'une augmentation des rejets anthropiques de gaz carbonique (CO₂) dans l'atmosphère serait susceptible d'entraîner un réchauffement à l'échelle de la planète. (Source : Encarta)

L'effet de serre (cf. Fig. I.5) est un phénomène physique naturel. Présents en petite quantité dans l'atmosphère, certains gaz comme le gaz carbonique ou le méthane retiennent une large part du rayonnement solaire. Ils permettent ainsi le maintien sur Terre d'une température moyenne d'environ 15°C. Sans eux, la température globale atteindrait à peine -18°C. L'effet de serre existe naturellement, c'est son augmentation qui pose donc problème

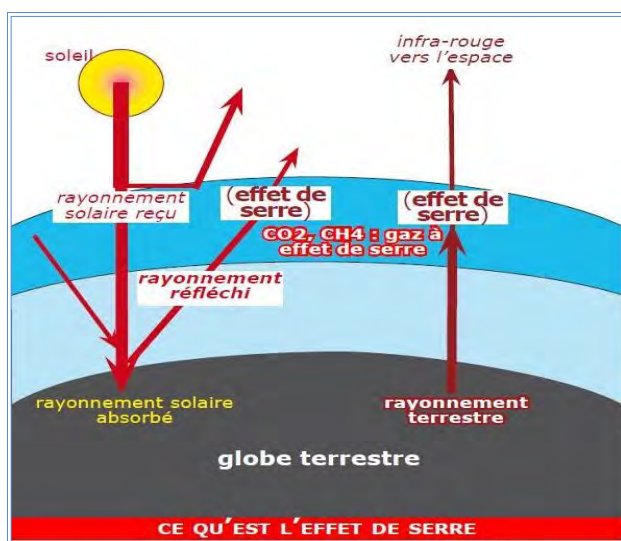


Fig. I. 5 : Principe de l'effet de serre. (Source : Roger Cardiergues 2008)

I.2.1.1 Conséquences de l'effet de serre :

Ce n'est finalement que dans les années 1980 que les scientifiques mettent réellement sur le devant de la scène internationale ce problème environnemental majeur à l'échelle du globe. Il est dès lors peu à peu admis que le climat tend à se réchauffer, compte tenu de l'accentuation du processus d'effet de serre par l'augmentation du rejet de certains gaz dits « gaz à effet de serre » : principalement le dioxyde de carbone CO₂, le méthane CH₄ et le protoxyde d'azote N₂O. (Source : Encarta)

Et comme l'indique le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), publié en février 2007, la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère a progressé de 35% entre 1750 et 2007. Et le rythme semble encore s'accélérer (cf.

Fig. I.6). Elles ont augmenté de 70% entre 1970 et 2004, approchant les 50 milliards de tonnes d'équivalent CO₂ par an.²⁸

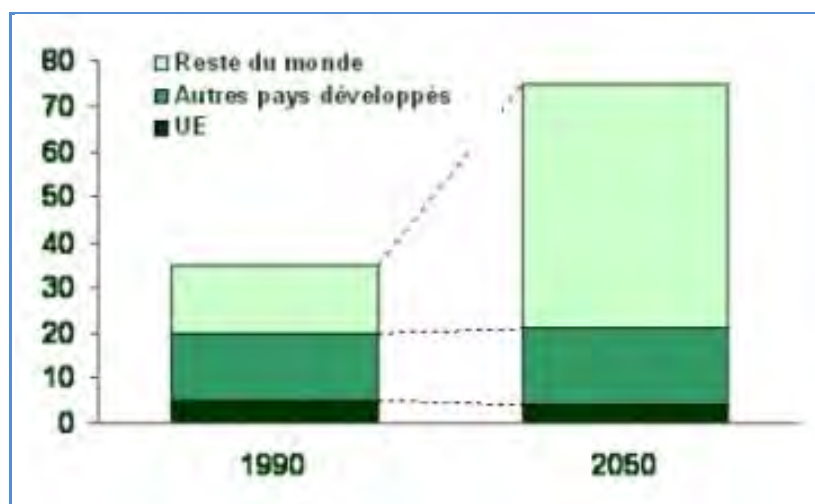


Fig. I. 6 : Prévisions d'évolution des émissions de GES dans les différentes régions du monde.

Source: UNFCCC, Nations unies dédié au changement climatique CNRS, 2003

Le développement des activités humaines accroît l'effet de serre, avec pour conséquence une augmentation de la température à la surface du globe et un risque d'importants changements climatiques sur la planète. La communauté internationale a pris conscience de l'enjeu et élabore des mesures pour lutter contre ce phénomène.

I.2.1.2 Les accords de Kyoto :

Les engagements de Kyoto ont été pris pour apporter un début de solution au problème, les organisations internationales se mobilisent, et le protocole de Kyoto rentre réellement en vigueur en 2005 où le seuil de ratification des pays signataires est atteint. Selon les accords de Kyoto, à l'horizon 2012, 150 pays devraient réduire leurs émissions globales de gaz à effet de serre d'au moins 5% par rapport au niveau enregistré en 1990.²⁹

Fin 2007, la conférence de Bali lance les négociations sur un accord qui succéderait au protocole de Kyoto, en 2012. L'objectif principal est de rallier les principaux émetteurs de CO₂ (Chine, Etats-Unis, Australie, Inde...) aux nouvelles négociations qui devraient durer deux ans...³⁰

²⁸ GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, *rapport d'évaluation n°4*, 2007. [En ligne] <http://www.ipcc.ch>

²⁹ Lhomme J.C. « *Op. Cit5* » Page 9.

³⁰ « *Comprendre les enjeux de la rénovation thermique* », Guide pratique de Rénovation thermique 2008. [En ligne] <http://www.batirenovation.com>

I.2.2 Impacts sur l'environnement :

Les variations climatiques ne sont pas des événements nouveaux. Mais la fulgurante accélération du réchauffement climatique actuel est sans précédent dans l'histoire connue ; elle puise sa source dans les profondes modifications de la chimie atmosphérique, principalement sous la pression des combustions d'hydrocarbures fossiles.³¹

I.2.2.1 Changement climatique :

Le réchauffement du système climatique est maintenant évident dans les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, de la fonte généralisée de la neige et de la glace et de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (GIEC février 2007).³²

Il est confirmé par la communauté scientifique avec une estimation de plus de 0,6 °C au cours du XXe siècle. Cette augmentation, cause de nombreux désordres climatiques, et compte tenu de la progression de la demande en énergie, en l'absence de toutes mesures, cette valeur continuerait à monter régulièrement, en entraînant une élévation de température, qui pourrait atteindre selon les scénarios établis par le GIEC de 2 à 6°C (cf. Fig. I.7) d'ici la fin du siècle avec une montée du niveau de la mer de plusieurs dizaines de centimètres.

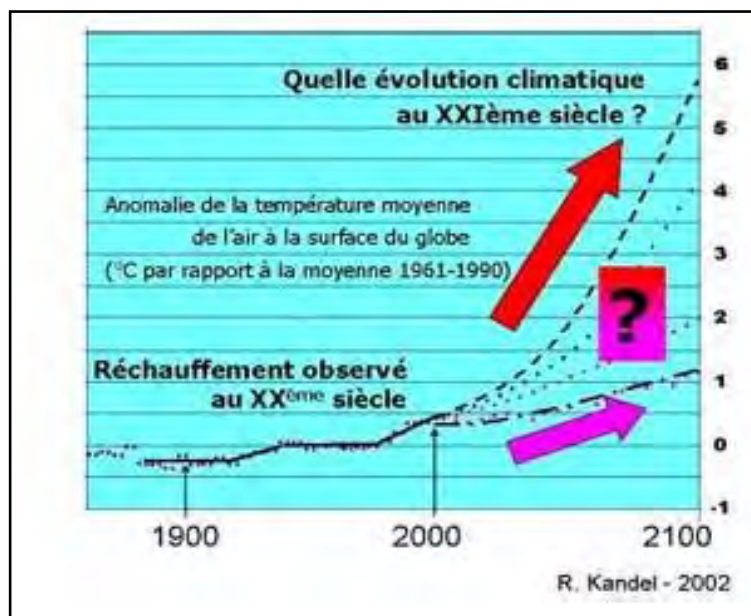


Fig. I. 7 : Le réchauffement de la terre.

Source : <http://www.science.gouv.fr>

³¹ Lhomme J.C. « *Op. Cit5* » page12

³² « Les économies d'énergie dans le bâtiment : La réglementation thermique en mouvement »
[En ligne] www.ademe.fr

I.2.2.2 Les causes du réchauffement climatique :

« Les causes du réchauffement climatique sont humaines. Les solutions aussi. Du geste quotidien aux grandes orientations politiques il y a des niveaux d'action pour chacun. »³³ Elles sont dues principalement aux combustions d'énergies fossiles qui sont considérées comme étant les principaux responsables des émissions de CO₂ (cf. Fig. I.8).

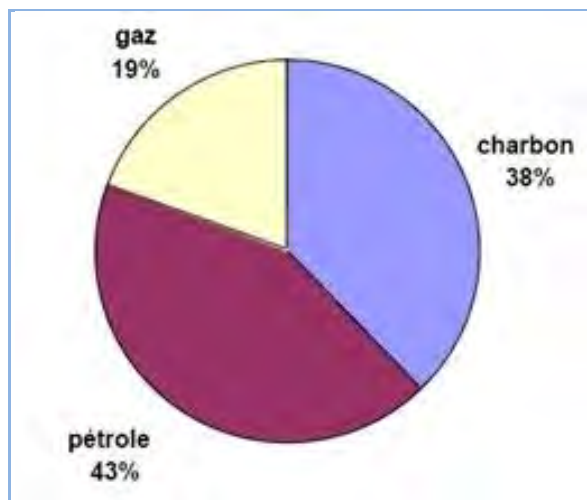


Fig. I. 8 : Répartition des émissions de CO₂ mondiales en 2000 par type d'énergie.
(Source : AIE 2000)

Les émissions dues au transport et au résidentiel / tertiaire connaissent la croissance la plus forte dans les pays industrialisés. Les transports ne représentent pas la plus grosse émission de CO₂ (21% du CO₂ mondial). La production d'énergie en représente 32% (électricité,...) et l'industrie 24% (d'après GIEC 2000). Néanmoins, c'est le secteur résidentiel / tertiaire, qui représente la croissance la plus inquiétante.

La priorité est de ce fait accordée à la stabilisation, puis la réduction au plus vite des émissions sachant qu'une unité de CO₂ dans l'atmosphère a une durabilité de plusieurs centaines d'années³⁴. La diminution des émissions de CO₂ est nécessaire pour permettre de stabiliser la concentration de CO₂ et la température moyenne plusieurs dizaines d'années plus tard. Tous les experts confirment aujourd'hui que la lutte contre le réchauffement climatique doit devenir une priorité pour tous. Pour relever ce défi, il est capital que nous réduisions massivement nos émissions de CO₂. Et comme cité dans le rapport Stern³⁵ :

³³ [En ligne] <http://www.ale-grenoble.org>

³⁴ [En ligne] <http://www.croissance-verte.com>

³⁵ Schildt J. « Comment sauver le climat » [En ligne] <http://www.greenpeace.org>

« En ce qui concerne les changements climatiques, les choix individuels jouent un rôle important. Les accords internationaux de haut niveau ne suffiront pas à enrayer le réchauffement climatique, des changements de comportements des individus et des communautés sont indispensables, et en priorité dans les domaines de l'habitat, des transports et de l'alimentation. »

I.2.2.3 Le bilan énergétique de la ville :

Comme cité précédemment, le secteur du résidentiel enregistre le plus grand taux d'émissions de CO₂ de par la grande consommation énergétique de ce secteur contribuant par là au réchauffement climatique. D'autre part, les immeubles captent la chaleur durant la journée et la restituent durant la nuit, les minima et les maxima de température sont retardés dans les villes ce qui est appelé par : décalage. La restitution de la chaleur à l'atmosphère se produit au cours de la nuit, accentuant le réchauffement climatique.

La consommation énergétique de la ville s'établit comme suit³⁶ :

$$Q^* + Q_p = Q_h + Q_e + Q_s \dots\dots\dots (1)$$

Dont :

Q* : rayonnement net

Q_p : énergie anthropique, propre à la ville

Q_h : chaleur sensible (énergie qui réchauffe les basses couches de l'air par conduction)

Q_e : chaleur latente (énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau)

Q_s : chaleur stockée par les bâtiments. (Le stockage dans le bâti est important).

Cette consommation vu son importance implique le phénomène de l'îlot de chaleur urbain qui constitue un véritable danger menaçant la survie de la population et la durabilité des villes.

I.2.2.4 L'îlot de chaleur urbain :

Les villes se sont densifiées, la température de l'air est sensiblement plus élevée en milieu urbain dense qu'aux alentours, traduisant par là le phénomène dit « îlot de chaleur urbain » (cf. Fig. I.9), qui constitue la manifestation climatique la plus évidente de l'urbanisation.

³⁶ **Abbaoui H.** « L'impact de la végétation sur le climat urbain dans les milieux aride », Thèse de magister, Biskra 2006, page 35

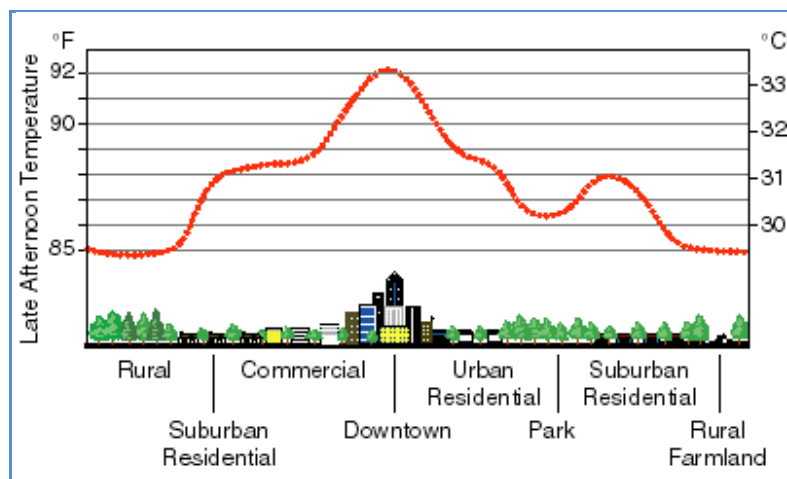


Fig. I. 9 : Représentation d'un profil de température type d'îlot thermique urbain

Source: Heat Island Group <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland>

L'îlot de chaleur urbain a des conséquences graves et néfastes sur la qualité de l'air, sur la santé, sur la consommation énergétique des bâtiments de par l'augmentation des charges de refroidissement... Car le phénomène d'îlot de chaleur a des conséquences directes sur les charges climatiques des bâtiments, donc sur le confort thermique à l'intérieur de ceux-ci mais aussi sur leur demande énergétique. En période froide de l'année, l'effet peut être positif sur la réduction des consommations dues aux systèmes de chauffage, mais en période chaude, la consommation énergétique est accrue.

I.2.2.5 Objectifs des politiques énergétiques :

Ils sont de trois ordres environnemental, économique et social :

- ❖ D'une part la préservation de l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en maîtrisant les consommations énergétiques.
- ❖ D'autre part la préservation de la qualité des bâtiments en garantissant les conditions sanitaires, en améliorant le confort et en valorisant le patrimoine bâti.
- ❖ Et en dernier, la garantie de la cohésion sociale en maîtrisant les loyers et les charges.

I.3 Panorama de l'énergie en Algérie :

A l'horizon 2025, la demande d'énergie primaire pourrait se trouver multipliée par 1,5 en Méditerranée, les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (PSEM) connaissant des taux de croissance de leur demande énergétique quatre fois plus élevés que les pays du Nord (PNM). Ils représenteraient alors 42% de la demande d'énergie totale du bassin méditerranéen, contre 29%

en 2006.³⁷ L'Algérie qui en fait partie, présente également une hausse perpétuelle et continue de la demande en énergie.

Notre pays dépend essentiellement des énergies non renouvelables dites fossiles dont les ressources se trouvent sur le territoire national actuellement mais qui sont appelées à disparaître un jour. Les énergies renouvelables, malgré un contexte géographique et climatique propices à leur développement, se trouvent négligées et non encore exploitées. Les besoins en matière d'énergie de l'Algérie augmentent rapidement, il reste que ses vastes ressources naturelles promettent de fournir un approvisionnement en énergie suffisant pour de nombreuses années à venir mais il est temps de penser à réguler et à consommer proprement.

I.3.1 Les sources d'énergie utilisée :

L'Algérie ne compte pas rester insensible aux prévisions des stratégestes selon lesquels il faut développer de nouvelles sources d'énergie, celles fossiles n'étant pas inépuisables, avec une date butoir de 2040 où la production d'hydrocarbures devrait diminuer. Néanmoins l'Algérie continuera toujours à exploiter son potentiel d'énergies fossiles, particulièrement le gaz qui a l'avantage d'être non polluant et moins coûteux, à la production et à la consommation.

Les sources d'énergie renouvelables de l'Algérie proviendraient à 60% de l'énergie solaire puisque l'Algérie est le premier gisement du bassin méditerranéen, 169.440 TWh/an, 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité, 60 fois la consommation de l'Europe, estimée à 3.000 TWh/an,³⁸ le reste serait tiré de l'éolien et du nucléaire.

Pour les années à venir, l'Algérie doit songer sérieusement à exploiter ses ressources naturelles et inépuisables. Pour le moment, elle se contente d'assurer l'approvisionnement en ressources fossiles. Et les différentes consommations en témoignent.

I.3.2 La consommation des énergies fossiles :

La consommation totale d'énergie est assurée par les produits pétroliers (53,4 %), le gaz naturel (35,1 %) et l'électricité (10,3 %)³⁹. Le gaz naturel joue un rôle croissant dans la consommation d'énergie, même si le pétrole demeure, à cause des transports, la principale source d'énergie du pays (cf. Fig. I.10).

³⁷ « Situation énergétique en région euro-méditerranéenne » [En ligne] <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

³⁸ « Guide des énergies renouvelables édition 2007 ». [En ligne] <http://www.cder.dz>

³⁹ [En ligne] www.aprue.org.dz

En effet, la pénétration du gaz a été relativement rapide 15 % en 1977, 35 % en 2001 et demeure une priorité. La part de l'électricité progresse régulièrement 6 % en 1975, 10 % en 2001, tandis que le charbon ne représente plus que 3% de la consommation finale. La production d'électricité est surtout d'origine thermique, et en faible proportion hydraulique.⁴⁰

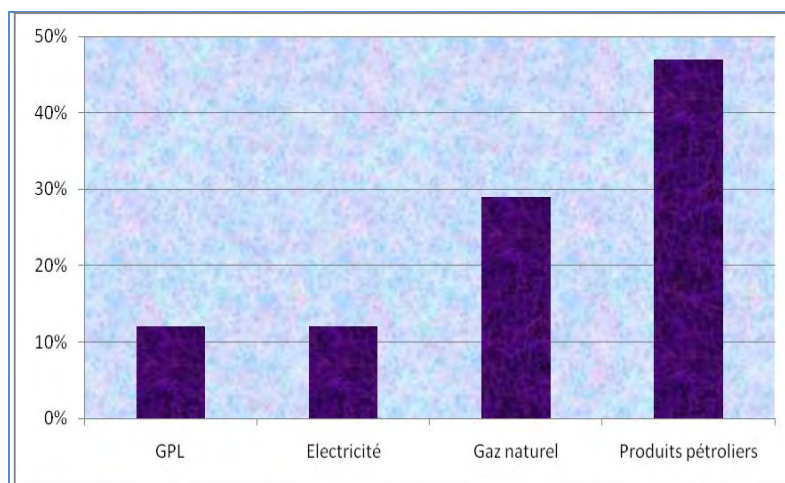


Fig. I. 10 : Répartition de la consommation finale par type d'énergie en 2005.
 Source : APRUE (édition 2007)

D'après une étude de l'université Sherbrooke au Québec, où l'établissement de l'évolution pour l'ensemble de la période 1971-2005, a permis d'enregistrer une moyenne annuelle de 480,6 kWh/personne. Et c'est en 2005 qu'on enregistre le plus haut niveau 898,6 kWh (cf. Fig. I.11).



Fig. I. 11 : Consommation d'électricité (Kwh/personne) Algérie.
 Source : <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan>

⁴⁰ Benoit G. & Comeau A. « Méditerranée : Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement », Dossier de presse 2005. [En ligne] <http://www.planbleu.org>

Le changement enregistré entre la première et la dernière année est de l'ordre de 539%.⁴¹ Pour mesurer ce changement, l'université dispose des résultats pour 35 années de la période 1971-2005. Sur la base de ces informations, des estimations ont pu être déterminées et supposent qu'en 2010 ces données devraient être de l'ordre de 908,1kwh/personne⁴² (cf. Fig. I.11). L'évolution de la consommation d'électricité (cf. Fig. I.12) s'est accompagnée par l'augmentation de la consommation / habitant de 126.26 kWh en 1970 à 702 kWh en 2002.⁴³

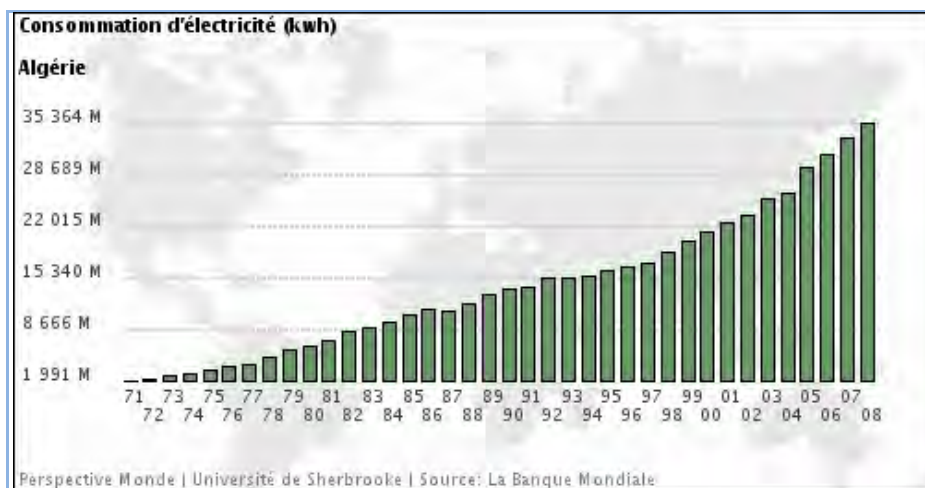


Fig. I. 12 : Consommation totale d'électricité (en Kwh) en Algérie.

Source : <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan>

I.3.3 Consommation énergétique des différents secteurs :

Le bilan énergétique national de l'année 2005, montre que la consommation finale évaluée à 24,437 Millions de TEP, fait ressortir une prédominance de la consommation énergétique du secteur des ménages (cf. Fig. I.13), soit 52,3% de la consommation finale, par rapport aux secteurs de l'industrie 23,8% et celui des transports 23,9%⁴⁴. La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 6 millions de tep en 2005.⁴⁵

⁴¹ [En ligne] <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan>.

⁴² Idem.

⁴³ **Louafi S.** « Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine », Thèse de magister, université Mentouri, Constantine, 2005.

⁴⁴ « Revue des énergies renouvelables » Vol.9 n°3,2006. Page 211. [En ligne] www.cder.dz

⁴⁵ « Consommation énergétique finale de l'Algérie » Ministère de l'Énergie et des Mines.

[En ligne] www.aprue.org.dz.

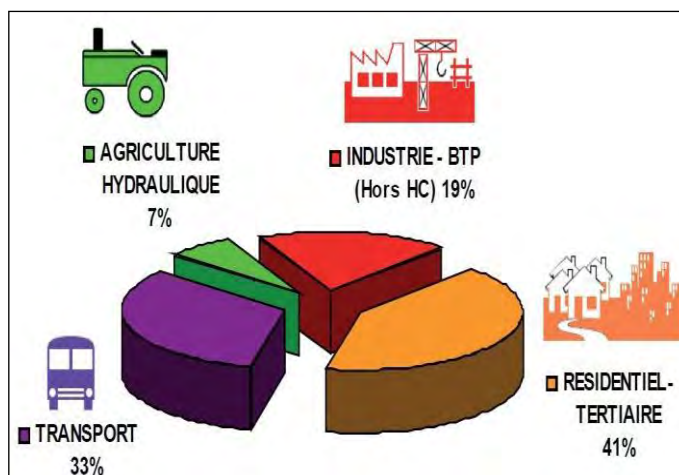


Fig. I. 13 : Consommation finale de l’Algérie par secteur d’activité en 2005.

Source : www.aprue.org.dz.

La consommation d’énergie est en perpétuelle progression et ceci d’année en année. 2006 et 2007 ont servi de comparaison pour l’évaluation de la hausse de consommation (cf. Tab. I.2). Dans la catégorie industrie et BTP il y a un accroissement de 25%, dans la catégorie transport, il est de 23%, chez les ménages et autres, la consommation d’énergie a aussi évolué atteignant 52% du total constituant le plus grand taux d’accroissement.

Tab. I. 2 : Consommation totale par secteur d’activité

Source : <http://www.city-dz.com>

	2006	2007
Industrie et BTP	6 507 000 tep	6 779 000 tep
Transport	6 035 000 tep	6 450 000 tep
Ménages et autres	13 173 000 tep	14 308 000 tep

Le bilan de la consommation finale peut être résumé à trois taux de progression entre 2006 et 2007 en matière énergétique : 9,3% pour la consommation des produits pétroliers, 14,8% pour le gaz naturel et 1,6% pour l’électricité.

I.3.4 Consommation énergétique du secteur résidentiel :

Le secteur résidentiel et tertiaire en Algérie se trouve parmi les secteurs les plus consommateurs d’énergie avec une consommation représentant 46% de l’énergie finale et de 28% de l’énergie primaire.⁴⁶ La consommation de ce secteur est en perpétuelle hausse. Un taux de croissance annuel moyen (TCAM) du secteur résidentiel - tertiaire est de l’ordre de 6.28%.

⁴⁶ Nezzar S. & Gourdache M. « Etude des Performances Energétiques d’une Conception Bioclimatique en Région Aride » World Energy Council, 1999.

La consommation énergétique moyenne annuelle d'un logement est de 1,050 tep.⁴⁷ La consommation d'énergie finale par habitant est de 0.48 TEP en 1990, son évolution passera de 0.71 TEP en 2000 à 1.35 TEP en 2010 et 1.88 TEP en 2020.⁴⁸ L'évolution de la consommation énergétique dans le secteur résidentiel représentant 35% de la consommation énergétique finale nationale⁴⁹, demeure exponentielle (cf. Fig. I.14).

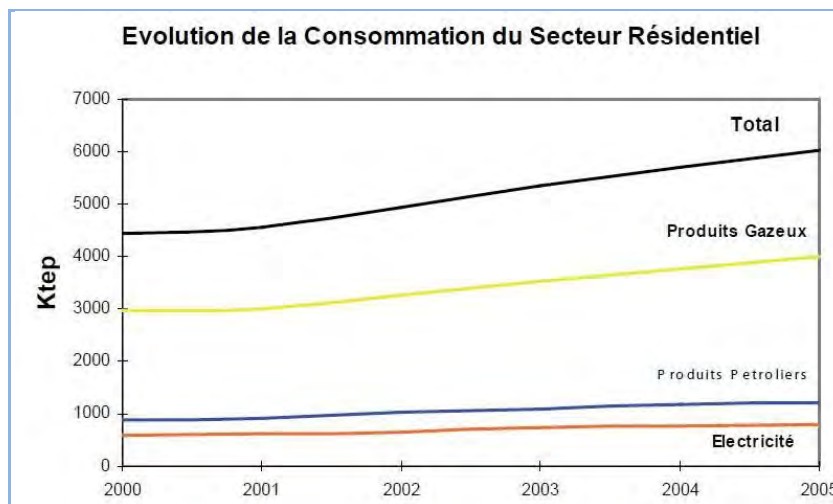


Fig. I. 14 : Evolution de la Consommation du Secteur Résidentiel

Source : www.aprue.org.dz

I.3.4.1 La consommation d'électricité :

La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 807 Ktep en 2007, elle représente 38% de la consommation totale d'électricité⁵⁰. Ainsi, il représente le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national. Selon l'APRUE, 70% de la consommation énergétique des ménages est répartie entre le post froid et les produits d'éclairage (cf. Fig. I.15).

⁴⁷ « Consommation énergétique finale de l'Algérie » Ministère de l'Energie et des Mines.

[En ligne] www.aprue.org.dz.

⁴⁸ **Chitour Ch.E.** « L'énergie, Les enjeux de l'an 2000 », Vol 1, Office des Publications Universitaires, Alger 1994 page 91.

⁴⁹ « Bulletin trimestriel de l'Aprue n°14 », Avril 2009. [En ligne] www.aprue.org.dz

⁵⁰ « Consommation énergétique finale de l'Algérie » Ministère de l'Energie et des Mines Edition 2007.

[En ligne] www.aprue.org.dz

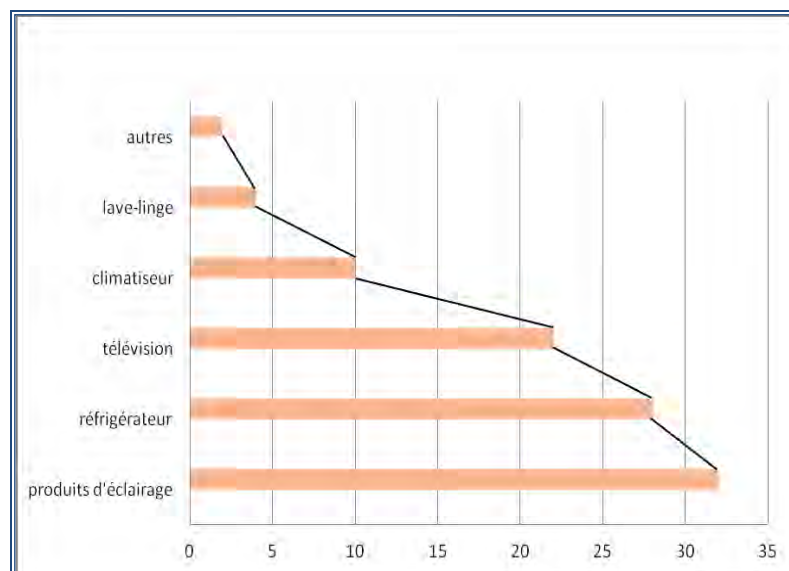


Fig. I. 15 : Répartition de la consommation électrique des ménages en % (en 2009).

Source : <http://www.algerie-dz.com>

I.3.4.2 La consommation du gaz naturel :

Troisième exportateur mondial de gaz, l'Algérie fera face à une hausse importante de la demande intérieure de gaz en raison de la croissance soutenue de son économie.⁵¹ Elle devrait consommer deux fois plus de gaz dans dix ans. La consommation de gaz à travers l'Algérie connaîtra des hausses de plus de 7% par an durant les prochaines années.

Selon le chargé d'étude de la Sonelgaz de Constantine, le secteur résidentiel constitue l'un des plus grands consommateurs de gaz de tous les secteurs. Il est considéré comme étant la source d'énergie la plus utilisée dans le secteur résidentiel à travers tout le territoire national (cf. Fig. I.16).

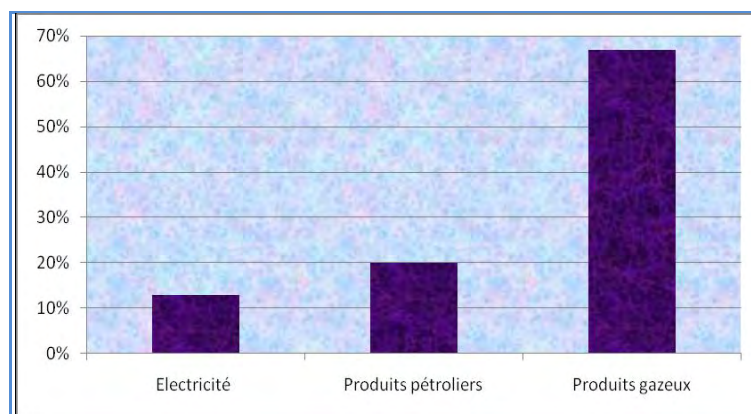


Fig. I. 16 : Consommation du secteur résidentiel par type d'énergie en 2005.

Source : www.aprue.org.dz

⁵¹ [En ligne] <http://www.algerie-dz.com>

I.3.5 Le prix des principales énergies :

Le prix des principales énergies utilisées en Algérie est en perpétuelle hausse et constitue une grande contrainte dans le budget des familles algériennes. La facture d'énergie pèse de plus en plus lourd et incite certains ménages modestes à diminuer les heures de chauffe en hiver et les heures de rafraîchissement artificiel en été. Elle constitue 10% à 20% des revenus annuels d'un ménage moyen⁵².

Au fil des ans les factures sont là pour démontrer que le prix de l'électricité et du gaz n'a pas cessé d'augmenter, notamment au cours de ces dix dernières années où l'on a vu le prix unitaire de l'électricité passer de 7,28 DA en mai 1994 à 17,13 DA en mai 2004. Idem pour le gaz passant de 0,69 DA à 1,59 DA sur la même période de temps de dix ans...

Depuis mai 2005, voulant moduler son augmentation, la Sonelgaz a établi un prix unitaire de l'électricité de 16,17 DA pour une première tranche et de 37,99 DA pour la deuxième tranche, alors que pour le gaz, respectivement de 1,53 DA et 2,95 DA.⁵³ On constate que le prix des énergies continue d'augmenter régulièrement et constitue une contrainte supplémentaire à surmonter pour assurer un minimum de confort hivernal et estival.

I.3.6 Inventaire des émissions :

Les émissions brutes de GES en Algérie s'élevaient en 1994 à 104,8 Mt d'éq. CO₂. L'analyse des émissions par source démontre une nette prépondérance de la responsabilité du secteur de l'énergie, avec 67 % des émissions soit 70 Mt, due en grande partie aux industries énergétiques et aux transports. L'utilisation des terres et forêts et l'agriculture représentent respectivement 12,4 % et 11,5 % des émissions brutes. Le reste est attribué aux déchets 4,6 % et à l'industrie 4,5 %.⁵⁴ (cf. Tab. I.3)

⁵² « Algérie : Paradoxe facture Sonelgaz » juin 2006. [En ligne] www.ladepeche.be.tf

⁵³ Idem.

⁵⁴ « *Potentiel et opportunités en Algérie* » Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement de l'Algérie, Agence internationale de l'énergie, IEPF2004 » [En ligne] <http://www.planbleu.org>

Tab. I. 3 : Bilan des émissions par secteurSource : www.aprue.org.dz

	Consommation (ktep)	Emissions GES (Teq CO2)
AGRICULTURE et HYDRAULIQUE	1 130	1 538
INDUSTRIE et BTP	3 226	3 881
RESIDENTIEL et TERTIAIRE	7 047	6312
TRANSPORT	5 536	9 574
INDUSTRIES ENERGETIQUES	5 889	18 544

Les émissions dues à l'énergie consommée sont de 40 Milliers Teq CO₂⁵⁵

- Soit un niveau d'émissions par habitant de 1,22Kg eq CO₂
- Soit un niveau d'émissions par TEP consommée de 1,752 kg eq CO₂
- Soit un niveau d'émissions par Milliards de DA produit de 5,334 Teq CO₂.

Les chiffres d'émission de CO₂ de l'électricité d'origine fossile est entre 400 g et plus de 800 g par kWh selon les technologies, sans même compter les émissions liées à l'installation initiale des centrales électriques. La durée de vie de certains gaz à effet de serre dans l'atmosphère est considérable (cf. Tab. I.4), notamment le gaz carbonique, le méthane et le peroxyde d'azote.

Tab. I. 4 : Durée de séjour approximative dans l'atmosphère des gaz à effet de serre.Source : <http://www.global-chance.org>

Gaz carbonique CO ₂	100 ans
Méthane CH ₄	12 ans
Peroxyde d'azote N ₂ O	120 ans
Halo carbures Cn halp	Jusqu'à 50000 ans

I.3.7 Les énergies renouvelables en Algérie :

Actuellement l'Algérie s'inscrit dans la perspective de développer les énergies renouvelables, avec des matériaux et systèmes propres, dans le cadre d'un développement durable. L'objectif étant d'instaurer une stratégie progressive de substituer les énergies issues des hydrocarbures par les énergies renouvelables.

⁵⁵ « Consommation énergétique finale de l'Algérie » Ministère de l'Energie et des Mines.
[En ligne] www.aprue.org.dz.

Par conséquent l'Algérie œuvre à la mise en place d'une politique de lutte contre les changements climatiques, la réduction des gaz à effet de serre (CO₂, gaz torches...) conformément aux recommandations édictées dans le contenu dans les accords de Kyoto.⁵⁶

I.3.7.1 Bilan énergétique national et énergies renouvelables:

Pour concrétiser ses objectifs, l'Algérie a instauré un texte de loi sur la promotion des énergies renouvelables promulgué en 2004 appuyé par une politique énergétique qui préconise l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national. L'objectif étant d'atteindre une contribution des énergies renouvelables de l'ordre de 6% (selon l'APRUE) dans le bilan national à l'horizon 2015 à travers les filières, photovoltaïques, thermique solaire et éolienne.

I.3.7.2 L'énergie solaire en Algérie :

Le potentiel de l'Algérie en énergie solaire est considérable, il avoisine les 5 Milliards de GWH. Le total annuel d'irradiation directe normale se situe entre 2100 kWh/m² an à plus de 2700 kWh/m² an. C'est parmi les meilleurs ensoleillements dans le monde selon le Centre de développement des énergies renouvelables (CDER) et selon Tewfik Hasni, dirigeant de New Energy Algeria (NEAL), compagnie fondée par le gouvernement algérien en 2002, pour développer les énergies renouvelables. Ce dernier a affirmé dans ses propos que : « Le potentiel en énergie solaire thermique de l'Algérie représente quatre fois la consommation énergétique mondiale ». Aussi, le ministère algérien de l'Energie a affirmé que l'Algérie reçoit assez de soleil pour couvrir 60 fois les besoins de l'Europe de l'Ouest.

Cependant, récemment Abdelmadjid Attar, ancien PDG de Sonatrach a déclaré en marge du forum d'Alger⁵⁷: « Les énergies renouvelables, c'est encore loin. Mais ça se développe petit à petit. Ça se développe, y compris chez nous. » En parlant des pays développés il a estimé une exploitation de 50% à l'horizon 2050 en précisant que ces pays ont déjà développé des industries et des technologies alors que dans le cas de notre pays, il reste beaucoup à faire dans ce domaine.

⁵⁶ « Bulletin des énergies renouvelables semestriel n°11 » Juin 2007. Page 4. [En ligne] www.cder.dz

⁵⁷ Forum d'Alger « *La rente pétrolière sous pression internationale.* » 1^{ère} session organisée le 9 mars 2011 par le cabinet EMERGY et le quotidien LIBERTE.

I.3.7.3 Sources d'énergie renouvelables en Algérie :

Les trois sources d'énergie renouvelables visées par le programme institutionnel et réglementaire retenues sont⁵⁸ :

- ✚ Le solaire thermique : une technique éprouvée et performante tant du point de vue économique qu'environnemental et largement diffusée à travers le monde. Non polluante et inépuisable à l'échelle humaine, l'énergie solaire permet de respecter l'environnement et de préserver la santé. Elle permet de préserver les ressources énergétiques, sans produire de déchets ni d'émissions polluantes, notamment du gaz carbonique. la société NEAL prévoit la construction de 04 centrales hybrides solaire/gaz à l'horizon 2015 totalisant une capacité installée de l'ordre de 1350 MW.
- ✚ Le photovoltaïque : dans le cadre de l'électrification rurale, il est prévu l'électrification de 500 foyers par an à raison d'une moyenne de 0,75 kW par foyer, la puissance à installer serait en moyenne de 500 kW par an à partir de 2007.
- ✚ L'éolien : le programme retenu prévoit à l'horizon 2015 la construction de 04 fermes éoliennes totalisant une capacité installée de 40MW.

I.3.8 Stratégie nationale de maîtrise de l'énergie :

Dans un contexte de reprise économique qui pourrait faire doubler la consommation d'énergie d'ici l'an 2020, l'Algérie a adopté une nouvelle stratégie de maîtrise énergétique gérée par l'APRUE algérienne (Agence pour la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie) et soutenue par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie en France).

Cette coopération a permis également la mise en place de procédures et de financements dans les différents secteurs consommateurs. Désormais opérationnelle, l'APRUE fait partie intégrante des actions du ministère de l'énergie et des Mines d'Algérie.

Conclusion :

La sensibilisation aux changements climatiques à l'échelle internationale est générale, l'implication des citoyens et des pouvoirs pour la préservation de l'environnement est bien définie. Dans les débats économiques et politiques à travers le monde entier, le thème de l'énergie occupe la première place. Certes l'énergie rend des services à l'humanité sous

⁵⁸ « Bulletin des énergies renouvelables semestriel n°11 » Juin 2007. Page 4. [En ligne] www.cder.dz

différentes formes mais la consommation excessive de cette dernière en fait la première responsable des problèmes environnementaux et la première cible des politiques énergétiques.

A travers ce chapitre, nous constatons que les activités humaines ont un impact grandissant sur la stabilité climatique. Si nous en sommes la cause, nous avons aussi la solution entre nos mains. Afin de limiter les conséquences des changements climatiques, les émissions mondiales de gaz à effet de serre doivent diminuer. En tenant compte de la hausse du niveau de vie des pays en développement, cela impose à tous les pays, secteur par secteur, de mettre en place les outils nécessaires afin de réduire leur contribution aux émissions de gaz à effet de serre et l'Algérie ne doit pas faire l'exception.

Certes notre pays bénéficie d'un panorama d'énergies fossiles très riche, lui permettant de jouir encore les quelques années à venir de ses richesses ; néanmoins, il aura besoin également de mettre en place un programme pour la maîtrise de sa consommation d'énergie et l'émission de ses gaz à effet de serre à tous les niveaux; pour d'une part contribuer à la préservation de l'environnement et d'autre part à assurer l'approvisionnement des différents secteurs en énergie.

Par ailleurs, et après le bref aperçu sur la consommation d'énergie en Algérie, nous savons que le secteur du bâtiment, avec plus de 40% de la demande finale en énergie au niveau national, représente l'un des plus grands potentiels d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cette efficacité ne peut être obtenue qu'à travers tout un dispositif législatif, réglementaire et institutionnel. Des efforts doivent impérativement être déployés pour concilier notre aspiration au progrès et la nécessité de préserver notre environnement.

« La maîtrise de l'énergie n'est pas un médicament que l'on prend en période de crise, de maladie, mais une hygiène qui permet de rester en bonne santé ».

Citation de Pierre Radanne, ancien directeur de l'ADEME.

Introduction :

Suite au premier choc pétrolier de 1973, la nécessité d'économiser l'énergie apparaît dans le débat politique. « L'économie d'énergie », premier terme employé en 1974, renvoie à la réduction des gaspillages dans la consommation d'énergie, de même que « l'utilisation rationnelle de l'énergie » qui lui a succédé. A cette époque, la préoccupation était d'ordre purement financier mais au fil du temps, de nouvelles considérations sont apparues incluant les préoccupations environnementales.

L'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'énergie concerne tous les secteurs de l'industrie, du bâtiment et des transports. Dans notre cas nous nous intéresserons au secteur résidentiel, qui constitue un gisement considérable en matière d'efficacité énergétique. Notons que la consommation d'énergie domestique contribue au changement climatique et peut représenter jusqu'à 20% du budget d'un ménage (cf. Chapitre I).

III.1 Qu'entend-on par efficacité énergétique ?

L'expression « maîtrise d'énergie » apparaît au début des années quatre vingt, substituée par l'expression « efficacité énergétique » à la fin de ces années même : une vision encore plus globale, intégrant ainsi la rationalisation dans la consommation des ressources énergétiques primaires. Actuellement, une expression récente de l'union européenne vise à englober toutes les précédentes en adjoignant le développement des énergies renouvelables, c'est « l'énergie intelligente ».⁵⁹

Le terme « Efficacité énergétique » regroupe donc tout ce qu'on appelle économies d'énergie ou maîtrise de l'énergie. En outre, il consiste à réduire les consommations d'énergie et entraîne la diminution des coûts environnementaux, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie tout en permettant d'augmenter la qualité de vie de tous les habitants de la planète et celle des générations futures.

⁵⁹ **Laponche** 2002 In **Gayral L.** « *Gestion de l'énergie au sein du patrimoine bâti des collectivités territoriales européennes dans le cadre de la libéralisation des marchés : étude économique des mécanismes financiers favorisant l'investissement dans l'efficacité énergétique.* » Thèse de doctorat, université de Paris, 2005, Page 10.

Pourquoi les bâtiments existants sont-ils si « énergivores » ?

Selon « Les amis de la terre⁶⁰ », la plus grande partie des logements a été construite à une période pendant laquelle le coût de l'énergie était très bas, et le souci de l'environnement inexistant.

III.2 L'efficacité énergétique et le développement durable :

L'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment est apparue comme une priorité dans tous les pays et cela dans le but de limiter le réchauffement climatique, sécuriser les approvisionnements face à des ressources fossiles qui ne sont plus inépuisables, restreindre les effets des hausses des prix de l'énergie, par conséquent l'ensemble des secteurs économiques et en particulier le secteur du bâtiment doivent revoir leur façon d'évoluer et de se développer.

La notion de développement durable prend de plus en plus d'ampleur dans notre société, tout ceci dans un même but : essayer de réduire l'impact négatif des activités humaines sur l'environnement. En plus de cela, et en raison des enjeux économiques et environnementaux de la consommation d'énergie finale des bâtiments existants, la recherche de la maîtrise des consommations d'énergie requiert la mise à disposition d'une information globale des usagers.

Développement durable et Qualité Environnementale sont devenus depuis quelques années les lignes directrices des nouvelles politiques de développement, dans plusieurs domaines : Industries, agroalimentaire, puis construction et maintenant urbanisme. Bien plus qu'un phénomène passager, ce changement de cap traduit une prise de conscience tardive des enjeux environnementaux dans tous les milieux où l'influence humaine est préoccupante.⁶¹

Le principe de la Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB) est de maîtriser les impacts de l'ouvrage sur l'environnement extérieur et de créer un environnement intérieur sain et confortable. Née dans les années 1990, la démarche de qualité environnementale des bâtiments est l'une des contributions aux objectifs de développement durable.

Le domaine du bâtiment et de la construction a cherché à intégrer davantage ce volet environnemental, en créant un label de Haute Qualité Environnementale des bâtiments. Cette démarche, plus connue sous le sigle HQE®, est un ensemble indissociable composé d'un

⁶⁰ « Guide de rénovation », 2007. [En ligne] <http://www.amisdelaterre.org>

⁶¹ **Fléury S.** « Aménagements Urbains et Haute Qualité Environnementale », Mémoire de Fin d'Etudes, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, le Mans 2005. P 6

Système de Management Environnemental (SME) et d'un référentiel de 14 cibles d'éco-conception et de confort, destiné à améliorer la Qualité Environnementale des bâtiments.

III.2.1 L'influence d'un bâtiment sur son environnement :

En appliquant les principes de la QEB, dès la conception des bâtiments, ça permet de réduire notablement les émissions de gaz à effet de serre sans avoir recours à d'autres solutions envisageables. Quant aux bâtiments existants, des solutions existent pour l'amélioration de leur performance énergétique en réduisant leur influence négative sur l'environnement. Cependant l'amélioration du confort et de la performance énergétique a été compensée par l'accroissement de la surface des logements et la multiplication des équipements de confort, avec de fortes inégalités.⁶²

Parmi les cibles de la qualité environnementale d'un bâtiment en période d'utilisation, on peut cependant retenir trois cibles importantes et en relation étroites les unes avec les autres :

- la cible «gestion de l'énergie»,
- la cible «confort hygrothermique»,
- la cible «qualité de l'air intérieur».

Maitriser les impacts de la construction sur l'environnement extérieur ne peut être dissocié donc de l'objectif de créer un environnement intérieur de qualité.

III.2.1.1 Maitrise des impacts sur l'environnement extérieur :

La démarche consiste en l'obligation d'instaurer et de suivre deux principes : l'éco-construction et l'éco-gestion.

II.2.1.1.1 L'éco- construction :

C'est la relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat, en faisant les choix adéquats des procédés et des produits de construction.

II.2.1.1.2 L'éco- gestion :

Elle se concrétise à travers la gestion de l'énergie, la gestion de l'eau, et la gestion des déchets d'activité ainsi que la maintenance environnementale de tout le bâtiment.

⁶² « Guide de rénovation », 2007. [En ligne] <http://www.amisdela terre.org>

En résumé, Brigitte Vu⁶³ affirme que la maîtrise de l'impact des constructions sur l'environnement est obtenue :

- ✚ en limitant au maximum l'utilisation des ressources naturelles.
- ✚ en limitant au maximum la pollution de l'air, de l'eau, du sol...
- ✚ en produisant au minimum de déchets ultimes (déchets ne pouvant pas être éliminés qu'après stockage).
- ✚ en limitant au maximum les nuisances telles que le bruit.
- ✚ et en favorisant une relation harmonieuse entre le bâtiment et son environnement immédiat.

III.2.1.2 Création d'un environnement intérieur de qualité :

La notion de qualité environnementale des bâtiments est complexe dans le secteur du bâtiment, du fait de la variété des fonctions remplies par les ouvrages⁶⁴ : fournir un espace adapté au bon déroulement d'activités diverses, dans des conditions de confort données, protéger les biens et les personnes.

Les critères de qualité concernent des domaines techniques variés (mécanique des structures, acoustique, éclairage, thermique) mais aussi des aspects plus subjectifs (esthétique, qualité de la vie, confort).

III.2.2 Pourquoi un logement émet-il des gaz à effet de serre ?

La consommation énergétique d'un bâtiment dépend directement du niveau d'isolation de ses parois, ainsi que de facteurs tels que leur étanchéité, leur orientation, etc. Plusieurs usages de l'énergie dans le logement sont impliqués dans la consommation (cf. Tab. II.1) et émettent notamment les gaz à effet de serre nocifs à l'environnement.

Tab. II. 1 : Consommation d'énergie dans un logement.

Source : www.batirenover.com

Chauffage	ECS*	Cuisson	Eclairage
70%	10%	7%	10%

*ECS : Eau Chaude Sanitaire.

⁶³ **Vu B.** « *La maison à énergie zéro.* » Editions Eyrolles, Paris, 2008, page 5.

⁶⁴ **Gobin C.** « *Analyse fonctionnelle et construction* » Techniques de l'Ingénieur, Dossier C3-052, novembre 2003. [En ligne] www.ensmp.fr

Les logements sont responsables d'environ 2/3 des rejets de GES. Certes, la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage est responsable de 80 % de la consommation d'énergie d'un logement, mais à cela viennent s'ajouter les émissions « invisibles » issues :

- de l'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux du logement (énergie grise),
- des gaz à effet de serre émis lors du chantier, notamment lorsque les matériaux sont acheminés sur de longues distances,
- des systèmes de climatisation qui laissent échapper des gaz fluorés dont l'impact sur l'effet de serre est de 1 000 à 8 000 fois supérieur à celui du CO₂.⁶⁵

Tout ceci amène tous les pays à créer une réglementation pour contrôler les consommations énergétiques du secteur du bâtiment et du secteur tertiaire et mieux gérer les dépenses énergétiques.

III.3 La réglementation thermique :

Nos voisins européens nous montrent la voie à suivre. L'idée de maisons sans chauffage, ni climatisation constitue une révolution intellectuelle, qui devrait tenir lieu de modèle dans la construction neuve, dans les années à venir. En Allemagne, en Suède, en Suisse, en Autriche, ... se sont développés des habitats dont la consommation énergétique totale est quatre fois inférieure à celles que définissent les réglementations officielles du secteur du bâtiment.

La première réglementation en Europe, imposant une performance énergétique minimale des constructions neuves, la Réglementation Thermique « RT », date de 1975 et est consécutive au premier choc pétrolier. Les normes sont actualisées tous les 5 ans environ, la dernière étant la « RT 2005 ». Elle s'applique à la construction des bâtiments neufs.

III.3.1 Le contenu de la réglementation thermique :

S'appliquant aux bâtiments neufs résidentiels et tertiaires, la réglementation thermique :

- fixe des exigences en matière de performance énergétique de l'enveloppe : niveau d'isolation thermique, optimisation du taux de vitrage par orientation, protection solaire des fenêtres, etc.
- incite à couvrir une partie des besoins énergétiques par une production d'énergie à l'aide des techniques solaires thermique et photovoltaïque.

⁶⁵ « Comprendre les enjeux de la rénovation thermique », Guide pratique de Rénovation thermique.
[En ligne] <http://www.batirenover.com>

- exige des systèmes de chauffage, de climatisation, d'ECS et d'éclairage à efficacité énergétique
- Et limite au maximum les consommations énergétiques en kWh/m².an (moins de 50 kWh/m².an pour les logements neufs).

III.3.2 La réglementation thermique de l'existant :

Le renforcement de la réglementation dans le neuf ne suffit pas à stabiliser la consommation totale des logements collectifs. C'est pourquoi depuis novembre 2007, la Réglementation Thermique s'applique à l'amélioration et à la rénovation des bâtiments existants, notamment les logements « RT dans l'existant ». Cette stratégie incluant la réhabilitation du parc existant, permet une économie supplémentaire beaucoup plus significative. Cette réglementation porte notamment sur une performance énergétique globale, dont le niveau est précisé.

Parallèlement, à partir du 1er novembre 2007, des exigences de performances minimales sont imposées lors du remplacement de composants de l'enveloppe ou d'équipements énergétiques : vitrages remplacés par des double-vitrages peu émissifs à isolation renforcée (VIR), isolation des murs en contact avec l'extérieur avec une résistance thermique minimale de 2,3 m²K/W....⁶⁶ Et de ce fait, améliorer la performance énergétique du bâtiment, limiter l'utilisation de la climatisation et du chauffage, maintenir le niveau de confort d'été et d'hiver et ne pas dégrader le bâti.

III.3.3 Les différents aspects de la réglementation thermique :

La réglementation thermique couvre l'ensemble des points relatifs à l'enveloppe, les parois opaques et vitrées, le chauffage, l'éclairage, l'ECS, la climatisation ... (cf. Fig. II.1). Elle préconise la rationalisation de l'utilisation de l'énergie en agissant directement sur la performance des points cités précédemment, pour éventuellement diminuer les consommations d'énergie et les émissions de GES.

⁶⁶ « *Efficacité énergétique des bâtiments* », Un programme de mesures de plus en plus performant 2007-2008.
[En ligne] <http://www.ecologie.gouv.fr>

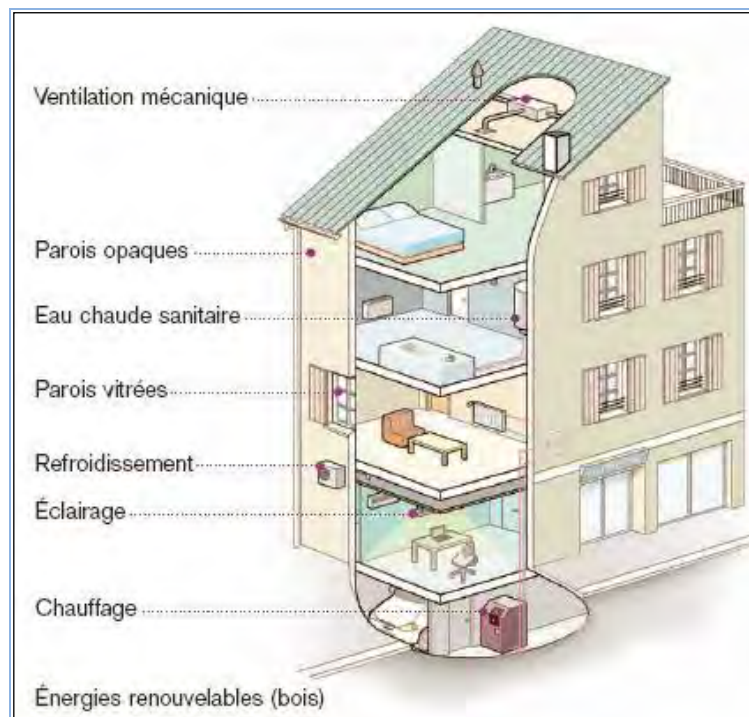


Fig. II. 1 : Les points de la réglementation thermique.

Source : <http://www.rt-batiment.fr>

III.3.4 Amélioration de la performance énergétique de l'existant :

En raison de l'accroissement du parc immobilier, d'une part, et de la place toujours plus grande des équipements consommateurs d'électricité dans les secteurs résidentiel et tertiaire, d'autre part, la réduction de la consommation énergétique des bâtiments est un véritable défi.

Sachant par ailleurs que la consommation d'énergie liée à l'utilisation et à l'exploitation des bâtiments représente aujourd'hui 43 % de la consommation d'énergie totale dans le monde et 25% des émissions de gaz à effet de serre et que cette consommation ne cesse de croître (1,4% par an en moyenne depuis 10 ans d'après UNFCC, Nations unies dédié au changement climatique), ce secteur est la principale cible des politiques de maîtrise des consommations d'énergie. Dans ce contexte, la mise en place d'exigences minimales avec les nouvelles règles relatives à la performance énergétique des bâtiments constitue un premier pas important vers la maîtrise de leurs consommations énergétiques.

III.3.4.1 Le diagnostic de performance énergétique DPE:

Le DPE fait partie de la réglementation sur la maîtrise de l'énergie imposée par la Commission Européenne.

Depuis le 1er novembre 2006, le DPE est obligatoire lors de toute vente de logement ou de bâtiment en France. Il doit être réalisé par un professionnel, et comporte deux parties: une étiquette affiche la consommation d'énergie du logement pour les usages de chauffage, climatisation, production d'eau chaude sanitaire et une autre l'impact de ces consommations sur les émissions des gaz à effet de serre ainsi qu'un document comportant des recommandations et préconisations pour réduire les consommations.

Cette analyse est rapide, elle est réalisée avec un logiciel de calcul simple qui donne aux consommateurs, acheteurs ou locataires, une classe entre A et G de leur logement, afin que ces derniers puissent intégrer la performance énergétique des logements dans leur choix. Depuis le 1er juillet 2007⁶⁷, le DPE s'applique aussi aux bâtiments neufs et aux locations de logements.

II.3.4.1.1 Les étiquettes Energie et Climat :

Les étiquettes énergie (cf. Fig. II.2) et climat (cf. Fig. II.3) contenues dans un DPE peuvent être résumées dans ce qui suit :

- La première représente la classification d'un bâtiment selon le niveau de consommation annuelle d'énergie par m² (en kWh Energie primaire/m² an), sept classes sont définies allant de la classe A à la classe G (cf. Tab. II.2). La durée de validité du diagnostic et du certificat de performance énergétique est de 10 ans.

Tab. II. 2 : Caractéristiques des classes A & G

Classe A	Classe G
Logement économe, avec une consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'ESC et le refroidissement < 51 kWh/m ² an.	Logement énergivore, avec une consommation égale ou supérieure à 450 kWh/m ² an.

⁶⁷ [En ligne] <http://www.ademe.fr>

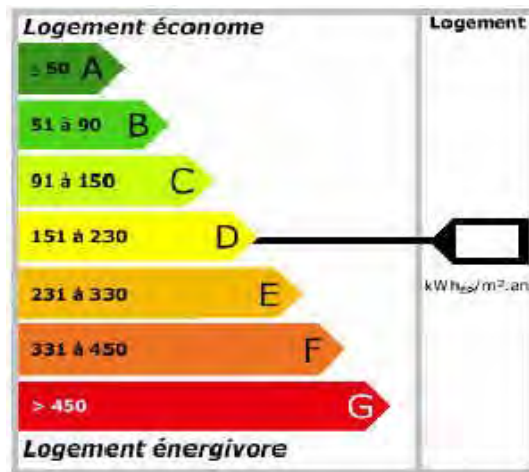


Fig. II. 2 : Etiquette Energie pour le bâtiment
 Source : <http://www.ademe.fr>

La seconde étiquette représente la classification d'un bâtiment selon le niveau d'émission annuelle de GES par m² lié à la consommation d'énergie (en kgCO₂/m².an) allant de la classe A à la classe G (cf. Tab. II.3) :

Tab. II. 3 : Caractéristiques des classes A & G.

Classe A	Classe G
faibles émissions de gaz à effet de serre, avec 5 kg.équivalent de CO ₂ /m ² .an	fortes émissions de gaz à effet de serre, avec 80 kg.équivalent de CO ₂ /m ² .an

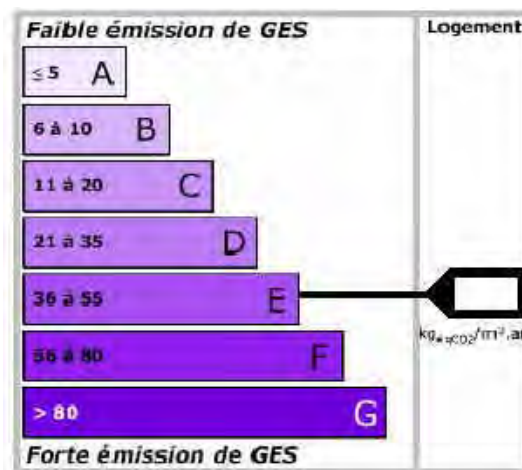


Fig. II. 3 : Etiquette Climat.
 Source : <http://www.ademe.fr>

II.3.4.1.2 Les préceptes d'un bon DPE :

Les sept préceptes d'un bon DPE sont⁶⁸ :

1. Identifier le mode constructif du bâtiment selon son époque de construction.
2. Connaître son fonctionnement thermique d'ensemble, avec ses dispositions actives et passives.
3. Avoir une approche bioclimatique du bâtiment pour bien interpréter les consommations constatées.
4. Étudier conjointement son comportement thermique d'hiver et son confort thermique d'été.
5. Considérer que les dispositions les plus économes en énergie sont souvent passives.
6. Ne pas créer de ponts thermiques dans les constructions anciennes qui n'en présentent pas.
7. Ne préconiser que des améliorations qui ne risquent pas de provoquer de désordres.

III.3.4.2 Les certificats d'économies d'énergie :

La certification énergétique est une procédure opérationnelle qui permet d'évaluer la consommation énergétique d'un bâtiment pour un usage standardisé ainsi que la performance réelle prenant en compte la conduite énergétique des occupants.⁶⁹ Elle a pour but d'informer les usagers sur la performance énergétique de leur logement et de leurs équipements ainsi que leur orientation dans le choix des techniques leur permettant de réduire la facture d'énergie.

III.3.4.3 L'audit énergétique :

Il sert à analyser les points faibles d'un bâtiment et à donner des propositions d'amélioration suivant des considérations techniques et économiques.

Les audits comprennent : un état des lieux, un diagnostic du bâti, des équipements énergétiques, des installations techniques et des propositions d'améliorations techniques à apporter selon les gisements d'économie d'énergie.

III.3.4.4 Bilan thermique d'un bâtiment :

Les sources de gaspillages d'énergie ne sont pas toujours faciles à repérer. Avant toute chose, il faut comprendre le fonctionnement de son logement. Le meilleur outil est le bilan

⁶⁸ « Guide recommandations pour le DPE » février 2007. [En ligne] www.planetegagnante.fr

⁶⁹ **Nadine A.** « Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais », Thèse de doctorat, Lyon 2001. page 69.

énergétique. La performance globale est évaluée en kWh/m² an. Le bilan permet de calculer les besoins en chauffage et en climatisation d'un bâtiment.

II.3.4.4.1 Les grandeurs énergétiques du bilan thermique :

Ce sont toutes les grandeurs énergétiques⁷⁰ qui influencent le bilan thermique d'un bâtiment :

✚ Conduction à travers l'enveloppe :

Ce terme est proportionnel au coefficient U moyen de l'enveloppe, et il représente une perte d'énergie en hiver et un gain d'énergie en été. L'absorption du rayonnement solaire sur les faces externes de l'enveloppe contribue à accroître les gains en été mais elle diminue les pertes en hiver. Cependant pour une enveloppe bien isolée, la contribution solaire est faible et normalement négligeable.

✚ Renouvellement d'air :

C'est la quantité d'énergie nécessaire pour porter aux conditions intérieures désirées l'air extérieur entrant dans le bâtiment par infiltration et ventilation. Les infiltrations dépendent de la perméabilité de l'enveloppe et ne peuvent être contrôlées que jusqu'à un certain point. Un renouvellement d'air minimum est nécessaire pour obtenir un niveau acceptable de la qualité de l'air intérieur dans le bâtiment. Ce renouvellement d'air représente une perte de chaleur en hiver, et un gain de chaleur en été.

✚ Gains solaires à travers les vitrages :

C'est la quantité d'énergie solaire qui entre dans le bâtiment à travers les fenêtres et autres surfaces vitrées. Il représente toujours un gain de chaleur, aussi bien en été qu'en hiver.

Les calculs des apports solaires Q_{gs} (Wh) se font comme suit :

$$Q_{gs} = \sum (I_{sj} \times A_{sj}) \times 24 \dots \dots \dots (2)$$

Avec : I_{sj} est l'irradiation solaire pour l'orientation « j » en W/m².

A_{sj} est l'aire réceptrice équivalente d'orientation « j », en m².

✚ Gains internes :

Ce terme représente aussi toujours un gain de chaleur. Ce sont toutes les sources de chaleur situées à l'intérieur du bâtiment, notamment les occupants, luminaires, appareils et autres équipements. Ces sources résultent des activités normales se déroulant à l'intérieur.

⁷⁰ Tareb « chauffage et climatisation » Page 1. [En ligne] www.ecb_ch3_fr.

Les calculs des apports thermiques internes des occupants Q_p (Wh) sont donnés par la formule de Jean-Bernard Gay (2001):

$$Q_p = P_p \times n_p \times \Delta t \dots \dots \dots (3)$$

Avec : $P_p = 80 - 140$ [W/personne]

n_p : nombre d'occupants

Tandis que l'apport de chaleur par l'éclairage Q_e .

$$Q_e = E_{el} \times F_{el} \dots \dots \dots (4)$$

Avec : $E_{el} = 60 - 120$ [Mj/m²]

$F_{el} = 0.5 - 0.7$.

Sources d'énergie :

C'est la quantité d'énergie délivrée par tout équipement de chauffage ou de rafraîchissement pouvant être activé spécifiquement dans le but de contrôler les conditions de l'environnement intérieur pour assurer le confort. La température est la plus évidente des variables contrôlées, bien que l'humidité et la vitesse d'air sont importantes également.

II.3.4.4.2 Calcul du bilan énergétique :

Le bilan énergétique d'hiver est calculé à partir de l'équation suivante⁷¹ :

$$Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} - Q_{gs} - Q_{gi} \dots \dots \dots (5)$$

Tandis que le bilan énergétique d'été est calculé à partir de l'équation suivante⁷² :

$$Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} + Q_{gs} + Q_{gi} \dots \dots \dots (6)$$

Avec : Q_{le} : pertes par conduction de l'enveloppe.

Q_{lv} : Pertes par renouvellement d'air.

Q_{gs} : Gains solaires.

Q_{gi} : Gains internes ($Q_p + Q_e$).

Dans le cas des pertes par conduction de l'enveloppe et par renouvellement d'air, le calcul est donné par les formules de Jean-Bernard Gay (2001):

$$Q_{le} = \sum U_i A_i \dots \dots \dots (7)$$

$$Q_{lv} = \rho C_p n V_{ch} \dots \dots \dots (8)$$

Avec : U transmission thermique de l'enveloppe

A la Surface

⁷¹ Tareb « chauffage et climatisation » Page 2. [En ligne] www.ecb_ch3_fr.

⁷² Ibid, page 3.

$$\rho C_p (\text{air}) = 0.32 \text{ (WH/m}^3\text{K)}$$

n : taux de renouvellement d'air (h^{-1})

V_{ch} : volume chauffé en m^3 .

III.4 Adoption d'une réglementation thermique en Algérie :

L'Algérie connaît depuis bientôt une décennie un développement intense et soutenu des secteurs du bâtiment et de la construction. Que ce soient pour les grands projets de l'Etat (un million de logements sociaux, équipements socio-éducatifs, administratifs, ...) ou les grands projets immobiliers (résidentiels, tertiaires) et touristiques initiés par les promoteurs privés et publics, mais les exigences et normes internationales en matière de performances énergétiques et environnementales des constructions ne sont pas encore suffisamment intégrées aux processus de conception et de construction. Ceci conduit d'ores et déjà à de grandes pressions sur les ressources (énergie, eau, matériaux,...) et des impacts importants sur l'environnement et ne contribue nullement au développement durable des territoires, ni, au plan mondial, à la lutte contre le réchauffement climatique.⁷³

Si les réglementations futures vont conduire à des réductions significatives des constructions à réaliser, il apparaît nécessaire aujourd'hui de développer fortement la politique d'économie d'énergie pour faire évoluer rapidement et durablement le secteur des bâtiments existants car ce dernier, de par ses caractéristiques, offre la possibilité de réductions importantes contribuant à répondre à ce défi, tout en recherchant un optimum de qualité architecturale et de fonctionnalité.

III.4.1 Position de l'Algérie par rapport à la maîtrise de l'énergie :

Soulignons que l'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique. Il est considéré comme un pays auto suffisant jusqu'à aujourd'hui, néanmoins dans un contexte de relance économique, la demande d'énergie en Algérie est appelée à doubler entre 2000 et 2020 pour atteindre 60 à 70 millions de tep (cf. Chapitre I.). Le potentiel cumulé d'économie d'énergie, pour cette même période, se situerait autour de 120 millions de tep selon l'APRUE.

⁷³ Colloque International « Bâtiments et territoires durables : Enjeux et solutions », Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie, mai 2008.

C'est pourquoi, à partir de 2001, l'Algérie, pays exportateur de pétrole et de gaz, a mis en place une stratégie nationale de maîtrise de l'énergie adaptée à un contexte d'économie de marché. L'un des instruments retenus pour le développement de cette stratégie est le programme national de maîtrise de l'énergie pour la période 2006-2010 dans les principaux secteurs consommateurs que sont l'industrie, les transports, le bâtiment et l'agriculture. On peut affirmer, donc, qu'il y a une volonté politique pour préserver les ressources non renouvelables et investir dans les énergies propres et durables.

III.4.2 Stratégie de maîtrise de l'énergie en Algérie :

Un dispositif de mise en œuvre opérationnel, global et cohérent (cf. Fig. II.4) qui s'articule autour de quatre principaux éléments : APRUE, FNME, PNME, CIME a été mis en place.

- APRUE: Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
- FNME: Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie.
- PNME: Programme National de Maîtrise de l'Energie.
- CIME: Comité Intersectoriel de la Maîtrise de l'Energie.

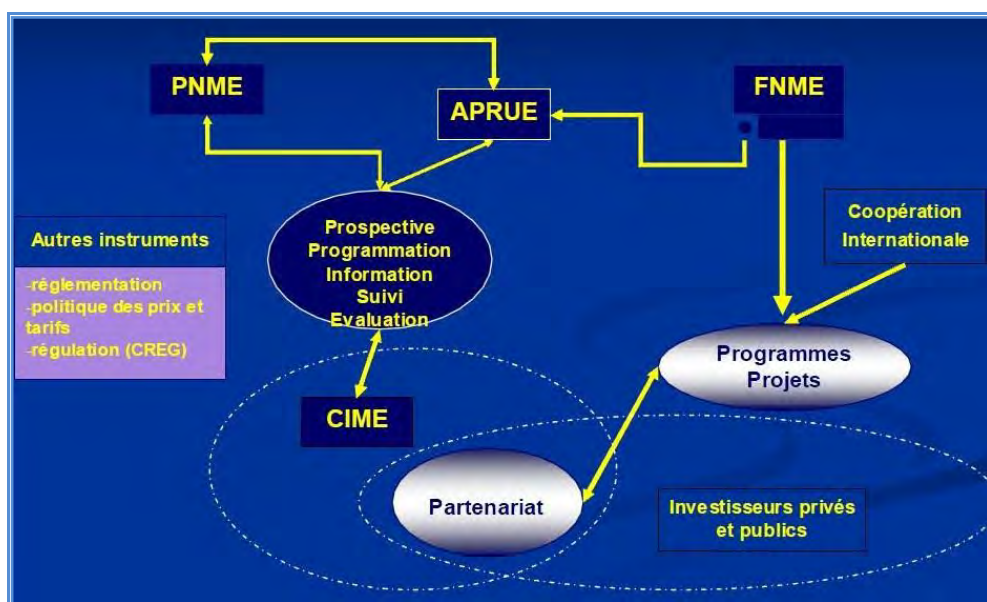


Fig. II. 4 : Le dispositif d'ensemble.

Source : www.aprue.org.dz

Le PNME est un document qui présente les objectifs de la maîtrise de l'énergie à l'horizon de 20 ans ainsi que les orientations programmatiques.

Les priorités énumérées d'un projet de programme pour le PNME ont débouché sur la proposition d'un portefeuille d'actions pour le secteur résidentiel, concernant l'éclairage performant, l'eau chaude sanitaire solaire, les Projets HPE (Haute Performance Energétique) sur le logement social et la Rénovation Thermique dans l'habitat existant.

La participation de l'APRUE à la journée d'étude sur la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment organisée par le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, en marge du 12e BATIMATEC, le 15 mars 2009⁷⁴, a consisté à présenter l'apport du Programme national de maîtrise de l'énergie dans l'accomplissement de projets d'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, en particulier dans l'habitat.

III.4.2.1 Objectifs de la politique de maîtrise de l'énergie :

Ils sont multiples et diversifiés. Ils visent essentiellement la conservation de l'énergie, l'augmentation de la durée de vie de nos réserves d'hydrocarbures, la préservation de la capacité financière du pays et des retombées bénéfiques sur l'environnement. Quant à l'introduction des énergies renouvelables, elle aura pour retombées :

- ✚ Une plus grande exploitation du potentiel existant,
- ✚ Une meilleure contribution à la réduction du CO₂,
- ✚ Une réduction dans l'exploitation des énergies fossiles dans le bilan énergétique national.

Les différents textes réglementaires adoptés au cours des dernières années traduisent la volonté de l'état de faire des énergies renouvelables des énergies d'avenir pour le pays, en favorisant une contribution plus conséquente de leur part dans le bilan énergétique national.⁷⁵

III.4.2.2 Limites de la réglementation thermique :

Parmi les réformes engagées dans le secteur énergétique, l'adaptation du cadre institutionnel de la maîtrise de l'énergie à la nouvelle donne économique et politique est une des priorités fixées par le gouvernement algérien.

La période 2007-2009 verra la mise en œuvre du programme algérien de maîtrise de l'énergie. L'expertise française en matière de pratiques partenariales sera un apport important, notamment pour le renforcement de la formation des cadres de l'APRUE, le soutien à la mise en

⁷⁴ [En ligne] www.aprue.org.dz

⁷⁵ « Guide des énergies renouvelables Edition 2007 », [En ligne] page 5 www.cder.dz

place de l'observatoire national et des observatoires régionaux des consommations d'énergie, l'élaboration du plan de communication du PNME ou encore la définition et le montage de projets, y compris des projets relevant des mécanismes de développement propre mis en place par le protocole de Kyoto.

Le premier Programme quinquennal (Projets PNME 2006-2010) de maîtrise de l'énergie consacre une part importante à l'efficacité énergétique dans le bâtiment. Il s'articule principalement autour de quatre axes⁷⁶, à savoir :

- ✚ L'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe du bâtiment,
- ✚ L'introduction des énergies renouvelables (chauffe-eau solaire),
- ✚ L'introduction des équipements performants au niveau de l'éclairage, du froid alimentaire, du chauffage et de la climatisation
- ✚ Et, enfin, la communication et la sensibilisation des professionnels et du grand public sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

III.4.3 Politique d'amélioration énergétique en Algérie :

Conscient des dangers liés au réchauffement climatique, le gouvernement algérien a choisi d'intégrer dans sa politique nationale le principe d'une utilisation rationnelle de l'énergie. Tout un dispositif législatif, réglementaire et institutionnel a été adopté au cours de ces dernières années consacrant de manière irréversible les options de l'Algérie en matière de protection de l'environnement à travers une large utilisation des énergies propres et du développement durable. Cette démarche s'est privilégiée par une orientation des efforts de valorisation du potentiel énergétique et du développement de la filière électronucléaire.

III.4.3.1 Outils réglementaires et opérationnels mis en application en Algérie :

Dans les années 1990, l'Algérie a développé plusieurs dispositifs réglementaires quant à l'efficacité énergétique dans l'habitat. Suite à une réflexion sur la consommation active et passive des logements neufs initiée en 1995, le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme met en place des Documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. Ceux-ci déterminent notamment les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à usage d'habitation et tertiaire, les méthodes de calcul des déperditions et des

⁷⁶ [En ligne] www.aprue.org.dz

apports calorifiques, les valeurs limites pour le climat intérieur des locaux et les zonages climatiques.

III.4.3.2 Mise en œuvre de la réglementation thermique algérienne :

A partir de 2001, l'Algérie, pays exportateur de pétrole et de gaz, a mis en place une stratégie nationale de maîtrise de l'énergie adaptée à un contexte d'économie de marché.

La mise en application de la loi 99.09⁷⁷ relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs. Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants.

Cette réglementation dont la finalité est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment, laisse ainsi de larges possibilités aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrage de choisir entre les performances thermiques globales du bâtiment aussi bien dans le choix des matériaux que la conception du cadre bâti.

Pour sa part la loi de 2004 encourage la promotion des énergies nouvelles non polluantes à l'instar de l'énergie solaire qui participe au développement durable tout en préservant la conservation des énergies fossiles. L'objectif de la stratégie de développement des énergies renouvelables en Algérie est d'arriver à atteindre, à l'horizon 2015, une part de 6% dans le bilan électrique national.⁷⁸

La mise en application de cette réglementation permettra d'après les estimations de spécialistes de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 40% pour les besoins en chauffage et en climatisation.⁷⁹ Cependant, sa mise en application effective nécessitera notamment, sa vulgarisation auprès des bureaux d'études, des architectes et des promoteurs à travers notamment des journées techniques dédiées à cet effet.

⁷⁷ Journal Officiel de République Algérienne, « Loi N°99-09 du 28 Juillet 1999 Relative à la Maîtrise de l'Energie », J.O.R.A., N°51, 2 Août 1999, Alger, Algérie.

⁷⁸ « Guide des énergies renouvelables Edition 2007 » page 32. [En ligne] www.cder.dz

⁷⁹ [En ligne] <http://www.aprue.org.dz>

III.4.3.3 L'Algérie et les émissions de CO2 :

Tenant compte de l'engagement de l'Algérie dans la voie de la préservation de l'environnement, la mise en œuvre du PNME permettra d'éviter l'émission de 470 000 tonnes de CO2 dans l'atmosphère⁸⁰. Dans cette voie, l'entreprise algérienne prend conscience de plus en plus de la nécessité de créer de la richesse tout en léguant aux générations futures un capital environnemental viable.

A cet effet, le management pour un développement durable ne cesse de progresser vers l'application d'outils de pilotage des entreprises par l'intégration de la généralisation de la normalisation, par l'acquisition de certifications, l'encouragement à la formation, l'introduction de technologies propres, la protection de l'environnement ainsi que par l'engagement pour une « politique responsable citoyenne ».

III.4.4 Les études dans le secteur bâtiment :

Actuellement la question de l'efficacité énergétique dans la construction en Algérie fait l'objet d'un projet proposé par l'APRUE, à la suite d'un travail de coopération avec l'ADEME (agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, France). Ces projets pilotes, cofinancés par l'Union européenne, jouent un rôle important en matière de transfert de technologie et de savoir-faire. Ils servent aussi de modèles à des fins pédagogiques et de reproductibilité.

Le projet a pour objectif de montrer la faisabilité technique et économique d'améliorations énergétiques dans l'habitat. Parmi les mesures d'efficacité énergétiques utilisées dans ce projet pilote, il y a⁸¹ :

- ✚ L'Utilisation des matériaux locaux, BTS (Béton de Terre Stabilisé).
- ✚ L'Isolation horizontale et verticale.
- ✚ Le Double vitrage.
- ✚ Le Traitement des ponts thermiques.
- ✚ L'eau chaude solaire.
- ✚ Le Plancher solaire direct (PSD) : 8 m² de capteurs solaires plans.
- ✚ Le Rafraîchissement par ventilation nocturne.

⁸⁰ [En ligne] <http://www.aprue.org.dz>

⁸¹ MED-ENEC pilot project *Energy Efficiency in the construction sector in the Mediterranean*
[En ligne] www.medenec-gtz.fr

- ✚ L'optimisation de l'éclairage naturel et utilisation d'appareils électriques à basse consommation.

L'étude énergétique préliminaire a fait ressortir des économies d'énergie de l'ordre de 60% en faveur du projet pilote comparé à une habitation classique (cf. Fig. II.5). Sur le plan environnemental, les économies d'énergie engendrées par ce projet pilote correspondent à une réduction des rejets de CO₂ d'environ 5 000 kg/an.

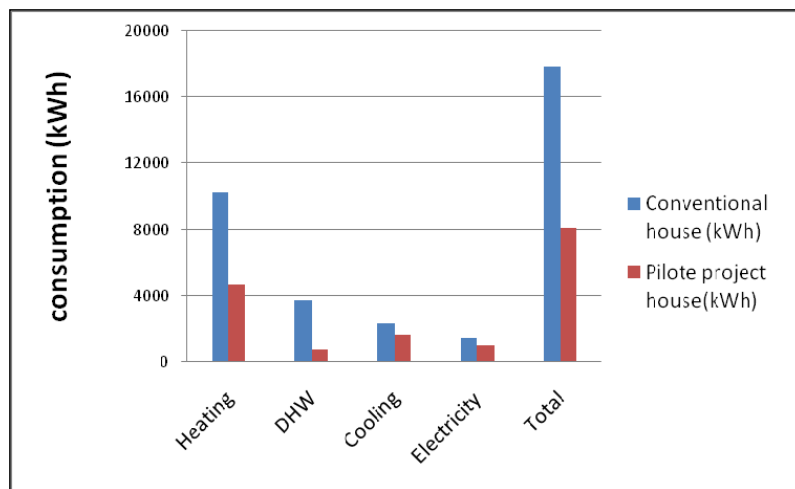


Fig. II. 5 : Energy savings

Source: www.medenec-gtz.fr

Le projet vise aussi en utilisant les résultats de cette démonstration, à lancer une politique de maîtrise de l'énergie dans le secteur de l'habitat, par une sensibilisation des décideurs algériens et par un renforcement des capacités locales. Par la suite, les pouvoirs publics ont lancé un programme intitulé Eco-Bat⁸². Ce programme vise à apporter le soutien financier et technique nécessaire à la réalisation de logements assurant une optimisation du confort intérieur en réduisant la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation.

Dans ce cadre, il est prévu la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique répartis sur l'ensemble des zones climatiques, dans le cadre d'un partenariat entre l'APRUE et onze Offices de gestion et de promotion immobilière (OPGI).⁸³ Le choix des wilayas tend à cibler l'ensemble des zones climatiques du pays afin de réaliser des variantes de logements bioclimatiques en fonction des conditions de chaque région. Et cette opération vise à démontrer

⁸² [En ligne] <http://www.lemaghrebdz.com>

⁸³ « Bulletin trimestriel de l'Aprue N° 14 » Avril 2009. [En ligne] www.aprue.org.dz

les possibilités d'intégration de l'efficacité énergétique dans la construction quelles que soient les conditions climatiques.

III.4.5 Caractéristiques énergétiques du secteur habitat :

L'habitat existant, n'est soumis à aucune réglementation sur les économies d'énergie.

Face à une hausse constante de la consommation de l'énergie électrique favorisée aussi bien par la croissance démographique que par l'extension de l'utilisation des produits électroménagers en Algérie, le concept d'efficacité énergétique se pose aujourd'hui avec acuité d'autant que le marché algérien regorge de produits fortement « énergivores ».

Le directeur général de l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE), M. Mohamed Salah Bouzriba⁸⁴, affirme dans ses propos que les équipements ménagers qui sont commercialisés sur le marché sont en majorité des produits bas de gamme qui consomment beaucoup d'énergie.

III.4.5.1 Indice énergétique d'un bâtiment :

L'indice énergétique est la mesure de la qualité énergétique d'un bâtiment. Il se calcule comme suit:

$$I_e = \frac{C \text{ (Kwh)}}{SRE \text{ (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots (9)$$

Avec : I_e : Indice énergétique en Kwh/m²

C : Consommation annuelle d'énergie en Kwh.

SRE : Surface de référence énergétique en m²

La surface de référence énergétique (SRE) comprend les locaux chauffés d'un bâtiment (surface au sol avec murs externes et internes).⁸⁵

La consommation d'énergie (C) d'un bâtiment d'habitation est calculée comme suit :

$$C(\text{KWh}) = C_{\text{chauffage}} + C_{\text{ECS}} + C_{\text{éclairage}} + C_{\text{auxiliaires}} \dots\dots\dots (10)$$

La consommation (C) est calculée pour chaque type d'énergie et pour chaque mois, et traduit en énergie primaire :

$$C_{\text{énergie primaire}} = 2.58 \times C_{\text{électricité}} + C_{\text{autres énergies}} \dots\dots\dots (11)$$

⁸⁴ [En ligne] <http://www.algerie-dz.com>

⁸⁵ « Rénovation des bâtiments : Comment réduire de moitié la consommation énergétique dans le bâtiment grâce à des mesures ciblées » [En ligne] www.suisse-energie.ch

III.4.5.2 Estimation des besoins d'énergie d'un bâtiment :

Une des méthodes pour estimer la quantité d'énergie requise pour le chauffage et le refroidissement qui a été utilisé par de nombreux chercheurs comme Bolatturk, A. (2006), Ozel M. et al. (2008), est de calculer le nombre de degrés-jours (DD).

Le nombre total de chauffage et de refroidissement des degrés-jours sont calculés par :

$$HDD = \sum_{days} (T_b - T_o) \dots \dots \dots (12)$$

$$CDD = \sum_{days} (T_o - T_b) \dots \dots \dots (13)$$

Avec : T_b : La température de base

T_o : la température extérieure quotidienne moyenne.

Le chauffage et le refroidissement des charges annuelles par unité de surface du mur extérieur sont donnés comme suit par les chercheurs Ozel M. et al. (2008), Bolatturk et al. (2009), Yu J. et al. (2009) :

$$Q_h = 86400 HDD U / \eta \dots \dots \dots (14)$$

$$Q_c = 86400 CDD U / COP \dots \dots \dots (15)$$

Où η : l'efficacité du système de chauffage.

COP : le coefficient de performance du système de refroidissement système.

U : le coefficient de transfert thermique global.

III.4.5.3 La facture énergétique :

La maîtrise de la consommation d'énergie est une préoccupation majeure pour beaucoup de pays. A l'heure actuelle, ne pas songer à l'utilisation rationnelle de l'énergie, ne ferait qu'amplifier les factures énergétiques des consommateurs, parce que la hausse des prix des énergies non renouvelables a un impact direct sur la facture d'énergie. Cette dernière en perpétuelle hausse cause des contraintes sur le budget des ménages et les gens cherchent un compromis entre leur confort et leur facture ce qui montre l'importance des deux facteurs : confort et économies.

III.4.5.4 Les actions de maîtrise d'énergie dans l'habitat :

Les actions qui nous paraissent importantes à retenir pour la maîtrise de l'énergie dans l'habitat incluent :

- ✚ La mise au point d'outils pour les concepteurs de la construction.
- ✚ La promotion d'équipements électroménagers performants et efficaces.

- ✚ Une sensibilisation des concepteurs intervenant sur les grands programmes de construction.
- ✚ Des propositions validées, spécifiques aux zones climatiques, en vue d'une réglementation thermique et son application.
- ✚ La préparation de l'introduction de mécanismes financiers nationaux pour faciliter l'intégration, dans l'investissement initial, d'améliorations énergétiques.

Conclusion :

Ce chapitre montre que l'Algérie doit faire face à plusieurs défis dans le futur. Elle doit surtout repenser le problème de l'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités d'économies d'énergie. Et pour cela, notre pays doit établir une véritable politique énergétique s'appuyant sur un modèle permettant un usage rationnel du potentiel énergétique avant la date fatidique de l'épuisement de ses ressources fossiles. Sur le plan réglementaire, de nombreux textes existent mais en l'absence de textes d'application, ils restent sans effet, d'où le besoin urgent de dispositifs complémentaires dont des dispositifs incitatifs et la mise en place d'un mécanisme financier approprié afin de promouvoir l'amélioration des performances thermiques dans l'habitat.

Par ailleurs, la réglementation thermique actuelle ne couvre que les bâtiments de bureaux et les nouveaux logements collectifs. On rencontre beaucoup de difficultés pour opérationnaliser une réglementation thermique pour les bâtiments existants alors que la part d'énergie consacrée au parc existant est déterminante dans les réserves nationales. De ce fait, l'obligation d'intervenir sur le parc existant est devenue une nécessité pour préserver nos ressources d'hydrocarbures et pour lutter contre le réchauffement climatique en diminuant les rejets des GES.

En effet, pour limiter le recours excessif aux systèmes de chauffage et de climatisation, la solution de la réhabilitation thermique des logements existants s'impose pour concrétiser les objectifs de la loi sur la maîtrise de l'énergie et respecter les accords de Kyoto. C'est dans ce contexte que s'insère notre travail. Pour y parvenir, un état de l'art des solutions et des méthodologies existantes a été réalisé. Il est présenté dans le chapitre III. Cette partie inclue les stratégies et les solutions climatiques subséquentement associées et d'autre part leur niveau de rénovation.

Introduction :

Depuis plus de vingt ans des concepteurs, architectes et ingénieurs tentent de convaincre leurs partenaires, leurs maîtres d'ouvrages et les collectivités locales de l'urgence de réfléchir sur leurs pratiques, leurs méthodes et leurs propositions en vue de minimiser les impacts des constructions sur l'environnement. Aujourd'hui l'enjeu est crucial. Il est technique, bien sûr, mais aussi surtout, social, économique et environnemental. Il remet en question des comportements, des modes de vie, des modes relationnels.

Le bâtiment est le premier secteur consommateur d'énergie et le deuxième émetteur de gaz à effet de serre d'origine énergétique après le transport. C'est donc le secteur qui peut offrir des possibilités importantes en matière de réduction de la demande énergétique. C'est ainsi qu'une mesure telle que la réhabilitation énergétique des bâtiments s'impose pour avancer dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

Nous expliquons dans ce chapitre le contexte de la réhabilitation énergétique des bâtiments existants. En premier lieu, nous définissons la réhabilitation énergétique ensuite nous faisons l'inventaire des différents procédés existants et les problèmes liés à leur application.

IV.1 Qu'est-ce que la réhabilitation énergétique ?

Un grand nombre d'immeubles sont de forts consommateurs d'énergie. En outre, la plupart d'entre eux auraient besoin d'être réhabilités, notamment parce qu'il s'agit de constructions anciennes. Un peu partout dans le monde, des travaux globaux de réhabilitation sont en cours pour améliorer les conditions de vie dans un grand nombre d'immeubles et contribuent ainsi à rendre les villes plus agréables. C'est donc le moment idéal pour intégrer les facteurs d'énergie, de confort et d'environnement dans le processus de rénovation. Les possibilités d'économies d'énergie sont assez conséquentes et le processus de réhabilitation peut contribuer à l'amélioration du confort thermique de ces immeubles.

Le terme de « réhabilitation » est utilisé par la profession du Bâtiment comme synonyme de « travaux sur un bâtiment existant », y compris ce qui pourrait être de « l'entretien », par opposition à la construction de bâtiments neufs. Par contre, l'usage plus courant est de réserver

ce terme de « réhabilitation » à la réalisation d'un ensemble de travaux lourds, comprenant des actions sur le gros œuvre.⁸⁶

D'autre part, on la définit comme étant un savoir faire sur le plan des choix architecturaux et techniques pour réhabiliter un bâtiment et ceci dans un objectif de basse ou très basse consommation nécessaire au regard des contextes énergétiques et environnementaux.⁸⁷ Le nombre de kWh/ (m².an) avant réhabilitation est divisé après rénovation par un facteur entre 4 et 10.

La diminution des consommations d'énergie dans le logement s'impose compte tenu du contexte énergétique international, dépendance aux énergies fossiles et hausse des coûts liée à l'épuisement des ressources et de la lutte contre le changement climatique (cf. Chapitre. I).

Comment réaliser cette baisse de la consommation d'énergie dans les logements ? Par le biais de la réhabilitation énergétique. On parle aussi dans certains cas de rénovation thermique des logements.

IV.1.1 Les différents niveaux de la réhabilitation énergétique :

Il existe différents niveaux de réhabilitation. Et bien que les termes « réhabilitation », « Rénovation » ou encore « entretien » n'aient pas de définitions précises, et que l'un ou l'autre des deux premiers soit utilisé dans le sens le plus général, Orselli⁸⁸ distingue :

- ✚ La « réhabilitation » qui suppose des travaux extrêmement lourds, notamment de gros œuvre, sur l'ensemble d'un immeuble, généralement collectif.
- ✚ La « rénovation », qui peut consister à la remise en état d'un logement individuel ou situé dans un immeuble collectif, sans intervention majeure sur le gros œuvre.
- ✚ La « rénovation diffuse » constituée de toutes les interventions partielles étalées dans le temps : changement de fenêtres ou d'huissières, interventions sur les toitures, réfection de façade, changement de chaudière, etc.
- ✚ Les travaux « d'entretien » sont difficiles à définir. L'entretien des installations consommant de l'énergie est surtout important dans le cas des chaufferies. Ils se distinguent parfois mal des travaux de rénovation diffuse.
- ✚ Les travaux d'entretien courant.

⁸⁶ Orselli J. « Recherche et Développement sur les économies d'énergies et les substitutions entre énergies dans les bâtiments », Rapport pour le Conseil Général des Ponts et Chaussée, 2005, P 30.

⁸⁷ [En ligne] <http://www.ademe.fr>

⁸⁸ Orselli J. « *Op.cit 1* ». p30

IV.1.2 Pourquoi réhabiliter un logement énergétiquement ?

Au rythme de consommation actuel, dans 50 ans l'ensemble des réserves prouvées sera épuisé. Les conditions de l'équilibre en carbone sur Terre sont simples : 3 milliards de tonnes de carbone sont absorbés par les océans et les forêts, il y a 6 milliards d'habitants sur Terre... On a donc le droit de rejeter 0,5 tonne de carbone /an/personne.⁸⁹

Orselli⁹⁰ montre la difficulté de caractériser les types de rénovations et la complexité de ses acteurs. Ainsi, on y découvre que les principales opérations d'économies d'énergie se font par de la « rénovation diffuse », liée à l'obsolescence de deux grands groupes de composants du bâtiment : les vitrages et huisseries (40 % des travaux) et les chaudières (40% des travaux). L'application de concepts généraux comme celui de « réhabilitation » ou de « rénovation » au domaine énergétique doit se faire de façon très prudente.

Quant à Kohler,⁹¹ il pense que la rénovation des bâtiments existants devrait être une priorité car elle offrirait une occasion de prendre des mesures rentables pour transformer les structures résidentielles dans les bâtiments économes en ressources et respectueux de l'environnement. Tout aussi important est le fait que les coûts de rénovation sont significativement plus faibles que la démolition et la reconstruction.

IV.1.3 Les enjeux de la réhabilitation énergétique dans le logement :

Le développement durable répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs. De ce fait, la rénovation thermique a un véritable rôle d'intégrateur de développement durable à assurer, puisqu'elle comporte : un pôle social, un pôle économique et un pôle environnemental d'où ses enjeux qui sont de trois ordres :

IV.1.3.1 Des enjeux environnementaux :

Compte tenu de la contribution importante du secteur résidentiel aux émissions de CO₂ et au réchauffement climatique : émission d'à peu près de 123 millions de tonnes équivalent CO₂ / an, soit 23% des émissions en total dans le monde (Source : UNFCCC), des préjudices sont provoqués à tous les stades de transformation de l'énergie, pollution de l'air, risques de

⁸⁹ « Pourquoi et comment rénover les bâtiments anciens.» [En ligne] <http://www.morezjura.net/BBC.htm>

⁹⁰ Orselli J. « *Op.cit 1* » p32.

⁹¹ Kohler, N. 1999 In Ouyang J. & Ge J. & Hokao K. « *Economic analysis of energy-saving renovation measures for urban existing residential buildings in China based on thermal simulation and site investigation.* » Energy Policy37, pp140–149. 2009.

changements climatiques, déforestation, pluies acides, production de déchets dangereux sans solution de traitement aujourd'hui (Giec, 2007⁹² et Aspo, 2007⁹³).

IV.1.3.2 Des enjeux sociaux :

L'environnement construit constitue un support déterminant du bien-être et des relations sociales. L'environnement intérieur a un impact direct sur la santé des occupants. Et comme le parc de logements collectifs est par définition destiné à des ménages aux ressources moyens sinon modestes, parmi lesquels certains sont particulièrement vulnérables et subissent négativement les augmentations du coût de l'énergie d'où les problèmes liés à l'endettement des ménages, privations, conséquences sur la santé, exclusion sociale, dégradation du logement, etc.

IV.1.3.3 Des enjeux économiques :

La perspective d'engager un programme d'amélioration des performances thermiques du parc existant se traduira par un investissement économique d'envergure compte tenu de la raréfaction et le renchérissement des ressources fossiles.

IV.2 La réhabilitation énergétique et le confort thermique :

L'amélioration énergétique des bâtiments existants induit le plus souvent une amélioration des conditions de confort, et une plus grande qualité sanitaire des espaces.

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. La définition du confort thermique est ainsi d'une grande importance pour le bâtiment afin de lui permettre d'atteindre ses objectifs de fonctionnalité tout en justifiant l'installation des équipements d'ambiance (chauffage, ventilation et climatisation).⁹⁴ L'organisation internationale de normalisation l'ISO, propose des normes concernant l'ergonomie des ambiances thermiques. L'utilisation des normes vaut tant pour l'appréciation et l'amélioration des conditions thermiques existantes que pour la conception de nouvelles conditions.⁹⁵ D'autre part, le compromis entre l'efficacité énergétique et le confort maximal est très difficile.

⁹² GIEC Groupe intergouvernemental d'experts sur le Climat

⁹³ ASPO Association for study of peak oil.

⁹⁴ **Moudjalled B.** « *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés* », Thèse de doctorat, Lyon 2007, Page 23.

⁹⁵ **Ibid**, page 61.

A l'heure actuelle, le secteur résidentiel en Algérie n'est soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique, le confort est généralement insuffisant sinon inexistant dans les constructions aussi bien en saison chaude que froide. Les usagers sont confrontés à un choix tout aussi contraignant dans les deux cas suivants : se résigner à l'inconfort ou assurer leur confort au prix d'équipements coûteux et de fortes dépenses énergétiques.

IV.2.1 Le confort d'hiver :

En matière de confort d'hiver, l'amélioration énergétique des bâtiments va conduire à favoriser la collecte d'apports solaires gratuits ainsi qu'une pénétration du rayonnement solaire maximale, qui à cette période contribue à améliorer le confort visuel en cette saison, où la lumière naturelle est moins abondante et plus recherchée qu'en été.

IV.2.2 Le confort d'été :

La question spécifique du confort d'été doit quant à elle trouver une réponse dans le contrôle des apports solaires, la réduction des apports internes, la mise en œuvre d'une inertie importante et l'évacuation de la chaleur des structures pendant la nuit.⁹⁶

D'après Donald Watson et Roger Camous⁹⁷, la manière la plus simple et la plus efficace d'assurer le confort d'été est de limiter les effets de la principale source de surchauffe en abritant le bâtiment du soleil, ou tout en moins en réduisant les surfaces de l'enveloppe exposées au soleil d'été.

En matière de confort d'été, on va donc chercher à protéger le logement des surchauffes en améliorant tout à la fois son isolation, la qualité de ses vitrages et de ses protections solaires, mais également sa ventilation et le renouvellement d'air des pièces qui le composent.

IV.3 Les principales solutions techniques de la réhabilitation énergétique:

Les techniques de réhabilitation thermique et énergétique comprennent notamment l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment, l'éclairage, le chauffage, le rafraîchissement et la ventilation, l'eau chaude sanitaire ainsi que le recours à l'énergie solaire.

L'enveloppe joue un rôle de filtre thermique qui permet de créer un microclimat à l'intérieur du bâtiment, indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La

⁹⁶ « Pourquoi et comment rénover les bâtiments anciens. » [En ligne] <http://www.morezjura.net/BBC.htm>

⁹⁷ **Watson D & Camous R.** « *L'habitat bioclimatique : de la conception à la construction* » Ed. L'Étincelle, Québec 1986, Page 156.

composition de l'enveloppe est un élément déterminant des caractéristiques de ce filtre.⁹⁸ Elle doit être considérée comme le souci principal dans une opération de réhabilitation thermique d'un logement. C'est l'élément à appréhender en premier.

Outre la réduction des besoins énergétiques, une bonne isolation contribuera à un meilleur confort pour les usagers. D'après Orselli⁹⁹ dans les bâtiments existants, le plus gros potentiel d'économies d'énergie réside dans l'enveloppe qui doit être isolée adéquatement de façon la plus étanche possible afin de minimiser les pertes thermiques par transmission et les fuites d'air ainsi que les gains en période de surchauffe.

Cependant, la plus part des matériaux structuraux ne sont pas suffisamment isolants pour assurer le chauffage économique d'un bâtiment dans un climat froid ou garantir la fraîcheur nécessaire dans un climat chaud. On doit donc intégrer à l'enveloppe des matériaux dont la fonction sera spécifiquement l'isolation thermique.¹⁰⁰ Cette dernière, en réduisant les pertes et les gains de chaleur minimise les besoins en énergie. Elle jouera son rôle dès que la température extérieure se trouve en dehors de la zone de confort c'est à dire dès qu'il sera nécessaire de chauffer ou de climatiser l'intérieur. Par conséquent, l'isolation est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies d'énergie.

Les recommandations et réglementations thermiques préconisent une isolation thermique renforcée des parois opaques des bâtiments. Malheureusement, une forte isolation, si elle limite la consommation d'hiver liée au chauffage, induit de fortes surchauffes en été. Afin de lutter contre ce phénomène, diverses méthodes sont possibles, comme la surventilation nocturne¹⁰¹, les méthodes architecturales comme l'a proposé Givoni, ou l'inertie thermique¹⁰².

IV.3.1 Les parois opaques :

L'isolation doit contribuer non seulement à la maîtrise ou le contrôle de la perméabilité à l'air des enveloppes, mais aussi à la réduction ou le traitement des ponts thermiques (cf. Fig.III.1) qui induisent non seulement une contre-performance de l'enveloppe du point de vue énergétique, mais sont également le siège d'inhomogénéités thermiques (cf. Tab.III.1),

⁹⁸ Sambou V. « Transferts thermiques stationnaires : vers une optimisation de parois de bâtiments » Thèse de doctorat, Université de Toulouse 2008.

⁹⁹ Orselli J. « Op.cit 1 » p36.

¹⁰⁰ Watson D. & Camous R. « Op.cit 12 » Page 106.

¹⁰¹ Pfafferott J. & Herkel S. & Jäschke M. « Design of passive cooling by night ventilation: evaluation of a parametric model and building simulation with measurements. » Energy and Buildings 35, 11, pp. 1129-1143, 2003.

¹⁰² Antonopoulos, K.A. & Koronaki E.P. « On the dynamic thermal behaviour of indoor spaces. » Applied Thermal Engineering 21, 9, pp. 929-940, 2001.

synonymes de sources d'inconfort, et de risques de pathologies associées (condensation, moisissures, ...).¹⁰³

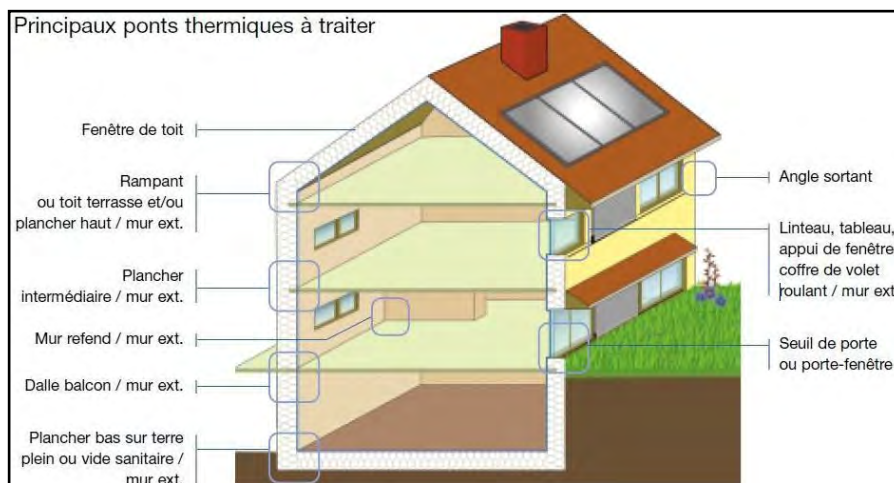


Fig.III. 1 : Situation des ponts thermiques

Source : www.effnergie.org

Tab.III. 1 : Les signes d'une mauvaise isolation.

Source : « L'isolation de votre maison. » www.schl.ca publication gratuite n°62087

Les signes d'une mauvaise isolation en hiver	Les signes d'une mauvaise isolation en été
<ul style="list-style-type: none"> • Les murs sont froids au toucher. • Les planchers sont froids. • Les frais de chauffage sont élevés. • La chaleur n'est pas répartie uniformément dans toute la maison. • Des moisissures prolifèrent sur les murs. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'air est trop chaud à l'intérieur. • Les frais de climatisation sont élevés. • Le climatiseur est inefficace. • Des moisissures apparaissent au sous-sol.

Dans le cas des logements existants, l'enveloppe est déjà là, il faut donc penser à tirer profit des différents matériaux la composant avant d'intervenir sur cette dernière. Il est à noter que tous les matériaux de construction possèdent une certaine capacité thermique puisque tous présentent une certaine résistance au passage de la chaleur qui est variable en fonction de la masse thermique des matériaux qui la constitue.

Un bâtiment pourvu d'une masse thermique importante est capable de stocker la chaleur pour une certaine période de temps et de la redistribuer plus lentement au cours du jour et de la nuit, ce qui diminue la période de surchauffe et son amplitude¹⁰⁴.

¹⁰³ « Qualité énergétique, environnementale et sanitaire, Préparer le bâtiment à l'horizon 2010 », [En ligne] www.btap2002.pdf

Idéalement, une enveloppe de bâtiment devrait donc comporter :

- Coté extérieur : des matériaux à faible diffusivité pour l'isoler des sollicitations climatiques,
- Coté intérieur : des matériaux à forte effusivité pour obtenir une inertie importante (cf. Annexe C).¹⁰⁵

Il existe deux types d'isolation thermique de l'existant : l'isolation par l'extérieur et l'isolation intérieure avec rupteurs de ponts thermiques. Un troisième type d'isolation est réservé pour les réhabilitations lourdes ou les constructions neuves, qu'on appelle l'isolation répartie. Ces trois types d'isolation seront détaillés dans ce qui suit.

IV.3.1.1 L'isolation des murs par l'extérieur :

Elle consiste à envelopper le bâtiment d'un manteau isolant. Dans l'existant, une isolation par l'extérieur peut être envisagée lors d'une rénovation complète ou un ravalement de façade. Cette technique d'isolation permet d'économiser 10 à 20% de la consommation totale d'énergie.¹⁰⁶ Elle permet aussi de bénéficier de la capacité thermique de la paroi et de limiter les risques de surchauffe en été.

Le choix du système d'isolation par l'extérieur nécessite un enduit synthétique ou minéral qui présente les caractéristiques suivantes :

- Imperméable à l'eau.
- Perméable à la vapeur d'eau pour séchage de la maçonnerie derrière l'isolant.
- Bonne résistance mécanique et un aspect esthétique certain.¹⁰⁷

III.3.1.1.1 Avantages et inconvénients de l'isolation par l'extérieur :

L'isolation extérieure augmente la performance thermique globale du bâtiment, elle permet la réduction significative des consommations de chauffage ou de climatisation¹⁰⁸, modernise l'aspect des façades et n'oblige pas les habitants à quitter le logement pendant les

¹⁰⁴ **Lavergne M.** « *Opportunités solaires passives : optimisation du confort et de la consommation énergétique d'un espace séjour avec serre accolée.* » Collection Mémoires et thèses électroniques, Université Laval, 2009

¹⁰⁵ **Tareb** « *Energy Comfort and Buildings. Principles of Renewables.* » Chapter 5. p16 [En ligne]

www.learn.londonmet.ac.uk

¹⁰⁶ [En ligne] www.suisse-energie.ch

¹⁰⁷ **Mia Meftah M. & Benmanssour.M.B.** « *Etude de faisabilité de l'utilisation de l'énergie solaire en vue de la réhabilitation thermique du bâti existant.* » Colloque National : Pathologie des Constructions : Du Diagnostic à la Réparation Département de Génie Civil Université Mentouri Constantine - 25 et 26 Novembre 2008.

¹⁰⁸ [En ligne] www.suisse-energie.ch

travaux et de surcroît améliore leur confort. Néanmoins le coût de cette technique est plus élevé que celui de l'isolation par l'intérieur.

Dans certains cas, pour la protection d'un patrimoine, l'isolation extérieure ne peut être réalisée et l'isolation intérieure est plus envisageable. Les avantages et les inconvénients de cette technique sont cités dans le tableau suivant (cf. Tab.III.2).

Tab.III. 2 : Avantages et inconvénients de l'isolation extérieure.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Traite un plus grand nombre de ponts thermiques en les recouvrant efficacement. - Ne modifie pas les surfaces habitables et ne nécessite pas la reprise de la décoration. - Protège les murs des intempéries et des variations climatiques (inertie apportée par le mur côté intérieur). 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmente le coefficient d'occupation au sol sur le terrain. - Modifie l'aspect global de la maison. - Réduit la grandeur des ouvertures et donc de l'apport lumineux en procédant à l'isolation des tableaux et des appuis de fenêtres. - Nécessite de revoir la fixation des systèmes de fermeture des volets...

III.3.1.1.2. Comment réaliser l'isolation extérieure ?

Les solutions techniques de l'isolation extérieure sont les suivantes :

- **L'enduit mince sur isolant :**

Le système se compose de l'isolant collé sur le mur à l'extérieur de l'habitation, généralement du polystyrène expansé et d'un enduit spécifique armé d'un tissu de fibres de verre et de l'enduit de finition. Il est composé de liants organiques qui forment une pellicule d'une épaisseur de 3 à 5 mm et se pose en 2 couches entre lesquelles une armature sous forme d'un treillis en fibre de verre est insérée, recouvertes d'une couche de finition¹⁰⁹. L'isolant est collé ou fixé mécaniquement si le support ne permet pas le collage.

- **L'enduit hydraulique sur isolant :**

La technique est proche de la précédente. L'enduit mince est remplacé par un enduit hydraulique (mortier) généralement projeté (cf. Fig.III.2). C'est un enduit à base de sable, de

¹⁰⁹ « Réhabilitation thermique de l'habitat existant » 2008 [En ligne] www.ageden.org

ciment ou de chaux comprenant un peu de résine, qui forme une pellicule d'une épaisseur de 15 à 20 mm¹¹⁰.

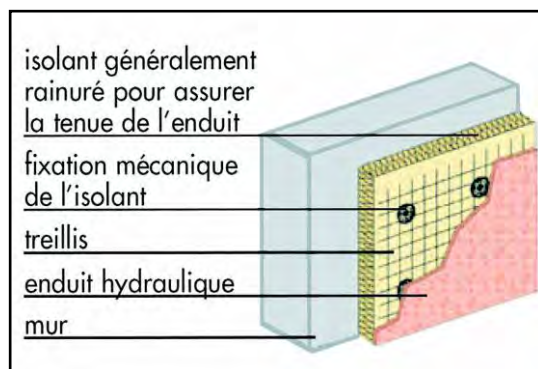


Fig.III. 2 : L'enduit hydraulique sur isolant

Source : « Réhabilitation thermique de l'habitat existant. » 2008 www.ageden.org.

- **Les parements sur isolants :**

L'isolant est fixé au support puis accueille des pierres minces, des carreaux de céramique, des panneaux de bardage ou des contre-murs en brique (cf. Fig. III.3). On distingue deux procédés : les vêtures et les vêtages.

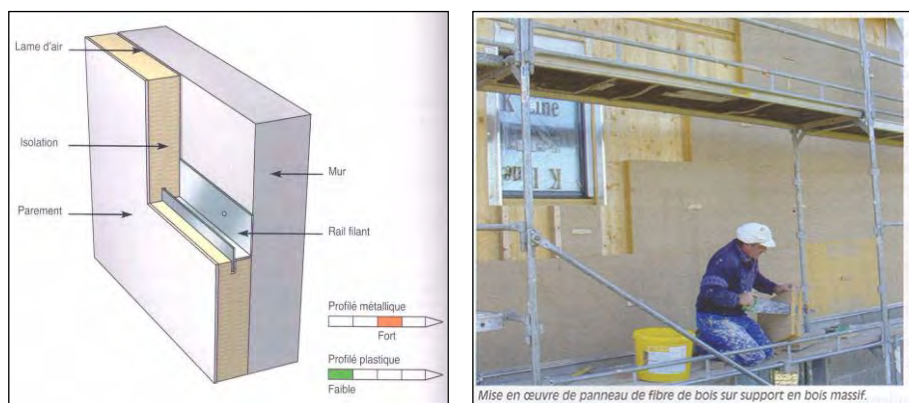


Fig.III. 3 : parements sur isolants

Source : Revue « Maisons Paysannes de France » n° 162, du 4^e trimestre 2006.

- **Les vêtures :** elles sont constituées d'éléments préfabriqués en usine comprenant un isolant et une plaque de parement (cf. Fig.III.4). L'isolant le plus utilisé est le polystyrène expansé moulé. Le parement peut être constitué de divers matériaux tels que la tôle d'acier, la tôle d'aluminium, le polyester armé ou le PVC. Les ossatures sur lesquelles sont posées les vêtures, sont fixées au mur.

¹¹⁰ Ibid.

- **Les vêtages :** Dans le cas des vêtages, l'isolant est collé ou fixé mécaniquement sur le mur (cf. Fig.III.4). Le revêtement quant à lui (pierre, carreaux de céramique, panneaux de bardage) est fixé au mur à travers l'isolant par des chevilles. Un espace d'air n'est pas impératif.¹¹¹

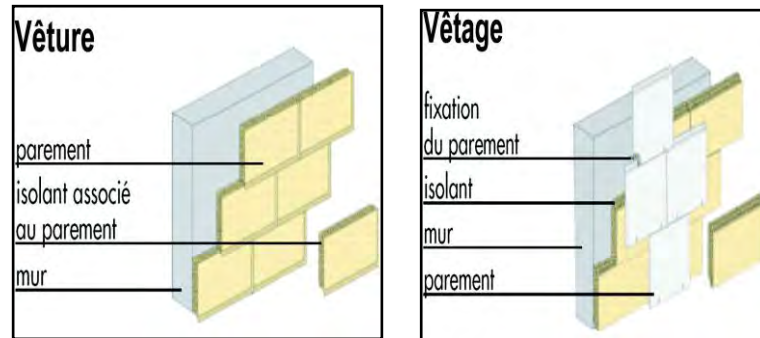


Fig.III. 4 : Vêtture et vêtage

Source : « réhabilitation thermique de l'habitat existant »2008 www.ageden.org

- **Les enduits isolants :**

Ils sont constitués de mortiers auxquels sont incorporées des particules de matériaux isolants (billes de polystyrène expansé, vermiculite exfoliée, etc.). Généralement appliqués en trois couches, ces enduits ne permettent pas d'obtenir des résistances thermiques équivalentes à celles atteintes par les autres procédés. Ils sont réservés aux parois déjà isolées auxquelles on souhaite apporter un complément d'isolation.

IV.3.1.2 L'isolation des murs par l'intérieur :

Elle est intéressante lorsque le ravalement extérieur est en bon état. Pour envisager l'isolation par l'intérieur, il faut absolument s'assurer que :

- Le mur de parement extérieur doit être en bon état et capable de supporter les intempéries puisqu'il n'y a plus l'influence du climat interne.
- Le mur porteur intérieur est sec et protégé des infiltrations.
- Une inertie suffisante.¹¹²

¹¹¹ « Réhabilitation thermique de l'habitat existant » 2008 [En ligne] www.ageden.org

¹¹² **Mia Meftah M. & Benmanssour.M.B** Mia Meftah M. & Benmanssour.M.B. « Etude de faisabilité de l'utilisation de l'énergie solaire en vue de la réhabilitation thermique du bâti existant » Colloque National : Pathologie des Constructions : Du Diagnostic à la Réparation Département de Génie Civil Université Mentouri Constantine - 25 et 26 Novembre 2008.

III.3.1.2.1 Avantages et inconvénients de l'isolation par l'intérieur :

L'isolation intérieure réduit l'inertie thermique, c'est pourquoi l'inertie thermique doit être reconstituée : utilisation de MCP (Matériaux à changement de Phase cf. Annexe C) incorporés dans les plaques de plâtre ou les planchers, en veillant à ce que la température de transition leur permette d'être réellement efficaces. De plus, la correction des ponts thermiques doit être assurée.

Les avantages et les inconvénients de cette technique d'isolation se résument dans le tableau suivant (cf. Tab.III.3).

Tab.III. 3 : Avantages et inconvénients de l'isolation par l'intérieur.

Source : <http://www.toutsurlisolation.com>

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Ne modifie pas l'espace extérieur. - Augmente la performance thermique globale du bâtiment. - Supprime les condensations sur parois froides. - Supprime l'effet parois froides. - Améliore le confort acoustique intérieur. - Coût d'exécution moins onéreux qu'une solution d'isolation par l'extérieur. - Systèmes d'isolation faciles et rapides à mettre en œuvre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduit l'espace habitable. - Révision du plan électrique. - Embrasement des portes et des fenêtres à prévoir pour réduire au minimum les déperditions lumineuses. - Décoration intérieure à refaire. - Travaux à effectuer dans un local évacué de ses habitants le temps des travaux.

III.3.1.2.2 Comment réaliser l'isolation intérieure?

Plusieurs techniques de ce genre d'isolation ont été utilisées dont :

- **L'isolant est derrière une contre-cloison maçonnée ou sur ossature :**

L'isolant est le plus souvent collé ou fixé mécaniquement au support. La contre-cloison est en briques plâtrières ou en carreaux de plâtre ou encore en plaques de plâtre vissées sur des ossatures (cf. Fig.III.5).¹¹³

¹¹³ Guide pratique de l'ADEME « L'isolation thermique » [En ligne] www.ademe.fr

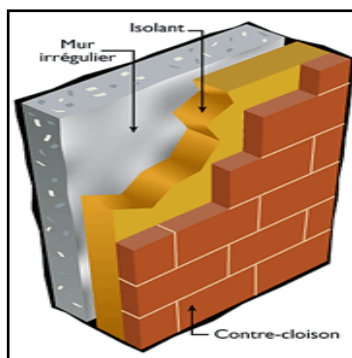


Fig.III. 5 : L'isolant est derrière une contre-cloison

Source : Guide pratique de l'ADEME « L'isolation thermique » www.ademe.fr

- **Les panneaux composites ou complexes de doublage :**

Ils se composent d'un panneau isolant en polystyrène expansé, polystyrène extrudé, polyuréthane ou laine minérale, revêtu d'un parement en plâtre. Les panneaux sont fixés contre le mur, par collage ou par vissage sur tasseaux (cf. Fig.III.6).

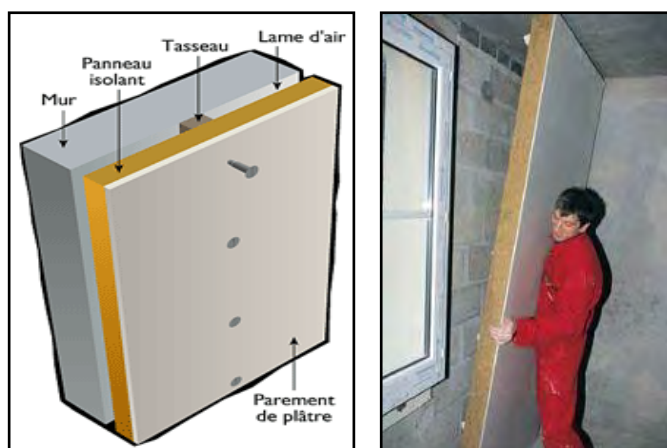


Fig.III. 6 : Les panneaux composites (à gauche) Source : www.ademe.fr
L'isolation intérieure par Rockwool (à droite). Source : Tareb 2004.

IV.3.1.3 L'isolation des murs dans leur épaisseur :

Cette technique appelée aussi « l'isolation répartie » est une solution qui permet d'isoler et de construire avec un seul produit porteur et isolant. Elle est surtout utilisée en construction neuve, mais elle peut être intéressante dans le cas d'une réhabilitation lourde. Deux grandes familles sont proposées sur le marché :

- la brique alvéolée en terre cuite ou monomur,
- les blocs et panneaux hauteur d'étage en béton cellulaire (cf. Fig. III.7).



Fig.III. 7 : La brique alvéolée en terre cuite (à gauche) et le béton cellulaire à (droite).

Source : www.ageden.org

Les avantages de cette technique sont:

- ✚ Un gain de temps pour la mise en œuvre : structure porteuse et isolation thermique en un seul produit.
- ✚ Une facilité dans la mise en œuvre des menuiseries, plomberies et réseau électrique.
- ✚ Une réduction des ponts thermiques.
- ✚ Une amélioration du confort thermique de part le bon compromis entre l'inertie thermique et l'isolation.

IV.3.1.4 L'isolation des toitures :

L'isolation des toitures est très rentable car le potentiel d'économies d'énergie est important. Sachant que la toiture transmet jusqu'aux 2/3 des transferts de chaleur de l'enveloppe vers l'intérieur du bâtiment, la réflexivité et l'isolation de la toiture limitent ces apports thermiques.¹¹⁴

III.3.1.4.1 L'isolation des charpentes :

Elle est réalisée au moyen de panneaux de toiture porteurs qui comprennent le support ventilé de couverture, l'isolation et un parement du côté intérieur. Cette technique préserve la charpente des variations de température et d'humidité et garantit la ventilation de la couverture.

III.3.1.4.2 Les toitures terrasse :

Ce genre de toitures subit des contraintes climatiques très rigoureuses ce qui entraîne des dilatations et des rétractations de la couverture et de l'étanchéité. L'isolation thermique doit donc respecter ces contraintes et L'isolant doit être choisi en fonction des charges qu'il pourra supporter.

¹¹⁴ **Liébard A. & De Herde H.** « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* » Ed. Le Moniteur, France 2005, Page 84. p172.

✚ Isolation sur étanchéité « toiture inversée » :

Dans ce cas, l'isolant est disposé sur une étanchéité existante. Selon l'accessibilité cette couche d'isolant est recouverte d'une couche de gravier ou d'un dallage sur sable. Son avantage réside dans la protection de l'étanchéité des intempéries. Son inconvénient est que l'isolant chargé de protection lourde, subit le ruissellement des eaux pluviales.

✚ Isolation sous étanchéité :

L'isolant est installé au-dessus de la dalle puis recouvert par l'étanchéité et par une protection lourde en gravillons pour les toitures non accessibles ou en dallage lorsqu'une circulation est prévue. Son avantage est la protection plus efficace de la maçonnerie des variations de température et de ce fait elle limite les mouvements de dilatation et de réfraction.

A noter aussi que l'isolation de la toiture et des murs permet de réaliser jusqu'à 20 ou 30% d'énergie.¹¹⁵

IV.3.1.5 L'isolation des planchers :

L'appréciation de la qualité thermique d'un plancher, pour aider à déterminer le choix en termes d'isolation, se fonde sur des critères indissociables :

- la constitution du plancher.
- la nature des liaisons entre plancher et parois verticales adjacentes.
- la présence et la nature d'un éventuel volume d'air sous le plancher.

En rénovation, il est souvent difficile d'isoler le sol d'un logement, la présence d'un vide-sanitaire ou d'une cave peut cependant permettre la mise en place en dessous de la dalle d'une isolation. L'isolation des planchers c'est 5 à 10% d'énergie non consommée. L'isolation des plafonds de caves ou des sols permet d'économiser 5-10% de la consommation totale d'énergie¹¹⁶.

IV.3.2 Les parois vitrées :

De tous les éléments de l'enveloppe du bâtiment, les fenêtres et les surfaces vitrées en général, sont les plus exposées aux transferts de chaleur non désirés.¹¹⁷ Ce sont donc des éléments constructifs à ne surtout pas négliger lors de la construction ou la réhabilitation de bâtiments, car outre le fait qu'ils constituent des surfaces de déperditions énergétiques importantes (cf. Fig.III.8), ils représentent aussi une surface stratégique de captage de l'énergie

¹¹⁵ Guide pratique de l'ADEME « L'isolation thermique » [En ligne] www.ademe.fr

¹¹⁶ « Réhabilitation thermique de l'habitat existant. » 2008[En ligne] www.ageden.org

¹¹⁷ **Watson D. & Camous R.** « *Op.cit 12* » Page 118.

solaire. Ils peuvent constituer un énorme gisement d'économies d'énergie en sachant que leur isolation c'est 10% d'énergie non consommée.

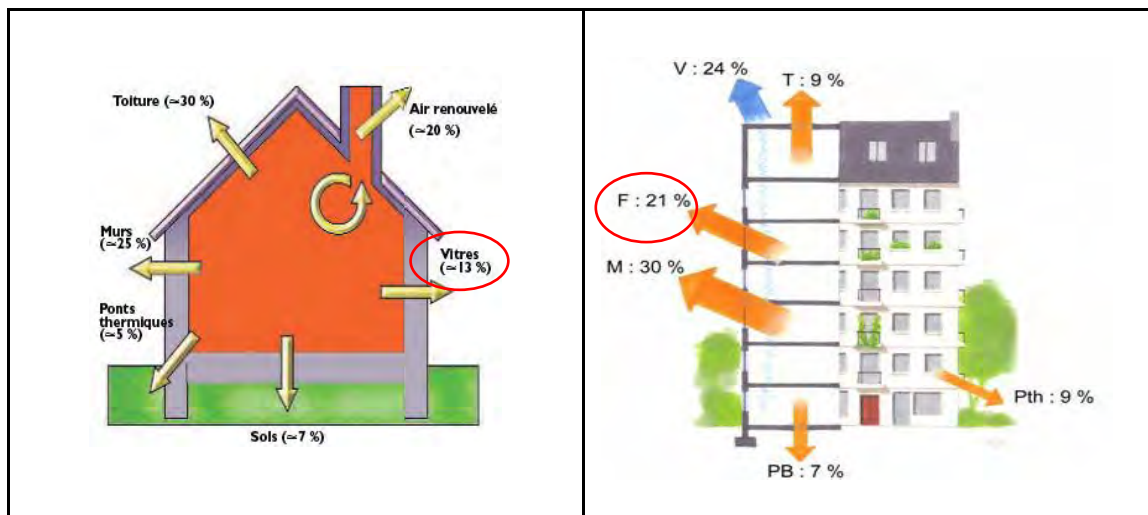


Fig.III. 8 : Pertes de chaleur d'une maison traditionnelle non isolée à gauche (Source : [ftp://ftpville.ville-grenoble.fr](http://ftpville.ville-grenoble.fr)) Et d'un immeuble collectif non isolé à droite. (Source : Guide « recommandations » pour le DPE février 2007 www.planetegagnante.fr)

IV.3.2.1 Caractéristiques physiques des vitrages :

Les vitrages sont souvent un maillon critique dans le système d'énergie d'un bâtiment. Le coefficient qui détermine le pouvoir isolant d'un vitrage se note U_g (cf. Annexe C). Le type de vitrage va donc déterminer ses « relations » avec le rayonnement solaire :

- Sa capacité de transmission de la lumière caractérisée par son coefficient de transmission lumineuse TL.
- Son aptitude à transférer la chaleur déterminée par son facteur solaire de transmission totale d'énergie à travers le vitrage g .
- Sa disposition à bloquer le transfert de chaleur, définie par son coefficient de transmission thermique surfacique U (en W/m^2K) (cf. Fig.III.9).
- Son pouvoir réfléchissant du rayonnement solaire incident traduit par le coefficient de réflexion lumineuse, qui est la fraction de lumière incidente qui est réfléchiée par le vitrage.

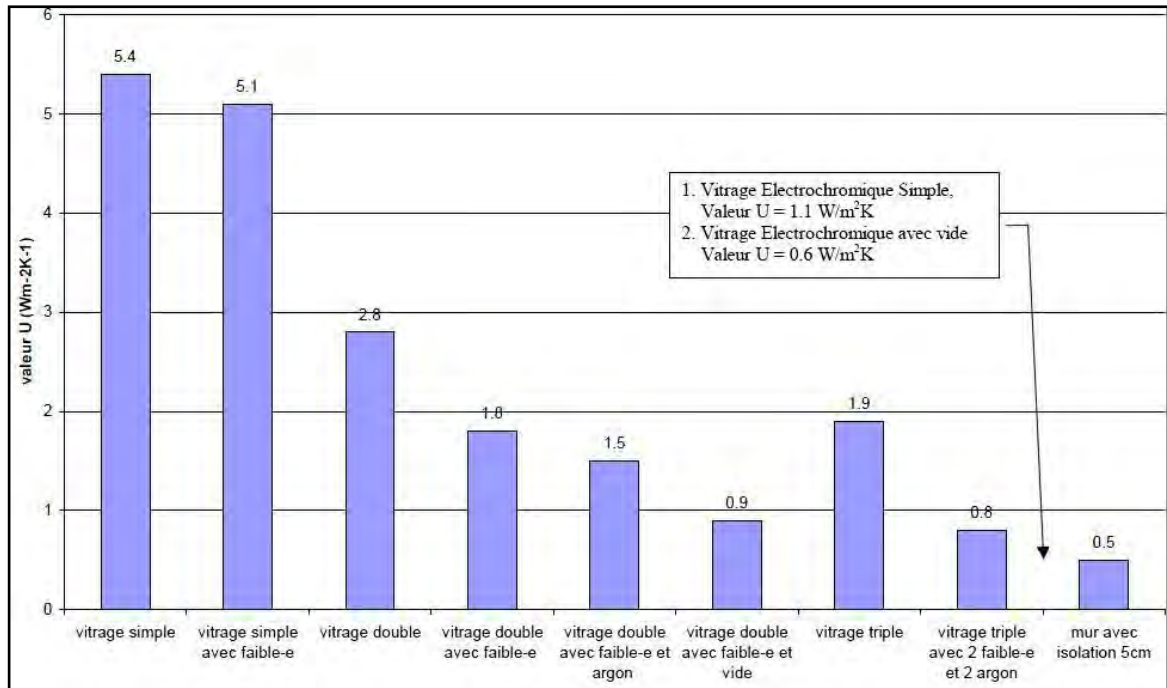


Fig.III. 9 : Valeurs du coefficient U pour différents types de vitrages.
(Source : Niki Assimakopoulou M. 2004)

Il existe différents types de vitrage dont les vitrages clairs, les vitrages absorbants et les vitrages réfléchissants. Pour améliorer les performances thermiques des vitrages, l'emploi de gaz lourd, type argon ou krypton, entre les lames de verre, ou le dépôt d'une couche d'oxyde d'argent sur la couche externe du verre intérieur, permettent de meilleures performances qu'avec des vitrages conventionnels (cf. Fig. III.10). Pour caractériser ces vitrages, on parle de faible émissivité et d'isolation renforcée.

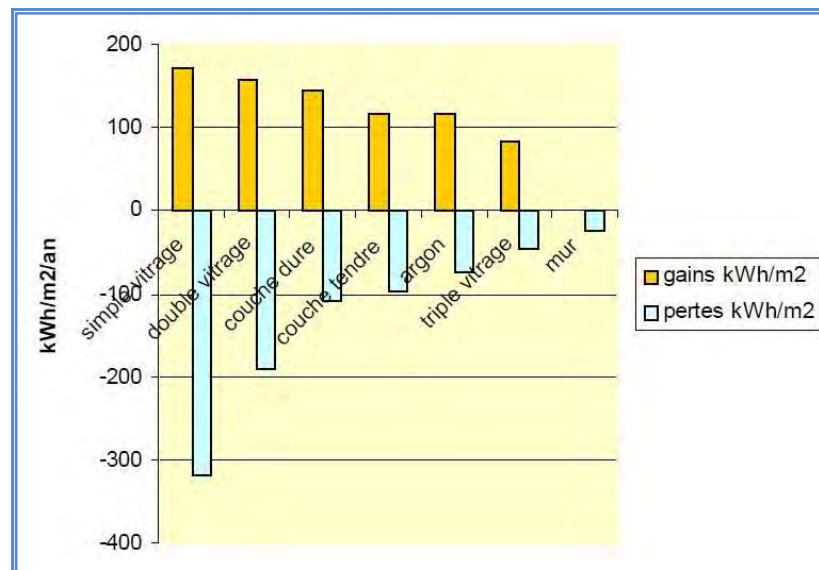


Fig.III. 10 : Evolution des vitrages (Source : Bruno Peuportier 2009)

III.3.2.1.1 Le double vitrage classique :

Le double vitrage classique est plus performant que le simple vitrage, il réduit l'effet de paroi froide et il diminue les condensations et les déperditions thermiques à travers les fenêtres (Soit un gain de 10 % de la consommation en chauffage d'après l'ADEME).

III.3.2.1.2 Le double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR) ou peu émissif:

Il constitue la nouvelle génération de doubles vitrages. Une fine couche transparente peu émissive (généralement à base d'argent) est déposée sur une des faces du verre (coté lame d'air). Le VIR a un pouvoir isolant deux à trois fois supérieur à celui d'un double vitrage ordinaire, et plus de quatre fois supérieur à celui d'un vitrage simple.

La position de la couche basse émissivité dans un double vitrage n'affecte en rien le facteur U_g de celui-ci. Par contre, le facteur solaire du vitrage est influencé par la position de la couche (Cf. Fig.III. 11). Si la couche basse émissivité est placée en face 2, la chaleur absorbée par le vitrage et réémise sous forme d'infrarouge de grande longueur d'onde, principalement vers l'extérieur. Le facteur solaire du vitrage est donc diminué et ce vitrage convient mieux aux climats chauds. Si la couche basse émissivité est placée en face 3, la majorité de la chaleur absorbée par le vitrage est réémise vers l'intérieur, augmentant ainsi le facteur solaire du vitrage. Ce vitrage est donc plus adapté aux climats froids.¹¹⁸

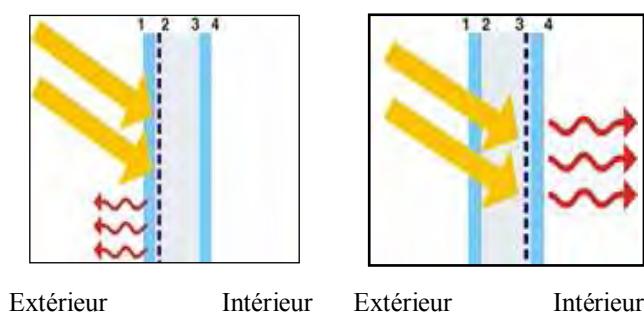


Fig.III. 11 : Importance de la position de la couche basse émissivité (Source : Flory-Celini 2008)

III.3.2.1.3 Le triple vitrage :

Les deux chambres et le remplissage de gaz rares dans le triple vitrage permettent d'atteindre des valeurs entre 0,5 et 0,8 W/ (m²K). Des triples vitrages avec des liaisons

¹¹⁸ Flory-Celini C. « Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant » Thèse de doctorat, Université Lyon 2008. Page 225.

périphériques à rupture de pont thermique permettront d'améliorer nettement le confort intérieur et d'éviter les vents rabattants ainsi que la condensation en bordure du vitrage.¹¹⁹

La valeur Ug du vitrage peut être améliorée par l'ajout d'une troisième, voire d'une quatrième plaque de verre. On obtient alors un meilleur pouvoir isolant, mais également une augmentation de l'épaisseur totale et du poids du vitrage. En outre les transmissions solaire et lumineuse diminuent,¹²⁰ ce qui peut constituer une solution d'été mais moins efficace en hiver.

III.3.2.1.4 Influence du choix du vitrage sur les économies d'énergie :

Malgré les grands progrès techniques réalisés, les vitrages commercialisés présentent toujours des déperditions bien supérieures à celles des murs. Vu que les coefficients de pertes thermiques U des vitrages sont supérieurs à ceux des parties opaques avec des niveaux de transmission solaire élevés, ceci crée souvent des problèmes concernant le chauffage, le refroidissement ou les aspects du confort du bâtiment¹²¹ (cf. Tab.III.4). Les pertes par transmission sont en plus croissantes avec l'augmentation de la surface vitrée à moins de placer des dispositifs de protection adéquats.

Tab.III. 4 : Influence du choix du vitrage sur les économies d'énergie

(Source : Simon et al. 1998)

Augmentation de la lumière naturelle	Eclairage artificiel	Diminue
Renforcement de l'isolation du vitrage	Déperditions thermiques	Diminuent
	Confort intérieur	Augmente
	Température de la face intérieure	Augmente
	Température de l'air intérieur	Augmente
Augmentation du contrôle du rayonnement solaire entrant	Risques de surchauffe	Diminuent
	Apport d'énergie en hiver	Augmente
	Besoin d'un conditionnement d'air	Diminue

Les vitrages les plus intéressants pour limiter les apports solaires ainsi que les déperditions thermiques sont les fenêtres à rupture de pont thermique équipées de vitrages VIR qui bénéficient à la fois d'un bon coefficient d'isolation et d'un facteur solaire élevé, c'est cette combinaison qui optimise leur performance énergétique.¹²² Une autre solution qui mérite plus d'attention est le choix des vitrages en fonction de l'orientation.¹²³

¹¹⁹ Horn G. « Construire avec une bonne isolation thermique et de façon étanche à l'air » [En ligne] www.cr-bourgogne.fr

¹²⁰ Flory-Celini C. « Op.cit 33 » page 226.

¹²¹ Niki Assimakopoulou M. « Développement et évaluation des systèmes de contrôle de régulation d'un vitrage électrochromique pour des applications de bâtiment » Thèse de doctorat, université de Lyon 2004.

IV.3.2.2 Les Menuiseries:

Elles doivent de la même façon que les vitres, permettre d'éviter les déperditions thermiques. Les matériaux utilisés pour les menuiseries sont les principaux garants de l'efficacité de celles-ci (cf. Fig.III.12). On distingue trois types de menuiseries¹²⁴ :

- Les menuiseries en bois présentant de très bonnes qualités thermiques mais nécessitant un entretien régulier.
- Les menuiseries en PVC assurant également de bonnes performances thermiques mais présentant un bilan énergétique et environnemental très mitigé.
- Les menuiseries en aluminium ont l'avantage d'avoir une excellente tenue dans le temps et peuvent être associées au bois pour constituer des menuiseries mixtes.

Avec le choix de nouvelles technologies disponibles, les fenêtres sont devenues un instrument très utile pour la conception de refroidissement passif, de chauffage et d'éclairage.¹²⁵



Fig.III. 12 : Choix des composants et identification des facteurs intervenant dans la thermique de la fenêtre. (Source : De Herde & Liébard 2005)

Les valeurs du coefficient de transmission thermique U_w des différents types de menuiseries existantes peuvent être calculées¹²⁶ comme suit :

$$U_{\text{fenêtre}} = 0.3U_{\text{châssis}} + 0.7U_{\text{vitrage}} + 3 \times 0.05 \text{ (ou } 0.07) \dots \dots \dots (14)$$

(Selon que le vitrage ait un $U >$ ou $< 2 \text{ W/m}^2\text{K}$).

¹²² Flory-Celini C. « *Op.cit 33* » page228.

¹²³ Flory-Celini C. & Safer N.& Virgone J.& Covalet D.& Roux JJ. « *Réhabilitation des bâtiments : Impact de la combinaison des protections solaires et des vitrages en fonction de l'orientation* » Ibpsa 2006.

¹²⁴ « Les vitrages et menuiseries » fiches techniques. [En ligne] www.oikos-ecoconstruction.com

¹²⁵ Niki Assimakopoulou M. « *Op.Cit 36* ».

¹²⁶ « Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments. » [En ligne] www.fr.rockwool.be

Des valeurs maximales de ce même coefficient U_w sont données dans le tableau (Tab.III.5).

Tab.III. 5 : Valeurs de la performance thermique des ouvrants.

Source : www.anah.fr

Ouvrants	U_w Valeur maximale du coefficient de transmission thermique, en $W/m^2.K$
Fenêtres et porte-fenêtres, structure PVC	1,6
Fenêtres et porte-fenêtres, structure bois	1,8
Fenêtres et porte-fenêtres, structure métal	2,0
Doubles fenêtres	2,0
VIR installé sur menuiserie existante	1,5
Volets isolants	$R \geq 0,2 \text{ m}^2.K/W$

IV.3.2.3 Les techniques d'isolation d'une paroi vitrée dans l'existant :

Dans une opération de réhabilitation énergétique de logements existants et quand les menuiseries sont en bon état et sont encore équipées de simple vitrage, on préconise :

III.3.2.3.1 Le survitrage :

Il consiste à poser sur la fenêtre existante une vitre rapportée à l'aide de profilés spécifiques. Il convient alors de renforcer l'étanchéité de la fenêtre à l'aide de joints appropriés. Solution peu onéreuse, mais d'une efficacité relative¹²⁷.

III.3.2.3.2 Le double vitrage de rénovation :

Il consiste à remplacer sur la fenêtre existante le simple vitrage par un double vitrage dit de « rénovation ». Il s'agit de doubles vitrages équipés en atelier de minces profilés permettant de les fixer dans les feuillures existantes. Il faut également renforcer l'étanchéité de la fenêtre.

III.3.2.3.3 Le changement de fenêtre avec conservation du dormant existant :

Il est réalisé en mettant en œuvre par recouvrement sur ce dormant une nouvelle fenêtre complète en PVC, en aluminium ou en bois. Sur le plan thermique les fenêtres constituent une des sources principales de déperditions du bâtiment. Il s'agit ici de maximiser le coefficient de gain solaire total et la résistance thermique de l'assemblage cadre - verre.¹²⁸

¹²⁷ [En ligne] <http://www.ademe.fr>

¹²⁸ Flory-Celini C. « Op.cit 33 » page 237.

III.3.2.3.4 Le remplacement total de l'ancienne fenêtre :

Cette opération nécessite souvent des travaux de maçonnerie plus importants. Elle apporte une isolation thermique et acoustique supérieure. L'avantage de cette variante est que la jonction, l'étanchéité, entre le cadre et le mur extérieur peut se faire de manière optimale.

Le remplacement des fenêtres permet d'économiser 5 à 10 % de la consommation totale d'énergie.¹²⁹

IV.3.2.4 Les protections solaires :

La performance thermique d'une paroi vitrée dépend de la nature de la menuiserie, des performances du vitrage et de la qualité de la mise en œuvre de la fenêtre. Mais la nature des fermetures : volets, persiennes... intervient également. Les protections solaires s'apprécient l'été dans la gestion des apports de chaleur par le soleil, mais leur rôle est également important l'hiver sur le plan thermique.

Les dispositifs d'isolation mobiles peuvent être extérieurs ou intérieurs, saisonniers, fixes ou mobiles (cf. Annexe D). A l'intérieur on peut avoir des volets roulants, des panneaux détachables, des volets montés sur charnières, des rideaux ou des fenêtres doubles intérieures.¹³⁰ Dans les climats chauds tel que le climat méditerranéen, où le refroidissement est impératif, les avancées horizontales permettent d'obtenir une protection totale en été tout en permettant une pénétration du soleil en hiver surtout en façade sud.

IV.3.3 La ventilation :

Le renouvellement de l'air intérieur est primordial pour la santé des habitants et pour la préservation du bâtiment. Mais l'évacuation de l'air peut aussi évacuer la chaleur. Il est donc important de distinguer les infiltrations, qui sont décrites par l'écoulement aléatoire de l'air extérieur à travers les fissures dans l'enveloppe du bâtiment du phénomène de ventilation.¹³¹

L'optimisation du système de ventilation est nécessaire lorsque l'isolation est renforcée. La ventilation peut être naturelle ou assistée mécaniquement (cf. Annexe D). Ainsi, il est incontournable de maîtriser le renouvellement de l'air par un bon équipement de ventilation pour le confort des habitants et une bonne conservation du bâti.

¹²⁹ [En ligne] www.suisse-energie.ch

¹³⁰ Watson D. & Camous R. « *Op.cit.12* » Page 120.

¹³¹ Santamouris M. & Asimakopoulos D. « *Passive cooling of buildings* » Ed. James and James, 1996.

Et pour que les systèmes de ventilation fonctionnent correctement, une bonne étanchéité à l'air est essentielle, et ceci dans le but d'assurer une bonne qualité de l'air, la conservation du bâti, un bon confort acoustique et thermique, et éviter le gaspillage d'énergie.¹³²

Dans l'existant, les gaines sont la plupart du temps passées dans les faux-plafonds du dégagement (cf. Tab.III.6). L'air naturel est insufflé dans les pièces par les portes.¹³³

Tab.III. 6 : Les concepts de ventilation dans l'existant.

Les concepts de ventilation dans l'existant	Avantages et inconvénients
Ventilation par la fenêtre	n'est pas satisfaisant en raison des odeurs traversant le logement et l'y imprégnant
Simple extraction d'air par la cuisine et les pièces humides	n'est pas satisfaisant en raison de l'air froid qui traverse les pièces à vivre et de l'impossibilité de récupérer la chaleur.
Extracteurs individuels dans les murs extérieurs	n'est pas satisfaisant en raison d'un faible taux de récupération de chaleur et de la propagation des odeurs
Amenée et extraction d'air avec récupérateur de chaleur	satisfaisant avec une récupération de chaleur d'au moins 80 %. L'air humide et vicié est extrait dans les salles de bains et la cuisine. L'air naturel est introduit dans les chambres et le séjour.

IV.3.4 Les équipements :

L'efficacité énergétique d'un logement est certes dépendante de l'isolation des parois vitrées et opaques mais les équipements de chauffage, de climatisation, d'éclairage et d'eau chaude sanitaire sont tous aussi importants dans le bilan énergétique d'un logement et demandent une attention particulière quant à leur utilisation.

¹³² Carrié, R. & Jobert, R. & Fournier, M. & Berthault, S. & Van Elslande, H. « *Perméabilité à de l'enveloppe des bâtiments – Généralités et sensibilisation.* » CETE de Lyon. Rapport n° DVT 06-95. Octobre 2006. [En ligne] www.cete-lyon.fr

¹³³ Horn G. « *Construire avec une bonne isolation thermique et de façon étanche à l'air* » [En ligne] www.cr-bourgogne.fr

IV.3.4.1 Le chauffage :

Le chauffage des bâtiments d'habitation a représenté une part importante des charges supportées par les occupants des logements, au moins 50%, et cette part est devenue prépondérante depuis que fin 1973, les prix du fuel domestique et du fuel lourd ont respectivement doublé et triplé.¹³⁴ C'est pourquoi, il est considéré comme étant l'un des aspects les plus importants à prendre en charge dans une opération de réhabilitation énergétique après l'isolation.

La demande de chaleur du bâtiment dépend directement de la différence entre température intérieure et température extérieure : $\Delta T = T_{int} - T_{ext}$. Les besoins en énergie sont à leur maximum en hiver quand ΔT est maximum. L'amplitude des besoins est définie par la qualité de l'isolation de l'enveloppe et par le taux de renouvellement d'air.¹³⁵

De plus, isoler des parois, ventiler et chauffer modérément permet de maintenir une bonne hygiène de vie et assure la conservation du bâtiment.¹³⁶ Réduire les besoins en chauffage c'est l'équivalent de 30 % d'énergie non consommée. Augmenter d'un degré la température de consigne augmente de 6% la facture de chauffage¹³⁷, mais n'amène pas forcément plus de confort. Le chauffage devient nécessaire lorsque les apports externes et internes n'arrivent plus à délivrer la température de consigne à l'intérieur du bâtiment.

La température pour laquelle le chauffage devient nécessaire se calcule comme suit :

$$T_e = T_i - Q_{gi} / H + 1 \dots \dots \dots (15)$$

Avec : T_i : la température intérieure de consigne en période normale.

Q_{gi} : les apports internes et externes pour le mois considéré.

H : le coefficient de déperdition du logement en W/K

IV.3.4.2 L'eau chaude sanitaire :

La réduction de nos besoins en eau chaude constitue un poste non-négligeable d'économie d'énergie. En effet, lorsque l'on met en place des systèmes d'économie d'eau, le besoin en eau

¹³⁴ Bloch-Lainé J.M. « Amélioration thermique de l'habitat existant Installations de chauffage et isolation des bâtiments ». Ed. Le Moniteur. Paris 1977. Page 13.

¹³⁵ Weber W. « Soleil et architecture – guide pratique pour le projet - Programme d'action PACER – Energies renouvelables » Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne 1991

¹³⁶ Moudjalled B. « Op. Cit. 9 », Page 23.

¹³⁷ Guide pratique/Rénovation thermique « Comprendre les enjeux de la rénovation thermique », 2009 [En ligne] <http://www.batirenover.com>

chaude baisse, et la facture énergétique également. Il faut donc penser à intégrer l'énergie solaire particulièrement efficace pour l'ECS.

IV.3.4.3 La climatisation :

Dans certaines régions chaudes, comme le cas de notre pays, une climatisation artificielle s'impose. En Algérie, la dernière décennie a vu la prolifération des équipements de climatisation, vu les prix attractifs de ces équipements et vu aussi les insupportables vagues de chaleur. La multiplication des climatiseurs pose donc des problèmes d'approvisionnement électrique à une échelle nationale en été.

En général, c'est seulement à propos du chauffage solaire qu'on vante les mérites de l'utilisation passive du soleil. Mais on peut aussi, dans la plupart des régions climatiser avec de simples moyens passifs qui effacent pratiquement toute surchauffe.¹³⁸ Pour les climatisations existantes, la température de consigne ne doit jamais être inférieure de plus de 5°C par rapport à l'extérieur.

Le développement de la climatisation augmente significativement les consommations d'énergie et les émissions de gaz fluorés, qui n'existent pas à l'état naturel et dont l'impact sur l'effet de serre est de 1 000 à 8 000 fois supérieur à celui du CO₂¹³⁹ et qui sont d'autre part source de pollutions visuelles et sanitaires d'importance variable selon la technique choisie.

IV.3.4.4 L'éclairage :

Privilégier la lumière du jour en tant qu'élément de maîtrise des consommations d'électricité : elle constitue un apport gratuit d'éclairage, en plus du confort visuel qu'elle procure. Veiller toutefois, à ce que cet apport de lumière naturelle ne soit pas source d'inconfort en été, et prévoir des occultations extérieures sur les façades exposées au soleil.

L'éclairage représente en moyenne 10 à 15% de la facture totale d'électricité.¹⁴⁰ L'Aprue et onze offices de promotion et de gestion immobilière (OPGI) ont signé en 2009 une convention de partenariat pour l'intégration de l'économie d'énergie dans le secteur de l'habitat en lançant

¹³⁸ Wright D. « *Soleil, Nature, Architecture* » Ed Parenthèses 1979, Page 200.

¹³⁹ [En ligne] <http://www.moinsdeco2.com>

¹⁴⁰ Guide pratique/Rénovation thermique « *Comprendre les enjeux de la rénovation thermique* », 2009 [En ligne] <http://www.batirenover.com>

l'opération pilote de diffusion d'un million de lampes économiques (cf. Tab.III.7) dans le cadre du programme « Eco Lumière ».

Tab.III. 7 : Efficacité des lampes basse consommation / lampes classiques

Source : www.ademe.fr

Lampe basse consommation	Lampe classique à incandescence	Flux lumineux (Lumens)
9W	40W	400
11W	50W	550
15W	60W	700
20W	75W	900
23W	100W	1200

Conclusion :

Dans ce chapitre, l'objectif a consisté surtout à comparer, à travers les avantages et les inconvénients de chaque solution, les performances et l'aptitude à être employée dans une opération de réhabilitation énergétique.

Cette partie nous a permis également de mettre en évidence et d'identifier toutes les solutions techniques de la réhabilitation énergétique des logements et de mieux cerner leur cadre d'application. L'isolation des parois opaques et vitrées est la solution la plus répandue et la plus appliquée parce que la réduction des besoins énergétiques d'un bâtiment passe par la qualité de son isolation. Elle constitue un domaine de recherches très vague, ce que nous allons voir dans la partie suivante. Les concepts plus récents, comme la ventilation naturelle assistée et la ventilation mécanique centralisée viennent en complémentarité à l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment.

Introduction :

Dans la partie précédente, nous avons essayé de faire l'inventaire des solutions techniques de la réhabilitation énergétique des logements. Il existe une panoplie de solutions appliquées notamment dans le bâti existant, se caractérisant par l'absence d'une isolation performante et ceci dans le but de réduire ses consommations d'énergie et le rendre plus performant sur le plan thermique.

Dans ce chapitre, nous avons jugé intéressant de répertorier le panorama des études que nous avons pu recueillir lors de notre recherche bibliographique pour recenser les différentes méthodes et méthodologies dans le domaine de la réhabilitation énergétique des logements existants. Toutefois, avant d'entreprendre cette analyse bibliographique, il est important de préciser qu'actuellement la majorité de ces travaux portent sur le renforcement de l'isolation de l'enveloppe avec une épaisseur optimale.

IV.4 Etudes expérimentales et analytiques :

Plusieurs études numériques et expérimentales visant à optimiser l'isolation thermique des parois de bâtiments existent dans la littérature. L'efficacité énergétique dans les bâtiments est associée à l'isolation thermique des enveloppes, elles constituent notamment un domaine de recherche très important et ont connu un grand développement ces dernières années.

Nous classons ces études en quatre groupes :

- ✚ Des études générales visant à capitaliser toutes les informations et les conseils qui concernent la réhabilitation énergétique.
- ✚ Des études paramétriques ayant pour objectif d'analyser l'influence de certains paramètres sur le comportement thermique des bâtiments.
- ✚ Des études expérimentales et numériques sous différents climats.
- ✚ Des expériences menées dans des quartiers existants afin de tester les potentialités des stratégies de réhabilitation à adopter afin d'arbitrer entre les différents choix en vue d'optimiser les conditions de confort.

Nous classifions dans ce qui suit les différents travaux par rapport à ces groupes en tentant de présenter des exemples d'études.

IV.4.1 Etudes générales menées dans le cadre de la réhabilitation énergétique :

Beaucoup d'explorations intègrent des paramètres dits passifs ou encore bioclimatiques notamment : Collard et al.¹⁴¹ qui ont réalisé un guide d'aide à la rénovation bioclimatique, IEA¹⁴² qui analyse trois systèmes solaires dans le cadre d'une rénovation en comparant leurs performances dans différents pays : les collecteurs solaires, les balcons vitrés et l'isolation transparente.

Dans un autre contexte, un programme spécifique a été développé par la Commission Européenne en 1997. Il a donné lieu à un rapport « Bioclimatic Architecture » qui après avoir défini le terme « bioclimatique », l'approche passive ou encore les logements durables, passe en revue les stratégies bioclimatiques en faisant un focus sur l'impact du microclimat et sur la particularité de la morphologie urbaine. Cette étude aborde également le confort thermique par le polygone de confort. La notion de durabilité est intégrée par un point sur l'analyse du cycle de vie. Pour finir, elle présente des cas d'études dans le secteur tertiaire et hospitalier.¹⁴³

D'autres études ont été exécutées dans l'objectif d'améliorer les performances énergétiques des bâtiments existants, avec une approche dite « **Isolation** » telles que Hauglustaine et al.¹⁴⁴ qui proposent un guide pratique pour les architectes sur la rénovation et l'énergie en Belgique, de même que FFB¹⁴⁵ qui consiste à proposer un diagnostic dans le bâtiment.

D'autres méthodes sont orientées sur une zone géographique particulière, c'est le cas de Arene¹⁴⁶ (Agence Régionale de l'Energie) qui donne des préconisations en construction et en réhabilitation pour respecter les stratégies bioclimatiques. Cette étude a été réalisée dans le cadre du contrat européen « Integration of renewable energies in the Mediterranean building ». Pour la même région, RehabiMed (Réhabilitation de l'Architecture Traditionnelle Méditerranéenne)¹⁴⁷,

¹⁴¹ **Collard B. & Nihoul A. & De Herde A. & Lesens N.** « *Guide d'aide à la rénovation bioclimatique* » Ministère de la Région Wallonne DGTRE Division Energie et Université Catholique de Louvain (Faculté des Sciences Appliquées Architecture et Climat), 1996.

¹⁴² **IEA** « *Collection of Reports* » IEA Annex 41 Subtask 1, Common Exercise 1: Case 0A & Case 0B, 2005

¹⁴³ **Flory.C.** « *Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant* » Thèse de doctorat, Université Lyon 2008, P 36.

¹⁴⁴ **Hauglustaine JM. & Simon F. & Baltus C. & Liesses S.** « *La rénovation et l'énergie: Guide pratique pour les architectes* », Ministère de la Région Wallonne, Université Catholique de Louvain, 2002.

¹⁴⁵ **FFB** Fédération Française du Bâtiment « *Amélioration énergétique des bâtiments existants : les bonnes solutions.* » Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et le Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques (COSTIC). Collection recherche développement métier, 2004

¹⁴⁶ **ARENE** Agence Régionale de l'Energie « *Nouvelles solutions dans l'énergie : Caractéristiques pour un bâtiment méditerranéen* » Provence-Alpes-Côte d'Azur, avec l'aide de la Commission Européenne, 1999

¹⁴⁷ **RehabiMed** « *Réhabiliter l'architecture traditionnelle méditerranéenne* » Symposium régional Marseille, le 23, 24 et 25 de septembre 2005, Programme Rehabimed, [En ligne] www.rehabimed.net, 2005

qui a pour objectif, dans la zone méditerranéenne, d'ordonner et de systématiser les étapes du processus de réhabilitation, de la volonté politique à l'exécution et à l'évaluation de l'intervention, d'identifier les outils et les instruments à considérer : techniques, administratifs et légaux pour leur gestion et leur développement optimums, et de définir les critères qui doivent permettre de réfléchir sur les problèmes et les stratégies à mettre en place pour garantir le succès du processus.

On trouve aussi un rapport sur l'étude « basse énergie » sur les bâtiments anciens à Mulhouse : Enertech¹⁴⁸ qui propose la solution dite « isolation » sur des cas d'application. Elle a l'avantage d'aborder la stratégie de ventilation nocturne et ses répercussions sur le confort d'été. Cette solution de rénovation « universelle » a l'avantage de proposer des solutions-types qui permettent d'être conformes à la réglementation thermique. D'autre part, cette solution est intéressante parce qu'elle simplifie tout le processus. En effet, elle n'impose pas des solutions ou des matériaux, mais seulement des résistances thermiques (cf. Fig. IV.1). Ce sont des dispositions simples, adaptées à la réalité du terrain. On passerait d'une obligation de résultats à une obligation de moyens. Enfin, l'identification claire des travaux élémentaires à exécuter lors de rénovation complète rend très simple la nature des interventions ponctuelles à effectuer lors de rénovation partielle ou totale.

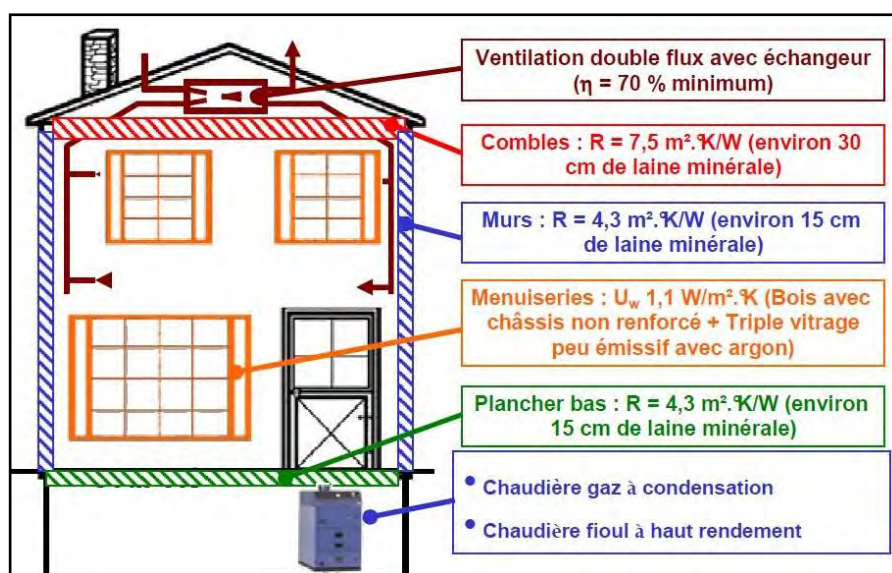


Fig. IV. 1 : Scénario dit de la « Solution Universelle »
(Source : Enertech, 2007)

¹⁴⁸ Enertech « Amélioration thermique de l'habitat existant : Rénovation du quartier Franklin à Mulhouse » Présentation dans le cadre des « Ateliers » de l'Agence Locale de l'Energie de Lyon, 2007

Par ailleurs, en 2008, l'Agence Internationale de l'énergie AIE, développe les principes de base d'une rénovation énergétique durable des logements, et ce tant au niveau de la conception que de la réalisation avec comme objectif d'élaborer, puis de réaliser, le guide à la rénovation énergétique durable des logements.¹⁴⁹

En Chine, les rénovations éco énergétiques des bâtiments résidentiels existants se sont avérés être très utiles pour soulager la pression de la pénurie d'énergie et d'émission de CO₂, ceci en intégrant une analyse économique des mesures en utilisant un coût du cycle de vie (LCC)¹⁵⁰. La méthode est très importante. Basé sur la simulation thermique et l'étude du site, le document utilise un bâtiment résidentiel existant en milieu urbain dans la ville de Hangzhou de la Chine comme le bâtiment sujet, et analyse les avantages économiques des mesures de rénovation et d'économies d'énergie grâce à la méthode LCC. Les résultats montrent clairement que l'enquête sur la consommation électrique, est très importante pour prévoir avec précision les économies d'énergie et les avantages financiers de ces mesures sur le bâtiment.

En Allemagne, en Suède, en Suisse, en Autriche..., se sont développés des habitats dont la consommation énergétique totale est quatre fois inférieure à celles que définissent les réglementations officielles du secteur du bâtiment.¹⁵¹ Partout dans le monde nous constatons que l'idée de maisons sans chauffage, ni climatisation constitue une révolution intellectuelle.

IV.4.2 Etudes paramétriques :

Dans le lot des études consacrées à la réhabilitation énergétique, on retrouve certaines études paramétriques qui se focalisent sur l'analyse des sensibilités des paramètres entrant en compte dans l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe. Ces études sont généralement menées sur des cas fictifs (cas théoriques) et n'ont d'objectif que de mettre en évidence l'influence de chaque paramètre ainsi que la combinaison des paramètres entre eux sur les ambiances thermiques et le rendement énergétique. Certains, par contre, portent sur la théorie et les résultats sont confrontés aux cas expérimentaux. Notons que ces travaux sont généralement menés avec des outils de simulation numériques. Parmi ces études, il y a lieu de citer :

¹⁴⁹ AIE « *Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation* », Agence Internationale de l'Energie, 2008. [En ligne] <http://www.iea-shc.org/task37/index.html>

¹⁵⁰ Ouyang J.& Ge J. & Hokao K. « *Economic analysis of energy-saving renovation measures for urban existing residential buildings in China based on thermal simulation and site investigation.* » Energy Policy 37, pp140–149. 2009.

¹⁵¹ Dushesne V. « La maison passive. » 2007 page3 [En ligne] <http://www.epe-asso.org>

Ulgen¹⁵² en 2002, qui a entrepris une étude théorique et expérimentale sur l'effet des propriétés thermo physiques des parois sur le déphasage et l'amortissement de la réponse du bâtiment. Les résultats expérimentaux ont été comparés avec les résultats des équations dérivées en utilisant une méthodologie analytique. Il a suggéré d'utiliser des parois multicouches avec isolation pour les bâtiments occupés toute la journée et des parois monocouches pour les bâtiments occupés pendant des intervalles de temps spécifiques.

Kossecka et al¹⁵³ ont quant à eux analysé l'influence de la configuration d'un mur isolé sur la charge totale de chauffage et de climatisation d'un bâtiment continuellement occupé. Les six parois considérées dans cette étude ont la même résistance thermique et sont présentées sur la figure IV.2. L'utilisation d'un modèle simple d'un bâtiment comportant une seule chambre soumis à des températures périodiques a permis de mettre en évidence l'influence de la configuration sur la stabilité thermique du bâtiment. Un bâtiment est dit stable thermiquement lorsque l'amplitude de variation de la température intérieure est faible. En outre pour faire l'analyse énergétique d'un bâtiment entier, dont l'enveloppe extérieure est constituée des parois étudiées, les auteurs ont utilisé le code de calcul DOE-2.1E. L'analyse faite sur six climats différents des USA a montré que la meilleure performance est obtenue lorsque les couches massives sont situées du côté intérieur du bâtiment et exposées directement à l'espace intérieur (schéma n°4 cf. Fig. IV.2).

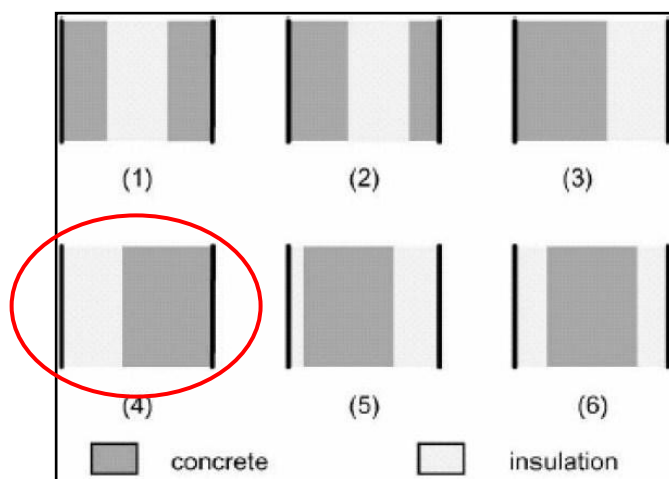


Fig. IV. 2 : Configuration des parois étudiées par Kossecka et Kosny 2002.

¹⁵² **Ulgen K.** « *Experimental and theoretical investigation of effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor.* » *Energy and Building*, 34, pp. 273-278, 2002.

¹⁵³ **Kossecka E. & Kosny J.** « *Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building.* » *Energy and Buildings*, 34, pp. 321-331, 2002.

Tsilingiris¹⁵⁴ a fait une analyse des déperditions à travers une paroi isolée soumise d'un côté à la variation des conditions météorologiques et de l'autre à un chauffage intermittent. Les effets de paramètres tels que la capacité apparente de la paroi, de la constante de temps thermique et de la position de la couche isolante sur les déperditions et sur les fluctuations de la température intérieure ont été mis en exergue. L'auteur a ainsi montré que l'isolation intérieure des parois est préférable d'un point de vue énergétique pour les espaces chauffés par intermittence. De même, il a montré que les déperditions journalières étaient proportionnelles à la capacité apparente des parois ayant la même constante de temps thermique relative au côté intérieur fixées.

Par contre, Ozel et al.¹⁵⁵ qui ont utilisé la méthode des différences finies pour déterminer la position et la distribution optimales des isolants sur les murs, ont conclu que l'isolation extérieure des murs constitue la meilleure solution.

Dans une autre étude théorique dont l'objectif était d'optimiser des parois ou des éléments de parois de bâtiments par rapport à l'isolation thermique et à l'inertie thermique, Sambou¹⁵⁶ a montré que l'optimisation d'une paroi multicouche a d'abord permis de donner la disposition optimale des couches. Ils ont montré qu'en allant de l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur :

- ✚ la première couche d'une paroi optimale doit être conductrice et massive,
- ✚ l'épaisseur optimale de cette première couche est égale au quart de la longueur d'onde du matériau ($\Lambda/4$); une variation d'épaisseur autour de cette valeur influe faiblement sur la capacité thermique,
- ✚ lorsque l'épaisseur de la couche massive est beaucoup plus faible que $\Lambda/4$, une augmentation de la résistance entraîne une diminution importante de la capacité thermique.

Ils ont montré également que l'isolation par l'extérieur est préférable à celle par l'intérieur.

¹⁵⁴ **Tsilingiris P.T.** «Parametric space distribution effects of wall heat capacity and thermal resistance on the dynamic thermal behavior of walls and structure », Energy and Buildings 38, pp. 1200–1211, 2006.

¹⁵⁵ **Ozel M.** 2007. In **Guechhati R. & Moussaoui M.A. & Mezrhah Ahm. & Mezrhah Abd.** « Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda ». Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2; pp 223 – 232, 2010.

¹⁵⁶ **Sambou V.** «Transferts thermiques instationnaires : vers une optimisation de parois de bâtiments » Thèse de doctorat, Université de Toulouse 2008.

IV.4.3 Etudes expérimentales et numériques :

D'autres auteurs ont montré le rôle de la position de la couche isolante dans la paroi sur le comportement dynamique des bâtiments en procédant à des études expérimentales. Ces études ont été menées sous différents climats. Elles se résument comme suit :

IV.4.3.1 Expériences menées en climats froids:

Comakli et al.¹⁵⁷ ont déterminé l'épaisseur optimale de l'isolation d'un mur extérieur en se basant sur le cycle de vie des bâtiments dans les villes les plus froides de la Turquie : Erzurum, Kars et Erzincan. Ils ont constaté que l'optimum des épaisseurs d'isolation ont été 0.104, 0.107 et 0.085 m respectivement pour chaque ville où le charbon était utilisé pour le chauffage (cf. Fig. IV.3).

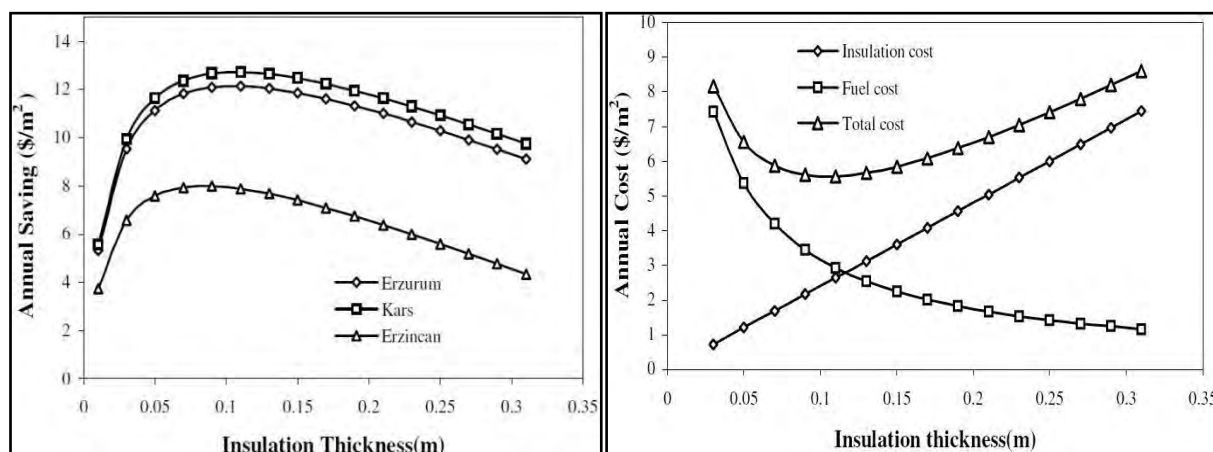


Fig. IV. 3 : Effet de l'épaisseur de l'isolant sur les économies annuelles à Erzurum, Kars et Erzincan et sur le coût total du fuel à Erzurum.

(Source : Comakli K. & Yuksel B 2003).

Une autre étude menée par Camponovo et al.¹⁵⁸ dans le cadre du processus de réhabilitation thermique des immeubles des années 50, 60 et 70 dans une région suburbaine de Genève, dont l'intervention consistait en l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment par l'addition d'une isolation périphérique et la transformation des balcons ouverts en vérandas vitrées (cf. Fig. IV.4). Cependant, ce type d'intervention s'est avéré problématique en ce qui concerne les aspects

¹⁵⁷ **Comakli K. & Yuksel B.** « Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. » Applied Thermal Engineering 23, 473–479, 2003.

¹⁵⁸ **Camponovo R. & Magnin J.Y. & Gallinelli P.** « Thermal rehabilitation: assignment of balconies into conservatories; the Libellules case study » PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

hygrothermiques ainsi que d'un point de vue pratique concernant l'utilisation faite par les habitants de ces espaces intermédiaires.



Fig. IV. 4 : Le bloc Libellules dans son état actuel (vue de l'aile sud) et vue d'un balcon transformé.
(Source : Camponovo 2006)

Dans le cas spécifique du bloc Libellule, l'intention initiale des architectes a été de modifier le bâtiment sur le plan de l'isolation thermique, et donc lui permettre de se conformer aux normes en vigueur à ce moment. C'était évidemment aussi le cas des balcons, dans l'espoir qu'un relooking rendrait les espaces loggias confortables mais ceci n'a pas été le cas vu qu'une campagne de mesure hygrothermique a été entreprise in situ, et a montré qu'en hiver, la température de l'espace adjacent à la loggia vitrée est bien en dessous de la température de la loggia (8 à 9°C) ; alors qu'en été, les températures intérieures des loggias atteignent des températures de l'ordre de 38°C et plus.

Une autre étude portant sur la rénovation d'un bâtiment de 8 étages en Autriche à Graz, par Kubin et al.¹⁵⁹, où différentes mesures concernant la performance énergétique, et la recherche du confort, sont unis en un seul concept (cf. Fig. IV.5). Ils ont démontré qu'il est possible de réduire la consommation énergétique de l'ensemble du bâtiment aux normes des maisons passives par l'isolation de l'enveloppe avec 200mm de laine de roche (cf. Fig. IV.6), l'utilisation du triple vitrage et l'utilisation des ressources énergétiques locales comme le rayonnement solaire.

¹⁵⁹ **Kubin M. & Ham M.** «*BRAND NEW SECOND HAND Upgrading of a block of flats (b.1956) through energy efficient renovation.* » PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

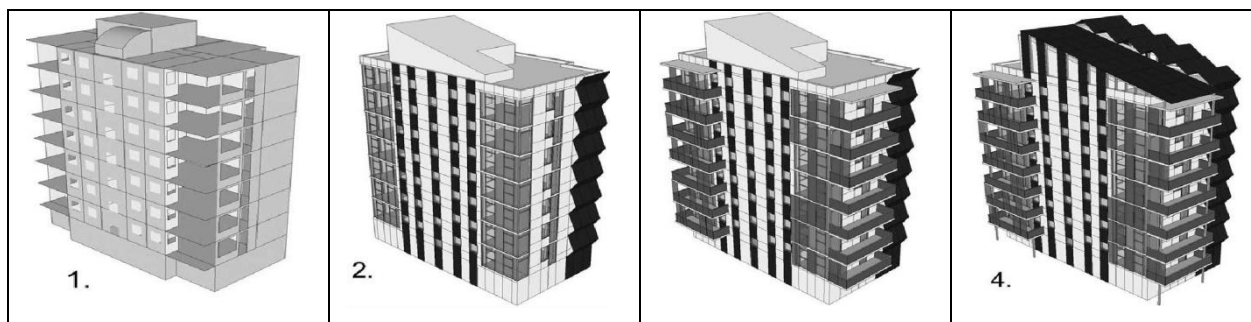


Fig. IV. 5 : Les étapes du Design 1. 1. Nouvelles ouvertures 2. Nouvelle enveloppe du bâtiment
3. Ajout de balcons et de protections solaires 4. Ajout de panneaux solaires.
(Source: Kubin M. & Ham M.2006)

Dans ce cas, la réduction de l'énergie fossile est considérable, elle est passée de 235,2 kWh/m².an à 5,6 kWh/m².an et la réduction des émissions de CO₂ est proportionnelle, soit un taux de réduction de 80%. La période d'amortissement énergétique est de 3 ans. Plus de confort et moins d'utilisation de l'énergie fossile sont obtenus dans ce projet.

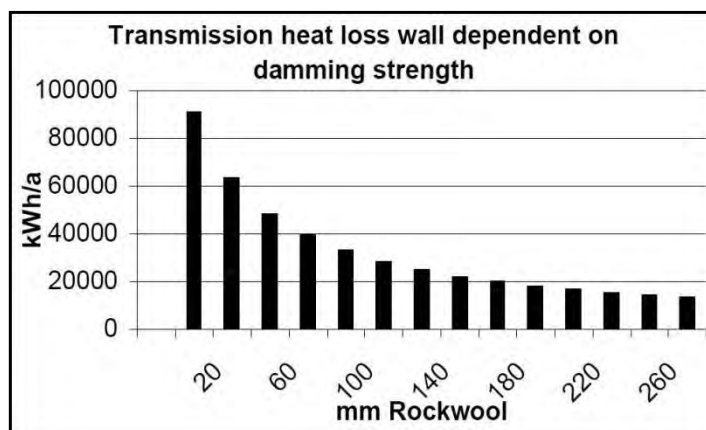


Fig. IV. 6 : Pertes de chaleur à travers un mur par rapport à l'épaisseur de l'isolation thermique.
(Source : Kubin M. & Ham M. 2006.)

Ucar et al.¹⁶⁰ ont déterminé l'épaisseur de l'isolation optimale de la paroi extérieure et les économies d'énergie sur une durée de vie de 10 ans pour quatre différents types de murs à Elazig en Turquie (cf. Tab. IV.1). Les économies d'énergie varient entre 2,5 et 28 \$ / m² selon le type de mur. La plus haute valeur des économies d'énergie est atteinte pour le troisième mur, qui a une structure composite (mur sandwich). La valeur la plus basse des économies d'énergie est obtenue pour le deuxième mur. L'épaisseur de l'isolation optimale varie entre 9.5 et 10.8 cm pour les différents types de mur. Les résultats indiquent que l'isolation optimale des épaisseurs est fonction de la variation des configurations murales et les conditions climatiques.

¹⁶⁰ Ucar A. & Balo F. «Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls » Renewable Energy, 35, 88–94.2010.

Tab. IV. 1 : Structure des murs et caractéristiques thermiques.
(Source : Ucar & Baló 2010)

Wall type		Conductivité thermique (W/mK)	Résistance (m ² K/W)	Epaisseur optimale de l'isolant (m)
Mur I	Plâtre intérieur	0.698	0.72	0.101
	Brique	0.465		
	Isolant	0.030		
	TCM-410*	0.076		
Mur II	Plâtre intérieur	0.698	0.49	0.108
	Brique	0.465		
	Isolant	0.030		
	Plâtre extérieur	0.872		
Mur III (même constitution que Mur II avec 2 couches de briques))		//	0.92	0.095
Mur IV	TCI-480	0.086	0.87	0.097
	Brique	0.465		
	Isolant	0.030		
	TCM-410 (thermocoat)	0.076		

*Enduit d'isolation écologique

En Chine, Yu et al.¹⁶¹ ont étudié pour un mur typique en résidentiel, l'optimum de cinq épaisseurs de matériaux isolants (polystyrène expansé, polystyrène extrudé, mousse de polyuréthane, perlite, mousse et de polychlorure de vinyle), ils ont été calculés sur la base des disques durs et des cooling degree-day (CDD). Dans cette étude, l'orientation des murs et leurs couleurs de surface ont été considérées. Il a été conclu que le polystyrène expansé est le matériau isolant le plus économique, car il avait la plus haute durée du cycle de vie et les plus basses périodes de récupération et l'épaisseur de l'isolation optimale variait dans un large éventail.

IV.4.3.2 Expériences menées en climats chauds :

Mohsen et al.¹⁶² ont effectué une recherche sur l'économie d'énergie par l'isolation des bâtiments en secteur urbain avec différents matériaux comme le polystyrène, la laine de roche, et par une lame d'air en Jordanie en 2001 (cf. Fig. IV.7). Ils ont constaté que l'économie d'énergie en période hivernale peut atteindre 77 % en utilisant le polystyrène dans l'isolation des murs et du toit.

¹⁶¹ Yu J. & Yang C. & Tian L. & Liao D. 2009. In Kaynakli O. « Parametric Investigation of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls » Energies 4, 913-927, 2011.

¹⁶² Mohsen M.S. & Akash B.A. « Some Prospect of Energy Saving in Building » Energy Conversion Management, Vol. 42, N°11, pp. 1307 - 1315, 2001.

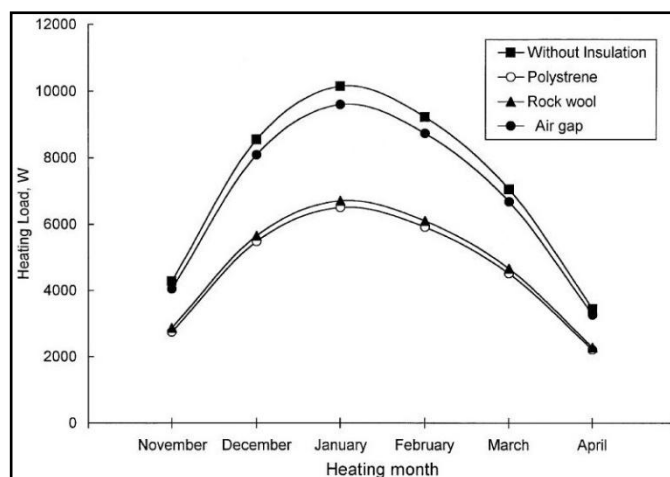


Fig. IV. 7 : Charges de chauffage avec différents matériaux d'isolation (Source : Mohsen 2001)

Al- Khawaja et al.¹⁶³ ont quant à eux déterminé en 2004, pour chaque type d'isolant l'épaisseur optimale avec comme critère d'optimisation le coût total de l'énergie consommée et de l'isolant dans les pays chauds durant la saison estivale. Une comparaison des coûts totaux entre les trois différents matériaux isolants (Wallmate, fibre de verre, mousse de polyéthylène) a été réalisée pour les surfaces de couleur claire et de couleur foncée, au Qatar, et la température sol-air au lieu de la température de l'air a été utilisée dans l'analyse. Ils ont trouvé que l'isolation Wallmate¹⁶⁴ donne le meilleur rendement pour les maisons au Qatar avec une épaisseur optimale de moins de 10cm.

Al-Sanea et al.¹⁶⁵ ont quant à eux testé en 2001 l'effet de l'emplacement de l'isolant sur les caractéristiques de transfert de chaleur à travers les constituants d'un mur. La performance thermique d'une couche d'isolation placée à l'intérieur d'un mur est comparée à celle où la couche d'isolation est placée à l'extérieur pour les conditions climatiques de Ryad, en Arabie Saoudite, lors des journées représentatives des mois de Juillet et de Janvier. Les résultats montrent que le placement de l'isolant à l'intérieur donne une charge instantanée qui constitue environ 20% de la valeur de l'isolation à l'extérieur pendant les premières heures. Par ailleurs, la durée du processus transitoire qui mène à l'état périodique stable, et donc, la période d'inconfort thermique dû à l'échange de rayonnement est beaucoup plus courte pour l'isolation à l'intérieur. La transmission de la chaleur moyenne au cours des 24 premières heures de la climatisation avec l'isolation

¹⁶³ Al-Khawaja M.J. « Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation. » Applied Thermal Engineering 25, pp. 2601-2610, 2004.

¹⁶⁴ Wallmate est un laminat de mousse rigide de polystyrène extrudé et de plaque de plâtre préfabriqué en usine.

¹⁶⁵ Al-Sanea S.A & Zedan M.F. « Effect of Insulation Location on Initial Transient Thermal Response of Building Walls. » Journal of Thermal Envelope and Building Science 24, Pp 275-300, 2001.

intérieure est d'environ un tiers de celle de l'isolation extérieure. Il a été alors recommandé que pour les espaces où le système de climatisation est activé et désactivé par intermittence, l'isolation doit être placée à l'intérieur.

Une autre étude menée par les mêmes chercheurs¹⁶⁶ a permis de déterminer par un modèle dynamique des transferts thermiques l'effet du tarif de l'électricité sur l'épaisseur optimale de l'isolation de l'enveloppe d'un bâtiment en Arabie Saoudite. Ils ont montré que l'orientation des murs a un effet significatif sur les caractéristiques du transfert de chaleur, alors que cet effet est relativement plus faible sur le coût total et l'épaisseur optimale d'un isolant donné. Dans la même étude, ils ont évoqué le coût total et l'épaisseur optimale d'isolation, ainsi que leurs sensibilités aux changements dans les paramètres économiques.

Wong et al.¹⁶⁷ ont utilisé l'outil de simulation TAS program, pour évaluer la réduction des charges de climatisation dans un immeuble d'habitation à Singapour en utilisant des procédés passifs. Nombreuses sont les solutions trouvées :

- Opter pour l'orientation nord-sud considérée comme étant la meilleure. Les charges de refroidissement peuvent être réduits jusqu'à 11.54% par un simple changement d'orientation.
- Doubler l'épaisseur des parois orientées Est et Ouest pour réduire les gains solaires qui peuvent diminuer de 6.91 à 9.67%.
- Utiliser des brise-soleil horizontaux de 0.3 à 0.9 m. La réduction est estimée de 2.62 jusqu'à 10.13%
- Le meilleur taux de réduction de la consommation d'énergie est obtenu par le système « the special secondary roof system » (cf. Fig. IV.8).

¹⁶⁶ **Al-Sanea S.A & Zedan M.F. & Al-Ajlan S.A.** « Effect of Electricity Tariff on the Optimum Insulation Thickness in Building Walls as Determined by a Dynamic Heat-Transfer Model», *Applied Energy*, Vol. 82, N°4, pp. 313 - 330, 2005.

¹⁶⁷ **Wong N.H. & Li S.** «A study of the effectiveness of passive climate control in naturally ventilated residential buildings in Singapore. » *Building and Environment* 42, pp 1395–1405, 2007.



Fig. IV. 8 : Secondary roof system construction.
(Source: Wong N.H. & Li S. 2007).

Bolattürk¹⁶⁸ en 2006 a calculé l'épaisseur optimale de l'isolation ainsi que les économies d'énergie relatives à la période hivernale dans quatre zones climatiques de la Turquie. L'optimisation est basée sur l'analyse des coûts du cycle de vie. Cinq différents combustibles : charbon, gaz naturel, mazout, gaz de pétrole liquéfié (GPL) et l'électricité ont été considérés. Le matériau isolant utilisé est le polystyrène. Les résultats montrent que les épaisseurs d'isolation optimale varient dans un intervalle de 2 - 10 cm, les économies d'énergie varient dans un intervalle de 22% et 79%, et les périodes de récupération sont de 1,3 et 4,5 ans selon la ville et le type de carburant.

Dans le même contexte, Bolattürk en 2008¹⁶⁹ a déterminé cette fois-ci l'épaisseur optimale de l'isolant, en ce qui concerne à la fois les charges de chauffage et de refroidissement annuelles en utilisant la méthode des degrés heures. En examinant quatre différentes zones climatiques en Turquie, ils ont constaté que l'optimisation de l'épaisseur de l'isolant sur les charges de refroidissement est plus appropriée pour l'économie d'énergie dans les zones chaudes car l'épaisseur de l'isolant (polystyrène) a varié entre 0,032 et 0,038 m pour cooling degrees hours (CDHs) et entre 0,016 et 0,027 m pour heating degrees hours (HDHs).

Fezzioui et al.¹⁷⁰ ont utilisé le logiciel TRNSYS pour étudier l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique en période de surchauffe dans les villes du sud algérien Béchar et Tamanrasset. La comparaison des besoins de refroidissement pour les différents

¹⁶⁸ **Bolattürk A.** « Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. » *Applied Thermal Engineering* 26, Pp 1301-1309, 2006.

¹⁶⁹ **Id.** « Optimum insulation thickness for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. » *Building and Environment* 43, pp 1055-1064. 2008.

¹⁷⁰ **Fezzioui N. & Draoui B. & M. Benyamine & Larbi S.** « Influence des Caractéristiques Dynamiques de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur le Confort Thermique au Sud Algérien. » *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N°1, pp. 25 - 34, 2008.

paramètres étudiés, nous montrent que l'isolation de la toiture a donné les meilleurs résultats, un taux de réduction de l'ordre de 21.55 % pour une toiture avec un faux plafond en plâtre avec lame d'air, et 20.31 % pour un faux plafond en bois avec lame d'air. L'utilisation de polystyrène d'une épaisseur de 5 cm a donné un taux de réduction de 23 %. L'isolation des parois diminue la consommation de refroidissement avec un pourcentage de 2.5 à 3 %, des valeurs moins importantes que celles de l'isolation de la toiture. En conclusion, la mesure d'amélioration la plus justifiée économiquement est donc l'isolation de la toiture.

Mia Meftah et al.¹⁷¹ ont montré que la réduction des déperditions en réhabilitation énergétique consistait en l'amélioration des différentes composantes des matériaux et en réduisant la conductivité thermique. Avec l'utilisation du double vitrage, les économies annuelles d'énergie de chauffage d'une vieille maison située en plein centre ville d'Oran peuvent atteindre 11% alors que dans le cas de l'isolation de l'enveloppe par l'introduction de 2 cm de polystyrène et 5 cm de brique creuse entraîne une diminution des besoins en chauffage dans ce vieux habitat représentant jusqu'à 23%. Ils ont trouvé que par une bonne isolation constituant une barrière résistant aux échanges thermiques, l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur est diminué.

Bekkouche et al.¹⁷² ont étudié l'influence et l'impact de l'inertie thermique de la pierre sur l'efficacité de l'isolation thermique intérieure et extérieure d'un bâtiment à Ghardaia en Algérie. Ils ont trouvé que l'isolant joue le rôle d'une barrière thermique, en freinant les pertes durant la période froide. L'isolation thermique intérieure du mur par une lame d'air de 2 cm et une couche de 6 cm du polystyrène et une autre couche (4 cm) de plâtre par exemple, nécessite l'introduction des modifications aux niveaux des équations des bilans thermiques du mur et aux niveaux de sa surface extérieure. Ils ont conclu que l'utilisation d'autres matériaux que la pierre serait plus efficace tel que la brique creuse en période hivernale.

¹⁷¹ **Mia Meftah M. , Benmanssour.M.B** « Etude de faisabilité de l'utilisation de l'énergie solaire en vue de la réhabilitation thermique du bâti existant. » Colloque National : Pathologie des Constructions : Du Diagnostic à la Réparation Département de Génie Civil Université Mentouri Constantine - 25 et 26 Novembre 2008.

¹⁷¹ [En ligne] www.suisse-energie.ch

¹⁷² **Bekkouche S.M.A. & Benouaz T. & Cheknane A.** « Influence de l'isolation thermique intérieure et extérieure d'un bâtiment en pierre situé à Ghardaia » SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009

Daouas et al.¹⁷³ dont les résultats montrent que, les cas les plus rentables pour réaliser des économies d'énergie sont l'utilisation de la pierre, le mur sandwich en brique et le polystyrène expansé pour l'isolation, avec une épaisseur optimale de 5,7 cm. Dans ce cas, les économies d'énergie peuvent atteindre jusqu'à 58% avec une période de récupération de 3,11 ans. Ils ont étudié également les performances thermiques des murs dans des conditions optimales (cf. Fig. IV.9). Cette recherche est axée uniquement sur les paramètres économiques qui affectent l'épaisseur d'isolation optimale.

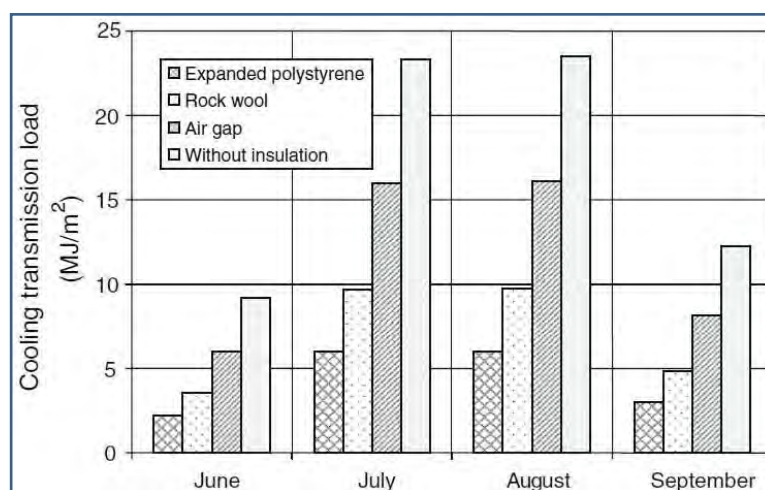


Fig. IV. 9 : Effet de l'isolation avec lame d'air et d'autres matériaux analysés sur les charges de refroidissement mensuels. (Source : Daouas 2010).

Ensuite, ils ont établi une comparaison de la présente étude avec la méthode des degrés-jours pour différentes valeurs de la température intérieure (cf. Fig. IV.10).

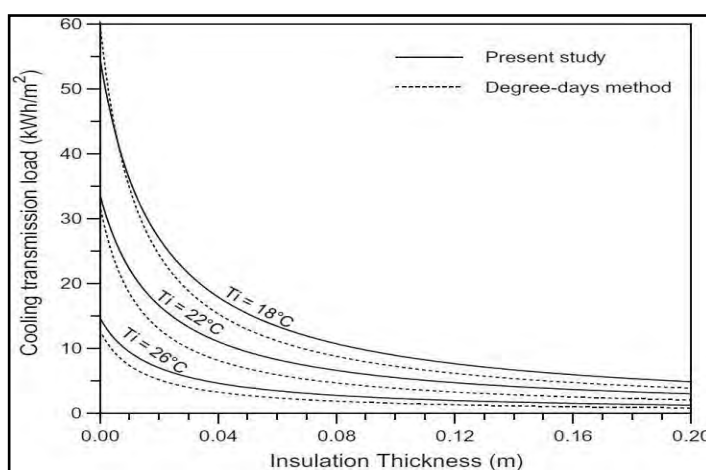


Fig. IV. 10 : Effet de la température intérieure sur les charges de refroidissement et sur l'épaisseur optimale de l'isolant (Comparaison des deux méthodes). (Source : Daouas 2010)

¹⁷³ Daouas N. & Hassen Z. & Ben Aissia H. « Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia. » Applied Thermal Engineering 30, 319–326, 2010.

De même, Aktacir et al.¹⁷⁴ ont étudié l'influence de différentes épaisseurs de l'isolation appliquée aux composants opaques externes, sur les charges de refroidissement et la consommation d'énergie du système de climatisation dans un bâtiment situé à Adana en Turquie (climat méditerranéen). Des réductions de l'ordre de 33% ont été réalisées suite à l'isolation thermique. Les résultats ont démontré notamment que l'augmentation des épaisseurs de polystyrène extrudé entraîne une réduction des besoins en énergie de rafraîchissement. Les valeurs de l'épaisseur optimale de l'isolant pour les murs, les toits et les planchers, ainsi que les valeurs du coefficient de transmission thermique de chaque partie des trois bâtiments étudiés sont données dans le tableau Tab. IV.2.

Tab. IV. 2: Coefficients de transfert thermique (U) et épaisseur de l'isolant (L).
(Source : Aktacir 2010)

Type	Wall		Roof		Floor	
	L (m)	U (W/m ² K)	L (m)	U (W/m ² K)	L (m)	U (W/m ² K)
Building A	0.06	0.403	0.08	0.349	0.07	0.374
Building B	0.04	0.546	0.06	0.451	0.04	0.588
Building C	0.03	0.662	0.04	0.637	0.03	0.725
No insulation building	0	1.849	0	3.588	0	2.440

En conclusion, ils ont suggéré que l'épaisseur de l'isolation thermique matérielle pour les bâtiments dans les provinces côtières situées dans le Pays méditerranéens (comme la Turquie, l'Italie, l'Espagne et la Grèce), qui ont des étés chauds et des hivers doux, doit être déterminée selon les jours de refroidissement.

Dans le même contexte, Guechhati et al.¹⁷⁵ ont utilisé TRNSYS 16, utilisant le modèle multizone (type 56), pour étudier l'effet de l'isolation thermique sur les consommations énergétiques du Centre Psychopédagogique « SAFAA » au Maroc. Ils ont trouvé que l'économie en énergie maximale a été obtenue en utilisant l'isolation complète du centre et ils opté pour l'isolation de la toiture couplée à l'isolation externe des murs avec 6 cm de polystyrène expansé.

¹⁷⁴ Aktacir M.A. & Büyükalaca O. & Yılmaz T.A. « A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-Conditioning System in the Hot and Humid Regions » Applied Energy, Vol. 87, N°2, pp. 599 - 607, 2010

¹⁷⁵ Guechhati R. & Moussaoui M.A. & Mezrhah Ahm. & Mezrhah Abd. « Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda ». Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 ; pp 223 – 232, 2010.

IV.4.4 Etudes de réhabilitation de quartiers existants :

Les expériences menées au cours des années précédentes dans différents quartiers de différents pays ont permis d'accumuler des connaissances. Les quartiers choisis ont été sélectionnés principalement en fonction de leur aménagement intégrant les différentes composantes du développement durable : préservation de l'environnement, efficacité économique, équité sociale et valorisation culturelle.

IV.4.4.1 L'expérience de Fribourg en Allemagne :

A Fribourg en Allemagne, en 2004 une société de logements sociaux a décidé de rénover différemment deux immeubles identiques sur le plan énergétique (cf. Tab. IV.3), afin de comparer les coûts de rénovation et les économies d'énergie réalisées, elle décide de les moderniser sur le plan énergétique, tout en maintenant les occupants dans leur logement pendant les travaux. Les bâtiments ont été construits en 1960 et comportent 42 logements au total.

Avant travaux, ces bâtiments consommaient 208 kWh/m² par an d'énergie finale pour le chauffage.¹⁷⁶ La législation en vigueur en 2004 imposait une consommation maximale d'énergie finale de 80 kWh/m² par an pour le chauffage. Le tableau ci-dessous détaille les différences des interventions effectuées.

Tab. IV. 3 : Les interventions effectuées à Fribourg.

Source : www.uvcw.be

	Bâtiment 1	Bâtiment 2
Objectif de consommation de chauffage après rénovation	15 kWh/m ² .an (bâtiment passif)	36 kWh/m ² .an (bâtiment basse énergie)
Isolation extérieure (20 cm de polystyrène)	Isolant très faiblement conducteur : $\lambda = 0,035$ W/mK	Isolant faiblement conducteur : $\lambda = 0,040$ W/mK
Isolation de la toiture (laine de roche)	26 cm	20 cm
Isolation du plafond des caves (Héraclite + laine de roche)	21 cm + retombées de 50 cm le long des murs pour réduire le pont thermique	10 cm, pas de retombée le long des murs.
Châssis PVC à profilés isolés thermiquement	Triple vitrage : U vitrage = 0,8 W/m ² K	Double vitrage : U vitrage = 1,3 W/m ² K
Ventilation	Mécanique double flux avec récupération de chaleur	Simple flux: alimentation naturelle, extraction mécanique dans les cuisines et salles de bain

¹⁷⁶ [En ligne] <http://www.uvcw.be>

Après rénovation, et après deux années d'occupation, les consommations énergétiques des deux logements ont été calculées (cf. Tab. IV.4), l'objectif n'a pas été atteint pour le premier bâtiment néanmoins une baisse considérable est constatée dans la consommation d'énergie (jusqu'à 7 fois moins). Dans le cas du deuxième bâtiment, la consommation d'énergie est bien inférieure à celle prévue ce qui signifie que malgré l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant et l'utilisation du triple vitrage dans le cas du premier bâtiment, l'intervention sur le deuxième bâtiment a été la plus rentable économiquement.

Tab. IV. 4: Les consommations énergétiques après rénovation des logements.

	Bâtiment 1	Bâtiment 2
Consommation de chauffage	27 kWh/m ² an (au lieu des 15 prévus)	31 kWh/m ² an (au lieu des 36 prévus)

IV.4.4.2 Le quartier de Vesterbro à Copenhague au Danemark :

Les projets de réhabilitation menés dans le quartier Vesterbro ont débuté en 1998 jusqu'à 2003. Ils ont contribué à l'élaboration de la politique municipale en matière d'écologie urbaine. L'implication très forte des habitants a été un élément clé de la réussite du programme.¹⁷⁷

Les objectifs recherchés dans ce projet de renouvellement urbain à Vesterbro étaient principalement la réduction des consommations ainsi que l'amélioration du confort intérieur et des performances énergétiques sachant que les bâtiments n'étaient pas isolés, dotés d'un système de chauffage non performant, de simples vitrages non étanches.

Les solutions mises en place dans l'îlot Hedebygade (cf. Fig. IV.11) ont été essentiellement :

- ✚ L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'ECS et d'électricité,
- ✚ L'exploitation de l'inertie des bâtiments en utilisant les apports solaires gratuits,
- ✚ la VMC avec récupération de chaleur,
- ✚ L'isolation (par l'extérieur et par l'intérieur) de l'enveloppe des bâtiments (toiture et façades donnant sur le court interne pour des raisons de respect de l'architecture ancienne) et utilisation de doubles vitrages peu émissifs,

¹⁷⁷ PREBAT - Comparaison internationale Bâtiment et Energie / Décembre 2007 / ADEME-PUCA-CSTB [En ligne] www.prebat.net.fr

- ✚ L'utilisation de l'éclairage naturel.



Fig. IV. 11 : Ilot Hedebygade.

Source : **Belziti D.**, CSTB PREBAT www.prebat.net

La moyenne des consommations des bâtiments pour le chauffage et la production d'ECS obtenue est de 110 Kwh/m². Cette valeur est inférieure à celle des bâtiments de la commune de Copenhague et est proche de l'objectif fixé par l'Autorité pour le Contrôle Environnementale de Copenhague et par l'Autorité Danoise pour l'Energie (égale à 100Kwh/m²).¹⁷⁸ Ce projet a associé les aspects techniques liés, notamment aux performances énergétiques, et la prise en compte de l'utilisateur. Les résultats obtenus dans l'îlot démontrent la possibilité d'obtenir pour du bâti ancien des consommations énergétiques aussi performantes que dans le neuf.

IV.4.4.3 Expérience menée sur l'îlot 13 à Genève :

La rénovation thermique de l'îlot 13 (cf. Fig. IV. 12), situé dans une zone urbaine derrière la gare principale de Genève, et qui était censé être complètement démolie et reconstruite dans les années 1960, en plus de la décision de maintenir la structure construite, les habitants réclamaient un type d'intervention architecturale qui serait fondée sur leur consultation et leur participation active à la fois dans la prise de décision et d'exécution.¹⁷⁹ L'accent était surtout mis sur la préservation de la structure sociale existante et économique et l'expérimentation de la démocratie locale, et une attention particulière a été donnée aux processus de réhabilitation écologique. L'expérience s'est avérée possible grâce à une approche étape par étape, avec une attention

¹⁷⁸ **Juul Larsen K. & Balslev-Olesen.O** (Cenergia Energy Consultants). « *Best practices on energy savings in new and refurbished buildings.* » Novembre 2006. [En ligne] www.prebat.net

¹⁷⁹ **Gisselbaek M. & Haefeli P. & Hollmuller P.** « *Participative retrofit of the « îlot 13 » area in Geneva* » PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

particulière aux besoins des habitants en vigueur, et d'obtenir une gestion participative des espaces communaux. Ce qui a amené à des solutions architecturales intéressantes telles que :

- ✚ La réfection totale des toitures,
- ✚ L'installation d'un système de chauffage central,
- ✚ Le changement des fenêtres et du vitrage,...
- ✚ La production d'énergie renouvelable de faible coût.

Tout ceci a abouti à la réduction des loyers considérés comme abordables de la part des locataires. Cet exemple a montré ce qui peut être atteint quand une population motivée est confiée à l'avenir de son habitat.



Fig. IV. 12 : Vues de l'ilot 13. (Source : Gisselbaek M. & Haefeli P. & Hollmuller P. 2006)

Les résultats de recherches exposées précédemment, montrent tous l'efficacité de l'isolation thermique de l'enveloppe sous différents climats, dans la création du confort thermique et la réduction de la consommation énergétique. L'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment constitue dès lors un élément essentiel recommandé dans la conception des bâtiments sur les plans environnemental et énergétique.

Le rôle fondamental de l'isolation thermique des parois sur le comportement dynamique et la consommation énergétique du bâtiment a été démontré dans les études passées en revue. Les matériaux isolants révèlent de ce fait un intérêt significatif dans la régulation des ambiances en hiver comme en été. Et l'efficacité énergétique des constructions ne peut être obtenue que par une isolation performante du bâtiment et le choix pertinent du matériau d'isolation.

IV.5 Les caractéristiques des matériaux isolants :

Une bonne isolation est un facteur essentiel à la maîtrise énergétique du bâtiment,¹⁸⁰ de ce fait le choix des isolants doit être minutieux. Trois groupes d'isolants sont préconisés dans la

¹⁸⁰ Liébard A. & De Herde H. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable », Ed. Le Moniteur, France 2005, Page 84.

construction : les isolants à base minérale, les isolants à base végétale et ceux à base de plastique alvéolaires.

IV.5.1 Les propriétés physiques des isolants :

Chaque isolant est caractérisé par un ensemble de propriétés physiques. Nous pouvons dissocier deux types de propriétés :

- Les caractéristiques statiques comme la conductivité thermique (λ) (cf. Tab. IV.5) ; la résistance thermique (R) ; le coefficient de transmission surfacique (U) ; la capacité thermique (ρC) et la perméabilité à la vapeur d'eau (μ).
- Les caractéristiques dynamiques comme la diffusivité thermique (a) et l'effusivité thermique (e) qui caractérisent le comportement d'un matériau en fonction de son temps de réaction.

La plupart des matériaux isolants présentent des performances d'isolation assez proches (conductivité thermique λ de 0,04 W/m².K environ cf. annexe C).

Tab. IV. 5: Les caractéristiques des principaux matériaux isolants.

(Source : De herde & Liébard 2005).

Types	Matériaux	Conductivité thermique λ W/m.K	Température de fusion °C	Résistance à la diffusion de vapeur comparativement à l'air
Isolants minéraux	Laine de roche	0,036	1 200	1 à 2
	Laine de verre	0,040	700	1 à 2
	Verre cellulaire	0,042	600	infinie
	Perlite expansée	0,050	1 100	5 à 10
Mousses synthétiques	Polyuréthane	0,025	120	50
	Polystyrène expansé	0,036	80	20 à 150
	Polystyrène extrudé	0,028	80	150 à 300
Isolants à base de produits végétaux	Chanvre	0,040	120	1 à 2

Dans une construction existante, déjà isolée, il est également possible d'améliorer l'inertie thermique, en optant pour des matériaux à changement de phase (MCP).¹⁸¹ L'utilisation des MCP doit permettre de stocker / déstocker l'énergie provenant des apports solaires ou internes. Les applications dans le cadre de constructions légères permettent de conduire à une amélioration du confort thermique des usagers et à une réduction des consommations

¹⁸¹ Gallauziaux T. & Fedullo D. "Le grand livre de l'isolation", éd. Eyrolles, Paris 2010. Page 85.

d'énergie.¹⁸² A cet effet, le Cstb en 2007 a précisé que l'utilisation des MCP permet de réaliser des économies de chauffage de 10 à 15%, de 25 à 30% en climatisation.

IV.5.2 La performance des matériaux isolants :

L'effet d'isolation thermique d'un matériau se définit par sa conductivité thermique en termes de coefficient de conductivité (λ). Sa performance est qualifiée par la résistance thermique R, en $m^2.K/W$. Plus elle est élevée, meilleure sera l'isolation thermique de la partie à isoler (cf. Tab. IV.6). Les effets d'une résistance accrue sur les températures intérieures dépendent de la position de l'isolant et de la couleur du revêtement externe.¹⁸³

Tab. IV. 6: Propositions de valeurs de la résistance thermique de certaines parties à isoler.

Source : www.anah.fr

Parties à isoler	R Valeur minimale de la résistance thermique, en $m^2.K/W$	e Épaisseur minimale d'isolant pour une conductivité thermique de $0,040 W/m.K$, en mm
Combles	5	180
Toitures-terrasses	3	100
Murs	2,8	100
Plancher bas sur sous-sol, vide sanitaire ou passage ouvrant	2,8	100

Al-Homoud M.S.¹⁸⁴ a établi une comparaison graphique des résistances thermiques de 5cm d'épaisseur pour les matériaux isolants (cf. Fig. IV.13), le chercheur a introduit le bloc de béton pour démontrer son faible pouvoir isolant comparativement aux différents isolants.

¹⁸² Flory-Celini C. « *Op.cit 3* » p 295.

¹⁸³ Givoni B. « *L'Homme, L'Architecture et le Climat* », Edition : Le Moniteur, paris 1978.

¹⁸⁴ Al-Homoud M. S. « *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials* » Building and Environment 40 pp: 353–366.2005.

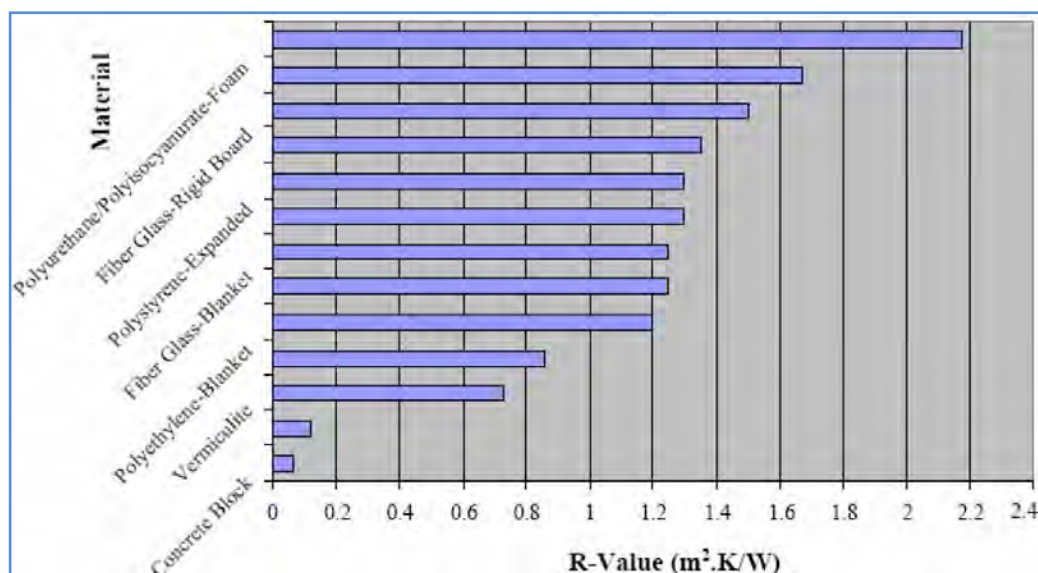


Fig. IV. 13 : Valeurs de la résistance thermique de certains isolants pour une épaisseur de 5cm.
(Source : Al-Homoud 2005)

Ainsi, en comparant l'épaisseur d'un isolant à celle d'un bloc de béton pour avoir la même résistance thermique, on utilisera 55 fois l'épaisseur de l'isolant (cf. Fig. IV.14).

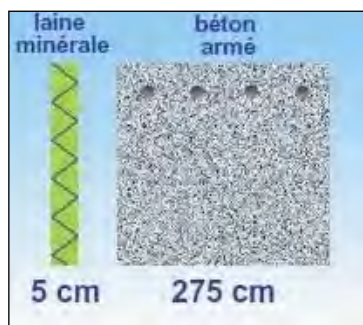


Fig. IV. 14 : Compression des épaisseurs de deux matériaux pour obtenir une même résistance thermique. (Source : De Herde & Liébard 2005)

IV.5.3 Epaisseur optimale et emplacement des isolants :

Bon nombre de chercheurs affirment qu'il n'y a pas lieu de rechercher une isolation maximale mais plutôt une isolation optimale qui tienne compte des besoins en énergie pour un climat déterminé, des possibilités constructives et d'un optimum financier. Les matériaux isolants peuvent être placés à différents endroits de l'enveloppe sans incidence sur leurs propriétés. L'emplacement aura cependant une influence sur l'inertie de l'enveloppe et le risque de condensation.¹⁸⁵ Cependant Givoni¹⁸⁶ affirme que le maximum de température est plus bas et le minimum est plus élevé avec une isolation extérieure qu'avec une isolation intérieure.

¹⁸⁵ Liébard A. & De Herde H. « Op.Cit,40 » p 54.

¹⁸⁶ Givoni B. « Op.Cit, 43 » p 145.

Gallauziaux¹⁸⁷ affirme dans son ouvrage sur l'isolation que le procédé le plus performant est l'isolation extérieure puisqu'il supprime de fait pratiquement tous les ponts thermiques. Quant à l'épaisseur de l'isolant, on affirme que l'efficacité d'une isolation n'est pas proportionnelle à son épaisseur, les premiers centimètres d'isolation apportant une économie en besoins de chauffage bien plus élevée que les centimètres suivants. Néanmoins, une faible épaisseur d'isolant ne permettra pas d'atteindre un haut niveau d'isolation.¹⁸⁸

Eben Salah¹⁸⁹ préconise qu'en climat chaud et aride, la masse des composants du bâtiment et l'emplacement d'isolation dans les murs et toitures procurent un effet considérable sur la performance thermique totale du bâtiment. L'isolation thermique placée du côté externe de la masse du bâtiment et d'une épaisseur variant entre 5-10 cm donne les meilleurs résultats en termes de charges globales de chauffage et de climatisation.

Nezzar et Gourdache prouvent à travers des résultats de simulation dans une région aride d'Algérie (Hassi Messaoud), que la température intérieure reste peu sensible à partir d'une épaisseur d'isolation de 5 cm (cf. Fig. IV.15)¹⁹⁰.

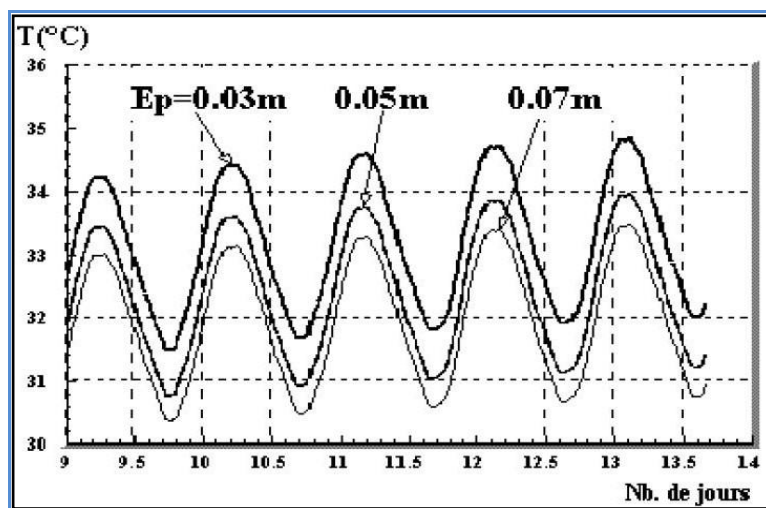


Fig. IV. 15 : Optimisation de l'épaisseur de l'isolant. (Source : Nezzar et Gourdache, 2004)

Dans une autre étude portant sur une maison expérimentale basse énergie Pléiade en Belgique¹⁹¹, on a comparé la réduction des besoins en énergie et les niveaux d'isolation globale

¹⁸⁷ Gallauziaux T. & Fedullo D. «*Op. Cit. 41*», Page 82.

¹⁸⁸ « Réhabilitation thermique de l'habitat existant » 2008[En ligne] www.ageden.org

¹⁸⁹ Eben Salah M.A. «*Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates.*» Rapport de recherches Saudi Arabia: King Saud University, Department of Architecture and building sciences 1989.

¹⁹⁰ Nezzar S. & Gourdache M. «*Etude des Performances Energétiques d'une Conception Bioclimatique en Région Aride*», World Energy Council, 1999.

(K moyen) atteints pour différentes épaisseurs d'isolants. L'épaisseur de l'isolation des murs, toitures et planchers est la même. Tous les autres paramètres (vitrages, renouvellement d'air...) restent inchangés. La figure suivante (cf. Fig. IV.16) indique au point 0 les consommations qui valent 100% en considérant la maison non isolée, elle montre également que les premiers centimètres de l'isolant sont les plus utiles, la courbe fait apparaître la réduction immédiate et importante des besoins en énergie. La pente par la suite continue à réduire mais de façon moindre. L'avantage de l'isolation continue mais il est moins rentable après 10 cm d'épaisseur. Les premiers centimètres d'isolant apportent les gains relatifs les plus importants.

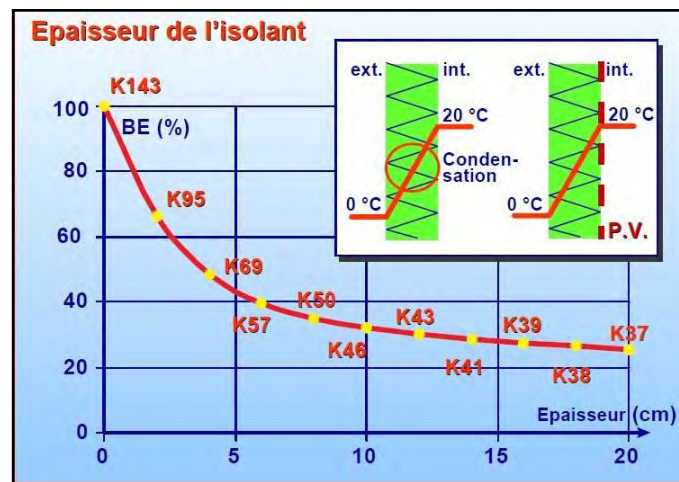


Fig. IV. 16 : Influence de l'épaisseur de l'isolant sur la réduction des besoins en énergie du bâtiment. (Source : De Herde & Liébard 2005)

Dans le même contexte, Medjelekh et al.¹⁹² ont trouvé qu'il est important de prendre en considération l'aspect inertie thermique de la construction dans le choix et l'emplacement de l'isolant pour la qualité du confort thermique intérieur. Une modélisation avec le logiciel TRNSYS a été établie dans le but de rechercher l'emplacement et l'épaisseur type de l'isolant (cf. Fig. IV.17) sans affecter la performance de l'inertie thermique. Ils ont montré que l'introduction d'un isolant permet un abaissement important de la température intérieure qu'avec la lame d'air tandis que l'emplacement idéal de l'isolant dans la paroi est celui du côté externe de la masse thermique. Ils ont également démontré que l'épaisseur recommandée de l'isolation, pour des raisons économiques, est de 5cm puisque la température intérieure reste peu sensible à partir de cette valeur.

¹⁹¹ Liébard A. & De Herde H. « Op.Cit 40 » p 84.

¹⁹² Medjelekh D. & Abdou S. « Impact de l'isolation thermique sur la température intérieure du bâtiment. » Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique, SIGCLE 2010 Constantine ; Algérie.

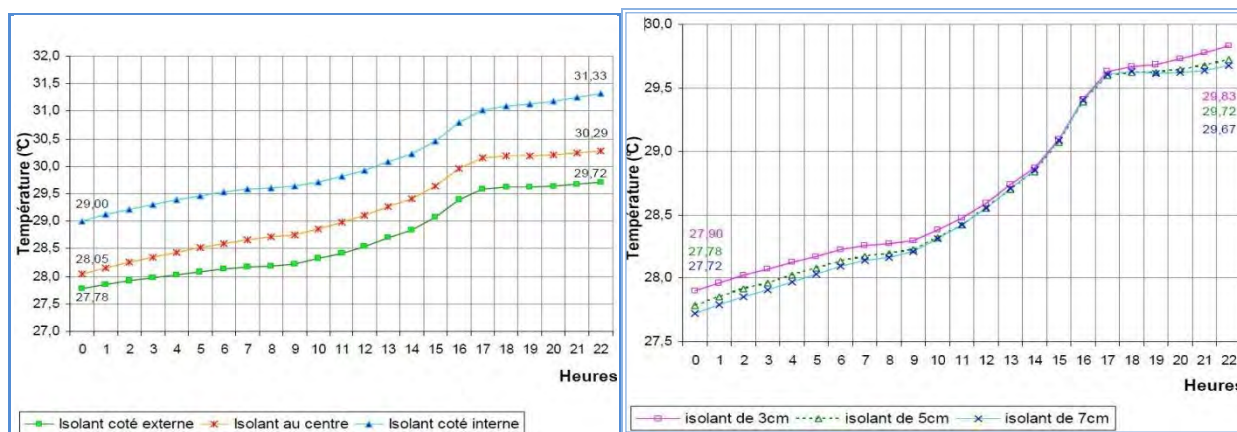


Fig. IV. 17 : Variation de la température intérieure simulée avec le changement de l'emplacement de l'isolant (à gauche) et le changement de l'épaisseur de l'isolant (à droite). (Source : Medjelekh et al.2006)

L'isolation extérieure permettant de renforcer l'inertie thermique; elle freine le stockage de la chaleur dans les murs en été et vice-versa elle freine la déperdition de chaleur provenant de l'intérieur en hiver.

Selon le guide pratique de rénovation de l'ADEME, la couche d'isolant extérieur est de 8 cm en régions tempérées à 12 cm en régions froides. Ce peut être des plaques doublées de polystyrène expansé ou de laine de bois, collées ou fixées sur les façades qui ne sont pas exposées plein sud. Par ailleurs le guide affirme à la suite de certaines expériences menées qu'une simple couche de laine de verre ou de roche de 12 cm bien jointoyée réduit généralement de 30 % votre consommation énergétique.¹⁹³

D'autres auteurs ont montré le rôle de la position de la couche isolante dans la paroi sur le comportement dynamique des bâtiments. On peut citer les études d'Asan élaborées respectivement en 1998¹⁹⁴ et en 2000¹⁹⁵ et celle de Bojic en 1997¹⁹⁶ et en 2001¹⁹⁷. Ces derniers ont analysé l'influence de la distribution isolant/maçonnerie d'un mur à trois couches sur la consommation d'énergie pour le chauffage ou la climatisation. Ces auteurs ont tiré les conclusions suivantes d'un point de vue énergétique :

¹⁹³ Guide pratique/Rénovation thermique « Comprendre les enjeux de la rénovation thermique », 2009 [En ligne] <http://www.batirenovation.com>

¹⁹⁴ **Asan H.** «Effects of Wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor. » Energy and Buildings 28, pp. 299-305, 1998.

¹⁹⁵ **Id.** «Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view. » Energy and Buildings 32, pp. 197-203, 2000.

¹⁹⁶ **Bojic M. L. & Loveday D. L.** «The influence on building thermal behavior of the insulation/masonry distribution in a three-layered construction. » Energy and buildings 26, pp. 153-157, 1997.

¹⁹⁷ **Bojic M. & Yik F. & Sat P.** « Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong. » Energy and Buildings 33, 569-581, 2001.

- lorsque le bâtiment est chauffé de manière intermittente, l'isolation par l'intérieur et l'extérieur sont préférables à celle en sandwich,
- lorsque le bâtiment est climatisé de manière intermittente, c'est l'isolation par l'extérieur et l'isolation en sandwich qui sont préférables,
- et pour le cas d'une climatisation continue, la position de l'isolation est indifférente.

Le fait d'apporter une isolation au logement permettra non seulement de limiter les pertes de chaleur en hiver mais aussi d'éviter sa pénétration en été, particulièrement si l'isolation est réalisée par l'extérieur, puisque la masse du mur stockera beaucoup moins de chaleur. Il faut ainsi choisir des isolants à faible diffusivité, c'est-à-dire qui déphasent dans le temps la chaleur indésirable. Ce sont en général des isolants plus denses.

IV.5.4 Caractéristiques des parois isolées :

Le caractère isolant d'une paroi dépend quand à lui de l'épaisseur et de la nature des matériaux mis en œuvre. Le niveau d'isolation thermique d'une paroi est donné par son coefficient de transmission thermique «U», exprimé en W/m²K, tandis que le niveau d'isolation d'un bâtiment complet est donné par le coefficient « K ».

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi sans pont thermique est donné par :

$$U_p = 1/(R_{si} + \sum R + R_{se}) \dots \dots \dots (16)$$

Avec : $\sum R$ somme des résistances thermiques des différents matériaux de la paroi.

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi avec pont thermique est donné par :

$$U_p = U_c + (\sum_i \Psi_i \times L_i + \sum_j \chi_j) / A \dots \dots \dots (17)$$

Avec : $U_c = 1/(R_{si} + \sum R + R_{se})$

A : aire de la paroi en m².

L_i : linéaire du pont thermique de la liaison i .

Ψ (W/mK) et χ (W/K) : transmissions linéique et ponctuelle.

L'utilisation appropriée de l'isolation thermique dans les bâtiments en période estivale ne contribue pas seulement à réduire la taille du système de climatisation nécessaire mais aussi à réduire le coût énergétique annuel. De plus, il aide à prolonger les périodes de confort thermique sans avoir recours à la climatisation mécanique.

Conclusion :

La présentation du contexte a mis en exergue que la rénovation constitue la priorité d'intervention dans le secteur du bâtiment résidentiel. La diminution des ressources fossiles, de même que les pathologies des bâtiments malsains poussent à considérer des solutions dites durables. Par ailleurs, l'état de l'art finalisé a permis de rendre compte de la multitude des stratégies et des solutions qui en découlent.

A travers l'exploration des travaux que nous avons pu trouver traitant de la réhabilitation thermique des logements existants, nous avons essayé dans un premier temps de recenser les techniques de réhabilitation thermique et énergétique, ensuite les solutions mises en lumière par les recherches menées dans ce domaine. Nous avons de ce fait tenté de faire ressortir les paramètres qui semblent avoir une influence sur la performance thermique des logements. Les paramètres identifiés se rapportent à la constitution des parois opaques et vitrées, l'orientation du bâtiment pour l'optimisation des apports solaires, la qualité du renouvellement d'air et la ventilation dans le logement.

En classifiant l'ensemble des études recueillies lors de notre recherche bibliographique, on a montré l'intérêt que jouent une bonne isolation thermique de l'enveloppe et l'utilisation du vitrage à faible émissivité, dans le maintien du confort thermique et dans la réduction des consommations énergétiques.

« Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien être et le confort. »
(Givoni, 1978)¹⁹⁸

Introduction :

L'Algérie a connu, depuis son indépendance, de grandes mutations (économiques, sociologiques et politiques), qui ont influencé négativement sur son développement urbain. Les grandes agglomérations ont connu un exode massif. Ce phénomène a entraîné une croissance accélérée de la majorité des villes algériennes, cela s'est traduit par une augmentation de la population, provoquant une batterie de crises.

Le secteur de l'habitat a été le plus affecté, notamment en matière de logements où l'offre était nettement inférieure à la demande. Parmi ces villes, Constantine a connu un important déséquilibre entre une population sans cesse croissante, une production de logements en dessous des besoins et un site de plus en plus saturé.¹⁹⁹

En comparaison avec la densité de population à l'échelle de la wilaya (362 hab. /km²), la ville de Constantine est marquée par une grande concentration de la population (2 617 hab. /km²).²⁰⁰ Après ce lourd constat, on déduit que la demande sur le bâtiment s'est accrue d'année en année, ce qui a donné lieu au développement anarchique d'un habitat social à faible coût, de qualité médiocre, inesthétique et grand consommateur d'énergie.

Par ailleurs, Comme le secteur résidentiel offre des possibilités importantes en vue de réduire la consommation énergétique (cf. Chapitre I), et son impact sur l'environnement, une attention particulière doit être accordée aux performances thermiques de ces logements. L'objectif de cette recherche est d'évaluer à travers un exemple de logements construits en amont de toute réglementation thermique, le comportement de l'enveloppe vis-à-vis des aléas du climat et son implication sur le confort intérieur des occupants. Selon l'objectif assigné, une campagne de mesures a été effectuée sur site, des échantillons représentatifs ont servi de support à l'analyse du comportement thermique de la construction.

¹⁹⁸ **Givoni. B** «*L'Homme, L'Architecture et le Climat.* » Edition : Le Moniteur. Paris 1978. Page 39

¹⁹⁹ **Tamine R.** «*L'urbanisation de la ville de Constantine (Algérie)* » Mémoire DEA Université des sciences et techniques de Lille. [En ligne] <http://www.univ-lemans.fr>

²⁰⁰ Idem.

V.1 Aperçu sur la ville de Constantine :

V.1.1 Situation de la ville de Constantine :

Constantine est située au nord-est de l'Algérie (cf. Fig. V.1), à 424km d'Alger et en léger retrait du littoral méditerranéen au méridien $6^{\circ} 37'$ (longitude) et la parallèle $36^{\circ} 17'$ (latitude)²⁰¹. Chef lieu de wilaya, la ville est située en altitude (675m) sur un étroit plateau rocheux, entouré par le lit du *Rhumel* avec des gorges atteignant 100m de profondeur en moyenne.



Fig. V. 18 : Situation de la ville de Constantine

Source : <http://www.placesonline.com/africa>.

V.1.2 Aperçu sur le climat de la ville de Constantine :

Tout concepteur a besoin de connaître le climat du lieu où il doit construire. C'est-à-dire le régime de température et de l'humidité de l'air, le régime et la nature des précipitations, l'ensoleillement, le régime et la nature des vents.²⁰² Le climat de Constantine est un climat rude, chaud et sec en été, froid et humide en hiver (cf. Annexe A). Le paramètre qui est à l'origine des variations climatologiques est l'influence de l'altitude. Quelques éléments caractérisant le climat de Constantine (cf. Tab. V.1) :

²⁰¹ Capderou.M « Atlas solaire de l'Algérie » tome 2 : aspect énergétique. OPU Alger, 1985. Page.398

²⁰² Lavigne P. « Architecture climatique : Une contribution au développement durable » tome1, EDISUD -1994 p.67

V.1.2.1 La température :

Les températures présentent de forts contrastes entre l'hiver et l'été. La température moyenne du mois le plus froid (janvier) est inférieure à 7°C et la température maximale dépassant les 34°C en été. Les gradients de température sont accentués entre le jour et la nuit.

V.1.2.2 L'humidité :

L'humidité relative connaît une variation diurne et saisonnière. Elle est très importante surtout en hiver (supérieure à 70°C).

V.1.2.3 L'ensoleillement :

Celui-ci est intense et de l'ordre de 7480wh/m²/jour sur une surface horizontale pendant le mois de juillet. La durée de jour maximale est de 11h5mn le mois où le ciel est plus clair, reçoit une fraction d'insolation importante de 80%. En hiver le rayonnement solaire global atteint son maximum en janvier et est de l'ordre de 2334Wh/m²/jour avec une durée de 15h/mois (le mois où le ciel est couvert, une fraction d'insolation de 45%)²⁰³.

V.1.2.4 Le régime des vents :

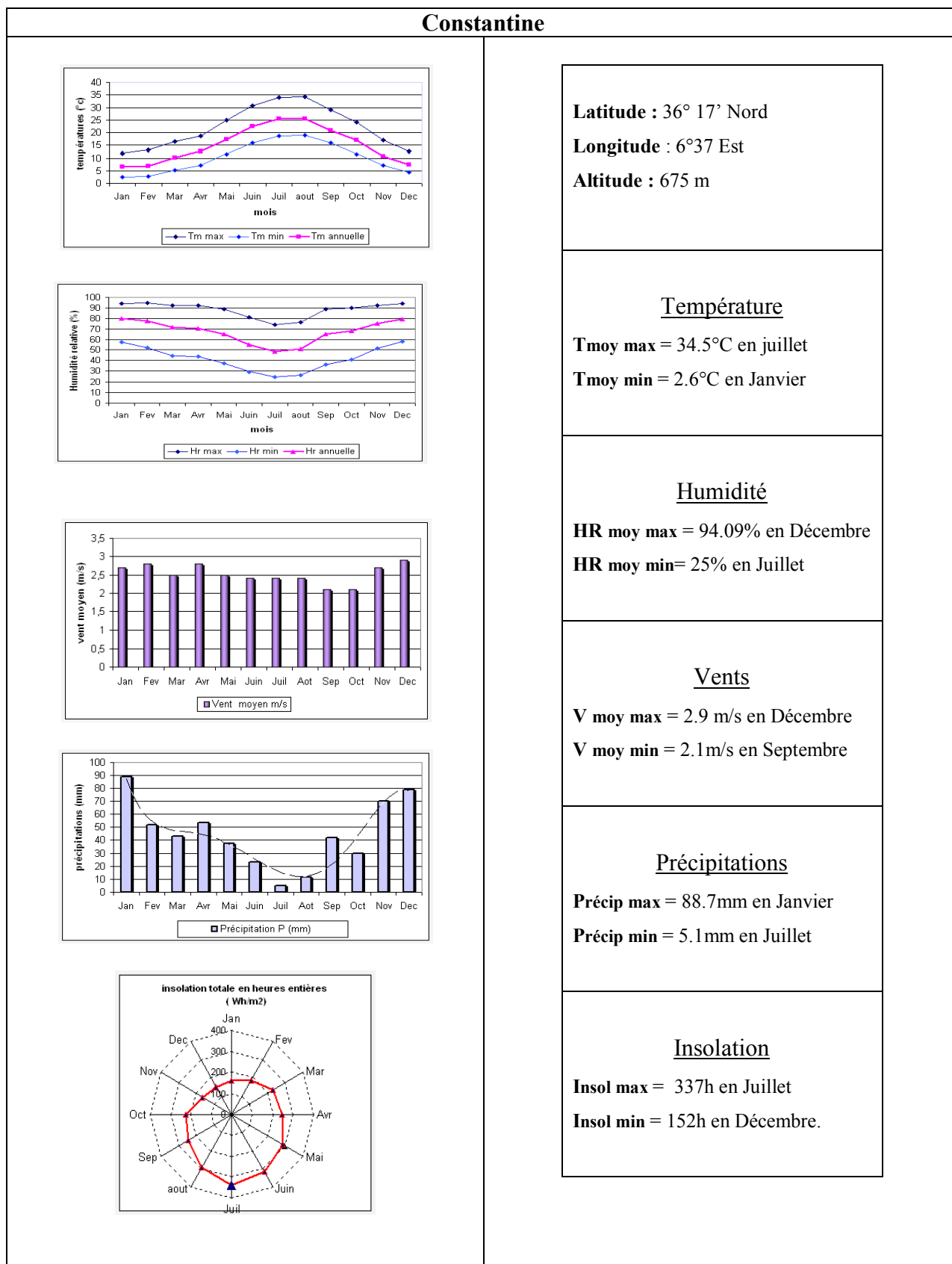
La vitesse moyenne des vents à Constantine est de l'ordre de 2,53m/s. Les vents dominants dans la ville de Constantine sont de direction nord et Nord-Ouest.

V.1.2.5 Les précipitations :

La répartition annuelle des précipitations à Constantine est marquée par une période courte de sécheresse, durant laquelle les précipitations sont très faibles et tombent sous forme d'orage.

²⁰³ Capderou.M « Op.cit 4 » Pages 61.

Tab. V. 7 : Interprétation des données météorologiques de Constantine Période 1995-2005.
(Source : O.N.M 2007)



V.1.3 Aperçu sur l'habitat à Constantine :

Constantine est passée par plusieurs étapes sur le plan spatial (cf. Fig. V.2)²⁰⁴:

- Après 1966, la ville s'est étendue avec de nouveaux quartiers dans le prolongement des quartiers européens (Belle vue, Faubourg Lamy, Sidi Mabrouk, St Jean).
- Puis vint la politique de construction de nouveaux logements urbains qui s'est matérialisée (jusqu'à 1969) par l'application des programmes issus du Plan de Constantine de 1958 à savoir les cités Fadila Saadane, Filali et Benboulaïd, dans la partie Sud-Ouest.
- Durant la période qui correspond au premier Plan Quadriennal (1970-1973) où le secteur du logement n'était pas considéré comme une priorité de l'Etat, la ville a connu la prolifération des bidonvilles et de l'habitat précaire.
- La phase 1974-1977, est caractérisée par un urbanisme planifié, dominé par l'implantation des Zones d'habitations Urbaines Nouvelles (ZHUN). C'est ainsi que se sont créés les quartiers périphériques à l'Est et au Nord de la ville tels que les cités Ziadia, Sakiet Sidi Youcef, Daksi, et celles du 20 août, du 5 juillet, Boudjenana et Boussof.

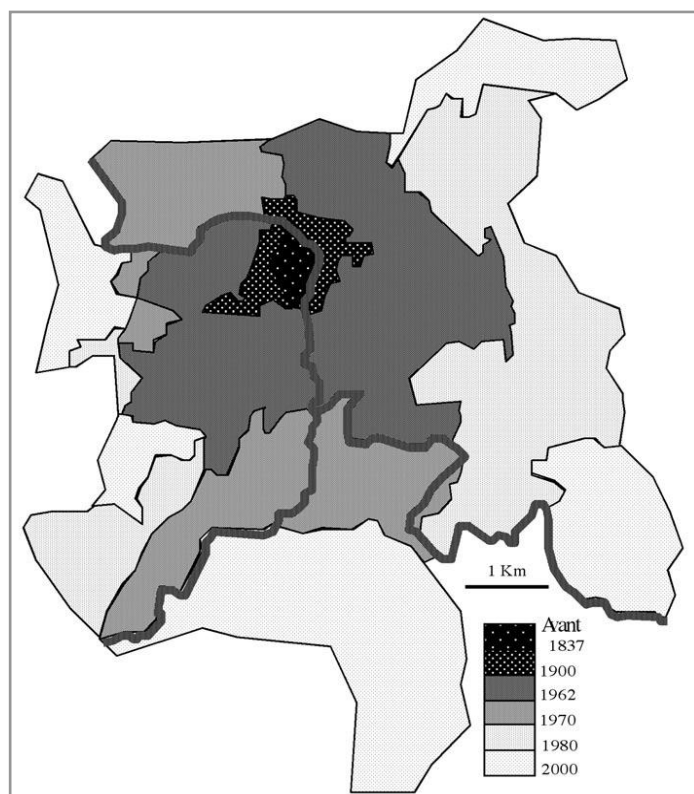


Fig. V. 19 : Ville de Constantine : Extension urbaine (Source : Rachid Tamine.)

²⁰⁴ Tamine R. « *Op.cit 2* »

V.1.4 Consommation énergétique de la ville de Constantine :

La consommation d'électricité et de gaz dans la ville de Constantine (cf. Fig. V.3) est en perpétuelle hausse constituant de lourdes charges à l'état et des inquiétudes quant à l'acquittement pour le citoyen, ceci est dû à l'utilisation plus fréquente d'appareils électroménagers énergivores.

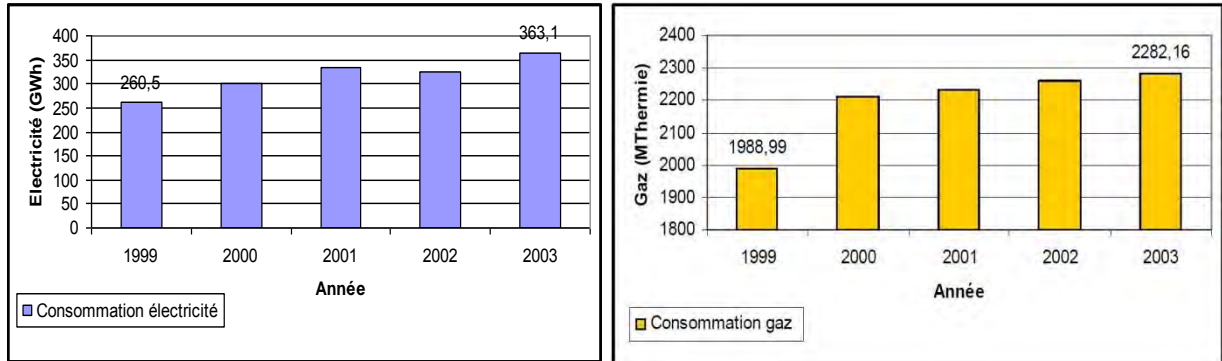


Fig. V. 20 : Consommation d'électricité (en GWh) et de gaz (en Mth) dans la ville de Constantine (Source : Bulletin statistique de la Sonelgaz 1980-2004.in Benhlilou 2008.)

V.2 Présentation du site du cas d'étude :

Dans ce présent travail, l'investigation a été menée sur un modèle de bâtiment situé à la cité 20 Août 1955, dans un site urbain à la périphérie de la ville de Constantine, au Sud Ouest du centre ville. Le quartier du 20 août 55 est délimité par des voies de circulation mécanique, au nord la cité universitaire Nahas Nabil, à l'est les cités Ben Boulaïd et Kadi Boubaker, à l'ouest les cités Boudjnana et O5 juillet et au sud la zone industrielle Palma (cf. Fig. V.4).

L'ensemble du quartier est construit sur un terrain de 15 ha avec une densité de 69 logements/ha.²⁰⁵

²⁰⁵ Lazaar. S. « Le vieillissement prématuré du patrimoine d'habitation. Construction, entretien et législation-étude de cas d'exemple. Constantine. » Thèse de Magister université de Constantine. 1994, p81.



Fig. V. 21 : Plan d'urbanisme de la cité du 20 Août Constantine

(Source : CD. ROM DUC « Constantine »)

La construction de cette cité a été assurée par la société SONATIBA, qui fût chargée du projet de La réalisation de la cité en 1970, avec 1038 logements. La date de livraison est estimée par les agents de l'OPGI entre 1974-1975. Les logements sont du type social, avec des F3 et des F2 au RDC, puis des extensions en F4 et F5 pour certains bâtiments. Les immeubles s'élèvent sur 4 étages (R+4) pour la majorité, ils sont composés de dix logements dont neuf logements sont identiques constitués de 3 pièces et un seul au rez-de-chaussée de 2 pièces. Les appartements sont répartis par deux dans chaque étage et donnent sur une cage d'escalier bien éclairée.

V.2.1 Critères de choix du cas d'étude :

L'arrivée de l'ère industrielle a amorcé un changement conséquent dans la façon d'appréhender la construction des bâtiments. Les techniques de construction se sont ainsi vues transformées notamment par l'apparition du béton armé. Les structures économiques dans lesquelles s'exercent l'acte de construire ont également été modifiées en profondeur. Ces nouvelles techniques de construction apparues et développées acquièrent leur maturité entre les années 1950 et 1960 et se sont généralisées dans les années 1970 un peu partout en Algérie.

V.2.2 Données sur le bâtiment :

Les bâtiments des années 50 à 70 sont en règle générale peu isolés et d'inertie moyenne, ce qui conduit à une sensibilité importante, tant en déperdition qu'en apport de chaleur.

V.2.2.1 Forme et orientation des bâtiments :

Un bâtiment d'habitation, s'il est bien conçu et bien construit (orientation, apports solaires, ouvertures, isolation des parois), consomme pour les besoins de chauffage, de rafraîchissement et de ventilation, beaucoup moins d'apports extérieurs d'énergie qu'un bâtiment ordinaire. Sous certains climats, tout apport extérieur d'énergie peut être évité.²⁰⁶ L'implantation et l'orientation des bâtiments déterminent par conséquent, les déperditions thermiques, les apports solaires, l'éclairage, les possibilités de ventilation naturelle et les vues.

Le soleil est recherché l'hiver alors qu'on essaye de s'en protéger l'été. En hiver, la course du soleil est limitée et seules les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif par rapport aux besoins de chauffage. L'été, la course du soleil est beaucoup plus longue et plus haute. Les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées de dispositifs de protection. En revanche, les bâtiments avoisinants peuvent générer des masques locaux importants qui seront à prendre en compte. Donc selon la course du soleil, l'exposition des façades sera différente ce qui nécessitera de mettre en œuvre des protections solaires adaptées.

Les bâtiments de la cité sont développés le long de deux axes différents (cf. Fig. V.5) :

- L'axe Nord Est - Sud Ouest.
- L'axe Nord Ouest - Sud Est.



Fig. V. 22 : Orientation des bâtiments (Source : Auteur).

²⁰⁶ **Laponche B.** « Prospective et enjeux énergétiques mondiaux : un nouveau paradigme énergétique » 1er Séminaire, Saline Royale d'Arc et Senans, 23-24 novembre 2006.

V.2.2.2 Les ouvertures :

Le rapport plein -vide de la façade principale est de 16% avec des dimensions de fenêtres moyennes. Ceci correspond à ce qui est recommandé par Mahoney pour la taille des fenêtres (15 à 25% cf. Annexe A) dans un climat chaud et sec dans le but de se protéger des rayons du soleil.

V.2.3 Caractéristiques climatiques du secteur résidentiel choisi :

V.2.3.1 Exposition aux vents dominants :

A Constantine, la vitesse moyenne annuelle du vent est de l'ordre de 2.53m/s, ce qui correspond à la force 2 selon l'échelle de Beaufort, elle atteint exceptionnellement la force 4. La direction du vent diffère suivant la saison.

La vitesse des vents est plus ou moins élevée en hiver. Ces masses d'air froides apportent donc les tempêtes d'hiver et augmentent les précipitations. Pour le quartier d'étude :

- dans le cas des vents d'hiver et en l'absence de protections contre les vents violents d'hiver, il y a une infiltration directe d'air frais dans les logements et par conséquent beaucoup de déperditions de chaleur vers l'extérieur. Pour les étages inférieurs des bâtiments, une protection partielle est garantie par la forme en pente du terrain.
- Les vents chauds du sud sont de plus en plus fréquents en période estivale à Constantine. Quant ces derniers frappent du côté Sud l'angle d'incidence est de 45° sur toutes les façades principales. Dans le cas où les vents sont du Sud Est, l'angle d'incidence est de 90° sur plus de la moitié des immeubles qui sont orientés perpendiculairement à ces vents désagréables sans aucune protection minérale ou végétale pour procurer une fraîcheur et atténuer l'effet des vents.

V.2.3.2 Ensoleillement :

Les pièces orientées à l'est bénéficient du soleil le matin, l'exposition solaire y est faible en hiver, mais en été elle est supérieure à l'orientation sud. Les pièces orientées à l'ouest étant exposées à un rayonnement solaire intense qui s'additionne aux températures déjà élevées en fin de journée. Les pièces orientées au sud bénéficient d'un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été.²⁰⁷ Or vu l'orientation des bâtiments d'étude, la course du soleil montre une

²⁰⁷ Liébard A. & De Herde H. « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* » Ed. Le Moniteur, France 2005. Page 64.

exposition maximale des façades orientées sud-ouest et sud-est, quant aux façades orientées nord-est et nord-ouest, les pièces bénéficient d'une exposition indirecte en hiver (cf. Fig. V.6).

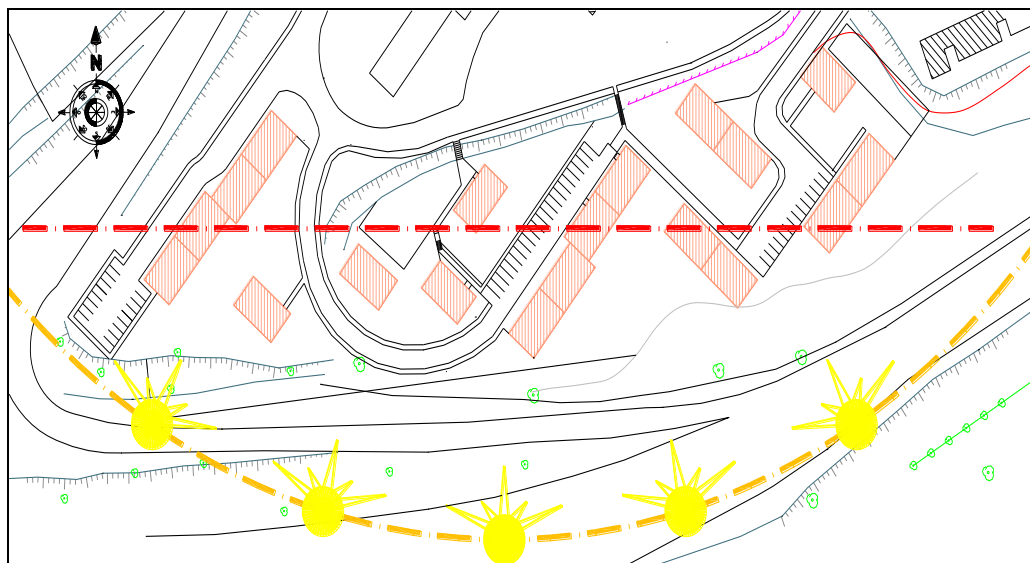


Fig. V. 23 : Course du soleil par rapport à l'orientation des bâtiments (Source : Auteur).

V.2.3.3 Les techniques passives de contrôle solaire :

Pendant la saison chaude, la fenêtre préserve de la surchauffe, donc un intérêt particulier doit être porté à ses dimensions et son système de protection. Cette dernière joue un rôle important dans le comportement thermique des différentes pièces en limitant les apports solaires à travers les vitres et en permettant d'améliorer le confort thermique. Toutes les fenêtres de l'appartement sont dotées d'occultation (cf. Fig. V.7) : persiennes type bois avec cadre métallique pour chambres et séjour.

V.2.3.4 La protection des loggias :

Les loggias et les balcons à la livraison, sont ouverts mais la majorité si ce n'est la totalité des habitants, ont procédé à la fermeture de ces espaces par un vitrage, pour en faire un prolongement des espaces vie ou pour se protéger contre les vents d'hiver et les chaleurs d'été. (cf. Fig. V.7). En plus de la fermeture des loggias, il y a aussi l'utilisation du store, rencontrée dans les cas d'étude. Cette solution permet de se protéger de la surchauffe pendant la saison chaude seulement son utilisation ne semble pas très liée à la température, mais d'après Foster. M. et al. il semble que son utilisation sert à améliorer le confort visuel et réduire l'éblouissement²⁰⁸ ainsi que pour des raisons d'intimité.



Fig. V. 24 : Protection des espaces vitrés (Source : Auteur)

Les loggias devenant des espaces vitrés, jouent alors un double rôle²⁰⁹ :

- Elles augmentent le captage solaire pendant les journées ensoleillées, en estimant que les pertes du séjour donnant sur cet espace vitré à travers une paroi mitoyenne sont réduites de moitié par présence de cet espace tampon,
- et corrigent la défektivité de l'enveloppe.

Ceci s'explique aussi dans les paroles de P. Lavigne : « Les espaces tampons réduisent de façon d'autant plus importante la conductance totale d'un espace habitable que la conductance de l'espace habitable est grande.» Les loggias, en général constituent un écran aux radiations solaires verticales et intenses en gardant les murs intérieurs à l'ombre pendant quelques heures de la journée. Par contre, dans le cas d'étude, l'absence d'auvent participe à augmenter la température à l'intérieur de l'espace et la température du revêtement du sol constitué par une chappe de ciment à fort albédo, participe à stocker la chaleur due aux radiations solaires perpendiculaires et la restituant plus tard à l'intérieur.

V.2.3.5 Surface des fenêtres :

²⁰⁸ Foster. M. e & Oreszczy. T. « Occupant control of passive systems: The use of venetian blinds. » Building and environment, vol36, pp 149-155, 2001.

²⁰⁹ Badeche. M. « Impact de la loggia vitrée sur le confort thermique dans la région de Constantine » Thèse de magister, université Mentouri, Constantine 2008.

La fenêtre contribue dans le bilan énergétique, elle dépend de nombreux facteurs, tels que le climat local, l'orientation, le cadre, la surface relative, la performance des occultations nocturnes et solaires²¹⁰. Dans ce cas, on se focalise sur la surface de la fenêtre. La taille des fenêtres et portes fenêtres des appartements étudiés sont aux normes quand à la réglementation en vigueur en Algérie (JORA 1991), qui préconise que la surface des fenêtres permettant un bon éclairage soit comprise entre le 1/6 et le 1/8 de la surface du plancher de la pièce en question. Pour toutes les pièces de l'appartement, cette norme est respectée en dépassant la valeur maximale requise.

V.2.4 Analyse architecturale du cas d'étude :

V.2.4.1 Situation du bâtiment d'étude :

Les bâtiments choisis sont orientés nord-est, sud-ouest (cf. Fig. V.8). Le choix des bâtiments résulte de l'accueil positif à l'enquête (ceux qui ont répondu favorablement). Ils sont composés de deux façades, de cinq niveaux : Rez de chaussée et quatre étages.



Fig. V. 25 : Situation du site d'étude (bâtiments investigués) (Source : Google Earth 2008)

V.2.4.2 Description du logement :

La composition du logement s'articule autour d'un espace central, le hall et tous les espaces techniques sont regroupés dans la même zone. Une des façades de l'immeuble est agrémentée d'un balcon et d'une loggia linéaire, et l'autre face est plane (cf. Fig. V.9).

²¹⁰ Safer.N. 2006 In Fezzioui N. & Draoui B. & M. Benyammine & Larbi S. « Influence des Caractéristiques Dynamiques de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur le Confort Thermique au Sud Algérien. » Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°1, pp. 25 - 34, 2008.



Fig. V. 26 : Façade principale. (Source : Auteur)

Notre étude porte sur trois logements situés respectivement au RDC, à un niveau intermédiaire et au dernier niveau et dont la répartition des surfaces est donnée dans le tableau V.2.

Tab. V. 8 : Répartition des surfaces dans le logement.

Désignation	F3 (m ²)
Séjour	18.48
Chambre1	10.30
Chambre 2	13.46
Cuisine	7.66
SDB	4.80
WC	1.20
Rangement	1.76
Circulation	7.98
Total Habitation	65.64
Loggia	9.61
Séchoir	3.12
Total cédé	78.37

V.2.4.3 Méthodologie de travail:

Pour l'étude du logement, nous avons établi une fiche technique comprenant :

- ✚ Des informations générales sur le bâtiment (cf. Tab. V.3).

Tab. V. 9 : Données sur le bâtiment.

Date de construction		1974
Nombre de logements		RDC + 4
Surface chauffée		65.64 m ²
Données techniques		Le procédé constructif utilisé dans cette cité c'est le système préfabriqué dénommé « Pascal ».
Consommations spécifiques d'énergie	Electricité	593.85 kWh/m ² ²¹¹
	Gaz	3247.78 Thermie ²¹²
Forme du bâtiment		parallélépipède.

- ✚ Le plan du RDC, l'étage courant et la terrasse (cf. Fig. V.10) :



²¹¹ Consommation énergétique ELEC & GAZ cité 20 Aout 1955 (données de l'année 2009 Sonelgaz).

²¹² Ibid.

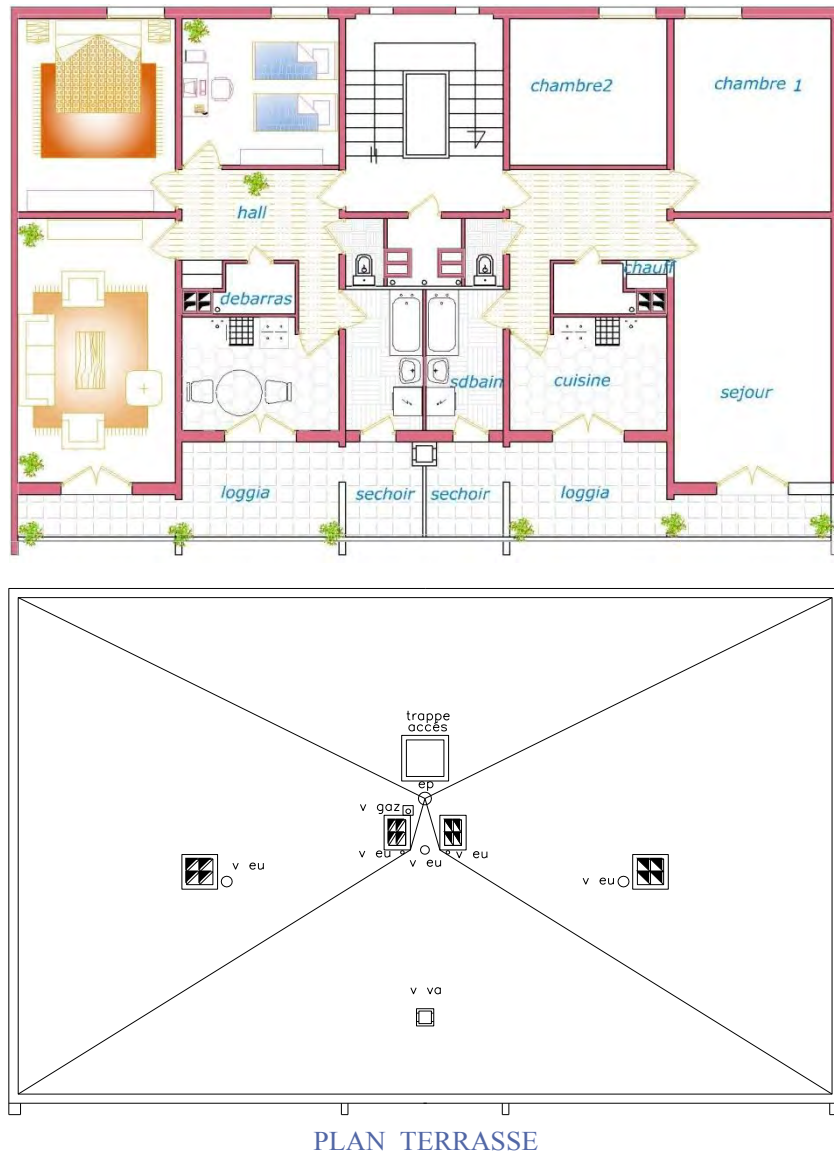





Fig. V. 27 : Plans des différents niveaux (Source : Auteur).

- ✚ Un descriptif des matériaux de construction avec les performances thermiques de l'enveloppe (cf. Tab. V.4) qui joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieure et extérieure, elle intervient comme stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air intérieur et extérieur, la composition de ces parois est donnée dans le tableau suivant avec les caractéristiques thermiques des matériaux et leurs performances d'isolation.

Tab. V. 10 : Les caractéristiques thermiques et la performance d'isolation des matériaux de l'enveloppe.

Parois	Matériaux utilisés	Performance U=W/m²K	
		U	Performance
Façade Nord-Est	Panneaux préfabriqués en béton	1.98	Performance faible
	Fenêtre bois simple vitrage : verre clair d'épaisseur 3mm posé au mastic. Un simple vitrage constitue une très mauvaise protection contre les pertes de chaleur d'un logement. ²¹³	4.15	Performance mauvaise 
Façade Sud-Ouest	Panneaux préfabriqués en béton	1.98	Performance faible
	Fenêtre bois simple vitrage et véranda simple vitrage.	4.15	
Façade Sud-Est	éléments préfabriqués en béton armé de la hauteur d'étage et de 25cm d'épaisseur de type sandwich.	1.98	
Façade Nord-Ouest	éléments préfabriqués en béton armé de la hauteur d'étage et de 25cm d'épaisseur de type sandwich.	1.98	

✚ Un descriptif des équipements (éclairage et appareils électroménagers) et de leur utilisation (cf. Tab. V.5). Chaque logement est doté d'appareils indispensables tels : le réfrigérateur, le chauffage, un chauffe-eau, une cuisinière, un ou deux téléviseurs. Toutes les pièces sont dotées de lampes d'une puissance moyenne de 75W. En plus des appareils électroménagers nécessaires, il faut ajouter les appareils suivants : batteur, mixeur, micro-ondes, four électrique, pétrin.....

Tab. V. 11 : Systèmes électriques utilisés.

Appareils électriques	Puissances	Fréquence d'utilisation
Réfrigérateur	3.3 KWH	24H
Lave-linge	2300W	14H (2 fois/semaine)
Télévision	1 à 2 de 85W	25H/semaine en moyenne.
Four	1650W	4H/semaine
Ordinateur	1 à 2 de 150 W	15h/semaine en moyenne
Fer à repasser	1000 W	3H/semaine

²¹³ « Fiche technique, menuiseries extérieures. » page 2. [En ligne] <http://www.anah.fr>

- ✚ Ensoleillement du bâtiment d'étude : La quantité de rayonnement solaire reçue par l'enveloppe d'un bâtiment peut être minimisée en toute période de l'année en jouant sur la forme et l'orientation du plan par rapport au soleil ; la hauteur du bâtiment exposée au soleil, la forme et la pente du toit.²¹⁴ Or le bâtiment d'étude a deux façades sur l'extérieur :
- La façade nord-est du bâtiment donne sur une cour, aucun vis-à-vis n'est à noter, elle est en partie protégée par l'environnement extérieur « végétation », mais qui reste insuffisant.
- La façade sud-ouest (cf. Fig. V.11) est sujette aux apports solaires d'hiver, cependant elle est peu protégée des apports solaires d'été.

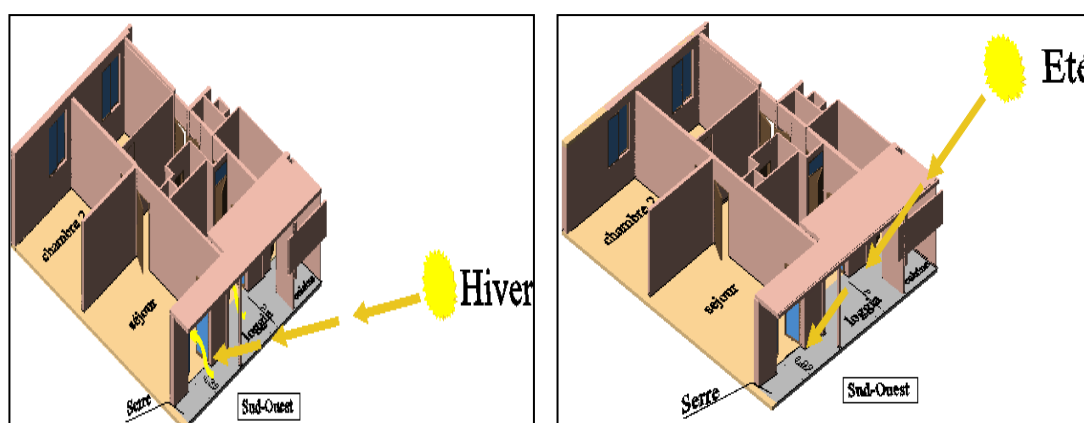


Fig. V. 28 : Ensoleillement d'été et d'hiver du logement étudié (Source : Auteur).

- ✚ Description du système de chauffage et du système de conditionnement de l'air :

En Algérie, il n'existe pas d'environnement normatif pour la détermination des rendements et des puissances des appareils de chauffage ou de climatisation. L'appareil de chauffage le plus utilisé est le radiateur à gaz naturel avec un rendement de 0.80 et l'appareil de rafraîchissement est le climatiseur de fenêtre avec un rendement de 2. Ces valeurs sont inspirées de normes étrangères (NF, BS, CE) vu que les appareils en question sont dans la majorité des cas importés.²¹⁵ Les trois logements d'étude sont dotés d'un chauffage d'appoint d'une capacité de 1900 à 11 000 Kcal / Heure dont l'emplacement est au niveau du hall d'entrée (cf. Fig. V.12) qui s'avère insuffisant sur le plan thermique les journées les plus froides de l'année.

²¹⁴ **Watson.D. et Camous.R.** « *L'habitat bioclimatique de la conception à la construction* » Ed. L'Étincelle Québec 1986, Page 134.

²¹⁵ **M.H.A.B. Larbi Youcef & F. Boukadoum & S. Larbi youcef & E. Fleury & A. Bolher** « Etude de Sensibilité de Paramètres des Bâtiments Climatés en Algérie » Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique 133-138, 2001.

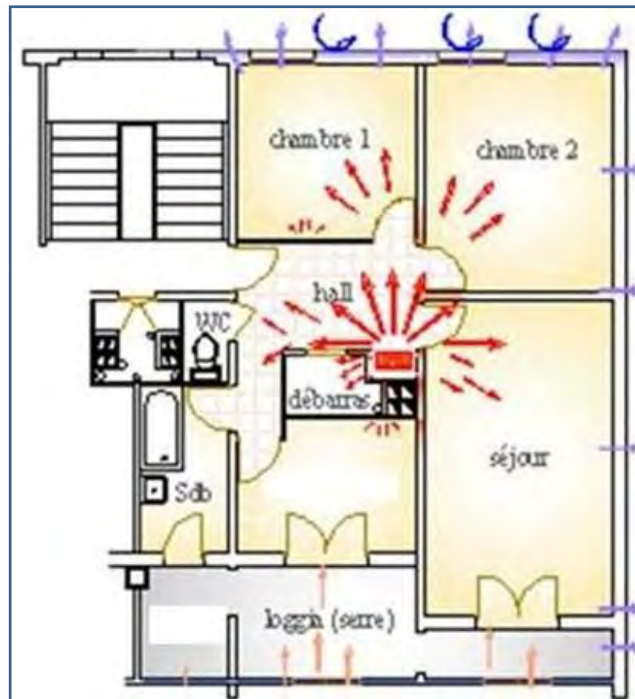


Fig. V. 29 : Emplacement du chauffage.

Quant au système de conditionnement de l'air, la majorité des logements en sont dotés, ceci est dû aux chaleurs intenses d'été et au manque de masques solaires avoisinants. Sa capacité équivaut à 3.5 KW.

- ✚ Ventilation du logement : l'orientation des bâtiments nord-est, sud-ouest l'expose aux vents froids d'hiver (cf. Fig. V.13).

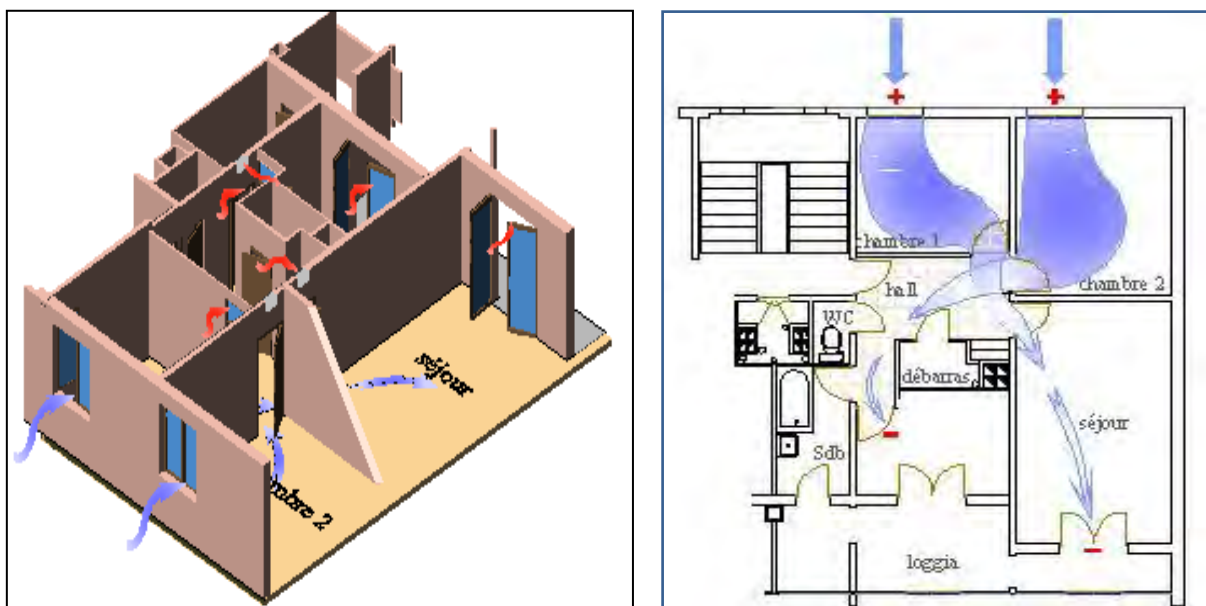


Fig. V. 30 : Ecoulement du vent à l'intérieur de l'appartement (Source : Auteur).

V.2.4.4 Description technique du bâtiment :

Les éléments constructifs de ces bâtiments sont récapitulés dans le tableau suivant V.6.

Tab. V. 12 : Eléments constructifs du bâtiment (Source : Lazaar 1994)

L'Infrastructure	Voiles en béton armé sur semelles filantes d'épaisseur 20cm pour façades préfabriquées et 14cm pour les refonds.	
Les escaliers	Eléments préfabriqués d'une volée. dalles palières et demi- palières en éléments préfabriqués d'épaisseur 14cm.	
Conduits de fumée et ventilation	Le système collectif du type « shunt » préfabriqué. ²¹⁶ Les conduits de ventilation sont munis d'une grille à chaque étage.	
La menuiserie	Menuiserie extérieure	Fenêtres en sapin du nord (120x156), à double battant. Portes- fenêtres (150x235), en sapin du nord. Porte iso plane avec oculus (74x235) à un battant.
	Menuiserie intérieure	Portes palière et intérieures (84 x 207) iso plane à un battant sauf celle de la chambre n° 1 et de la cuisine (84 x 272) hauteur de l'ouvrant + un châssis fixe auquel on a incorporé une grille d'aération.
Peintures	Peinture vinylique de couleur claire, cependant bon nombre de bâtiments ont vu refaire leurs peintures suite au défrichage et à leur dégradation, en gardant notamment la même couleur.	

V.2.5 Comportement bioclimatique du bâti et confort thermique:

V.2.5.1 L'isolation :

Les façades sont faites d'éléments préfabriqués en béton armé de la hauteur d'étage et de 25cm d'épaisseur de type sandwich ; composé d'un voile intérieur en béton armé de 12cm d'épaisseur, d'une feuille de polystyrène de 3cm d'épaisseur, et d'un voile extérieur en béton de 10cm d'épaisseur (cf. Fig. V.14). La face extérieure est soit prête à peindre ou en béton architectonique et la face intérieure est lisse. Des matériaux d'isolation (polystyrène et liège) sont utilisés au niveau des panneaux préfabriqués de façade et pour la toiture mais ils sont insuffisants pour garantir le confort d'hiver et d'été.

L'absence de revêtement de façade, d'écran solaire en plus d'une orientation et une couleur inadaptées font que la majorité des bâtiments de cette cité soient exposés aux aléas du climat en toute saison.

²¹⁶ Lazaar. S. « *Op.cit 8* » p 81.

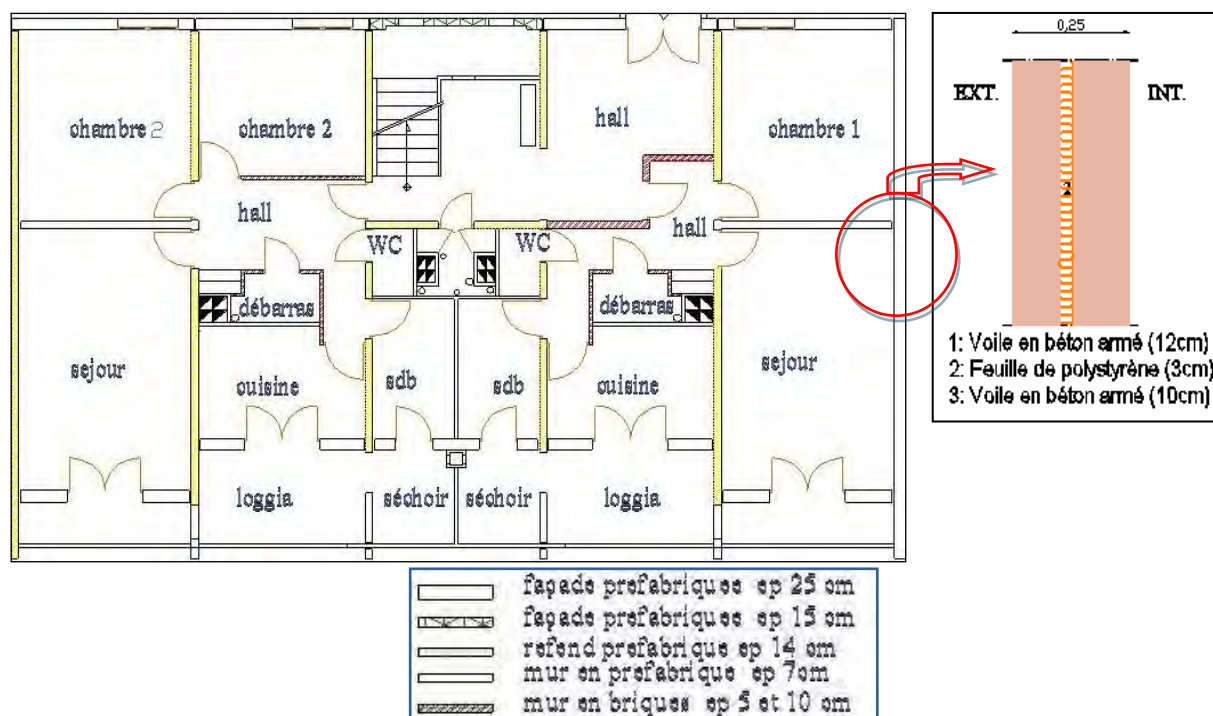


Fig. V. 31 : Constitution des parois de l'appartement.

V.2.5.2 Perméabilité à l'air :

Des fenêtres et des baies vitrées mal adaptées, mal orientées et mal installées (Non hermétiques) qui engendrent des infiltrations d'air extérieur, courant d'air gênant, entraînant un alourdissement du bilan thermique.

V.2.5.3 Perméabilité à l'humidité :

L'étanchéité est mal soignée et n'offre pas de protection suffisante contre les agents extérieurs (pluie, vent, poussière....) entraînant des migrations d'eau à l'intérieur des murs par capillarité.

V.2.5.4 Fonctionnement thermique des matériaux :

L'inertie thermique joue un rôle important de régulateur en stockant la chaleur dans la matière au contact de l'air, notamment celles du flux solaire entrant par les parties vitrées de façades. Elle ralentit ainsi l'élévation de la température intérieure du bâtiment en atténuant le pic de température atteint avec un décalage temporel. Or dans le cas des parois préfabriquées, l'inertie est moyenne si ce n'est faible. Ajouté à cela, le vitrage simple des fenêtres n'assure aucune protection vis-à-vis de la rudesse du climat en été et en hiver.

V.2.5.5 Recensement des défaillances techniques:

L'utilisation du bâtiment et le comportement des occupants ou propriétaires jouent, dans la gestion rationnelle de l'énergie, également un rôle important. Les points mis en évidence suite à l'enquête et au questionnement des locataires sont les suivants :

- ✚ La construction se caractérise par un inconfort en hiver et en été. Ceci est dû à des températures trop élevés ou trop basses.
- ✚ La facture énergétique devient lourde pour la plus part des ménages.
- ✚ Les systèmes de chauffage utilisés ne sont pas suffisants pour assurer le confort des usagers.
- ✚ Les systèmes de climatisation, quand ils existent, ne sont pas utilisés tout le temps à cause de leur consommation. Ces systèmes sont trop souvent mal dimensionnés et sont de grands consommateurs d'énergie.
- ✚ La production d'eau chaude sanitaire se fait pour la plus part des cas à partir d'un chauffe-eau à gaz.

Les occupants ont manifesté leur préoccupation quand à l'amélioration de leur confort et la réduction de leur facture énergétique.

V.2.5.6 Analyse des consommations énergétiques :

Les consommations énergétiques (Electricité & Gaz) de la cité 20 Août 1955 de l'année 2009 (cf. Fig. V.15), montrent une augmentation de la consommation électrique le 3^{ème} trimestre de l'année, de par l'utilisation des climatiseurs en saison estivale. Quant à la consommation du gaz, la hausse la plus importante s'opère au 1^{er} trimestre de l'année qui représente les mois les plus froids, et qui implique une utilisation maximale du chauffage d'appoint (cf. Tab. V.7). La consommation importante du gaz et de l'électricité dans cette cité revient donc essentiellement à l'utilisation intense du chauffage en hiver et de la climatisation en été. Les exigences énergétiques d'aujourd'hui se traduisent prioritairement par la recherche de solutions permettant une réduction de la consommation.

Tab. V. 13 : Données Sonelgaz année 2009 (cité 20 Aout 1955)

Trimestre (2009)	Electricité			Gaz		
	Nbr d'abonnés	Consom-KWh	Consom spécifique	Nbr d'abonnés	consom-Thermie	consom spécifique
1 ^{er}	1261	649588	515.14	1159	6895837	5949.82
2 ^{ème}	1265	654925	517.73	1160	5548269	4782.99
3 ^{ème}	1266	898349	709.60	1158	1053799	910.02
4 ^{ème}	1265	800223	632.59	1164	1575039	1353.13
Total	5057	3003085	593.85	4641	15072944	3247.78

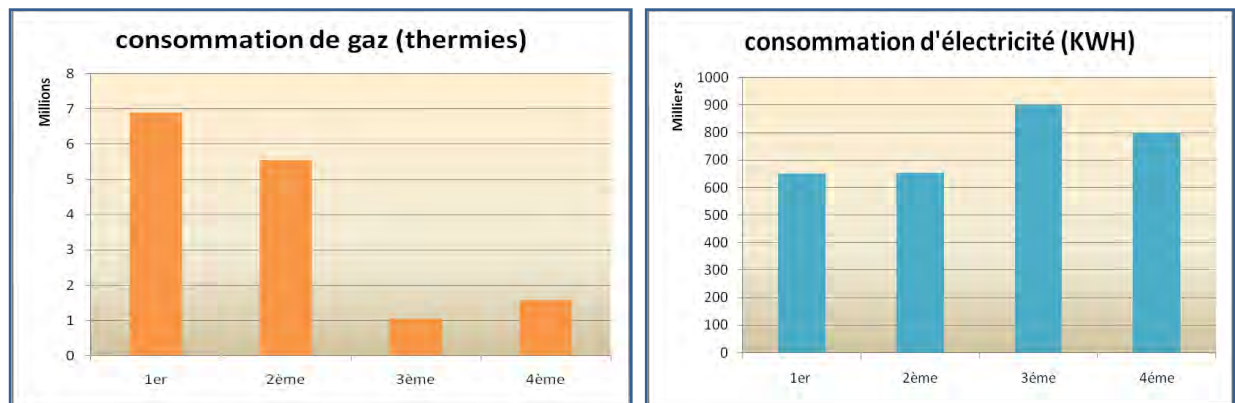


Fig. V. 32 : Consommation de gaz et d'électricité de la cité du 20 août 1955 en 2009.

V.3 Investigation :

L'enveloppe est le lieu privilégié des relations entre espaces intérieurs et extérieurs. L'orientation d'une façade est le paramètre clé des interactions, visuelle, thermique et acoustique d'un local adjacent.²¹⁷ Les températures de l'air intérieur augmentent et baissent en fonction des températures de la saison et des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment qui conditionnent les échanges thermiques entre l'extérieur et l'intérieur (épaisseur, couleur, type de matériau, inertie...). La température intérieure d'un bâtiment, et par suite son confort résulte de l'équilibre entre les pertes thermiques du bâtiment et ses gains de chaleur. Parallèlement la ventilation, durant la nuit en été, peut contribuer à dissiper l'excédent de chaleur accumulée la journée.

Cette recherche s'appuie donc sur une méthode de mesures de température et d'humidités relatives dans des cellules représentatives de l'habitat contemporain, situés à trois niveaux : Rez-de chaussée, étage intermédiaire et dernier étage.

²¹⁷ Lavigne L. « Architecture climatique : une contribution au développement durable, concepts et dispositifs » tome 2, 1994, page 16.

L'objectif fixé est de vérifier la qualité de l'isolation de l'enveloppe ainsi que ses performances thermiques, notamment si elle permet d'atténuer convenablement la pénétration de la chaleur sachant évidemment qu'elle est exposée à un climat caractérisé par des étés très chauds. Le but de cette recherche ne s'arrête pas là, mais il est prévu de définir des critères pouvant rendre cette enveloppe favorable et adaptée au confort thermique estival.

V.3.1 Périodes de l'investigation :

Les séquences de temps du suivi expérimental doivent représenter au mieux les conditions météorologiques du site étudié. Les mesures se sont déroulées sur deux périodes l'une printanière et l'autre estivale. Dans notre cas, pour limiter le temps d'expérimentation, le choix s'est porté sur une journée type au printemps. Trois périodes d'un jour chacune, ont été choisies au mois de mars et d'avril pour représenter la période de chauffe où la température moyenne extérieure a atteint 6,3°C, il faut rappeler que le mois de mars et d'avril entrent dans la zone de chauffage passif. (D'après le Diagramme de Zockolay voir Annexe A).

V.3.1.1 Période printanière :

Les habitants ont été sensibilisés par la nécessité de se passer du chauffage d'appoint pendant la période expérimentale. Néanmoins le doute persiste quant aux mesures relevées durant la période nocturne qui témoignent d'une température plus ou moins confortable durant cette saison. Les stations de mesures sont en nombre de quatre à l'intérieur des cellules, correspondant chacune au centre du séjour (station 1), des deux chambres (station 2 et 3) et du hall (station 4) à une hauteur de 1,20 m du sol. Une station de mesure de l'air extérieur est placée au bord de la véranda (orientée sud-ouest station 5) c'est-à-dire à 1.00 m du sol, de chaque appartement pour le relevé de la température et de l'humidité relative (cf. Fig. V.16).

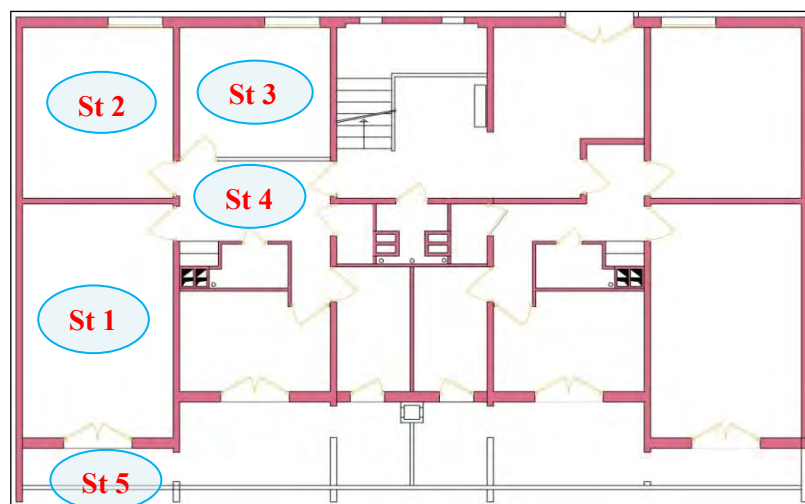


Fig. V. 33 : Emplacement des différentes stations de mesures.

Les relevés de températures et d'humidité de l'air se faisaient sous un ciel clair à passage nuageux pendant la période du 29/03/2010 au 04/04/2010 (cf. Tab. V.8).

Tab. V. 14 : Séquences de temps du suivi expérimental de la période froide.

Séquences de temps du suivi expérimental	Appartements étudiés
Du 31 au 02-04-2010	RDC
Du 29 au 31-03-2010	Etage intermédiaire
Du 02 au 04-04-2010	Dernier étage

V.3.1.2 Période estivale :

De même pour la période estivale, l'effet de l'occultation et du comportement de l'utilisateur peuvent être à l'origine de certains résultats observés. Le mois de Juillet qui est le mois le plus chaud de l'année, où la température extérieure a atteint 39,6°C, est retenu pour l'expérimentation de la saison estivale. La durée de trois jours étant fixée pour les relevés de températures et de l'humidité de l'air, sans recours par les usagers à un moyen de refroidissement autre que la ventilation naturelle. Cependant la ventilation naturelle par ouverture des fenêtres, n'empêche pas la montée de la température, notamment à cause des fortes charges internes.²¹⁸ Le tableau V.9 qui suit situe notre travail expérimental dans le temps.

²¹⁸ **Moujalled.B.** « *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés* » Thèse de doctorat, Lyon 2007, p158.

Tab. V. 15 : Séquences de temps du suivi expérimental de la période de refroidissement.

Séquences de temps du suivi expérimental	Logements étudiés
Du 17 au 20-07-2010	RDC
Du 09 au 12-07-2010	Etage intermédiaire
Du 13 au 16-07-2010	Dernier étage

V.3.2 Facteurs climatiques mesurés :

Il s'agit de mesurer dans cette expérimentation les facteurs climatiques ayant un impact sur le confort thermique et les comparer avec les résultats obtenus par la simulation du modèle dans le chapitre VI.

- La température de l'air en °C,
- L'humidité relative en %.

V.3.3 Description de l'appareil de mesure :

L'appareil de mesure consiste en une Station météo SMV sans fil (Wireless weather station with PC software model WMR928NX).

Cette station météo (cf. Fig. V.17), nous permet de contrôler les paramètres climatiques suivants:

- ✚ La Température de l'air,
- ✚ L' Humidité relative,
- ✚ La Pression atmosphérique,
- ✚ La vitesse et la direction du vent,
- ✚ Le niveau de précipitations.

Elle est équipée de :

- Horloge calendrier radio piloté avec alarme quotidienne,
- Prévision météo dans un rayon de 32 à 48 km,
- Alarmes météo,
- Mémoire de relevés maximum et minimum,
- Ecran tactile simple,
- Port de connexion RS232,
- Logiciel pour PC,
- Câble série RS232.

La station est fournie avec un appareil principal (WMR928NX), un anémomètre (WGR918N), un thermo-hygromètre (THGR918N), un pluviomètre (PCR918N), un baro-thermo-hygromètre (BTHR918N), des transmetteurs solaires (STR928N), des transmetteurs solaires (STR938N) et 03 sondes thermo-hygromètre.²¹⁹

La station a une portée de 100m sans interférences, pour la prise des températures, elle a une précision de + ou - 0,1°C, les températures de fonctionnement conseillées sont entre -50°C et +70°C, pour l'intérieur et l'extérieur. Pour la prise de l'humidité relative, elle a une précision de $\pm 1\%$ HR, le rayon de relevé (intérieur et extérieur) est de 2 à 98%.

Pour cette recherche, on a utilisé l'appareil principal « WMR928NX » pour la récolte des données, le Thermo-hygromètre (THGR918N) pour les mesures des températures et humidités à l'extérieur et le Baro thermo hygromètre (BTHR918N) pour les mesures des températures et humidités à l'intérieur des logements (cf. Fig. V.17). Les mesures horaires étant enregistrées par l'ordinateur jour et nuit durant toute la période de mesure, ce qui garantirait la fiabilité des résultats.

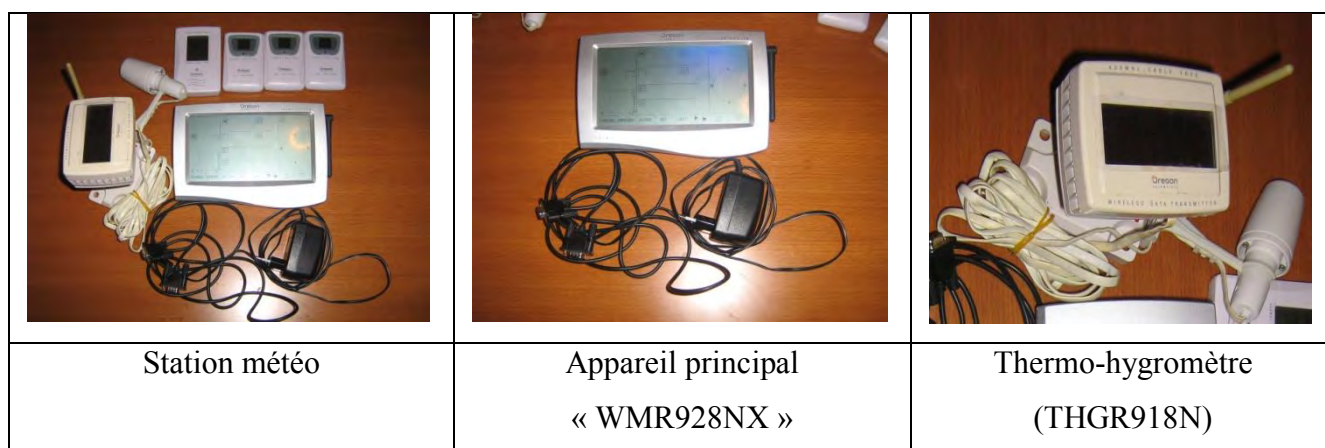


Fig. V. 34 : Photos de la station météo. (Source : Auteur 2010)

V.3.4 Scénario d'occupation et d'utilisation des espaces de l'appartement :

On entend par scénario d'occupation et d'utilisation d'un logement le nombre d'occupants et les horaires de leur présence. Les trois cellules d'expérimentation sont occupées de ménages de 4 à 6 membres. Avec une présence permanente des occupants estimée à 100% de 20h à 8h du

²¹⁹ **Djouima.A.** « Réalisation et vérification de la performance thermique d'une tour à vent pour un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides. Cas de Hassi Messaoud. » Thèse de magister, université de Constantine juin 2008.

matin, ce pourcentage de présence varie d'un ménage à un autre le reste de la journée et selon la saison.

V.4 Résultats et interprétation de l'investigation de printemps :

Les mesures servent à améliorer l'information nécessaire aux estimations du comportement des occupants. Les mesures d'humidité relative ainsi que les températures sont indispensables à l'évaluation de la qualité de l'air intérieur dans les logements.

Les mesures réalisées au mois de mars et avril ont montré un comportement thermique stable avec des températures d'air intérieures variant dans un intervalle de 17°C à 21°C. Par contre l'humidité relative a enregistré des valeurs oscillant dans un intervalle de 50 à 81%. Les occupants ont trouvé l'ambiance thermique acceptable en comparaison à la saison chaude mais ils préféreraient quand même qu'il fasse plus chaud à certaines heures de la journée (surtout la nuit). Certains ajustements comportementaux ont été signalés notamment tel que la vêtue.

V.4.1 Résultats de mesures du RDC :

La journée du 02/04/2010 est une journée avec un vent faible de vitesse moyenne 1m/s, une humidité relative moyenne de 77% et une température moyenne de 11.5°C. La température de cette journée expérimentale varie entre 5,6 à 7h et 16.4 °C de 13h à 14h.

La lecture du graphe (cf. Fig. V.18) fait ressortir que la fluctuation de la température interne n'est pas très grande, les profils des températures d'air à l'intérieur sont semblables pendant la période diurne. Ils se situent dans la zone de confort. Le petit écart provient essentiellement des apports internes, l'apport de chaleur dégagée sous forme latente ou sensible à l'intérieur par les occupants et les appareils ainsi que la fermeture des fenêtres qui favorise la diminution des déperditions à travers les ouvertures des différentes pièces.

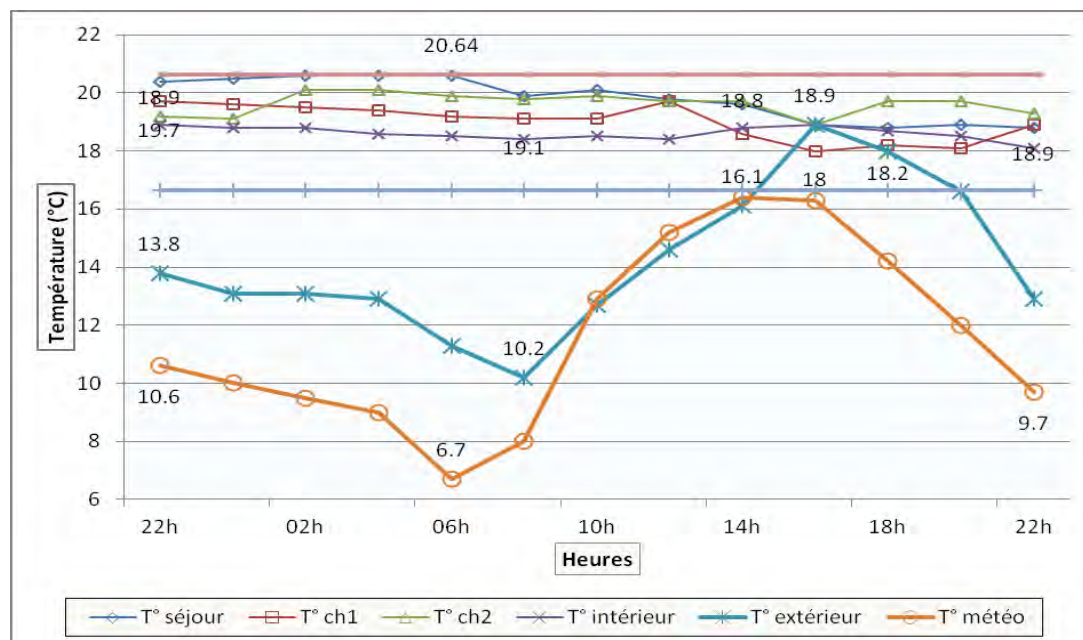


Fig. V. 35 : Evolution de la température au RDC le 02/04/2010.
(Source : Auteur 2010)

Avec une température intérieure minimum de 18°C atteinte dans la chambre 1 à 16h et un maximum de 20.6°C atteint dans le séjour en période nocturne, cette régulation thermique s'explique par les gains stockés dans la structure de la loggia vitrée, et qui participent à élever la température nocturne du séjour. Car, plus grande est la quantité stockée dans la loggia vitrée, plus faible sera la surchauffe et plus grande sera la disponibilité de cette énergie après la disparition du soleil.²²⁰

Quant aux humidités relatives, l'histogramme (cf. Fig. V.19) met l'accent sur les valeurs importantes de l'humidité relative à l'intérieur de l'appartement situé au RDC et qui peuvent atteindre 81%. Ces valeurs s'expliquent de par la situation de cet appartement sur un vide sanitaire non ventilé et de par la constitution de la dalle en béton, pas d'isolation thermique prévue ni de ventilation sauf deux petites bouches d'aération au niveau du vide sanitaire. Watson D. et Camous R.²²¹ soulignent l'importance de la ventilation et de l'isolation : « Dans le cas d'un vide sanitaire, on doit très souvent prévoir une ventilation suffisante pour évacuer l'humidité. Il faut alors isoler de manière continue sous la dalle du plancher ». Notons aussi que le bâtiment en vieillissant voit son enveloppe se détériorer avec le temps. Apparaissent ainsi des fuites de toiture, des percements de gouttières et des canalisations, des fissures dans les façades,

²²⁰ Bادهche M. « *Op. Cit.12* », page 170

²²¹ Watson D. & Camous R. « *Op.cit 18* » page 93.

la dégradation de l'isolant thermique, des dégâts dus aux remontées capillaires. Ces phénomènes augmentent alors la quantité de vapeur d'eau dans l'enveloppe mais également dans le bâtiment.

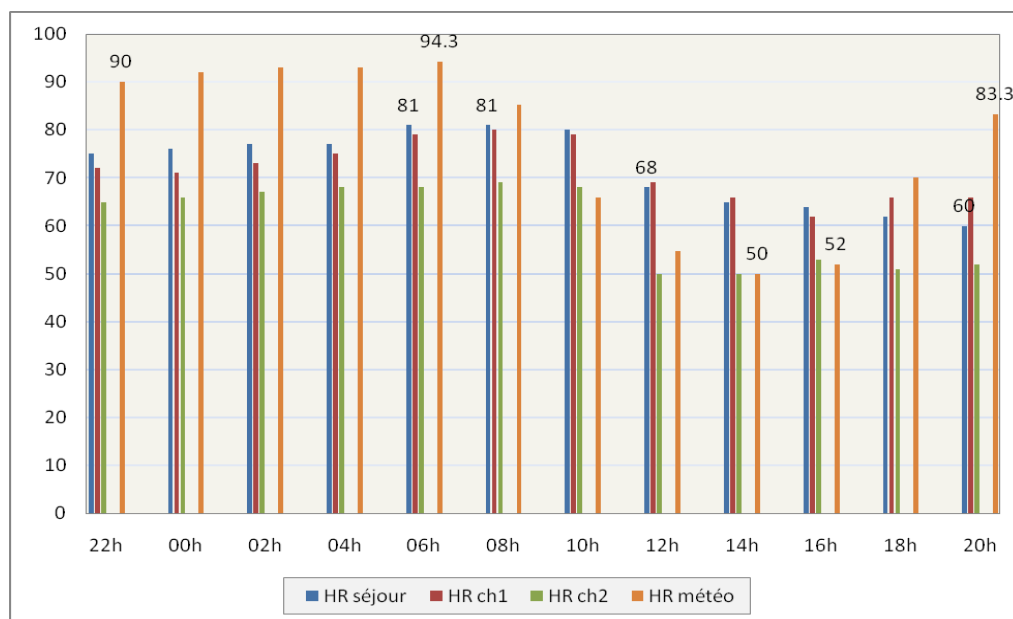


Fig. V. 36 : Variation de l'humidité relative le 02/04/2010 au RDC.
(Source : Auteur 2010)

Dans le cas du RDC, les usagers ont souligné qu'en plus de l'effet de la paroi froide en hiver, il y a aussi la sensation du sol froid au dessus du vide sanitaire qui d'après les occupants est très froid même quand il fait chaud, et qui contribue à augmenter leur sensation d'inconfort en saison froide.

V.4.2 Résultats de mesures de l'étage intermédiaire :

Cette séquence de suivi expérimental, du 29/03/2010 au 30/03/2010, comprend exceptionnellement une journée peu ensoleillée mais relativement chaude pour la saison avec une température comprise entre 8.8 et 20.9 °C et une température moyenne de 14.3°C, avec un vent faible de vitesse moyenne 3m/s et une humidité relative moyenne qui équivaut à 68%.

Durant cette journée, les profils des températures d'air, en absence du rayonnement solaire, restent à peu près semblables dans toutes les pièces. Le gradient thermique ne dépasse point 2.5°C. Le maintien des températures intérieures bien au-dessus de la température extérieure (cf. Fig. V. 20), situent les valeurs de T_i de toutes les pièces dans la zone de confort. On peut expliquer cette hausse de par la chaleur inhabituelle de cette journée en cette période printanière, de même le transfert de chaleur du plancher et du plafond. Car d'après M. Gorgolowsky²²², les

²²² Bache M. « *Op. Cit. 12* » page 174.

dalles de planchers et de plafond des immeubles multi étagés constituent en général, les régions principales d'inertie thermique. Les échanges se font principalement à travers ces parois horizontales, puisqu'il y'a une ascendance de l'air chaud en direction du plafond, et par suite une conduction de la température se fait à travers la paroi en béton non isolé en direction de l'étage suivant.

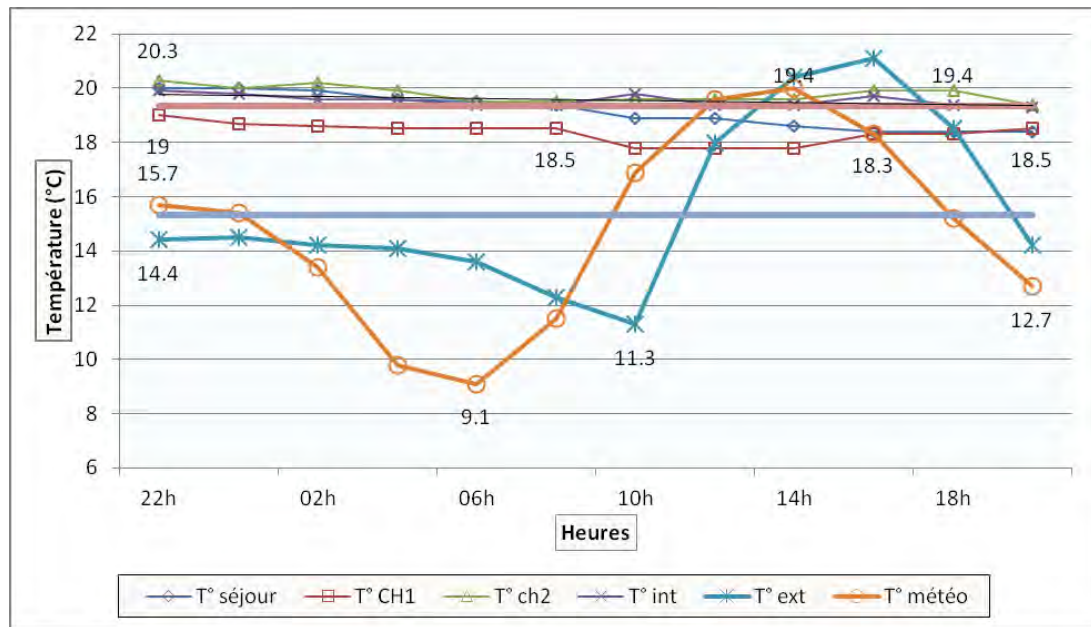


Fig. V. 37 : Evolution de la température le 30/03/2010 à l'étage intermédiaire.
(Source : Auteur 2010)

Les valeurs des humidités relatives (cf. Fig. V.21) sont toutes aussi importantes qu'au niveau du RDC malgré les températures assez élevées pour la saison ; elles dépassent les valeurs extérieures dans la majorité de la journée. Ceci peut s'expliquer par le manque de ventilation et d'aération, par les activités diverses des occupants, par une mauvaise isolation car selon Givoni²²³, l'isolation par l'extérieur inexistante, les problèmes de condensation sont les plus aigus dans les constructions préfabriquées que dans les constructions ordinaires, aussi par il ya risque de pénétration d'eau par les joints entre les éléments préfabriqués et un risque de condensation sur les ponts thermiques.

²²³ Givoni B. « *Op. Cit. 1* », page 191.

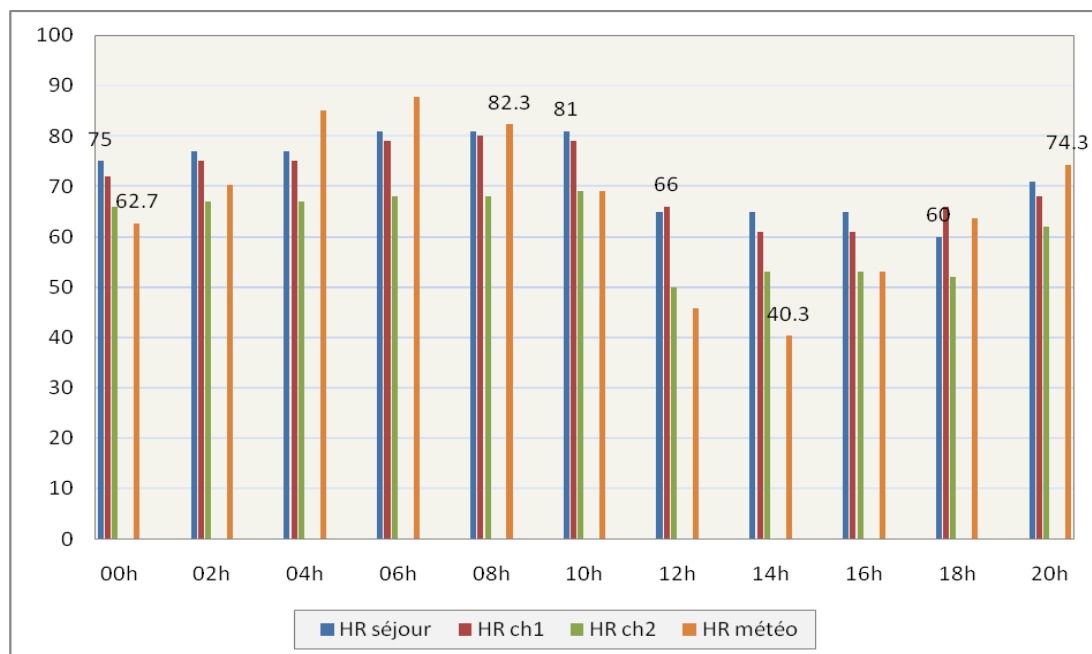


Fig. V. 38 : Variation de l'humidité relative le 30/03/2010 à l'étage intermédiaire.
(Source : Auteur 2010)

V.4.3 Résultats de mesures du dernier étage :

La journée du 1^{er} avril a une température moyenne de 11.5°C, une humidité relative moyenne de 81%, une vitesse moyenne de vent assez faible de 2m/s. L'oscillation des courbes de températures (cf. Fig. V.22) permet d'analyser les variations des températures d'air dans les différentes pièces de l'appartement situées dans l'intervalle 17.9 – 19.9°C et leurs éventuels impacts sur le confort des usagers. Les valeurs enregistrées situent l'appartement dans la plage de confort, cela est dû au flux solaire reçu par le toit en cette saison, emmagasiné puis restitué la nuit aux espaces intérieurs. Ce qui induit une régulation thermique acceptable.

Le hall, espace central non aéré, présente avec le séjour les valeurs les plus importantes de température (cf. Fig. V.22). La véranda favorisant la régulation des apports solaires dans l'enceinte de l'espace séjour, réduisant ainsi le besoin de chauffage et augmentant la période de confort, pendant la soirée.



Fig. V. 39 : Evolution de la température intérieure et extérieure le 1^{er} avril 2010 au dernier étage.
(Source : Auteur 2010)

Quant aux humidités relatives internes, elles sont basses par rapport à celles enregistrées par la station météo mais elles s’alignent avec celles de l’extérieur. Les valeurs oscillent entre 52 et 75%, des valeurs moins importantes que celles enregistrées au niveau du RDC et de l’étage intermédiaire (cf. Fig. V.23). On peut expliquer cette baisse de par l’exposition directe de la toiture, sujette aux manifestations de gains et déperditions, et l’absorption du flux de chaleur convectif par la dalle.

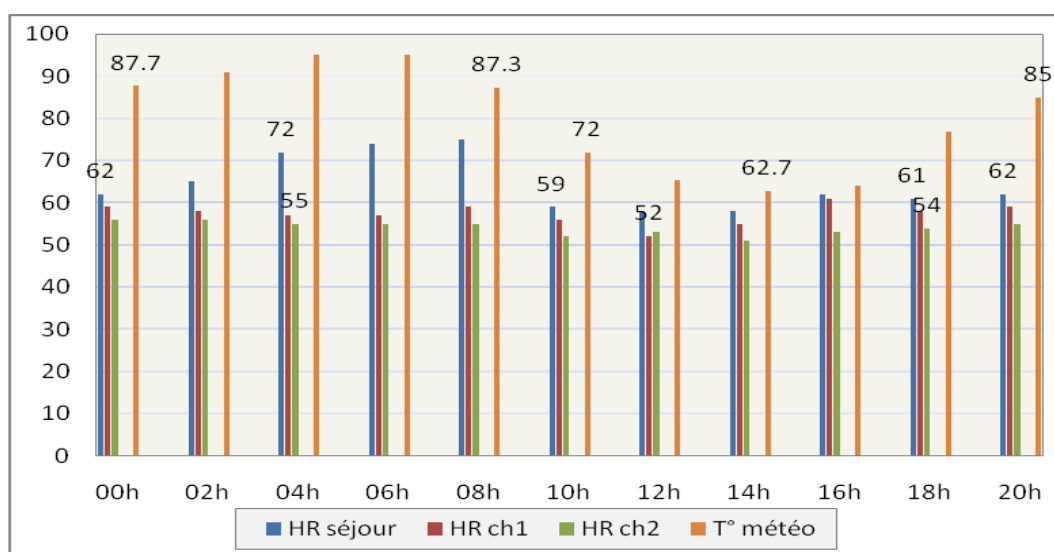


Fig. V. 40 : Variation de l’humidité relative au dernier étage le 1^{er}/04/2010.
(Source : Auteur 2010)

V.4.4 Conclusion de l'investigation printanière:

Les températures intérieures au printemps dépassent toutes 17°C garantissant ainsi le confort. Les journées d'investigation ont présenté des températures assez élevées, d'autre part les gains internes gratuits participent à l'élévation de ces températures.

L'orientation des séjours sud-ouest favorise cette régulation thermique, comme souligné dans le mémento technique du bâtiment²²⁴ : « les orientations sud, sud-est et sud-ouest sont favorables aux apports, donc à rechercher tout en limitant le rayonnement d'été par les dispositifs adaptés. » En période printanière, le confort thermique est assuré pendant le jour. Durant la période nocturne, une complémentarité du chauffage peut réguler la température au niveau de toutes les pièces notamment.

V.5 Résultats et interprétation de l'investigation d'été :

En été, les niveaux de température intérieure atteints dans un bâtiment non climatisé dépendent principalement de la température extérieure, des apports internes de chaleur, des apports de chaleur dus au soleil, de la ventilation et de l'inertie du bâtiment.²²⁵

En général, les températures de l'air intérieur augmentent progressivement dès le début de la journée, les gains de chaleur durant la période diurne sont plus importants que les pertes la nuit malgré la baisse des températures extérieures. Izard²²⁶ souligne que les flux thermiques, en été, sont variables, il distingue deux types de flux : les flux externes, dus à l'amplitude de la température extérieure et à l'absorption des flux solaires pour les parois extérieures opaques, les flux internes dus à la pénétration solaire par les baies et aux fluctuations du régime des apports internes.

En sachant que la ventilation peut apporter de la chaleur à certains moments de la journée quand $T_e > T_i$, tout en augmentant la température de confort, par augmentation de la zone de confort par vitesse d'air, sa pertinence pendant les périodes chaudes doit être particulièrement étudiée, d'autant plus qu'une ventilation importante quand $T_i > T_e$ est très favorable à une baisse de la température moyenne,²²⁷ l'ouverture des fenêtres et des portes des chambres dans les trois logements étudiés, pour assurer une ventilation transversale, s'effectue à partir de 19h et la

²²⁴ **Mémento technique du bâtiment** « *Le confort thermique* » Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer. CETE Lyon, Juillet 2003

²²⁵ **ADEME & AICVF** « *Enseignement : programmer, concevoir, gérer les bâtiments à hautes performances énergétiques* ». Pyc Edition, Paris 1993.

²²⁶ **Izard J.L.** : « *Architectures d'été/Construire pour le confort d'été* » Editions : Edisud, 1993. p 68.

²²⁷ **Lavigne P.** « *Op.cit.22* » page 89.

fermeture le matin à partir de 07h pour les trois appartements quand ils n'activent pas la climatisation.

V.5.1 Confort en période estivale :

Une ambiance est dite confortable que par rapport à un individu caractérisé par son activité et sa vêtue. De façon générale, Givoni²²⁸ situe la zone de confort d'un espace intérieur entre 18°C et 25°C en hiver et entre 20°C et 27°C en été. Mais d'après Humphreys et Nicol,²²⁹ l'adaptation thermique repose sur le fait que si un changement de conditions climatiques survient de manière à créer un inconfort, l'individu réagit afin de retrouver son degré de confort. Dans le même contexte, Izard.J.L²³⁰ dira que par rapport à des différences individuelles, il est impossible de spécifier un environnement thermique absolu qui pourra satisfaire chaque individu, cependant, des limites de confort sous formes de diagrammes et d'indice thermique ont été développées dans des ambiances contrôlables.

Du point de vue topographique, le bâtiment étudié se trouve sur un site ouvert, il est exposé dans sa globalité aux rayons du soleil, dû au manque de masques naturels, végétation insuffisante et protection solaire inadaptée.

V.5.2 Déroulement des mesures d'été :

Pour déterminer la performance de l'enveloppe, une comparaison a été effectuée entre la variation de la température et l'humidité relative intérieure et extérieure pour chaque appartement ainsi que son impact sur le degré de confort intérieur. Aussi afin d'évaluer le degré de satisfaction des besoins du confort des habitants, une lecture comparative est effectuée entre les limites de confort (d'après l'analyse bioclimatique cf. Annexe A) et les températures intérieures de chaque appartement. Les mesures se sont effectuées sous un ciel clair avec une vitesse de vent qui équivaut en moyenne à 2m/s.

V.5.3 Résultats de mesures pour le RDC :

La durée de mesures dans le cas du RDC a duré trois jours et demi : du 17 juillet à 10h au 20 juillet à 08h. Cette période s'est caractérisée par un début de chaleur caniculaire et s'est

²²⁸ Givoni, B. « *Climate considerations in building and urban design.* » Ed. John Wiley and sons. Etats Unis. 1998. page 37.

²²⁹ Nicol, J.F. & Humphreys, M.A. (1998) In Lavergne M. « Opportunités solaires passives : optimisation du confort et de la consommation énergétique d'un espace séjour avec serre accolée », Université Laval, 2009

²³⁰ Izard.J.L «*Op. Cit.30* ».

terminée par deux journées plus ou moins clémentes : le 18 et 19 juillet. Les maximales ont été respectivement évaluées à plus de 38.5°C le premier jour, 33.2°C le deuxième jour et 33°C le troisième jour. Quant aux minimales, elles ont les valeurs suivantes : 22.6°C le 17 juillet, 22.1°C le 18 juillet pour atteindre 18.5°C le 19 juillet et 18°C le 20 juillet.

V.5.3.1 Comparaison de la température extérieure et intérieure au RDC :

La température et le rayonnement au mois de juillet présentent des maximums situés à la mi-journée. Ils constituent des causes potentielles de très fortes surchauffes à l'intérieur du logement dans la deuxième partie de la journée au niveau de tous les espaces notamment. Surtout que l'absence totale de masques environnementaux a favorisé l'absorption de ces apports. Ajouté à cela, les apports internes des appareils électriques et des occupants, qui ont influé négativement sur l'accroissement de la température intérieure.

Bien que le niveau de la température extérieure ait été plus bas que ceux des autres expérimentations à l'étage intermédiaire et le dernier étage, la température intérieure a augmenté de manière significative le premier jour, approchant les 33°C (cf. Fig. V.24). Quand la météo enregistre le 20 juillet, la température minimale de 18°C à 04h, à l'intérieur la température mesurée affiche 25,2°C, ce qui correspond à une différence de 7,2°C.

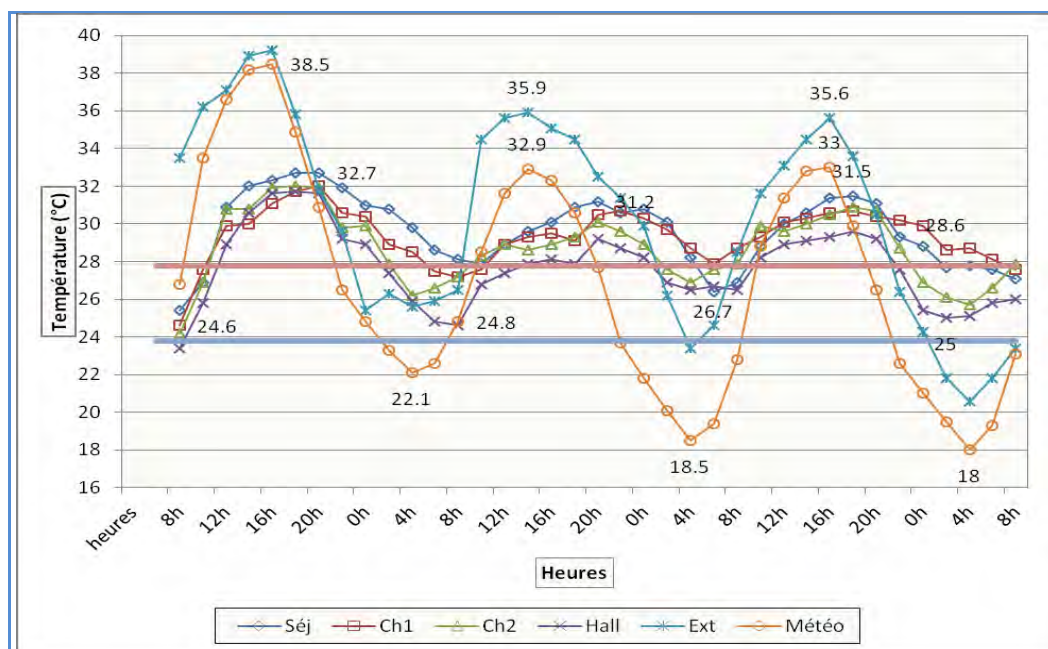


Fig. V. 41 : Variation horaire de la température extérieure et intérieure au RDC du 18 au 20/07/2010. (Source : Auteur 2010)

En se basant sur les résultats et la lecture des graphes des températures (cf. Fig. V.24), on remarque un écart assez considérable entre le maximum et le minimum pour l'extérieur, d'une valeur de 10.3°C et 12.2°C, les valeurs de la météo sont les suivantes : 11.1°C et 14.5°C, tandis qu'à l'intérieur ces écarts varient entre 6.7°C et 9.3°C. L'amplitude de températures dans les différents espaces de l'appartement, est la conséquence de son exposition au soleil, ainsi que l'effet du climat semi aride de la ville de Constantine caractérisé par les deux rayonnements solaire et terrestre intenses.

V.5.3.2 Ambiance thermique dans le logement du RDC :

L'emplacement de la construction joue un rôle important dans le bilan énergétique de celle-ci. A noter aussi que le comportement thermique du bâtiment dépend directement des variations de la température extérieure et de l'ensoleillement,²³¹ et que la température de l'air est le facteur le plus influent sur le confort humain.²³² Une température de l'air allant de 23°C à 27°C reste acceptable d'après les limites calculées selon la méthode de humphreys (cf. Annexe A). Les températures du logement situé au rez-de-chaussée, sur un vide sanitaire sont en dehors de la zone de confort dans la majorité de la journée et dans tous les espaces, sauf en période nocturne où elles baissent (cf. Fig. V.24). Ceci est du principalement à la ventilation nocturne négligeable mais efficace tout de même, rejoignant l'avis de plusieurs chercheurs sur l'effet de la ventilation nocturne comme Santamouris et Asimakopoulos (1996) et Goulart (2004).

Avec le lever du soleil, le rayonnement solaire frappe la façade principale orientée N-E avec une intensité de 650w/m²²³³, cette façade étant exposée au rayonnement solaire direct matinal de 6 heures à 10 heures, il se produit dès lors un gain de chaleur par absorption à travers la paroi opaque, caractérisée par une couleur claire « beige », d'un coefficient d'absorption moyen atténuant partiellement le phénomène d'absorption, cependant par manque de protection efficace (façade plane, absence de brise-soleil....) ce gain de chaleur participe à l'augmentation des températures à l'intérieur du logement.

Cette variation diurne du rayonnement solaire affecte surtout le séjour, orienté sud-ouest, où on remarque une élévation de la température supérieure à celle des autres zones (cf. Fig.

²³¹ Weber W. « *Soleil et architecture : guide pratique pour le projet - Programme d'action PACER – Energies renouvelables* » Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne 1991.

²³² Ministère de L'habitat « *Recommandations architecturales* » Ed. ENAG, Alger 1993.

²³³ Capderou.M « *Op.cit 4* » page 63.

V.24). Ceci est dû aux apports solaires à travers le vitrage de la loggia, estimé approximativement à 60% de la surface du mur, et à l'effet du rayonnement solaire direct, sachant qu'au mois de juillet : l'irradiation solaire globale pour une paroi exposée Sud-ouest est de 3649 Wh/m². Elle atteint une valeur maximale égale à 535 Wh/m² entre 14 et 15h, puis elle décroît pour atteindre une valeur minimale entre 6h et 7h égale à 49 Wh/m²²³⁴.

Les usagers ont tendance à ouvrir les fenêtres de temps à autre pour non pas rafraîchir l'espace mais pour améliorer la sensation thermique comme l'a souligné Lavoye et al.²³⁵ : « Dans la journée la création de courants d'air ou le brassage de l'air ambiant (ventilateurs) ne permettent pas de rafraîchir le bâtiment (si Text > Tint) mais améliore la sensation thermique des occupants en augmentant les transferts par convection et évaporation ». A certaines heures de la journée, les usagers affirment que l'ambiance thermique est intolérable en été sans l'utilisation des climatiseurs.

V.5.3.3 Variation des humidités relatives intérieures et extérieures :

L'humidité joue un rôle important dans la perception du confort thermique ; elle détermine la capacité d'évaporation de l'air et par conséquent l'efficacité du refroidissement évaporatif, avec la température elle donne déjà une idée du confort de l'ambiance interne. Et lorsque la température est au-delà des limites du confort, l'humidité provoque une sensation supplémentaire d'inconfort. Dans les logements, il est admis des variations de l'humidité relative entre **19 à 65 %**.²³⁶ Millet et Nicolas²³⁷ reconnaissent que l'humidité de l'air intérieur est fonction de l'humidité extérieure, du taux de renouvellement d'air et de la production de vie par le métabolisme humain ou des activités domestiques.

En rassemblant toutes les courbes de l'humidité relative mesurée et enregistrée par la météo, on observe, quant aux HR extérieure et celle de la météo, deux phases distinctes alternées par des hausses dépassant les 75% et des baisses allant jusqu'à 22% pendant la durée du suivi expérimental. Par contre la courbe des humidités relatives intérieures préserve le même chemin, elle débute sa montée le soir à partir de 18h jusqu'au lever du soleil et elle enregistre de légères

²³⁴ Capderou.M « *Op.cit 4* » page 63.

²³⁵ Lavoye F.& Thellier F. e& Spagnol S. « Développement de nouvelles méthodes de modélisation et de conception pour des Bâtiments à Énergie Positive en climat chaud. », rapport d'étude, Laboratoire PHASE, Université de Toulouse, 2008.

²³⁶ Ministère de l'habitat « *Op. Cit 36* » page18.

²³⁷ Millet J.R & Nicolas C. « Les paramètres objectifs du confort » Bâtiment et énergie N° 60 Jan/Fév, 1990.

baisses au cours de la journée, tout en gardant des valeurs acceptables pour le confort hygrométrique (cf. Fig. V.25).

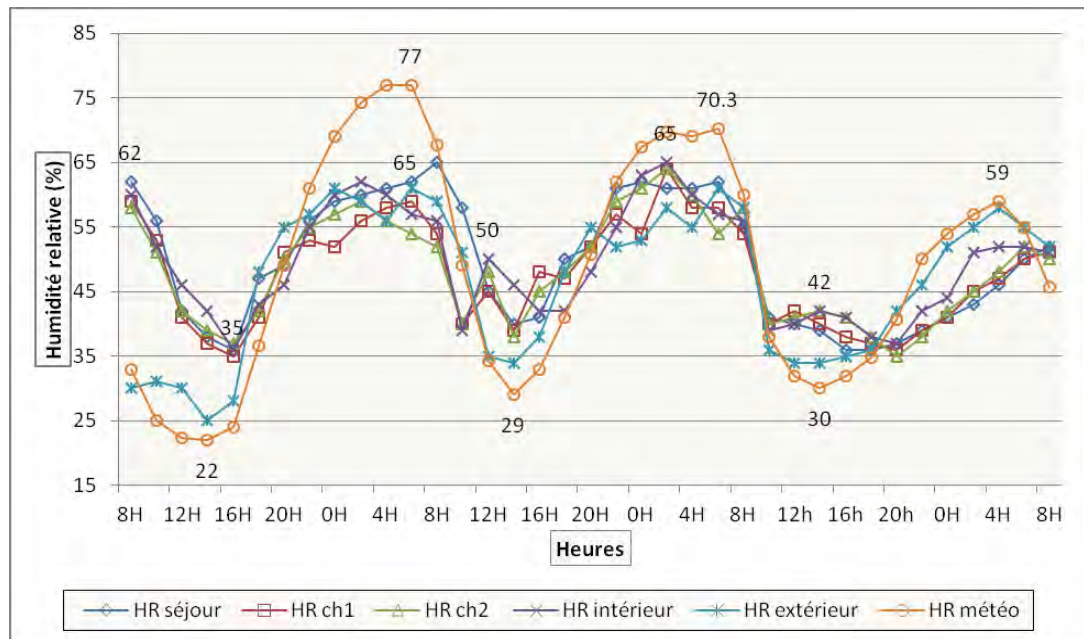


Fig. V. 42 : Variation de l'humidité relative au RDC du 18 au 20 juillet 2010.

(Source : Auteur 2010)

V.5.3.4 Evaluation du confort au RDC pendant une journée :

Les températures intérieures dépassent celles de l'extérieur en période nocturne de 20h jusqu'à 07h du matin dans la journée du 17 juillet 2010 (cf. Fig. V.26). L'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur défini par la différence de température moyenne horaire mesurée à l'intérieur dans les différents espaces et celles enregistrées à la station météo ($T_i - T_e$) nous permet d'apprécier le confort thermique, qui d'après Bennadji 1999 est de plus en plus apprécié lorsque cette différence s'éloigne du zéro en valeurs négatives²³⁸. Il est perçu entre 8h et 18h et malgré la baisse de température le soir, le confort se trouve corrompu (cf. Fig. V.27). Cette grande variabilité a mis en relief le problème des surchauffes qui ont dépassées, dans certains cas les niveaux souhaitables pour le bien-être des personnes.

²³⁸ **Benadji A.** (1999) In **Abdou, S.** «Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi-arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la Médina de Constantine », Thèse de doctorat d'état Université de Constantine, 2004. p. 150.

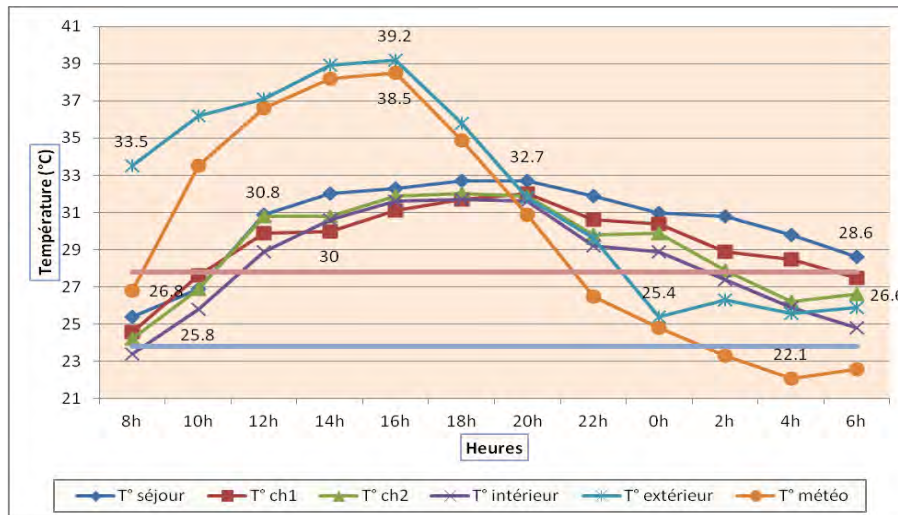


Fig. V. 43 : Evolution de la température au RDC le 17/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

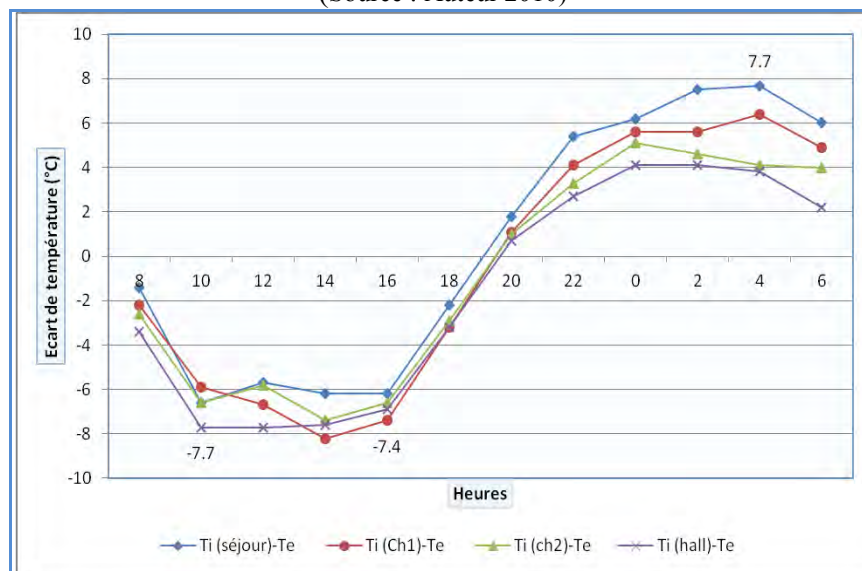


Fig. V. 44 : Ecart horaire entre les températures intérieures et extérieures au RDC le 17/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

Les taux de l'humidité relative à l'intérieur du logement évoluent dans le sens inverse de ceux des HR de l'air extérieur (cf. Fig. V.28). Les taux intérieurs restent en moyenne supérieurs à ceux de l'extérieur de 10h à 18h, ceci est du aussi à l'occupation de l'espace et aux activités diverses exercées par les occupants ainsi qu'au manque de ventilation lors de la fermeture des fenêtres.

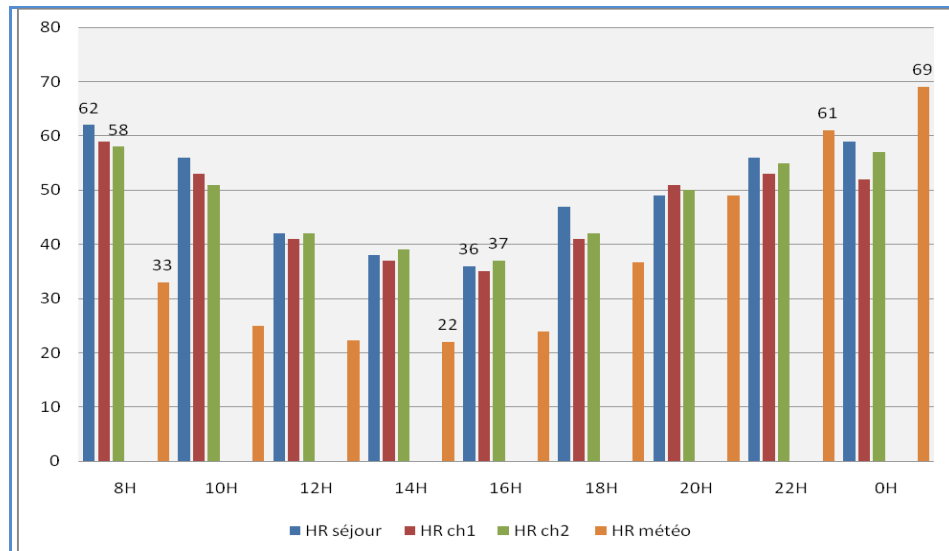


Fig. V. 45 : Variation de l'humidité relative au RDC le 17/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

V.5.4 Résultats des mesures de l'étage intermédiaire :

Les mesures de température et de l'humidité relative à l'étage intermédiaire ont débuté le 09 juillet 2010 à 21 heures pour se terminer le 12 juillet à 08 heures. Ces journées se sont caractérisées par une chaleur saisonnière coutumière qualifiée de caniculaire, qui a oscillé entre 16.4°C et 37.4°C.

V.5.4.1 Comparaison de la température extérieure et intérieure:

La température de la météo correspondante à la même période a fluctué entre 19.9°C et 36.1°C le premier jour et 20.1°C et 37.4°C le deuxième jour, tandis que les températures journalières moyennes enregistrées par la météo sont respectivement de l'ordre de 27.6°C et 28.2°C. L'écart de température extérieure est de l'ordre de 16,2°C et 17 ,3°C. Ceci explique les grandes valeurs des températures intérieures (cf. Fig. V.29).

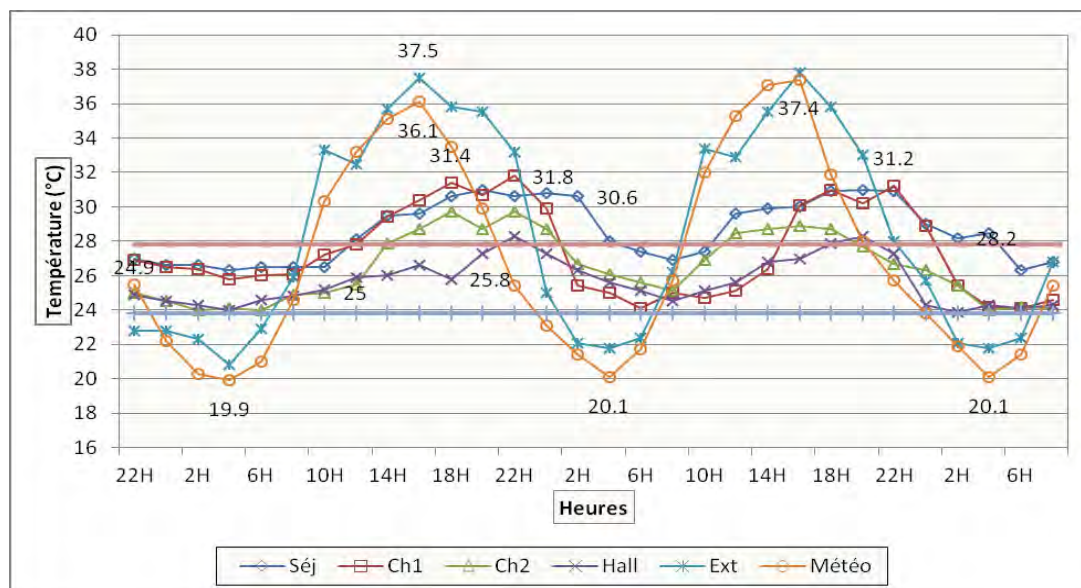


Fig. V. 46 : Exemple de courbes de température le 10,11 et12 juillet à l'étage intermédiaire.
(Source : Auteur 2010)

On constate par ailleurs que la température moyenne intérieure du séjour orienté Sud-ouest est plus haute que la moyenne des températures externes. Tout cela est dû à l'exposition de la façade aux rayonnements solaires très intenses, et qui pénètrent profondément à l'intérieur de la loggia d'un angle d'incidence très faible de $10^{\circ 239}$, puis qui sont retransmis au séjour dans la soirée.

V.5.4.2 Ambiance thermique dans le logement de l'étage intermédiaire :

A travers les résultats des mesures, toutes les zones de l'appartement souffrent autant de surchauffes d'été présentant des températures considérables. Mais en autorisant un fort taux de ventilation naturelle quand la température extérieure est plus basse que la température intérieure, principalement la nuit, il est possible de refroidir les masses thermique stockantes intérieures,²⁴⁰ c'est ce qu'on a constaté notamment dans toutes les zones (cf. Fig. V.29), où l'abaissement des températures commence dès l'ouverture des fenêtres à partir de 18 heures. L'objectif, pour les usagers étant de réduire au maximum les consommations liées au rafraîchissement de leur appartement par activation du climatiseur, il devient décisif de créer un courant d'air par l'ouverture des fenêtres dans le but d'atteindre des conditions intérieures satisfaisantes.

²³⁹ Louafi S. « *Op. Cit 10* ».

²⁴⁰ Tareb « *chauffage et climatisation* » [En ligne] www.ecb_ch3_fr.pdf

Le profil de la température du séjour présente une fluctuation avec oscillation entre 26 et 32°C. Il présente une amplitude de 6°C entre les valeurs limites. Cet espace se caractérise par un inconfort continu d'un taux de 60% à 75% débutant dans l'après midi (cf. Fig. V.30). La surface vitrée de la loggia, source d'apport énergétique solaire, favorise l'absorption du rayonnement et du flux de chaleur direct et intense de par son orientation sud-ouest. Il faut prévoir une surface d'ouvrants au moins égale au 1/3 de la surface de la véranda,²⁴¹ pour évacuer la chaleur accumulée et gains relatifs dans la véranda le soir venu. Ce qui rejoint l'idée d'Izard J.L, (1993) que les surfaces vitrées ont une influence sur l'énergie solaire incidente.

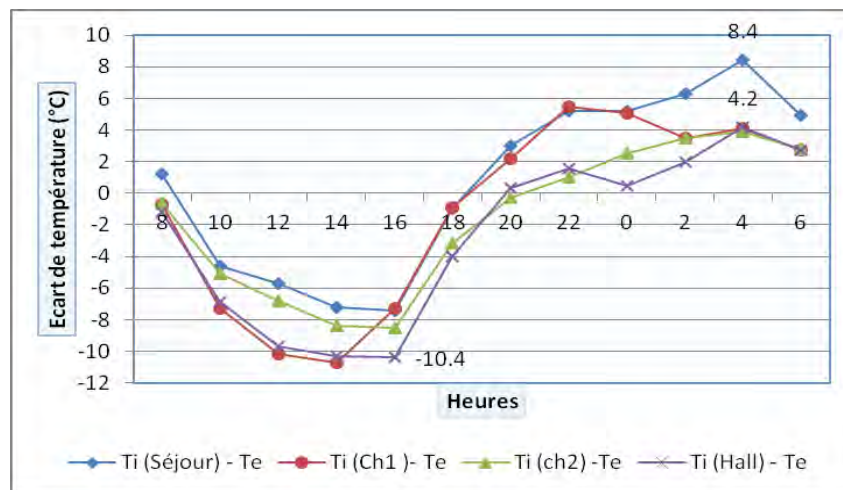


Fig. V. 47 : Ecart de température dans l'appartement le 11/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

V.5.4.3 Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure :

En observant les courbes représentatives des humidités relatives des différentes pièces de l'appartement, de l'extérieur et de la météo, on constate que les humidités diurnes des espaces intérieurs sont plus élevées que celles de la météo et de l'environnement extérieur sur un bon nombre d'heures (cf. Fig. V.31), ce qui nous amène à confirmer la sensation permanente d'inconfort et montre que l'enveloppe ne joue pas un rôle modérateur. Les humidités relatives augmentent au fur et à mesure que la température baisse.

²⁴¹ Bادهche M. « *Op. Cit 12* » page 205.

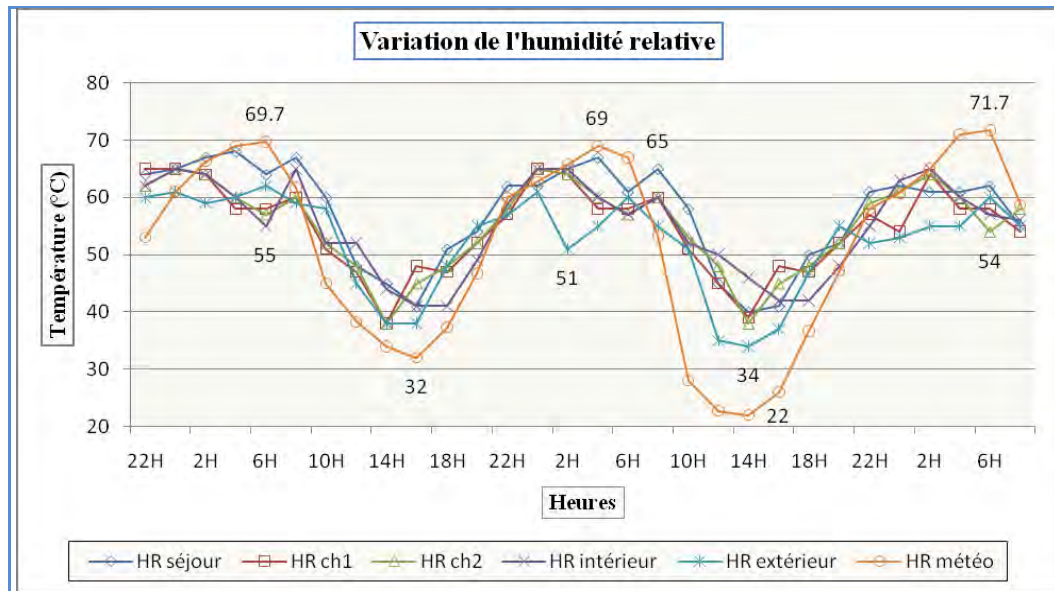


Fig. V. 48 : Comparaison de l'humidité relative intérieure et extérieure à l'étage intermédiaire. (Source : Auteur 2010)

V.5.4.4 Evaluation du confort à l'étage intermédiaire :

Durant cette journée du 11/07/2010, l'investigation a démontré également le problème des surchauffes localisées au niveau du séjour (cf. Fig. V.32) et des chambres pendant la période diurne. La nuit, un rafraichissement s'opère suite à la ventilation nocturne qui permet aux températures de se situer dans la plage de confort.

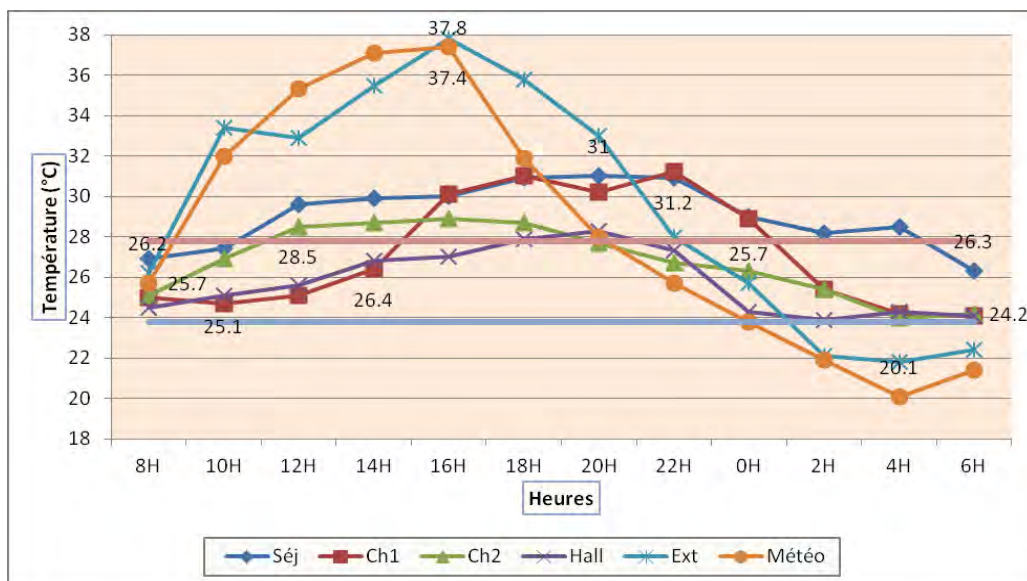


Fig. V. 49 : Evolution de la température à l'étage intermédiaire le 11/07/2010. (Source : Auteur 2010)

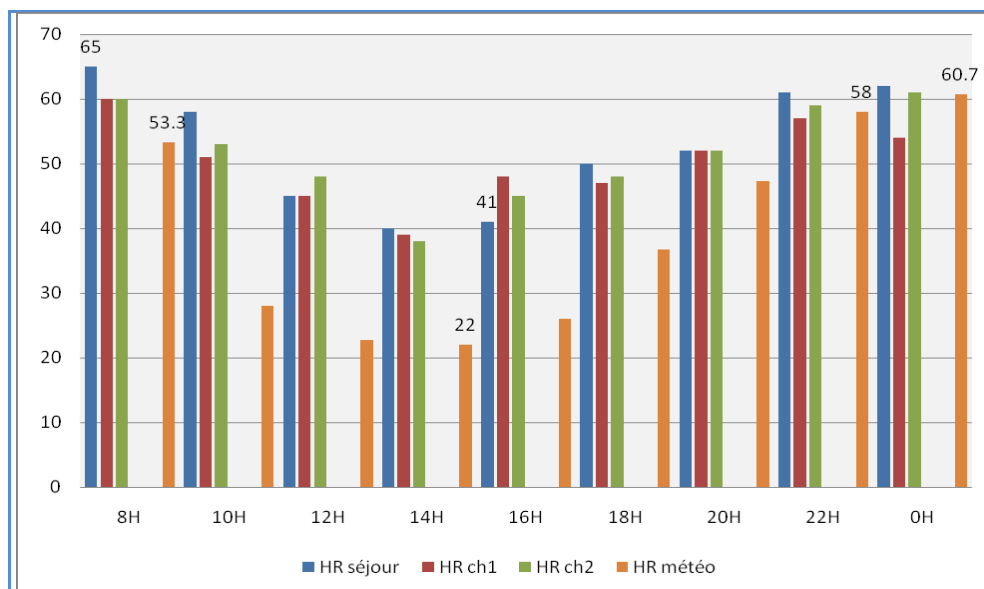


Fig. V. 50 : Variation de l'humidité relative le 11/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

En plus des températures intérieures qui oscillent entre 23,9°C et 31,2°C sont associées des humidités relatives élevées oscillant dans l'intervalle 38% - 67%. Mais entre 30% et 70% l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort thermique.²⁴²

V.5.5 Résultats des mesures au dernier étage :

L'investigation a eu lieu du 13 juillet à 21h au 16 juillet à 20h. La période durant laquelle s'est déroulée l'investigation s'est caractérisée par une vague de chaleur et de canicule, marquant des pics de plus de 39°C. L'augmentation de la température de l'air extérieur provoque un flux de surface sur les surfaces externes de l'enveloppe du bâtiment et élève leur température.²⁴³ De ce fait le logement aura accumulé la chaleur durant les journées expérimentales par les parois verticales et la paroi horizontale, le confort thermique intérieur est alors compromis.

V.5.5.1 Comparaison des températures intérieures et extérieures :

Les profils des températures de l'air intérieur dans l'appartement sont influencés en grande partie par les températures de l'air extérieur qui agissent sur le flux de chaleur à travers la dalle. Les apports thermiques de la toiture peuvent représenter jusqu'aux $\frac{2}{3}$ des transferts de chaleur par les parois vers l'intérieur de l'habitat.²⁴⁴ Pour l'appartement du dernier étage, la figure V.34 montre que les profils des températures de l'air intérieur du 14 au 17 juillet dans les différentes

²⁴² Liébard A. & De Herde H. « *Op.cit. II* » page 174.

²⁴³ Givoni B. « *Op.cit. I* », page 140.

²⁴⁴ Liébard A. & De Herde H. « *Op.cit. II* » page 172.

pièces sont influencées en grande partie par les températures de l'air extérieur qui agissent sur les températures surfaciques externes et donc sur le flux de chaleur à travers la dalle. Les profils des températures d'air à l'intérieur de cet appartement sont semblables pendant la période diurne.

Il s'avère que les températures de l'air intérieur s'élèvent rapidement pour des températures externes élevées et baissent lentement avec la chute des températures externes, elles gardent pratiquement la même allure avec une amplitude de 2.8°C à 3.3°C. Par manque de ventilation nocturne et par accumulation de la chaleur dans la dalle recouvrant l'appartement et son transfert vers l'intérieur, la chaleur ne peut se dissiper rapidement. Quant aux températures extérieures, l'amplitude thermique journalière a une valeur de 14.8°C et 17.5°C.

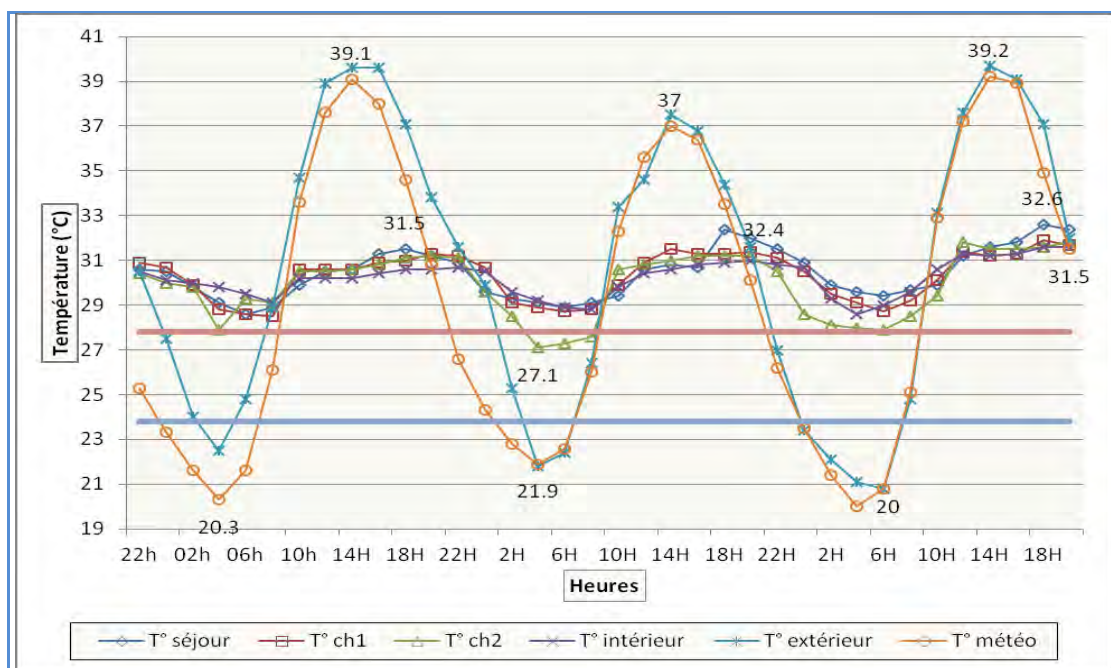


Fig. V. 51 : exemple de courbes de température dans l'appartement situé au dernier du 14 au 17/07/2010. (Source : Auteur 2010)

Les températures de l'air extérieur dépassent celles intérieures lorsque le rayonnement sur une surface horizontale est intense soit entre 10h et 18h, respectivement pour une intensité de 894Wh/m² entre 11h et 13h jusqu'à ce qu'elle baisse à 225Wh/m² entre 17h et 18h²⁴⁵.

²⁴⁵ Capderou, M. « *Op.cit.4* » page 61.

A l'intérieur d'un bâtiment présentant une faible inertie thermique, les occupants ressentent fortement les effets d'une rapide variation de température extérieure : la température intérieure suit ces variations avec une faible atténuation,²⁴⁶ ce qui est le cas de ce bâtiment.

V.5.5.2 Ambiance thermique dans le logement du dernier étage :

Durant les mois d'été, les bâtiments sont soumis aux heures chaudes à des températures externes relativement importantes dues aux radiations solaires. Ces hausses de température extérieure peuvent mener à des hausses de température intérieure désagréables pour les occupants du bâtiment comme pour le cas du dernier niveau. Les enregistrements de température à l'intérieur de l'appartement sont élevés. De plus les variations de température ont montré une faible amplitude qui n'a pas dépassé 4°C. D'après les résultats de recherche de Abdou (2004), lorsque les amplitudes des températures extérieures sont grandes, celles des températures intérieures restent réduites.

Aussi, l'orientation Sud-ouest, reçoit une quantité de radiations solaires équivalente à 3649 Wh/m² et en ce qui concerne la surface horizontale, elle reçoit le maximum d'énergie solaire de 7480 Wh/m² en été.²⁴⁷

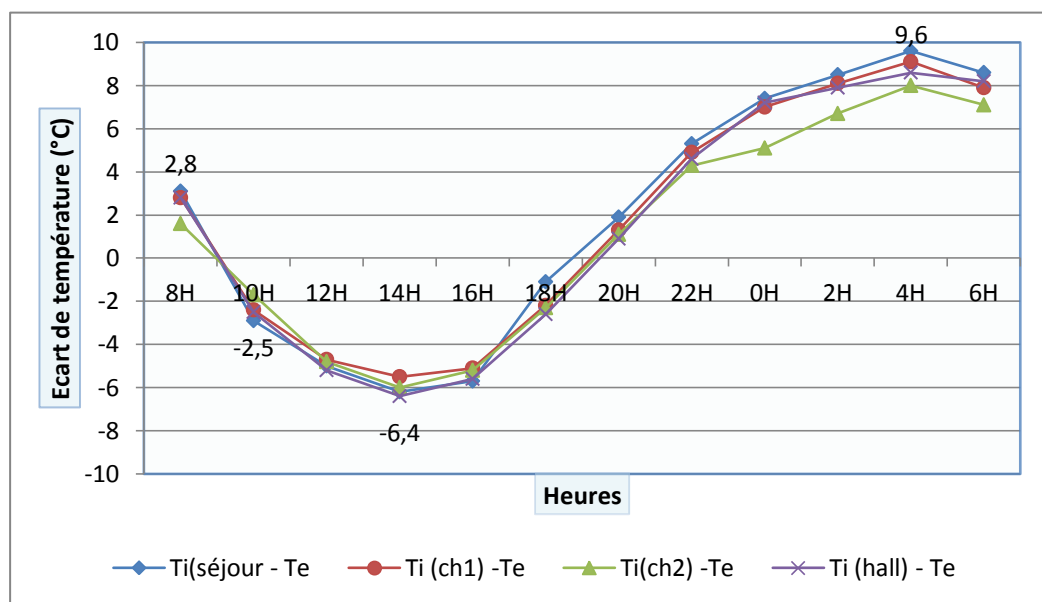


Fig. V. 52 : Ecart de température dans l'appartement le 15/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

²⁴⁶ « Fiche technique 33 : régulation du chauffage. » p 5.[En ligne] www.anah.fr

²⁴⁷ **Benhlilou K.** « Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment. Cas du climat semi aride », Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2008. p54.

Le soir l'écart de température ne diminue pas beaucoup (cf. Fig. V. 35), ce qui veut dire que la dalle ne permet pas d'évacuer la chaleur emmagasinée le jour, de ce fait les températures de l'air intérieur ne baissent pas vraiment contrairement aux deux appartements situés aux étages inférieurs. Et l'on constate dès lors que l'ouverture des fenêtres la nuit n'a pas empêché la montée de la température même quand il fait plus frais à l'extérieur.

V.5.5.3 Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure :

Toutes les courbes représentatives de l'humidité relative à l'intérieur du logement suivent la même trajectoire (cf. Fig. V.36), elles baissent dans la nuit sous l'effet de la ventilation nocturne et tôt le matin sous l'effet de la ventilation matinale qui contribue à la siccité de l'air intérieur. Pendant la journée, elles augmentent, leurs valeurs sont supérieures à celles de l'extérieur.

Les résultats de l'expérimentation font apparaître que le taux minimal de l'humidité relative est inférieur à la norme ASHRAE 55 - 1992 $30 \leq HR \leq 70$, puisque l'humidité relative à ce niveau a varié de 29% à 46% dans la plupart des pièces de l'appartement étudié.

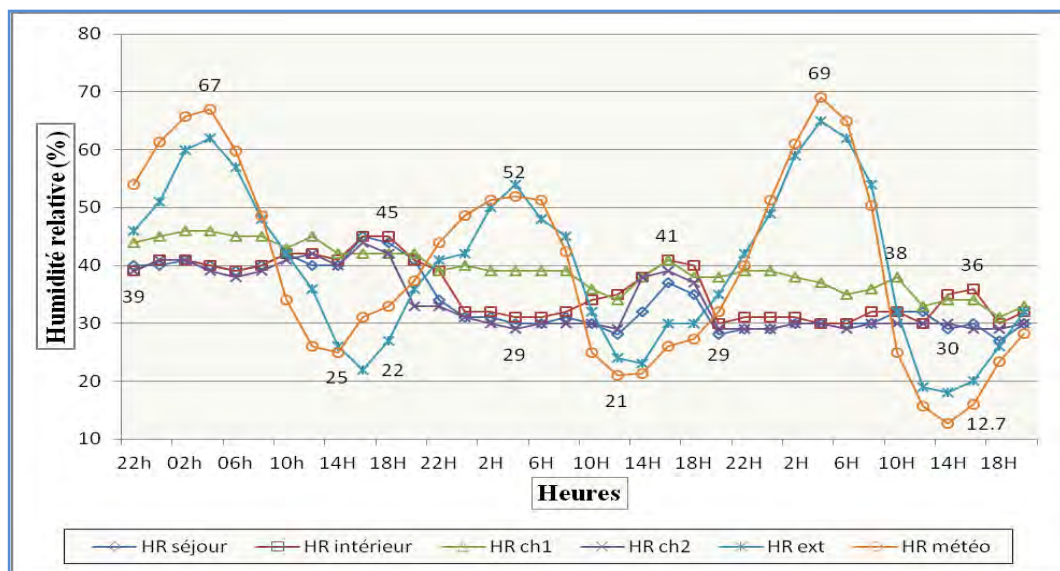


Fig. V. 53 : Variation de l'humidité relative de l'appartement du dernier étage.
(Source : Auteur 2010)

V.5.5.4 Evaluation du confort au dernier étage :

La ventilation naturelle nocturne ou diurne est une alternative efficace pour décharger le bâtiment des apports internes et solaires accumulés. Ce qui amène les usagers à laisser les fenêtres ouvertes la nuit pour ventiler l'espace et chasser l'air chaud restitué par les murs et les

planchers. Certains usagers habitant les étages supérieurs soulignent la nécessité d'activer les climatiseurs même la nuit pendant les journées caniculaires.

L'effet de la paroi horizontale en plus de l'orientation de la paroi extérieure du bâtiment et l'absence de masques environnementaux favorisent l'absorption des apports solaires durant la journée; ces résultats sont déjà confirmés par bon nombre de chercheurs Givoni.B, Yakubu et Sharples 1992 et Louafi.S 2005 qui rappellent que l'augmentation de la température dépend étroitement de l'effet de l'orientation.

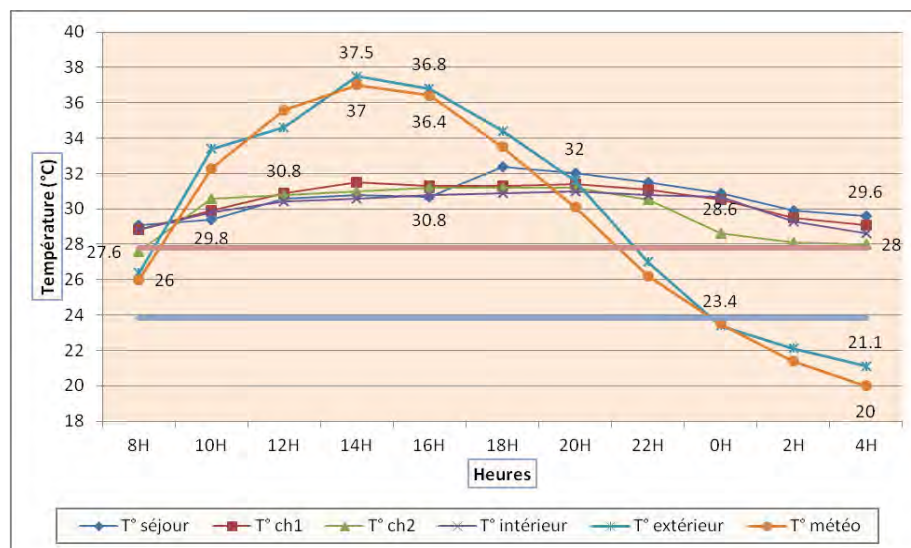


Fig. V. 54 : Evolution de la température au dernier étage le 15/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

Durant cette journée, la paroi verticale ainsi que la paroi horizontale restituent la chaleur stockée durant le jour vers l'intérieur, ce qui engendre une augmentation de la température intérieure par rapport à celle extérieure pendant la période nocturne (cf. Fig.37), et ce malgré l'ouverture des fenêtres pour la création des courants d'air, on note un manque de ventilation transversale qui permet le rafraîchissement de la structure éventuellement. Après la dissipation de la chaleur stockée durant la nuit, il se produit un gain à l'intérieur de cet appartement. Les humidités relatives sont basses et n'affectent donc pas davantage la sensation d'inconfort (cf. Fig. V.38).

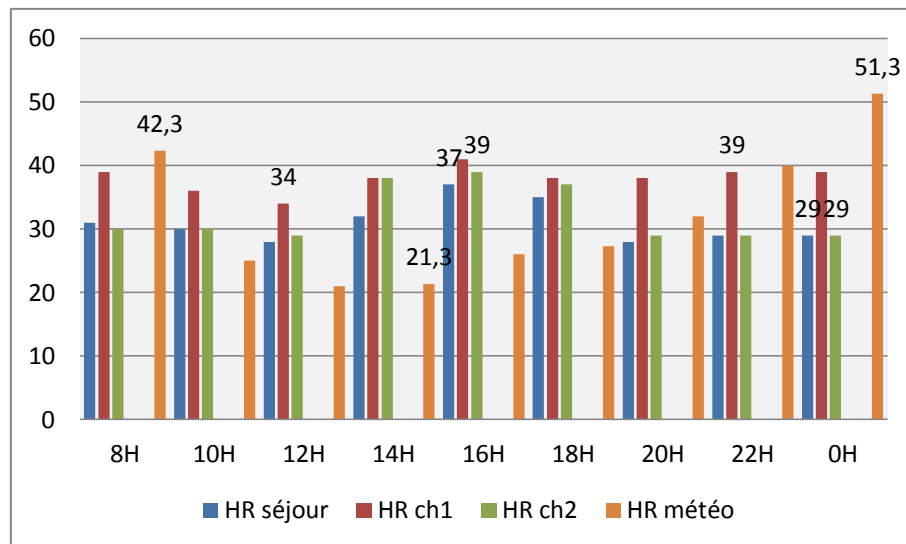


Fig. V. 55 : Variation de l'humidité relative le 15/07/2010.
(Source : Auteur 2010)

V.5.6 Comparaison des résultats des trois appartements :

La comparaison des températures enregistrées dans les différentes pièces des trois appartements montre que la température des pièces de la façade principale orientée Nord-est reste légèrement inférieure aux espaces orientés sud-ouest, pour la simple raison que cette façade ne reçoit pas assez de radiations solaires directes et tout le temps à l'ombre. Cependant la façade secondaire orientée Sud-ouest est la plus exposée aux rayons solaires puisqu'elle reçoit l'intensité la plus importante de l'après midi.

L'élimination de la chaleur qui pénètre et qui naît dans un édifice a lieu essentiellement par ventilation, les pertes à travers l'enveloppe étant toujours du second ordre.²⁴⁸ De ce fait, il a été constaté que les occupants des trois appartements, outre l'utilisation de la climatisation, ouvrent les fenêtres en été, pour apporter de l'air frais qui permet d'améliorer la qualité de l'air intérieur et le confort thermique en évacuant la chaleur interne et en favorisant le mouvement de l'air dans les pièces mais d'après les utilisateurs de l'espace, ça reste insuffisant et pas tout à fait efficace.

Le confort thermique est compromis dans les trois appartements mais le dernier étage demeure le plus affecté jour et nuit, de part les températures trop élevées. Ceci étant la conséquence néfaste de la surface horizontale, qui est très fortement exposée à l'irradiation

²⁴⁸ Lavigne P. « *Op.cit.22* » page 89.

solaire très intense le mois de juillet, rejoignant les propos d'Amer (2006) : les plus importants gains de chaleur en été ont pour source le toit des bâtiments. Par ailleurs, la loggia vitrée ne peut assurer un taux fort de renouvellement d'air, et par conséquent, une difficulté d'évacuation de la chaleur restituée et de refroidissement de la structure par ventilation naturelle.

Conclusion :

Les performances thermiques des enveloppes de bâtiments dépendent fortement des gains solaires et des échanges thermiques à travers les parois opaques et les parois vitrées, il est impératif de concevoir une enveloppe et des ouvertures performantes l'année entière été comme hiver.

Ce chapitre nous a permis de tester les performances thermiques de l'enveloppe d'un bâtiment en étudiant son comportement thermique, n'utilisant la mesure qu'afin d'analyser, durant deux périodes de l'année, ce qui s'y passe réellement du point de vue thermique. Les résultats retenus de l'investigation de la période printanière ont montré une certaine stabilité thermique alors que ceux de la période estivale ont déterminé l'origine du transfert de chaleur vers l'intérieur de l'appartement. La variation de la température intérieure des différents espaces a pour cause la variation de la puissance incidente de la radiation solaire sur les parois verticales, la transmission par rayonnement direct à travers les fenêtres orientées nord-est et sud-ouest ainsi que la réception du flux solaire à travers les parois latérales orientées sud-est et nord-ouest.

Des températures intérieures trop élevées sont le constat négatif de cette investigation. Les occupants trouvent l'ambiance thermique plutôt inconfortable à cause des températures trop élevées et ce pendant pratiquement toute la journée et la majeure partie de la nuit en cette saison.

Il ressort alors que le rôle de l'enveloppe est prépondérant dans la création du confort hygrothermique et la régulation de températures intérieures. Son impact est aussi déterminant dans la consommation énergétique, surtout l'été pour la climatisation.

Dans le but de valider les résultats de cette investigation et chercher à améliorer l'ambiance thermique de ce bâtiment, on procède dans le chapitre suivant à une simulation à l'aide d'un programme informatique « Tas Building Designer ». Permettant d'une part l'évaluation de la performance de l'enveloppe et d'autre part la possibilité de son amélioration, en effectuant des changements dans les matériaux isolants, en variant leurs épaisseurs pour déterminer éventuellement l'épaisseur optimale et le matériau le plus favorable.

Introduction :

L'approche bioclimatique dès la conception des logements permet de réduire les nuisances relatives au confort de l'être humain. En parallèle elle permet de réduire les consommations énergétiques et le rejet des gaz nocifs pour l'environnement. De ce fait l'enveloppe du bâtiment est l'élément le plus crucial à prendre en considération, lors d'une conception architecturale liée à des préoccupations environnementales et de recherche de confort thermique, c'est aussi l'élément le plus important à traiter lors d'une réhabilitation énergétique des bâtiments existants vu son importance dans le vécu quotidien.

Pour évaluer les performances du bâtiment étudié, on a utilisé le logiciel « Tas Building Designer » un des outils informatiques, permettant de déterminer les paramètres augmentant la performance énergétique d'un bâtiment existant afin de satisfaire les besoins de l'utilisateur. L'évaluation par simulation est plus flexible dans la mesure où elle permet d'évaluer les performances thermiques d'une construction tout en agissant à volonté sur les éléments de la construction. Pour ce, la recherche s'est accentuée sur les effets climatiques les plus perceptibles affectant directement l'espace et les usagers de cet espace.

En phase de réhabilitation, la géométrie, la volumétrie, l'implantation et l'orientation sont imposées par le projet existant. Parmi les paramètres, sur lesquels peut agir le concepteur pour améliorer les conditions du confort thermique, on peut citer l'isolation de l'enveloppe du bâtiment, l'inertie du bâtiment et les parois vitrées, ...

Par ailleurs, la modélisation du comportement thermique de ce bâtiment représente un enjeu important dans la détermination des solutions de confort et des solutions environnementales envisageables. De ce fait, cette simulation devra faire ressortir l'importance de l'enveloppe vis-à-vis du bien être de l'utilisateur tout en s'insérant dans le contexte du climat semi aride d'une part, et aboutir à des résultats qui peuvent être généralisés d'autre part.

L'objectif est donc d'étudier l'influence des facteurs (éléments du bâtiment : fenêtres, parois opaques et toiture) sur les réponses suivantes : les besoins énergétiques en été. Ce choix a été motivé par une approche initiale énergétique.

VI.1 Présentation du logiciel :

Le logiciel de simulation thermique « EDSL TAS program version 9.1.4.2 » est un logiciel de modélisation dynamique de bâtiment incluant le chauffage et la climatisation. Son développement a débuté il y a une dizaine d'années à l'initiative de quelques chercheurs (Cambridge, Cranfield) et n'a cessé d'évoluer. L'atout majeur de ce logiciel réside dans son interface graphique et ses fonctionnalités.²⁴⁹

Tas est développé par EDSL (Environmental Design Solution Limited) depuis 1989. Le logiciel permet d'exporter au format DXF pour avoir un rendu photo réaliste ou faire des calculs de lumière avec le logiciel Lumen Designer. Tous les résultats peuvent être exportés sur Excel ou Word, avec des formats préformatés ou définis par l'utilisateur.²⁵⁰



Fig. VI. 1 : Les composants de TAS Building Désigner. (Source : www.I3ER.ORG)

Tas est constitué de 3 éléments :

- ✚ Un modeleur 3D (Tas Building Designer cf. Fig. VI.1 et 2) : un outil de modélisation et de simulation, une solution complète pour la simulation thermique dynamique des bâtiments nouveaux ou existants aussi grands et aussi complexes soient-ils.



TAS 3D Modeller → TAS Building Simulator → TAS Result Viewer

Fig. VI. 2 : Les trois applications de TAS. (Source: Auteur 2011)

- ✚ Un module d'analyse thermique/énergie (Simulation dynamique),

²⁴⁹ **Rahal S.** « *L'impact de l'atrium sur le confort thermique dans les batiments publics, cas de la maison de culture à Jijel* », Thèse de magister, Université Mentouri, Constantine, 2011.

²⁵⁰ [En ligne] www.I3ER.ORG

- ✚ Un module CFD (Tas Ambiens cf. Fig. VI.3) qui permet aux modèles d'être créés avec un caractère dynamique.

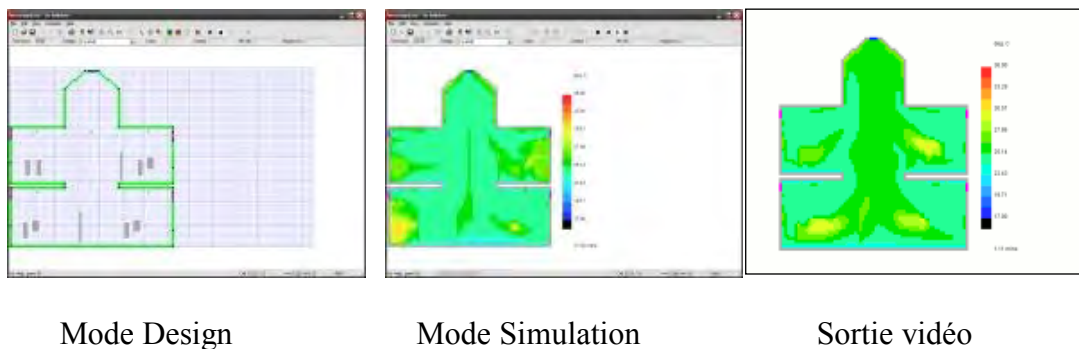


Fig. VI. 3 : TAS Ambiens.

Source : www.I3ER.ORG

VI.2 Contenus du programme :

TAS intègre une bibliothèque contenant des données thermiques pour les matériaux de construction opaques, types de fenêtres, types de verre, et types de gaz entre panneaux vitrés. Les composants de base qui sont les matériaux, vitrages, revêtements de murs et de sols, sont combinés pour former des structures plus complexes: parois, zones, bâtiment entier. Les calculs sont influencés par des facteurs climatiques tels que la température extérieure, et le rayonnement solaire. Le programme traite les deux types de rayonnement solaire, global et diffus dans les calculs. La température à l'intérieur du bâtiment peut être calculée par le programme. L'utilisateur doit posséder et introduire l'ensemble exhaustif de ses données définissant le bâtiment et le système.

Dans notre cas, on a d'abord commencé par l'introduction des données météorologiques de la ville de Constantine (mois de juillet et 15 jours en période printanière du 20mars au 5 avril), car les données de notre ville ne figurent pas dans la bibliothèque de TAS, par l'insertion des valeurs horaires de températures, d'humidités relatives, le rayonnement solaire global et diffus, la vitesse et la direction du vent ainsi que la nébulosité pour la période désirée. Ensuite la description détaillée des différentes parois opaques et vitrées des pièces de l'appartement ainsi que les scénarios de leur occupation et les conditions internes relatives à chaque espace dans Tas Building Simulator (cf. Fig. VI.4). La deuxième étape concerne le traitement des données après programmation dans Tas Result Viewer. Enfin et en dernière étape, c'est faire sortir les résultats de la simulation par le biais du logiciel « EXCEL ».

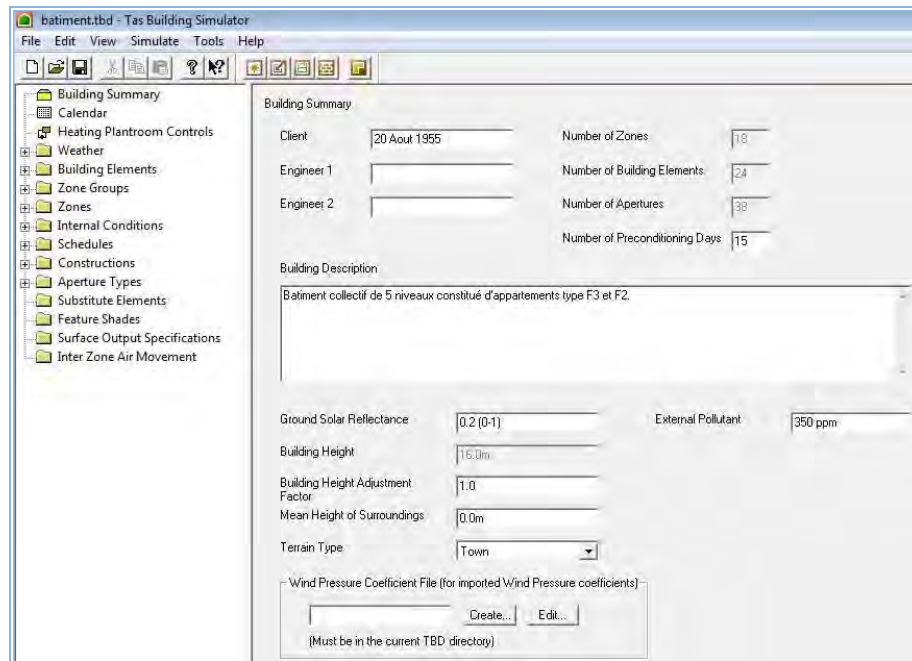


Fig.VI. 4 : TAS Building Simulator. (Source: Auteur 2011)

VI.2.1 Les entrées du programme :

Lorsqu'une simulation énergétique est effectuée, il est important de garder en tête que les résultats obtenus ne sont qu'approximatifs et découlent directement de la configuration choisie par l'utilisateur. Choisir les paramètres de façon judicieuse permettra une meilleure utilisation des résultats qui seront standardisés. Plusieurs paramètres doivent être définis lors de la conception d'un modèle, à savoir, l'environnement externe (données climatiques), l'enveloppe et l'environnement interne du bâtiment qui influencent les gains et les déperditions thermiques que subit le bâtiment.

Il s'agit d'établir une saisie des données du bâtiment à rénover. Plus les données sont précises, meilleure est l'analyse du bâtiment. Par conséquent, il s'agit d'établir le meilleur compromis entre l'importance acceptée de la procédure d'acquisition des données, et l'imprécision tolérée des résultats des simulations. Lorsque les données du bâtiment sont connues, les performances énergétiques du bâtiment existant peuvent être évaluées.

VI.2.1.1 Spécification du bâtiment :

Pour simuler un système thermique avec Tas, il faut d'abord définir l'ensemble des composants élémentaires formant le système dans Tas 3D Modeller. Le modèle géométrique 3D

créé est alors exporté sous forme de fichier DWG 3D. Tas permet également de visualiser le projet en 3D avec diverses possibilités de représentation (cf. Fig. VI.5 et Annexe E).

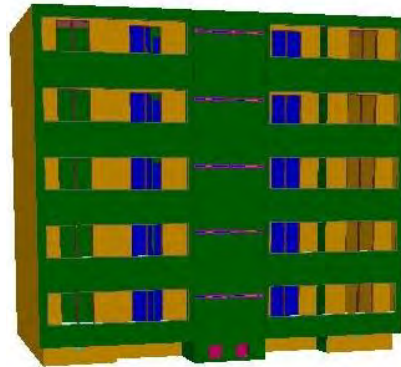


Fig. VI. 5 : Modèle géométrique 3D du bâtiment étudié. (Source: Auteur 2011)

Tous les composants du bâtiment sont automatiquement transférés à TAS Building Simulator avec leurs volumes et leurs surfaces respectifs (cf. Fig. VI.6).

No.	Name	Description	Volume ...	Area (m²)	No. Surf...	Internal Condition
✓ 1	Séjour RDC		50,255	18,476	13	Dwell_DomLoun...
✓ 2	Ch 1 RDC		36,587	13,451	11	Dwell_DomBed...
✓ 3	Ch 2 RDC		27,784	10,215	10	Dwell_DomBed...
✓ 4	Hall RDC		22,445	8,252	24	Dwell_DomCircul...
✓ 5	Séjour éta...		49,967	18,37	13	Dwell_DomLoun...
✓ 6	Ch 1 inter		36,309	13,349	11	Dwell_DomBed...
✓ 7	Ch 2 inter		27,871	10,247	10	Dwell_DomBed...
✓ 8	Hall inter		22,537	8,285	24	Dwell_DomCircul...
✓ 9	Séjour Dern		49,967	18,37	13	Dwell_DomLoun...
✓ 10	Ch 1 Dern		36,309	13,349	9	Dwell_DomBed...
✓ 11	Ch 2 Dern		27,871	10,247	10	Dwell_DomBed...
✓ 12	Hall Dern		22,537	8,285	22	Dwell_DomCircul...
✓ 13	loggia RDC		67,063	24,656	38	Dwell_DomCom...
✓ 14	Cuisine RDC		41,223	15,156	19	Dwell_DomKitch...
✓ 15	loggia inter		69,087	25,4	36	Dwell_DomCom...
✓ 16	cuisine inter		41,223	15,156	19	Dwell_DomKitch...
✓ 17	loggia Dern		69,087	25,4	36	Dwell_DomCom...
✓ 18	cuisine Dern		41,223	15,156	19	Dwell_DomKitch...

Fig. VI. 6 : Zones du bâtiment à simuler dans TAS Building simulator. (Source: Auteur 2011)

En phase de spécification des éléments de bâtiment (cf. Fig. VI. 7), les types des murs, des planchers, de toits requis dans le projet sont à indiquer. Les différentes couches constituant la paroi doivent être définies dans l'ordre de la partie intérieure à la partie extérieure de chaque élément du bâtiment (cf. Fig. VI.8).

Name	Description	Construction
External Wall		Mur EXT
Internal Wall		internal wall
Upper Floor		upper floor/ceiling
Ceiling		ceiling
mur int 7cm		Mur int
mur brique 0.5		mur brique 0.5
Upper Floor/Ceiling		ceiling
Null	Null Building Element	
porte simple-frame		porte frame
porte simple-pane		porte placard pane
porte placard-frame		porte placard frame
porte placard-pane		porte placard pane
Fen1/2-frame		fenetre frame
Fen1/2-pane		vitrage
porte fenetre 1/2-frame		porte fenetre frame
porte fenetre 1/2-pane		vitrage
petite fenetre balcon-frame		fenetre frame
petite fenetre balcon-pane		vitrage
loggia 1-frame		metal
loggia 1-pane		vitrage
loggia 2-frame		metal
loggia 2-pane		vitrage
loggia 3-frame		metal
loggia 3-pane		vitrage

Fig. VI. 7 : Les éléments constructifs du bâtiment. (Source: Auteur 2011)

Pour chaque mur, l'épaisseur, la conductivité, la capacité thermique, la densité ou la masse volumique de chaque matériau doivent être définies (cf. Fig. VI.8). Pour les verres, la conductivité, la transmission solaire, le facteur de diffusion de la vapeur et la réflectivité des verres sont également requis (cf. Fig. VI. 9).

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time
Ext. Surf.	Int. Surf.	External	Internal	(W/m ² .°C)	Constant
0.650	0.400	0.900	0.900	0.846	5.081

Layer	M-Code	Width (mm)	Conducti...	Convecti...	Vapour D...	Density (...)	Specific ...	Description
1	end platre	10.0	0.35	0.0	11.000	960.0	936.0	PLASTER 1 *4
2	béton	140.0	1.75	0.0	14.800	2200.0	1080.0	AERATED CONCRETE...
3	am1ins\28	40.0	0.04	0.0	14.400	145.0	2207.0	CORK TILE 1 *4
4	am1asph\10	5.0	0.2	0.0	99999.000	1100.0	1000.0	BITUMINIOUS FELT, A...
5	am1aggr\25	40.0	0.836	0.0	14.800	1760.0	1063.0	NO FINES (GRAVEL) 1 ...

U/R Values (ISO 6946) (Homogenous)		
Flow Direction	Internal R Value (m ² .°C/W)	External R Value (m ² .°C/W)
Horizontal	1.441	1.351
Upward	1.381	1.321
Downward	1.521	1.391

Fig. VI. 8 : Composantes de la toiture terrasse. (Source: DTR.C 3-2, 1998)

Solar Transmittance		External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance		Emissivity		Conductance (W/m ² ·°C)	Time Constant	External Blind	Internal Blind
0.700	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.870	0.845	0.845	366.667	0.000	No	No	
Layer	M-Code	Width	Solar	Ext. S.	Int. So.	Ext. E.	Int. E.	Condu.	Conve.	Vapou.	Description		
Inner	verre clair	3.0	0.700	0.070	0.070	0.845	0.845	1.1	0.0	99999...	10MM CLEAR FL...		

Glazing U Values (EN 673)	
R Value (m ² ·°C/W)	0.171
Show U Values	Show R Values

Light		Solar Energy (EN410)				Pilkington Shading Coefficients		
Transmittance	Reflectance	Direct Transmittance	Direct Reflectance	Direct Absorptance	Total Transmittance (G Value)	Short Wavelength	Long Wavelength	Total
0.870	0.080	0.700	0.070	0.230	0.760	0.805	0.070	0.874

Fig. VI. 9 : Entrée des propriétés thermo physiques du verre utilisé. (Source : DTR.C 3-2, 1998).

VI.2.1.2 Période de simulation et climat :

Dans un fichier météo préparé par l'utilisateur (cf. Fig. VI.10), doivent figurer :

- l'altitude du site,
- la latitude,
- la longitude,
- le temps par rapport au méridien,
- la période de la simulation,
- la température du sol,
- et les valeurs horaires pour le rayonnement solaire (global et diffus) en W/m², la couverture du ciel (entre 0-1), les températures extérieures en °C, les humidités relatives en %, la vitesse du vent en m/s ainsi que sa direction en (°).

Les données météo peuvent être affichées sous forme de tableau ou de graphe (cf. Fig. VI.10 et 11).

Weather

Weather File: Constantine 2

Description: weather 28,29,30,31mars,1,2,3 avril et dimanche 11, 12,13,14,15,16 juillet 2010

Latitude: 36.17°N Longitude: 7.0°E Altitude: 675.0m Time Zone: UTC+0.C Year: 2010 Ground Temp.: 10.0°C Day: 88

Graphics: **Tabular**

Hour	Global Solar Radiation (W/m ²)	Diffuse Solar Radiation (W/m ²)	Cloud Cover (0-1)	Dry Bulb (°C)	Relative Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)
1	0.00	0.00	0.0000	8.30	93.00	0.0	0.0
2	0.00	0.00	0.0000	8.80	91.00	0.0	0.0
3	0.00	0.00	0.0000	8.40	89.00	0.0	0.0
4	0.00	0.00	0.0000	7.90	88.00	0.0	0.0
5	0.00	0.00	0.0000	7.70	89.00	0.7	40.0
6	0.00	0.00	0.0000	7.40	90.00	1.3	80.0
7	66.00	39.00	0.0000	7.20	91.00	2.0	120.0
8	274.00	152.00	0.0000	10.40	83.00	2.3	113.0
9	491.00	264.00	0.0000	13.50	76.00	2.7	107.0
10	674.00	357.00	0.0000	16.70	69.00	3.0	100.0
11	806.00	424.00	0.0000	19.30	57.00	4.3	147.0
12	875.00	459.00	0.0000	21.80	45.00	5.7	193.0
13	875.00	459.00	0.0000	24.40	33.00	7.0	240.0
14	806.00	424.00	0.0000	24.80	32.00	6.3	240.0
15	674.00	357.00	0.0000	25.30	31.00	5.7	240.0
16	491.00	264.00	0.0000	25.70	31.00	5.0	240.0
17	274.00	152.00	0.0300	23.50	37.00	4.7	233.0
18	66.00	39.00	0.0700	21.30	43.00	4.3	227.0
19	0.00	0.00	0.1000	19.10	50.00	4.0	220.0
20	0.00	0.00	0.2000	18.00	54.00	3.7	220.0
21	0.00	0.00	0.3000	16.80	58.00	3.3	220.0
22	0.00	0.00	0.4000	15.70	62.00	3.0	220.0
23	0.00	0.00	0.2700	15.50	62.00	3.7	253.0
24	0.00	0.00	0.1300	15.40	62.00	4.3	287.0

Fig. VI. 10 : Exemple de fichier météo de la journée du 29 mars 2010 de Constantine. (Source: Auteur 2011)

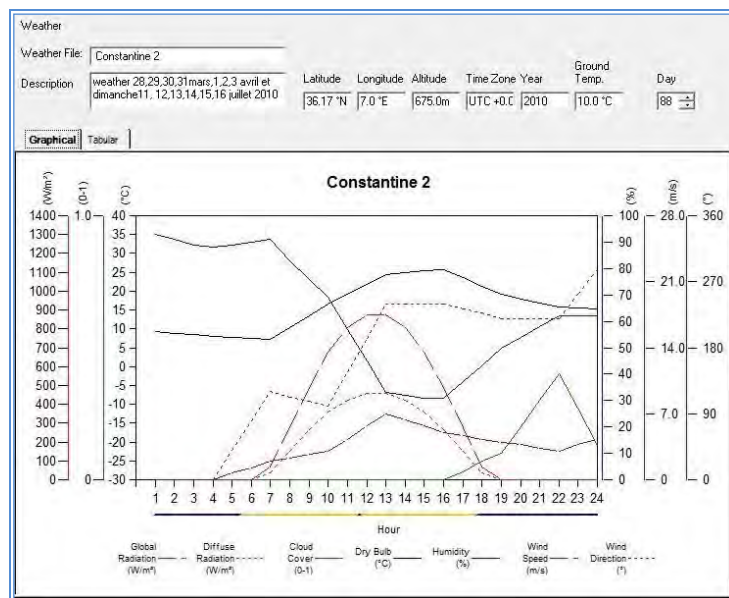


Fig. VI. 11 : Graphe représentatif de la journée du 29 mars 2010 de Constantine. (Source: Auteur 2011)

VI.2.1.3 Apports internes :

Les conditions climatiques ainsi que les charges internes sont des paramètres principaux pour le calcul. Chaque espace dans l'appartement est doté de ses propres apports qui lui sont adaptés en ce qui concerne la stratégie d'occupation, le taux de renouvellement d'air, les gains d'éclairage, des occupants et des équipements. L'ajout d'un appareil de chauffage ou de climatisation avec des thermostats réglables.

Le comportement du bâtiment dépend de paramètres intrinsèques de son enveloppe, mais également de son environnement et de ses occupants. Les hypothèses comportementales sont donc primordiales. Elles ont été également intégrées par le biais de l'ouverture des fenêtres et l'utilisation possible des volets.

Pour assurer un taux de renouvellement de l'air obligatoire et hygiénique, une stratégie d'ouverture est définie pour chaque période pour les fenêtres donnant sur l'extérieur, on a supposé que les occupants ouvrent les fenêtres les matins, et les soirs après 18 h au printemps, alors qu'en été, les fenêtres sont maintenues closes pendant la période diurne et sont ouvertes la nuit pour une ventilation transversale nocturne et tôt le matin. Deux scénarii d'occupation ont été définis correspondant à la semaine et au weekend.

VI.2.1.4 Composition des parois et propriétés des matériaux :

L'enveloppe du bâtiment joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieure et extérieure, elle intervient comme stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air intérieur et extérieur²⁵¹. Le bâtiment est à lui seul un système qui est composé de sous-ensembles. Chaque sous-ensemble (cf. Tab. VI.1) est caractérisé par de nombreux paramètres définis par leurs propriétés thermo physiques.

Tab. VI. 1 : Composition des parois du bâtiment. (Source: Auteur 2011)

Paroi	Constitution de l'intérieur vers l'extérieur
Mur extérieur	Enduit de plâtre (2cm), béton (10cm), polystyrène (3cm), béton (12cm).
Mur de séparation en béton	Enduit de plâtre (2cm), béton (7 ou 14cm), enduit de plâtre (2cm).
Mur de séparation en brique	Enduit de plâtre (2cm), brique creuse (5 ou 15cm), enduit de plâtre (2cm).
Plancher intermédiaire	Enduit de plâtre (2cm), dalle en béton (14cm), mortier de ciment (2cm), granito (2,5cm).
Toiture terrasse	Enduit de plâtre (2cm), dalle en béton (14cm), plaques de liège (4cm), feutre de bitume, graviers.
Porte	En iso plane (3cm)
Fenêtre	Simple vitrage (3mm) avec un châssis en sapin du nord.

²⁵¹ **Safer N.** « Modélisation des Façades de Type Double-Peau Equipées de Protections Solaires : Approches Multi-Echelles. » Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, Centre de Thermique de Lyon, 2006.

Nous proposons d'étudier en détail le comportement thermique de l'appartement. Les propriétés thermo physiques de chaque couche (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, épaisseur, etc.) et du vitrage sont entrées par l'utilisateur ou choisies à partir d'une bibliothèque existante (cf. Tab. VI.2, 3 et 4).

Tab. VI. 2 : Propriétés thermo physiques des matériaux de construction utilisés.

(Source : DTR C 3-2, 1998 et bibliothèque de Tas).

Matériau	Conductivité λ (w/m ² °C)	Capacité thermique C (j/kg°°C)	Masse volumique ρ (kg/m ³)
Plâtre	0.35	936	960
Béton	1.45	1080	1450
Brique creuse	0.48	936	900
Mortier de ciment	1.4	780	1890
Liège	0.04	2207	145
Bitume	0.23	1656	1100
Graviers	1.2	792	18000
Bois sapin du nord	0.138	2805	500
Polystyrène expansé	0.046	1404	9 à 13

Tab. VI. 3 : Propriétés thermo physiques de la lame d'air. (Source : DTR C 3-2, 1998)

	Coefficient de convection (w/m ² °C)	Vapour diffusion factor
Lame d'air	1.25	1

Tab. VI. 4 : Propriétés thermo physiques du verre utilisé. (Source : DTR C 3-2, 1998)

Vitrage	λ (w/m ² °C)	Vapour diffusion factor	Transmission solaire	Solar reflectance		Light transmittance	Light reflectance		Emissivity	
				Ext	Int		Ext	Int	Ext	Int
Verre clair	1	9999	0.82	0.09	0.09	0.89	0	0	0.84	0.84

VI.2.2 Les sorties :

En mode simulation, la sortie de la simulation est affichée comme un tracé graphique sur l'écran où figurent les évolutions temporelles des températures d'air, des humidités relatives (cf. Annexe E).

L'utilisateur peut sélectionner la température ambiante, rayonnante ou résultante, la vitesse de l'air, l'humidité ou des parcelles PPD à afficher. Des vecteurs vitesse décrivant le flux d'air dans l'espace peuvent aussi être affichés.

Tas program permet notamment aux concepteurs de prévoir avec précision la consommation d'énergie, les émissions de CO₂, les coûts d'exploitation et le confort des occupants. En outre, Le résultat de simulations fournit des données sur les charges de pointe relatifs, la demande annuelle d'énergie et les niveaux de confort des occupants.

VI.3 Déroulement de la simulation :

La simulation thermique dynamique simule au pas de temps horaire le métabolisme du bâtiment en fonction de la composition de ses parois, de la météo, de l'occupation des locaux. Par ce biais, on peut accéder aux besoins de chauffage/climatisation et aux températures heure par heure dans les différentes zones prédéfinies du bâtiment. La simulation thermique dynamique permet de prendre en compte l'inertie thermique du bâtiment, les ponts thermiques, le comportement des usagers et des solutions proposées sur les différentes réponses retenues et notamment les besoins de chauffage.

Plusieurs séries de simulations ont été effectuées dans le but de tester les performances relatives de chaque cas et d'identifier les différences. Dans un premier temps, nous avons effectué des simulations du bâtiment à l'état actuel pour comparer les résultats de la simulation aux résultats du suivi expérimental. Dans un deuxième temps, on a procédé aux changements de certains paramètres (cf.Tab.VI.5) pour évaluer les performances thermiques de l'enveloppe obtenues et évaluer les économies d'énergie réalisables à partir de chaque cas de figure sachant que l'influence thermique des propriétés thermo physiques des matériaux d'une paroi n'est pas la même suivant que le local soit conditionné ou pas.

Tab. VI. 5 : Variantes proposées pour la simulation. (Source : Auteur 2011)

Variantes	Description
1	Etat actuel
2	Utilisation du double vitrage.
3	Isolation externe des murs.
4	Isolation externe des murs et utilisation du double vitrage.
5	Isolation de la toiture et isolation externe des murs.
6	Isolation de la toiture, isolation externe des murs et utilisation du double vitrage.

VI.4 Simulation du bâtiment à l'état actuel :

VI.4.1 Résultats de la période printanière:

La journée représentative de cette période est la journée du 30/03/2010, se caractérisant par une chaleur inhabituelle pour cette saison étant donné que la maximale a atteint presque 21°C. En supposant que la couche de polystyrène a disparu et a été remplacée par de l'air au cours de ces 35 ans d'existence du bâtiment, une simulation du comportement thermique, avec et sans polystyrène comme isolant, a été réalisée afin de voir s'il existe une différence notable sur les températures et le transfert de chaleur.

VI.4.1.1 Résultats obtenus de la simulation de l'enveloppe avec polystyrène :

La température de l'air intérieur montre des variations pendant la journée qui sont liées aux profils journaliers des gains internes prédéfinis. Pour les parois composites, la valeur de déphasage est moins évidente car la position de l'isolation thermique ou des vides d'air jouent un rôle essentiel²⁵².

La figure VI.12 exprime les allures de la température de chaque zone des trois appartements, ainsi que la température extérieure. On constate que l'allure de la courbe des températures suit celle de l'extérieur, mais la température intérieure nocturne est supérieure à celle de l'extérieur, cette différence est ≤ 8 °C (cf. Fig. VI.12).

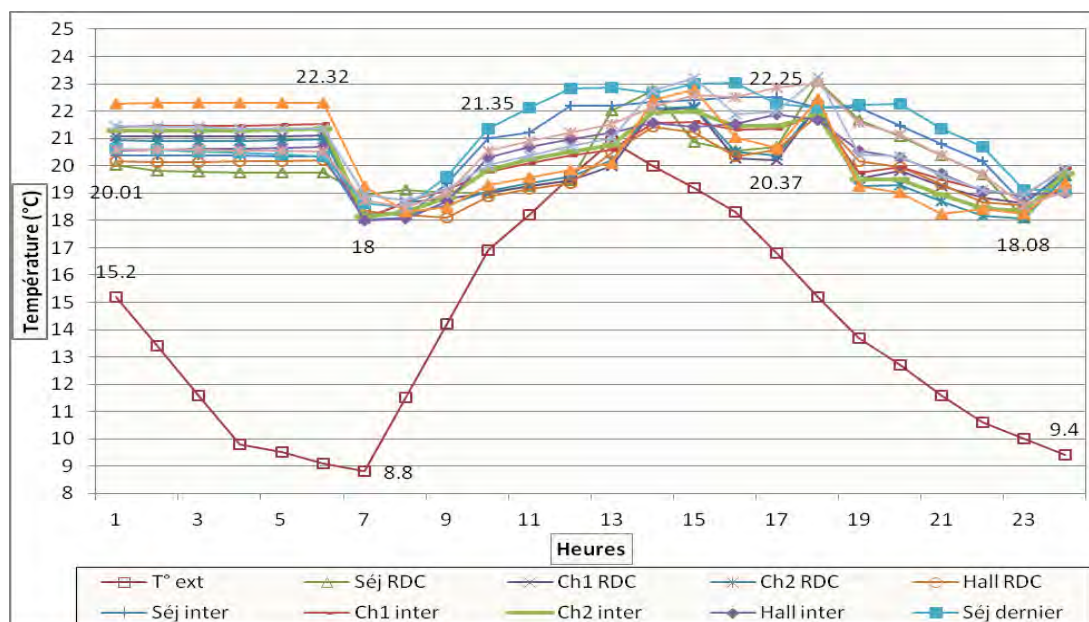


Fig. VI. 12 : Variation des températures extérieures et intérieures dans les 3 appartements

Le 30 mars 2010. (Source: Auteur 2011)

²⁵² Watson D.& Camous R. « L'habitat bioclimatique de la conception à la construction » Ed. L'Étincelle, Québec 1986, page 117.

La valeur minimale oscillant entre 18 et 19°C, s'affiche dans tous les espaces et dans tous les appartements à 07h du matin et à partir de 22h, cette baisse s'explique par l'infiltration d'air frais dans les chambres, l'ouverture des fenêtres le matin étant nécessaire pour le renouvellement d'air hygiénique. Le soir les températures intérieures chutent avec l'abaissement de la température extérieure. La hausse de la température s'opère à partir de 10h, quant à la baisse, c'est à partir de 18h, sous l'effet de l'aération des espaces par l'ouverture des fenêtres, scénario préétabli. L'amplitude diurne de température est de 5.01°C au RDC, 4.5°C à l'étage intermédiaire et 4.92°C au dernier niveau, des valeurs assez proches.

VI.4.1.2 Analyse des résultats de la simulation et confrontation avec les résultats expérimentaux à l'étage intermédiaire:

En comparant les résultats de la simulation à ceux mesurés, on constate que l'écart minimal entre la température simulée et celle mesurée est de 0.1°C atteint à 20h dans la chambre 2, l'écart maximal est d'environ 4°C à entre 16 et 17h dans le séjour. Quant aux autres valeurs elles sont plus ou moins similaires variant dans un intervalle de [18-22°C] pour les températures simulées et [18-20°C] pour les températures mesurées, assurant un confort saisonnier sauf lors de l'ouverture des fenêtres. La courbe représentative des valeurs simulées présente des chutes brusques de température dans les quatre espaces à 7h suite à l'infiltration de l'air extérieur, lors de l'ouverture des fenêtres, programmée par l'auteur (cf. Fig. VI.13).

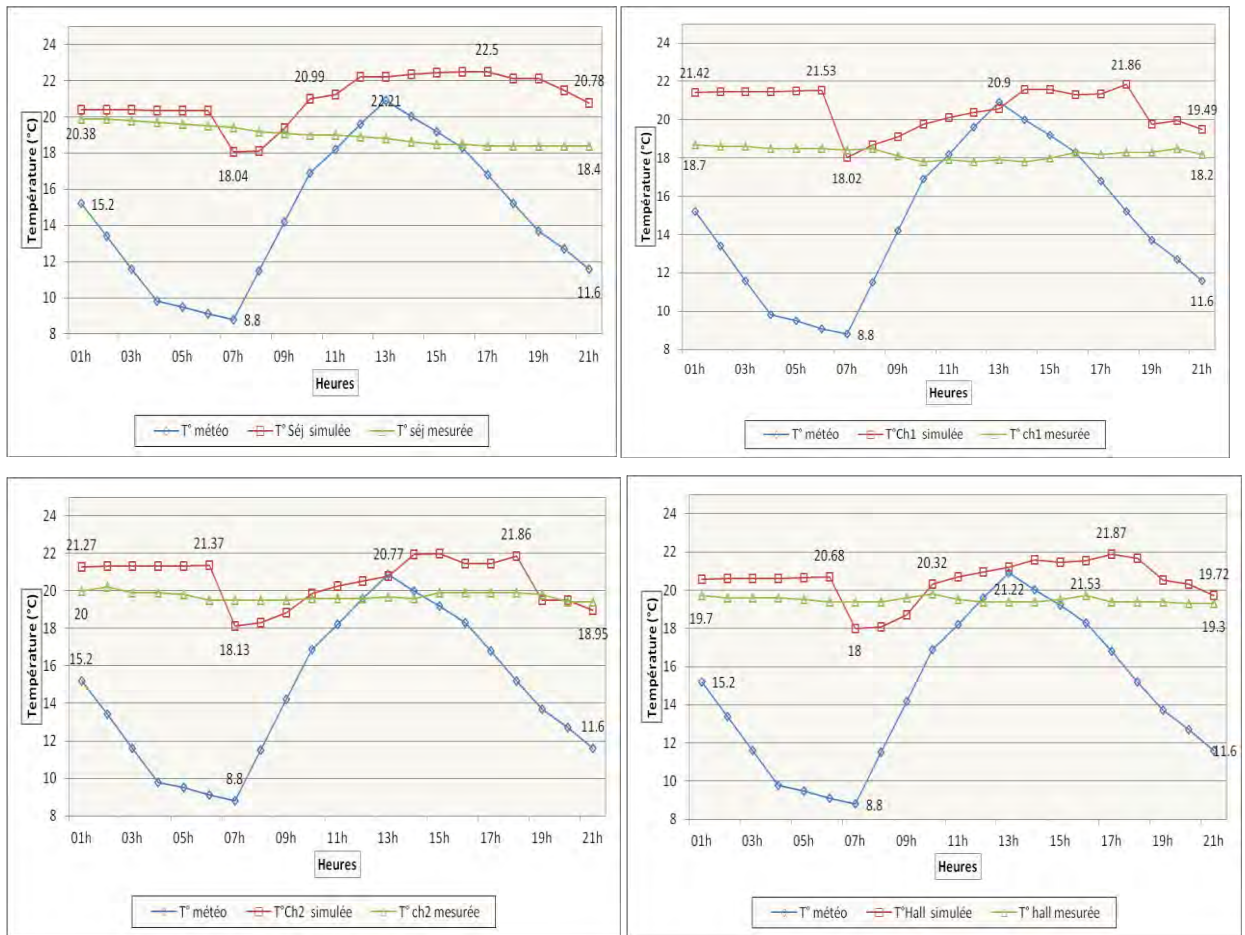


Fig. VI. 13 : Variation des températures extérieure et intérieures à l'étage intermédiaire le 30/03/2010 (parois d'origine). (Source: Auteur 2011)

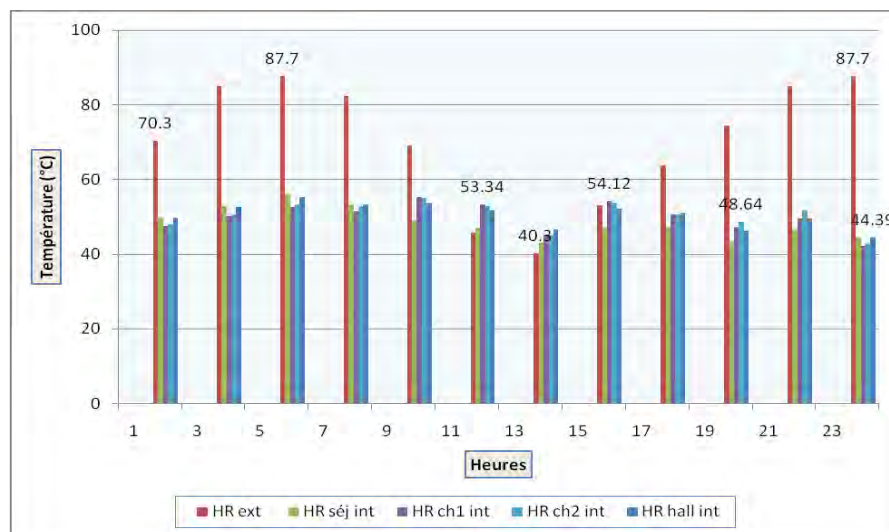


Fig. VI. 14 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure à l'étage intermédiaire 30 mars 2010 (parois d'origine). (Source: Auteur 2011)

L'humidité relative varie entre 41% et 56% dans les différents espaces (cf. Fig. VI.14). Les variations de l'humidité relative ne rejoignent pas les valeurs du suivi expérimental considérées comme étant inférieures à celles mesurées, ceci s'explique par le vieillissement du bâti, la détérioration des matériaux constituant les parois, les problèmes d'infiltration des eaux pluviales et les problèmes de condensation. Des paramètres non considérés par le logiciel.

VI.4.1.3 Résultats obtenus de la simulation de l'enveloppe avec lame d'air :

Les résultats ont donné des résultats presque similaires avec une différence maximale de 1.53°C en faveur de la paroi avec lame d'air (cf. Fig. VI.15).

La valeur maximale de la température en cette journée simulée a atteint 23.74°C à 17 heures en même temps que la paroi d'origine. Par contre la valeur minimale qui est de l'ordre de 18.42°C, supérieure de 0.42°C à celle de la paroi d'origine. On remarque que la paroi comportant une lame d'air a été plus performante que celle avec le polystyrène en période diurne sur la plage horaire 14 - 18h. En période nocturne, l'écart ne dépasse point 0.5°C, et dans le cas du séjour la paroi d'origine est même meilleure.

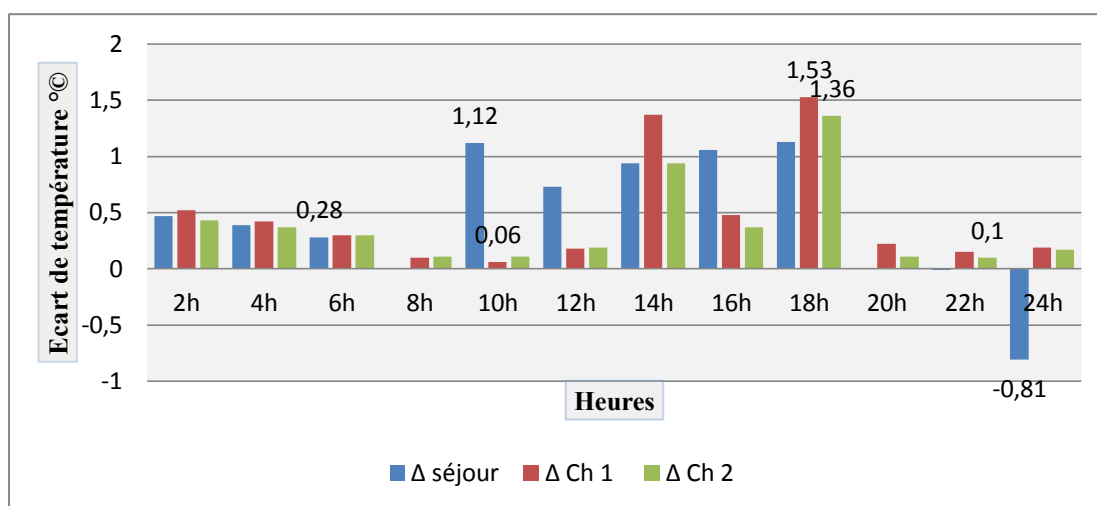


Fig. VI. 15 : Ecart de température entre la paroi avec lame d'air et la paroi d'origine le 30/03/2010. (Source: Auteur 2011)

Les valeurs de l'humidité relative maximales et minimales (cf. Fig. VI.16) rejoignent aussi celles de la 1^{ère} paroi avec des valeurs maximales ne dépassant point 56% et une valeur minimale de 41.79%.

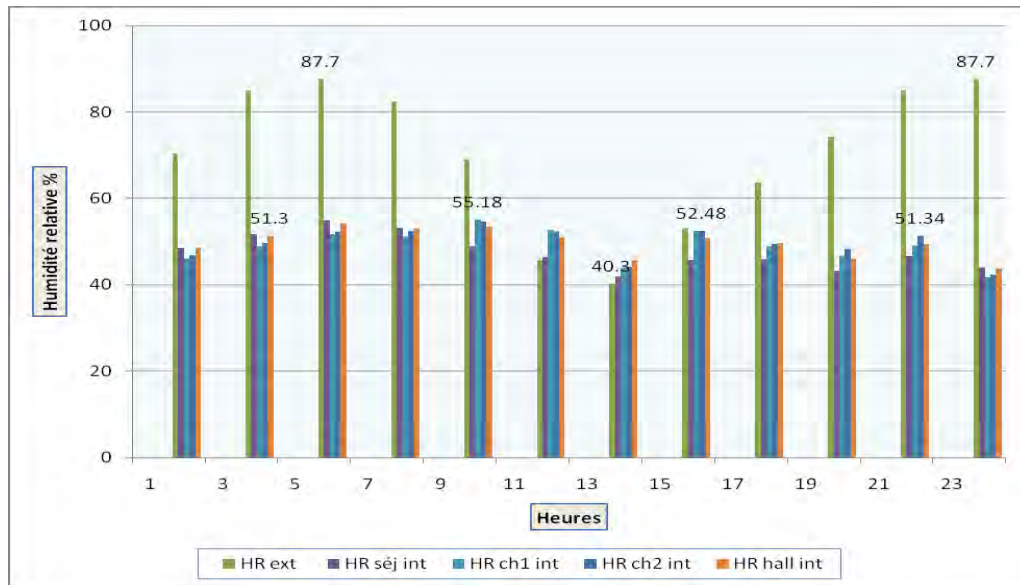


Fig. VI. 16 : Variation de l'humidité relative extérieure et intérieure 30/03/2010 (parois avec lame d'air). (Source: Auteur 2011)

VI.4.2 Résultats de la période estivale :

L'importance de l'orientation par rapport au soleil dépend largement de la couleur externe des parois ainsi que de la dimension et de la protection des fenêtres.²⁵³ Les résultats montrent que les pièces orientées Nord-est et ayant une seule paroi exposée donnent des températures intérieures minimales, avec des fluctuations de la température assez importantes pouvant atteindre jusqu'à 8°C. On remarque par ailleurs des températures nocturnes assez élevées à certaines heures surtout au niveau du dernier étage et de l'espace séjour, remettant en cause l'orientation sud-ouest (cf. Fig. VI.17).

Pour la période chaude, on a choisi un jour indicatif de la totalité de la période de simulations afin de comparer les résultats de la simulation avec ceux mesurés. Le jour choisi a été le 14 juillet.

²⁵³ **Givoni. B** «*L'Homme, L'Architecture et le Climat.* » Edition : Le Moniteur, paris 1978, page 367.

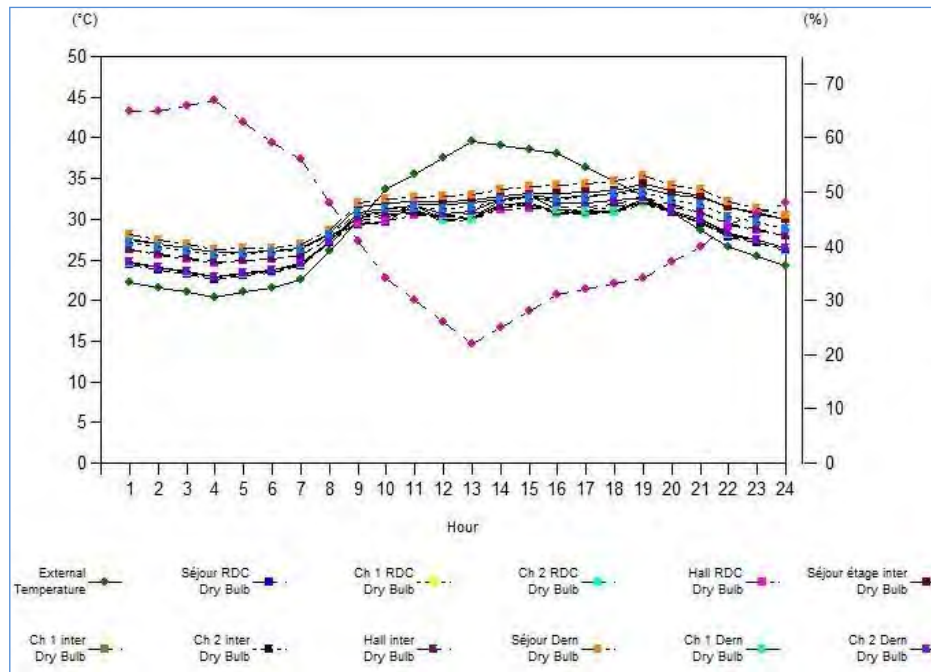


Fig. VI. 17 : Variation de la température de l’air en fonction de la température extérieure et de l’humidité relative le 14/07/2010. (Source: Auteur 2011)

VI.4.2.1 Résultats obtenus de la simulation de l’enveloppe avec polystyrène :

Pendant la journée du 14 juillet, au dernier étage la température maximale équivaut à 34.81°C au niveau du séjour orienté sud-ouest à 19h, ceci est dû à l’accumulation de la chaleur dans la véranda retransmise par la suite à cet espace et au flux de radiations solaires perçues par le toit. L’amplitude diurne de la température en cette journée estivale est de 8.5°C au RDC, 8.09°C à l’étage intermédiaire et 10.26°C au dernier étage.

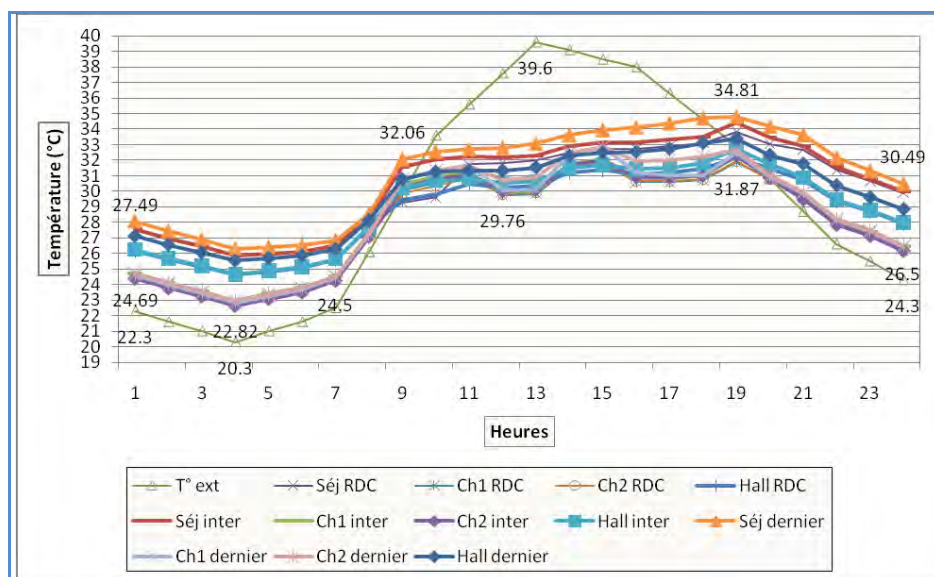


Fig. VI. 18 : Variation des températures intérieures et extérieure le 14/07/2010 dans les trois appartements. (Source: Auteur 2011)

En majorité, les températures sont très élevées pour le séjour, pour le 14 Juillet, journée vraiment chaude de l'année, et la pièce la plus chaude orientée Sud-ouest à tous les niveaux. De 8h et jusqu'à 20h, la température est perpétuellement en hausse, elle est en dehors de la zone de confort durant toute la journée, les résultats de la simulation coïncident avec les résultats mesurés. La baisse est maximale à 4h, une hausse continue jusqu'à 19h et recrudescence alors (cf. Fig. VI.18). Les conditions thermiques suivent les variations de la température extérieure, elles dépendent des caractéristiques physiques et géométriques des espaces mais aussi du comportement de l'occupant et le scénario préétabli concernant l'ouverture des fenêtres qui s'opère à partir de 19. (ouverture des fenêtres, cuisson, ventilation,..)

VI.4.2.2 Analyse des résultats obtenus et confrontation avec les résultats expérimentaux au dernier étage:

L'écart maximal entre la température simulée et la température mesurée de 5.98°C au niveau de la chambre1 à 04h, quant à l'écart minimal entre les deux, il est de 0.01°C à 18h dans la même chambre. En période diurne, les valeurs se rapprochent avec un écart non significatif de l'ordre de 0.5°C mais en période nocturne, les températures simulées baissent considérablement dans les deux chambres exposées nord-est sous l'effet de la ventilation nocturne contrairement à celles mesurées où on a constaté que la chaleur reste piégée dans les chambres et les températures baissaient doucement à ce niveau (cf. Fig. VI.19). Ceci est dû à la détérioration des matériaux et à l'étanchéité défectueuse avec les années. En effet, les performances des éléments se dégradent avec le temps, ce phénomène pourrait être considéré par le biais d'un facteur de dégradation. Ce qui n'est pas le cas pour nous et qui aurait pu fausser certains résultats.

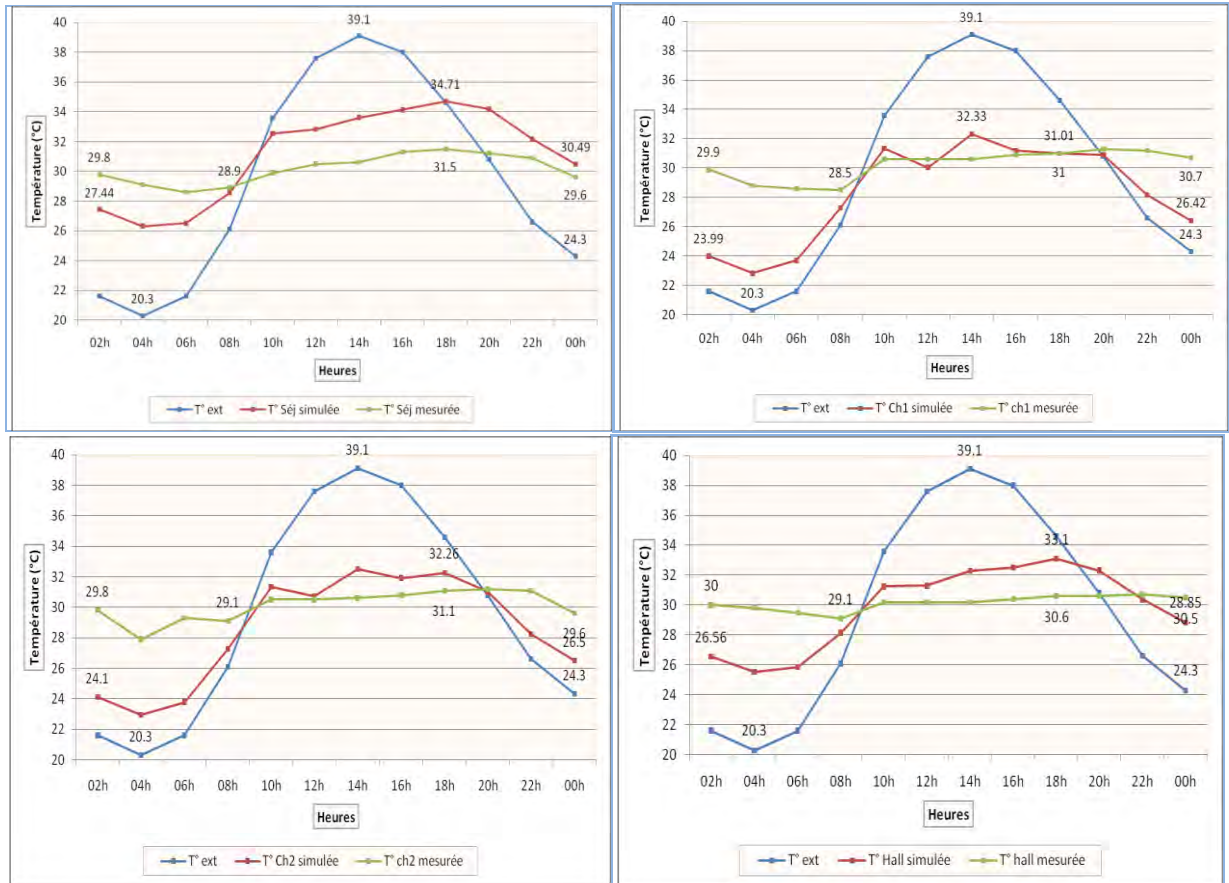


Fig. VI. 19 : Variation des températures extérieure et intérieures le 14/07/2010 au dernier étage. (Source: Auteur 2011)

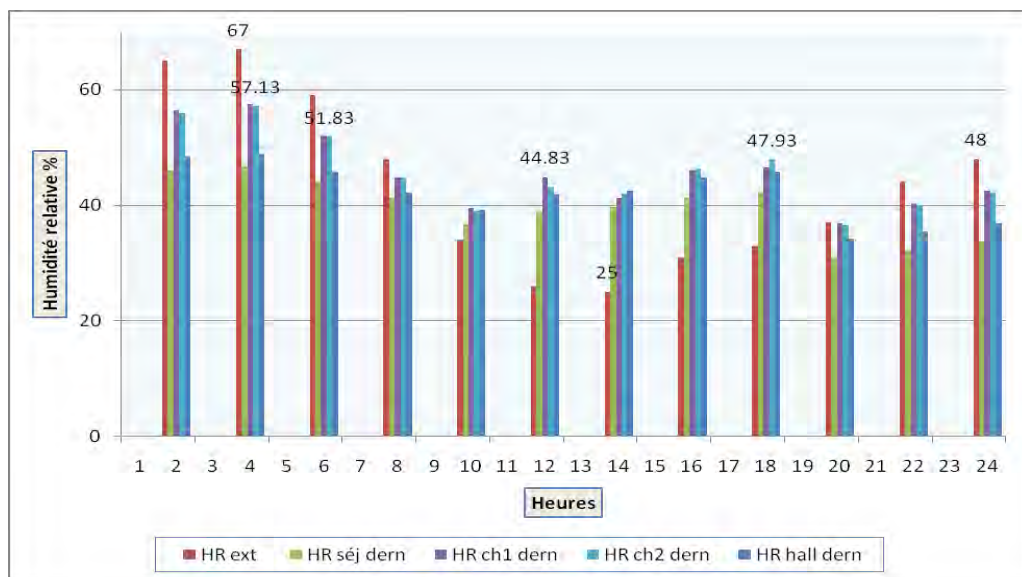


Fig. VI. 20 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure le 14/07/2010 au dernier étage. (Source: Auteur 2011)

Les valeurs des humidités relatives obtenues par le biais de la simulation sont inférieures à celles du suivi expérimental. Les histogrammes de la figure VI-20 révèlent que les humidités relatives mesurées au niveau de l'étage intermédiaire sont plus élevées que celles simulées par Tas témoignant d'un écart maximal de 11%. Ce qui peut être expliqué d'une part, par le degré de précision de la station météo utilisée et d'autre part par l'effet des apports internes sur le degré hygrométrique intérieur. Les valeurs de HR intérieures sont plus élevées que celles de l'extérieur dans la tranche horaire 9h-19h ce qui coïncide avec les humidités relatives mesurées.

VI.4.2.3 Résultats de la simulation de l'enveloppe avec lame d'air :

La figure (Fig. VI. 21) montre que les températures de l'air avec la paroi contenant une lame d'air dépassent celles de la paroi d'origine pendant toute la journée. L'écart est plus important lorsque le rayonnement est intense soit entre 10h et 18h.

La valeur maximale de la température simulée, paroi avec lame d'air, arrive à 35.5°C dans le séjour du dernier niveau à 19h, ce phénomène s'explique par le manque de ventilation de cet espace et la restitution de la chaleur contenue dans la véranda. La valeur maximale est supérieure que celle de la paroi avec polystyrène de 0.58°C, et de là montre le rôle que peut jouer un isolant entre deux couches de béton. Le même cheminement des hausses et des baisses est suivi pour cette journée caniculaire dans le cas de la paroi avec lame d'air, des températures menant à l'inconfort constamment.

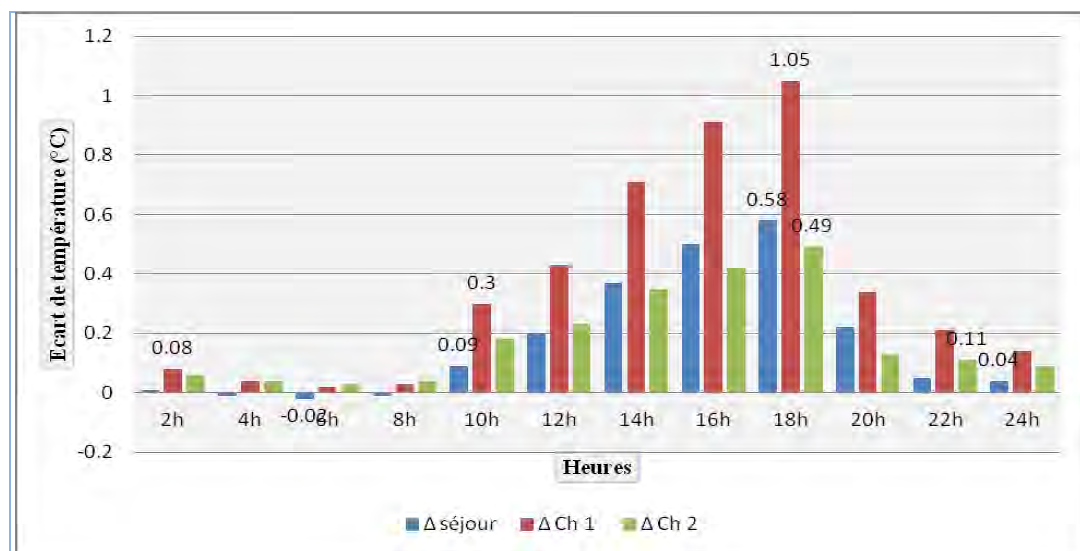


Fig. VI. 21 : Ecart de température entre la paroi avec lame d'air et la paroi d'origine le 14/07/2010. (Source: Auteur 2011)

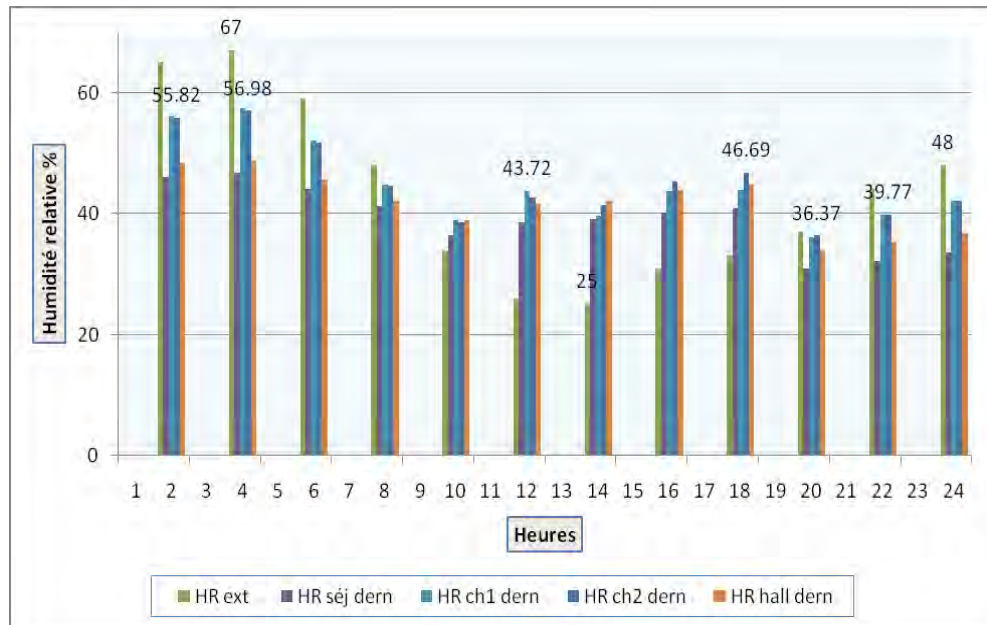


Fig. VI. 22 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure 14/07/2010 pour la paroi avec lame d'air.
(Source: Auteur 2011)

Les valeurs de l'humidité relatives oscillent entre 31 et 58% pour la paroi simulée avec la lame d'air, des valeurs qui rejoignent celles de la paroi initiale. Ce dernier niveau enregistre les valeurs les plus basses relativement aux deux autres niveaux.

Les résultats de la simulation avec le polystyrène et la lame d'air révèlent une performance en hiver en faveur de la lame d'air et en été le polystyrène est meilleur.

Les résultats de la simulation du bâtiment à l'état initial révèlent une correspondance entre les courbes de températures horaires simulées avec les courbes des températures mesurées en période diurne, mais en période nocturne les valeurs mesurées sont nettement supérieures à celles simulées surtout en saison estivale. Ce qui peut s'expliquer par la programmation des gains internes, les scénarii d'occupation des différents espaces et le manque de ventilation.

VI.5 Changement des paramètres :

Afin d'aboutir aux meilleurs résultats avec le changement des paramètres, la simulation s'est limitée à la quantification de la température intérieure durant la période estivale. D'une part, vu que la température est le facteur le plus déterminant dans la sensation du confort hygrothermique, et d'autre part, on sait que la saison estivale constitue la période la plus défavorable et la plus inconfortable de l'année dans la ville de Constantine, sachant aussi qu'en période hivernale, le chauffage d'appoint suffit à maintenir l'équilibre thermique.

L'analyse des résultats vise à déterminer les combinaisons de variables optimales pour la saison analysée, afin de limiter la surchauffe pour assurer un confort optimal dans les appartements ainsi qu'une amélioration de la consommation énergétique.

VI.5.1 Influence du type de vitrage :

VI.5.1.1 Choix du vitrage :

Pendant la saison chaude, la fenêtre préserve de la surchauffe, donc un intérêt particulier doit être porté à son vitrage. Dans la perspective d'amélioration du confort d'été, il est possible de changer le type de vitrage (cf. Tab. VI.6) notamment en prenant soin de choisir un faible facteur solaire afin de diminuer les gains solaires qui peuvent provoquer des surchauffes. La protection solaire bien dimensionnée pour favoriser le confort estival sans nuire au confort d'hiver semble représenter un bon compromis. La protection solaire permet de limiter le gêne visuel dû à l'ensoleillement direct et à limiter les gains d'énergie directe lorsque l'énergie solaire est importante.

Tab. VI. 6 : Caractéristiques du double vitrage proposé pour la simulation.
(Source: Tas bibliothèque)

Variante	Type du double vitrage choisi	Layer	U (W/m ² .°C)
1	4-12-4 low-e, air filled, one pane low-e* coated with normal emissivity of 0.15. Ug = 1.9	Verre clair	1.775
		Air	
		Verre avec couche basse émissivité	
2	4-20-4, low-e(0.15), air-filled, Ug=1.7	Les mêmes constituants	1.569
3	4-12-4 coated (e=0.15) argon-filled, Ug = 1.6	Verre clair	1.427
		Argon	
		Verre peu émissif	

* Les vitrages possédant une couche à basse émissivité sont également appelés vitrages Low-E.

VI.5.1.2 Evaluation de la performance thermique du bâtiment en utilisant le double vitrage :

Le choix a porté sur la variante 3 du DV doté d'un facteur U moindre. Les résultats de la simulation montrent qu'en changeant le vitrage simple avec du double vitrage, les températures intérieures ne diminuent pas beaucoup. On sait que les apports solaires transmis par un simple vitrage sont plus importants que ceux transmis par un double vitrage, mais malgré cela, on constate un écart de température ne dépassant en aucun cas dans les trois appartements les 1°C,

ce qui peut s'avérer insignifiant mais qui contribue à la réduction des charges de climatisation et permet d'économiser de l'énergie (jusqu'à 17% d'économie d'énergie cf. Tab VI.9) en réduisant les gains solaires à travers les fenêtres.

L'espace séjour est en surchauffe la majorité du temps, il reçoit une grande quantité de radiation incidente. Pour l'abaisser on doit limiter les gains solaires par le remplacement du simple vitrage par le double vitrage et évacuer la surchauffe restante par ventilation naturelle lorsque la température est supérieure à 28°C. Les figures qui suivent (cf. Fig. VI.23) montrent qu'à tous les niveaux, le séjour réalise la meilleure baisse de température après l'utilisation du double vitrage, suivi par la chambre centrale puis la chambre située à l'extrémité.

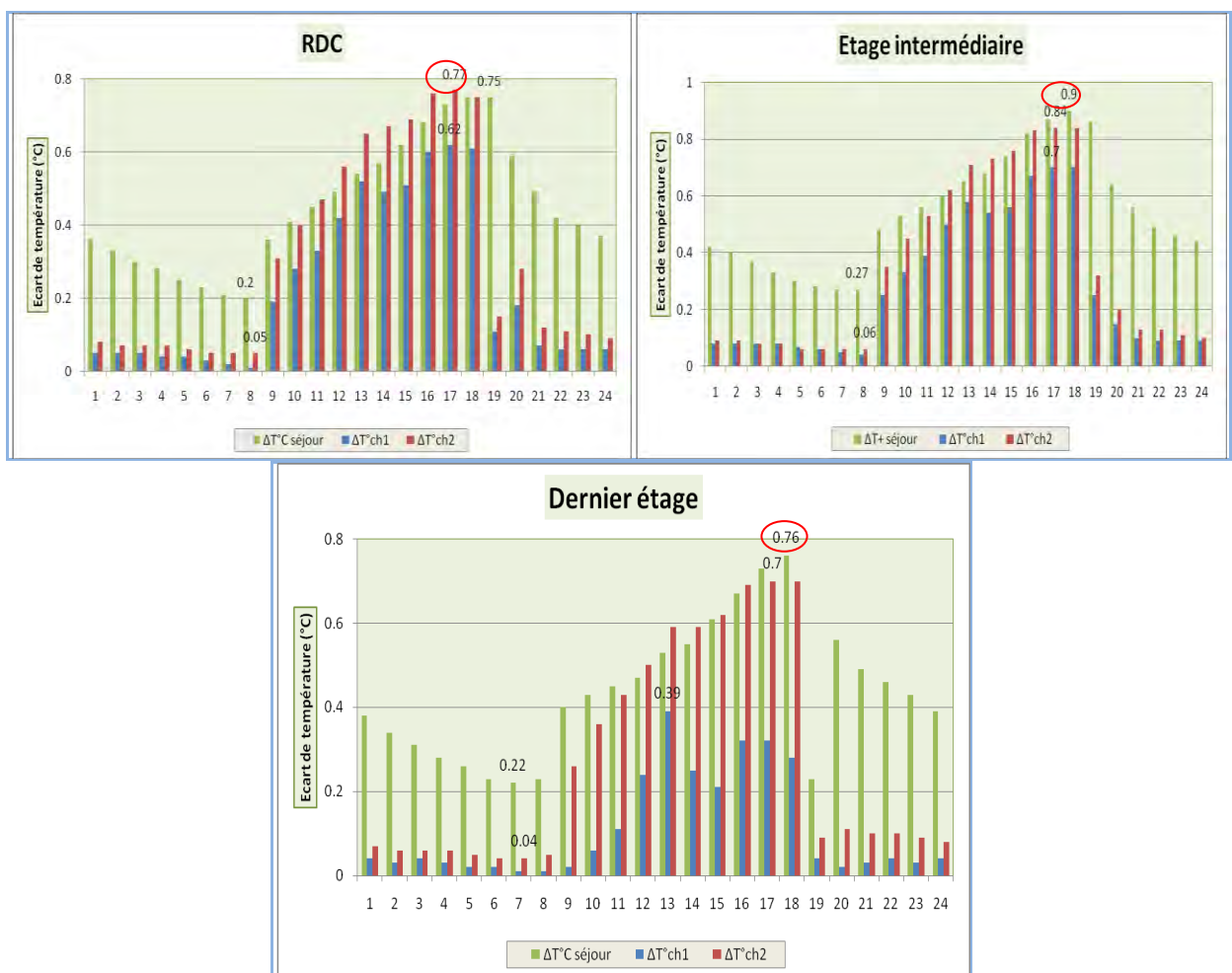


Fig. VI. 23 : Différence des températures de l'air entre l'état initial et l'utilisation du DV pour le mois de juillet. (Source: Auteur 2011)

Les valeurs d'écart les plus importantes enregistrées sont pendant la période diurne où le double vitrage agit comme écran au soleil. Le modèle simulé avec double vitrage est donc plus performant énergétiquement sur une base annuelle que celui avec le simple vitrage car il laisse

entrer moins de rayonnement solaire à l'intérieur de l'appartement surtout au niveau de la véranda qui communique avec le séjour, diminuant ainsi la surchauffe en été.

VI.5.2 Influence de l'isolant :

Economiser l'énergie c'est obtenir le même confort en utilisant moins d'énergie. Le rôle de l'isolation thermique est de préserver le confort en réduisant les échanges thermiques avec l'ambiance extérieure.²⁵⁴ Afin d'accroître la résistance thermique d'une paroi, on utilise des isolants thermiques dont le principe est d'emprisonner l'air dans les alvéoles les plus petites possibles pour réduire les mouvements de convection et les transferts par conduction.²⁵⁵ La super isolation demande des coefficients de résistance thermique de l'ordre de $7\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ pour les murs et de $10\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ pour la toiture.²⁵⁶

Les recommandations et réglementations thermiques préconisent une isolation thermique renforcée des parois opaques des bâtiments. Mais d'après Sambou (2008), une forte isolation, si elle limite la consommation d'hiver liée au chauffage, induit de fortes surchauffes en été. Afin de lutter contre ce phénomène, diverses méthodes sont possibles, comme la sur ventilation nocturne, les méthodes architecturales, ou l'inertie thermique. Selon Flory-Celini (2008), les surchauffes en périodes chaudes peuvent être réduites par l'amélioration de l'inertie du bâtiment.

D'autre part, on sait que pour une paroi, augmenter l'isolation thermique accroît sa résistance thermique et diminue, par conséquent, les déperditions et les gains, donc diminue la consommation d'énergie.

VI.5.2.1 L'emplacement de l'isolant :

L'emplacement idéal de l'isolant dans la paroi est celui du côté externe de la masse thermique selon les résultats de plusieurs chercheurs comme Givono (1978), S.J Axford²⁵⁷ (1983) Eben Salah(1989), Al-Mofeez (1993)²⁵⁸, Kossecka et al (2002), Medjelekh et al (2006), Ozel et al (2007), Fezzioui et al.(2008), Sambou (2008), Guechhati et al. (2010) et Gallauziaux

²⁵⁴ Liébard A. & De Herde H. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable » Ed. Le Moniteur, France 2005. p 84

²⁵⁵ **Mémento techniques du bâtiment** « Le confort thermique », Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer. CETE Lyon, Juillet 2003

²⁵⁶ Watson D. & Camous R. « Op.Cit 3 » page108.

²⁵⁷ Axford.S.J. 1983. In AL-MOFEEZ. A. I. «*Field test results of interior VS exterior insulation of thermal mass in extremely hot-arid climates.* » Rapport d'étude, Saudi Arabia King Faisal University Department of Architecture, 1993.

²⁵⁸ Al-Mofeez A. I. « *Field test results of interior VS exterior insulation of thermal mass in extremely hot-arid climates* », Rapport d'étude, Saudi Arabia King Faisal University Department of Architecture, 1993.

et al. (2010) qui suggèrent que l'application de l'isolation sur la face externe de l'enveloppe donne une faible oscillation de la température intérieure (cf. Chapitre III) et améliore le confort intérieur grâce à l'inertie thermique. Cependant, la recherche des caractéristiques de l'isolant avec l'épaisseur optimale a été évaluée en testant l'effet et l'épaisseur de l'isolant sur sa performance thermique.

VI.5.2.2 Le choix de l'isolant :

D'après Al- Khawaja et al. (2004) : afin de réduire efficacement le flux de chaleur, les matériaux d'isolation adéquate devraient être choisis en tenant compte de l'objectif assigné : la préservation de l'environnement, la facilité de manipulation et d'installation ainsi que le coût. Ce dernier est un facteur important qui va modifier toute décision dans le choix des isolants. Papadopoulos (2005)²⁵⁹ affirme que les matériaux d'isolation doivent améliorer leur performance, mais ils doivent être aussi adaptatifs, sains et non coûteux.

Les résultats des chercheurs comme Mohsen et al (2001), Daouas et al.(2010) montrent que le cas le plus rentable économiquement pour réaliser des économies d'énergie est l'utilisation du polystyrène expansé pour l'isolation. Yu et al. (2009) ont prouvé que le polystyrène expansé est le matériau isolant le plus économique de par la basse période de récupération et sa haute durée de cycle de vie. Alors que Al- Khawaja et al (2004), ont suggéré que le polystyrène extrudé donne le meilleur rendement avec un coût moindre dans les pays chauds. Quant à Al-Homoud M.S. (2005), il considère que le polyuréthane a la meilleure valeur de la résistance thermique par rapport aux autres isolants et de ce fait c'est le plus performant.

D'autres chercheurs comme Jean-Pierre Oliva (2005)²⁶⁰ apporte un éclairage sur le choix technique des isolants. Il expose en détail les caractéristiques hygrothermiques de chaque isolant, et donne même leur impact sur l'environnement et sur la santé de l'être humain. Dans notre cas, notre choix a porté sur un isolant minéral « la laine de verre » et deux isolants synthétiques « le polystyrène expansé » et « le polyuréthane » pour réaliser les différentes simulations de par leur disponibilité et leur faible coût (cf. Tab. VI.7). L'isolant est placé sur la face externe de l'enveloppe afin de vérifier l'effet de l'isolation du bâtiment sur la température intérieure des

²⁵⁹ **Papadopoulos A.M.** « State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments», Energy and Buildings 37, 2005, pp: 255-265.

²⁶⁰ **Oliva J. P.** (2005) In **Medjelekh D.** « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitat de l'époque coloniale à Guelma », Mémoire de magister. Université de Constantine, 2006, p 141.

différents espaces. Le but est d'exploiter au maximum les variations de la température extérieure, en jouant sur le déphasage entre celle-ci et la température intérieure et son impact sur les charges de refroidissement par le biais d'un procédé actif.

Tab. VI. 7 : Caractéristiques des isolants proposés pour la simulation.

Source : DTR / bibliothèque de Tas program.

Type	Matériaux	λ (W/m.°C)
Isolant minéral	Laine de verre	0.035
Mousses synthétiques	Polystyrène expansé	0.046
	Polyuréthane	0.026

VI.5.2.3 L'épaisseur de l'isolant :

L'optimisation de l'épaisseur de l'isolant sur les charges de refroidissement est plus appropriée pour l'économie d'énergie dans les zones chaudes selon les résultats de bon nombre de chercheurs tel que Al- Khawaja et al (2004), Al-Sanea et al. (2005), Bolattürk et al.(2008), Fezzioui et al.(2008) et Aktacir et al.(2010).

L'épaisseur recommandée de l'isolation, pour des raisons économiques, est entre 5 et 10cm puisque la température intérieure reste peu sensible à partir de ces valeurs. Confirmant les résultats des chercheurs Eben Salah (1989), Nezzar et al. (1999), Comakli et al. (2003), Medjelekh et al. (2006) ainsi que Daouas et al. (2010). L'évaluation de l'effet de l'épaisseur de l'isolant sur la température ambiante a été établie par une comparaison entre trois épaisseurs différentes 5cm, 7cm et 10cm (cf. Fig. VI.24). On constate notamment que les courbes des trois épaisseurs sont confondues, ce qui démontre que l'épaisseur de l'isolant n'a un grand impact sur son efficacité.

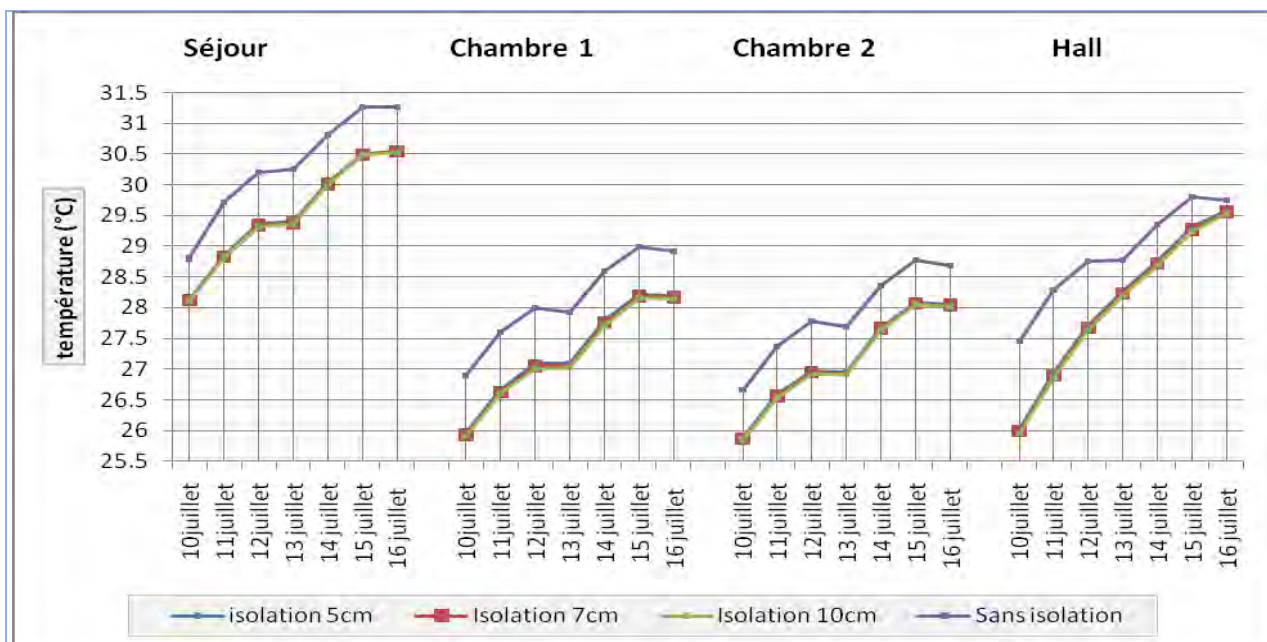


Fig. VI. 24 : Influence de l'épaisseur de l'isolant (polystyrène) sur la température intérieure à l'étage intermédiaire du 10 au 16 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

Avec l'association du double vitrage à l'isolation de l'enveloppe extérieure, l'épaisseur de l'isolant entre 5cm et 7-10cm est marquée par la baisse en moyenne de 0.5°C dans la température intérieure des deux chambres alors que le séjour bénéficie de 1°C, ceci s'explique par l'influence des gains thermiques par rayonnement solaire absorbé par la véranda et atténués par le double vitrage de la véranda (cf. Fig. VI.25).

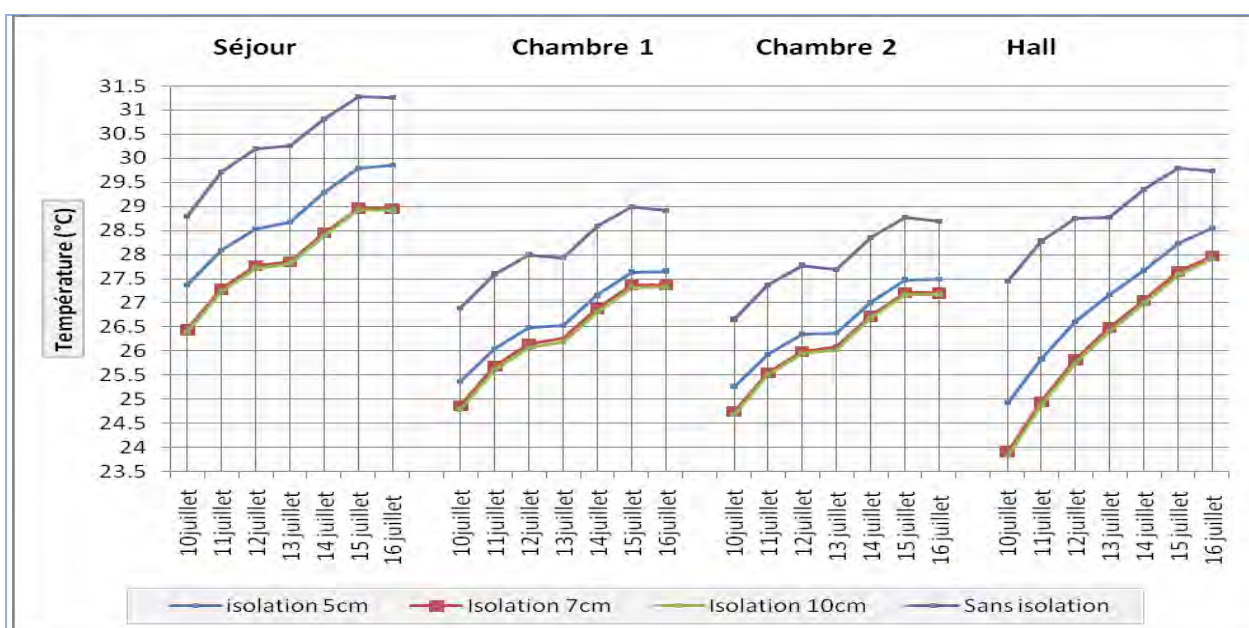


Fig. VI. 25 : Influence de l'épaisseur de l'isolant (polystyrène) associé à l'utilisation du double vitrage sur la température intérieure à l'étage intermédiaire du 10 au 16 juillet 2010.

(Source: Auteur 2011)

VI.5.3 Evaluation des performances thermiques de l’enveloppe après isolation :

Plusieurs cas de figure sont considérés avec les profils des écarts réalisés selon les différents scénarii. La comparaison avec le modèle de référence (état initial) vise à quantifier l’amélioration du confort, ainsi que son effet sur la consommation énergétique du bâtiment avec des variables optimisées.

VI.5.3.1 Isolation externe de l’enveloppe avec du polystyrène :

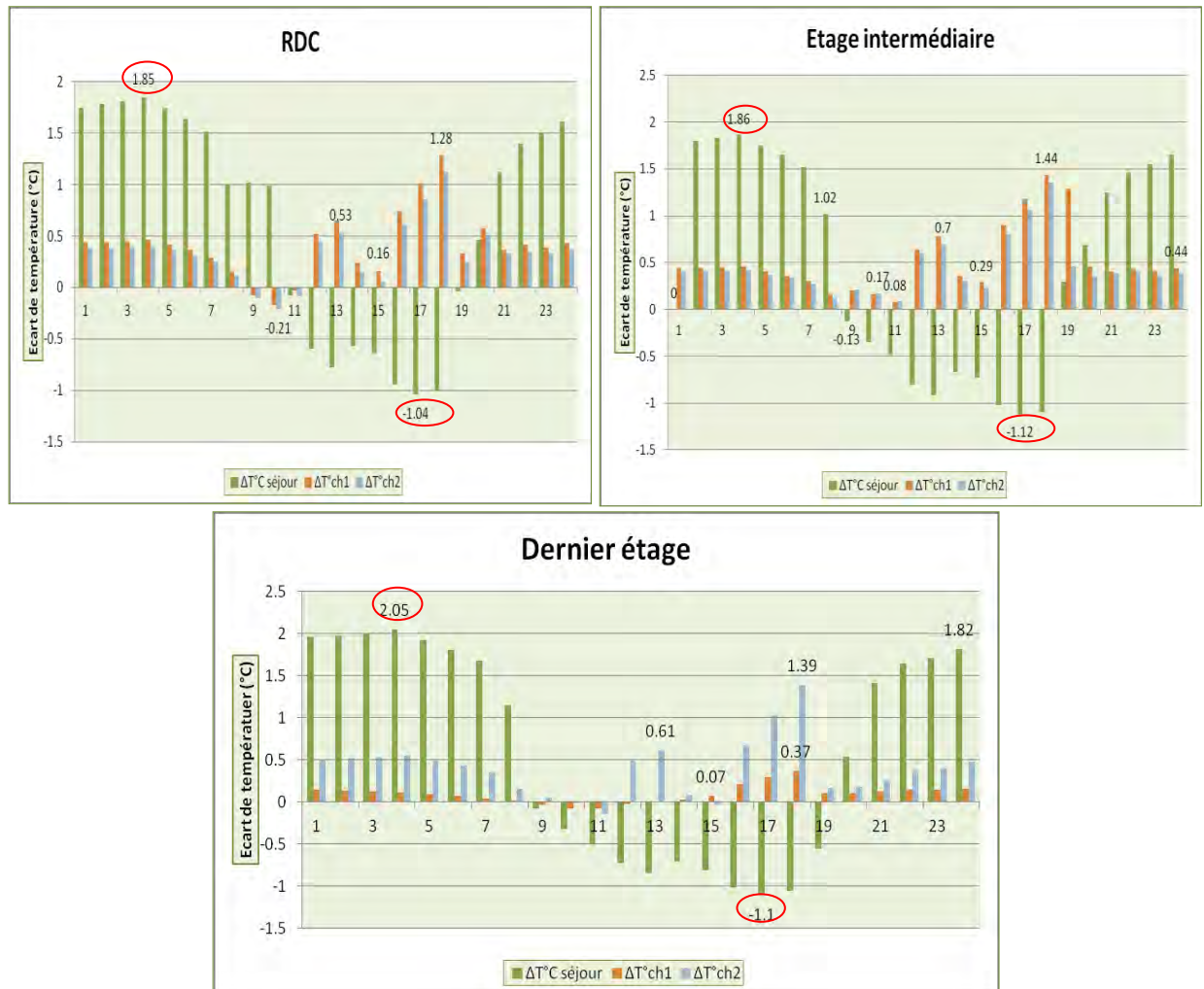


Fig. VI. 26 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée en polystyrène et la paroi d’origine 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

La température intérieure du RDC enregistre des baisses considérables (jusqu’à 1.85°C) au niveau du séjour en période nocturne. Cependant la journée, la température du même espace, à partir de 10 heures, gagne jusqu’à 1.04°C, cette hausse de la température est due à l’importance des gains solaires de la grande surface vitrée de la véranda et sa restitution dans l’espace adjacent. Les deux chambres, en revanche, enregistrent les baisses les plus importantes (de

0.16°C à 1.28°C) pendant la période diurne. A ce moment là, l'isolant réduit le gain de chaleur de la paroi orientée nord-est du bâtiment en réduisant le transfert de chaleur par rayonnement.

Les mêmes constatations au niveau de l'étage intermédiaire, la température intérieure est en baisse pendant toute la journée dans les deux chambres, alors que le séjour, enregistre des baisses plus importantes en période nocturne pouvant atteindre 1.86°C à 04h et des hausses en période diurne atteignant 1.12°C à 17heures. Au dernier niveau, les écarts enregistrés dans la chambre latérale ayant deux parois exposées sont insignifiants, ils atteignent à peine 0.37°C à 18h. La chambre centrale enregistre des baisses pas trop importantes également sauf dans l'intervalle de temps 16h – 18h, coïncidant avec les valeurs de température extérieure les plus élevées de la journée. Quant à l'espace séjour, des baisses pendant la nuit et des hausses la journée générées essentiellement par les apports à travers le vitrage de la véranda. On trouve des fois des températures d'isolation supérieures par rapport à celles sans isolation (cf. Fig. VI.26). Sachant qu'en été la véranda garde davantage les gains solaires car la façade sud-ouest est responsable de surchauffe. Ces gains sont restitués par la suite au séjour, son confort diminue alors.

On a confirmé que la couche isolante ne va pas favoriser la régulation de la température et va emmagasiner la chaleur reçue par les parois opaques et vitrées pendant la période chaude de la journée. Ce phénomène physique est observé dans le cas où les différents murs ont stocké suffisamment de chaleur.

VI.5.3.2 Isolation externe de l'enveloppe avec du polyuréthane :

L'isolation de l'enveloppe avec du polyuréthane réalise des baisses assez importantes en période diurne au niveau de tous les espaces du RDC et de l'étage intermédiaire. L'espace séjour enregistre les écarts de température les plus importants durant la nuit. Au dernier niveau, les écarts sont moins importants qu'aux autres niveaux, ceci est dû à l'importance du flux de chaleur reçu par la toiture et le simple vitrage de la véranda.

Sur la base de l'histogramme (cf. Fig. VI.27), des écarts de températures intérieures obtenues par simulation, nous montre une élévation de la performance thermique en fonction des heures de la journée par rapport au cas initial. Des baisses de température atteignant le seuil de 2.21°C, assez significatives dans la consommation d'énergie puisque SONELGAZ estime qu'une baisse de 1°C mène à une économie d'énergie d'environ 7%²⁶¹ et d'autres recherches ont

²⁶¹ Sonelgaz « Guide du confort », p. 16.

prouvé qu'une réduction de seulement 0,5°C allège la consommation énergétique de la climatisation d'environ 8 %²⁶².

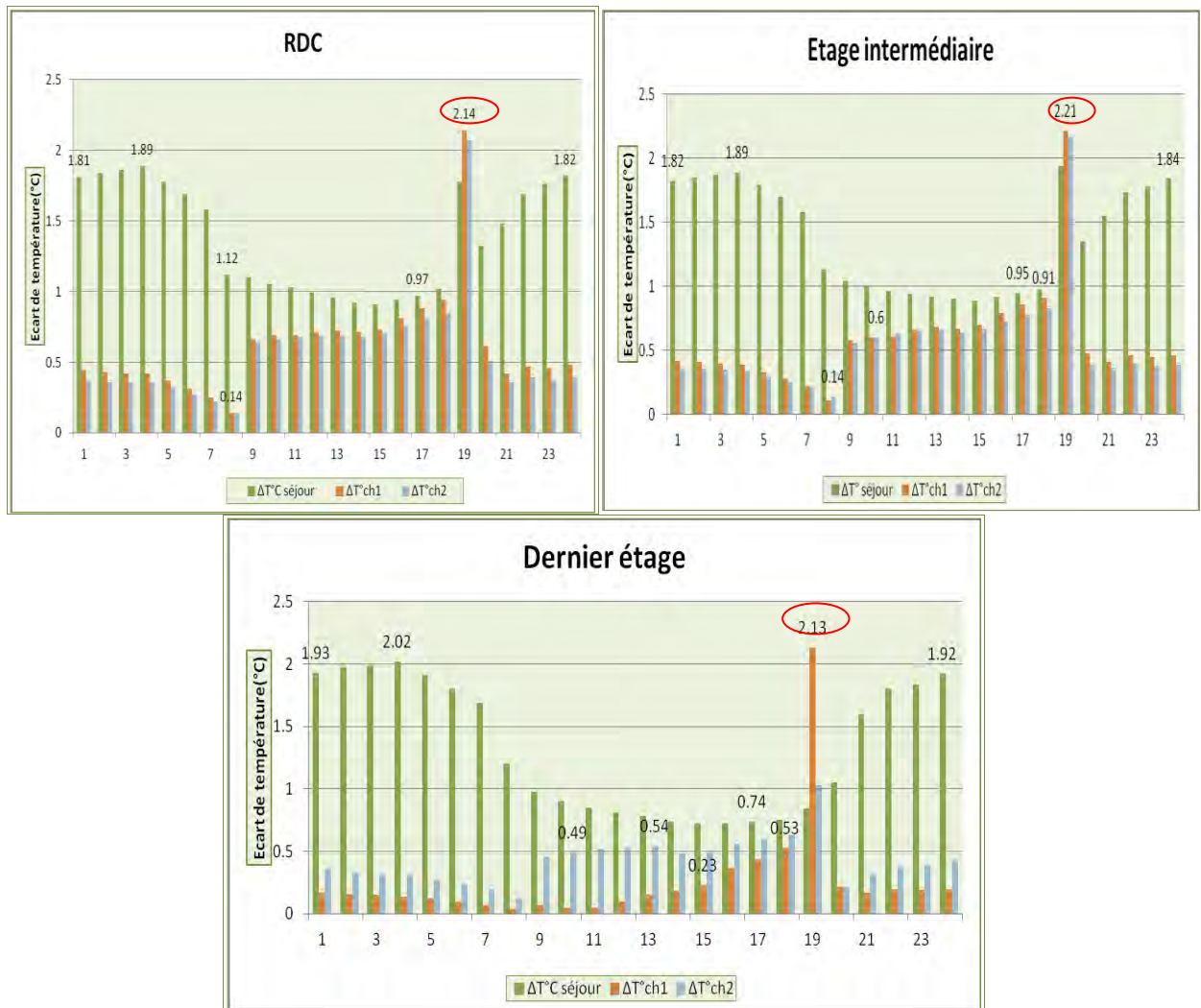


Fig. VI. 27 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée en polyuréthane et la paroi d'origine 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

VI.5.3.3 Isolation externe de l'enveloppe avec la laine de verre :

On constate que l'écart est positif avec une valeur maximale de 1.91°C à 4h, dû à l'évacuation de la chaleur vers l'extérieur par la ventilation transversale (cf. Fig. VI.28). En revanche, pendant le jour, même si l'écart entre les températures est positif marquant un maximum de 0.93°C, il reste minime comparé à celui de la période nocturne dans l'espace séjour (jusqu'à 1.91°C), expliqué par l'effet de la ventilation nocturne la nuit.

²⁶² Leroux F. « Intégration végétale des bâtiments, contributions environnementales sur une maison individuelle », Mémoire de formation continue, Architecture HQE, Ecole d'Architecture de Lyon, Session 2005.p.12.

Avec la laine de verre comme isolant extérieur de l'enveloppe, le séjour du dernier niveau enregistre un écart maximum de 2.05°C à 04h durant la nuit et 0.85°C en période diurne. Cependant, l'écart dans les deux chambres ne dépasse en aucun cas 0.5°C. Ceci s'explique par l'orientation des deux façades et l'importance du flux solaire reçu par la toiture non isolée.

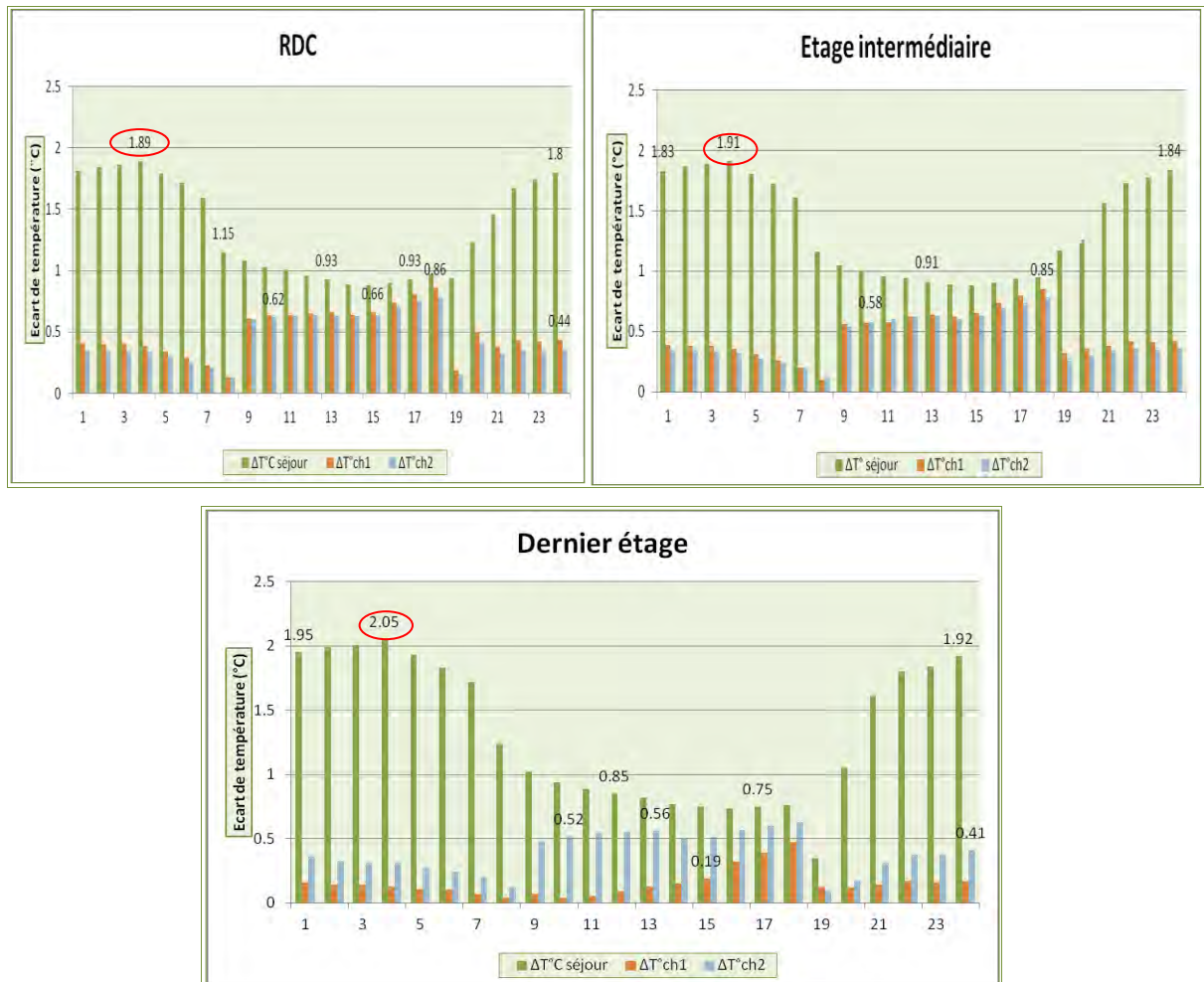


Fig. VI. 28 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre et la paroi d'origine 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

Outre la baisse minime des températures de l'air intérieur des différents espaces, l'isolation de l'enveloppe a permis la réduction du flux de chaleur à travers les parois opaques de l'enveloppe et le nombre d'heures d'inconfort. De ce fait, elle a permis la réduction de la consommation d'énergie pour le rafraîchissement, valeurs oscillant entre 22%et 36%. Ce qui confirme l'efficacité de l'isolation de l'enveloppe dans l'atténuation des fluctuations de température. Ainsi les heures d'inconfort sont réduites et les besoins énergétiques aussi. D'après l'étude des cas le polyuréthane présente des performances thermiques meilleures que celles du

polystyrène expansé et la laine de verre, rejoignant par là les résultats des chercheurs Al-Homoud (2005).

VI.5.4 Evaluation des performances thermiques du bâtiment après isolation extérieure de l'enveloppe et utilisation du double vitrage :

Malgré la hausse des températures de l'air extérieur, l'isolation de l'enveloppe combinée à l'utilisation du double vitrage a pu procurer un rafraîchissement passif dans les différentes pièces de l'appartement dans tous les niveaux, avec une réduction moyenne des températures intérieures qui reste assez significative pour les journées caniculaires (14,15 et 16 juillet). De plus, la véranda est un espace de transition à laquelle aucune consigne de climatisation n'est appliquée et qui subit de plus grandes fluctuations de température. Aussi, on peut supposer que l'ajout du double vitrage aura tendance à diminuer l'écart entre les performances des différents espaces.

VI.5.4.1 Isolation de l'enveloppe avec du polystyrène et utilisation du DV:

Les apports de chaleur sont amortis dans la journée aux niveaux des étages inférieurs d'un maximum de 4.54°C (cf. Fig. VI.29). Quant au dernier niveau, ils sont amortis d'un maximum de 3.11°C. Dans ce cas de figure, les baisses de température les plus importantes sont réalisées dans les chambres. A l'inverse, la nuit c'est l'espace séjour qui bénéficie des écarts considérables jusqu'à 3.35°C, dû essentiellement à la réduction des radiations solaires reçues par le vitrage de la véranda.

On note par ailleurs que l'écart de température minimal 0.2°C survient à 08h au niveau des chambres, ceci est dû à la ventilation nocturne qui permet une meilleure extraction de la chaleur dans le cas de l'enveloppe isolée et non isolée.

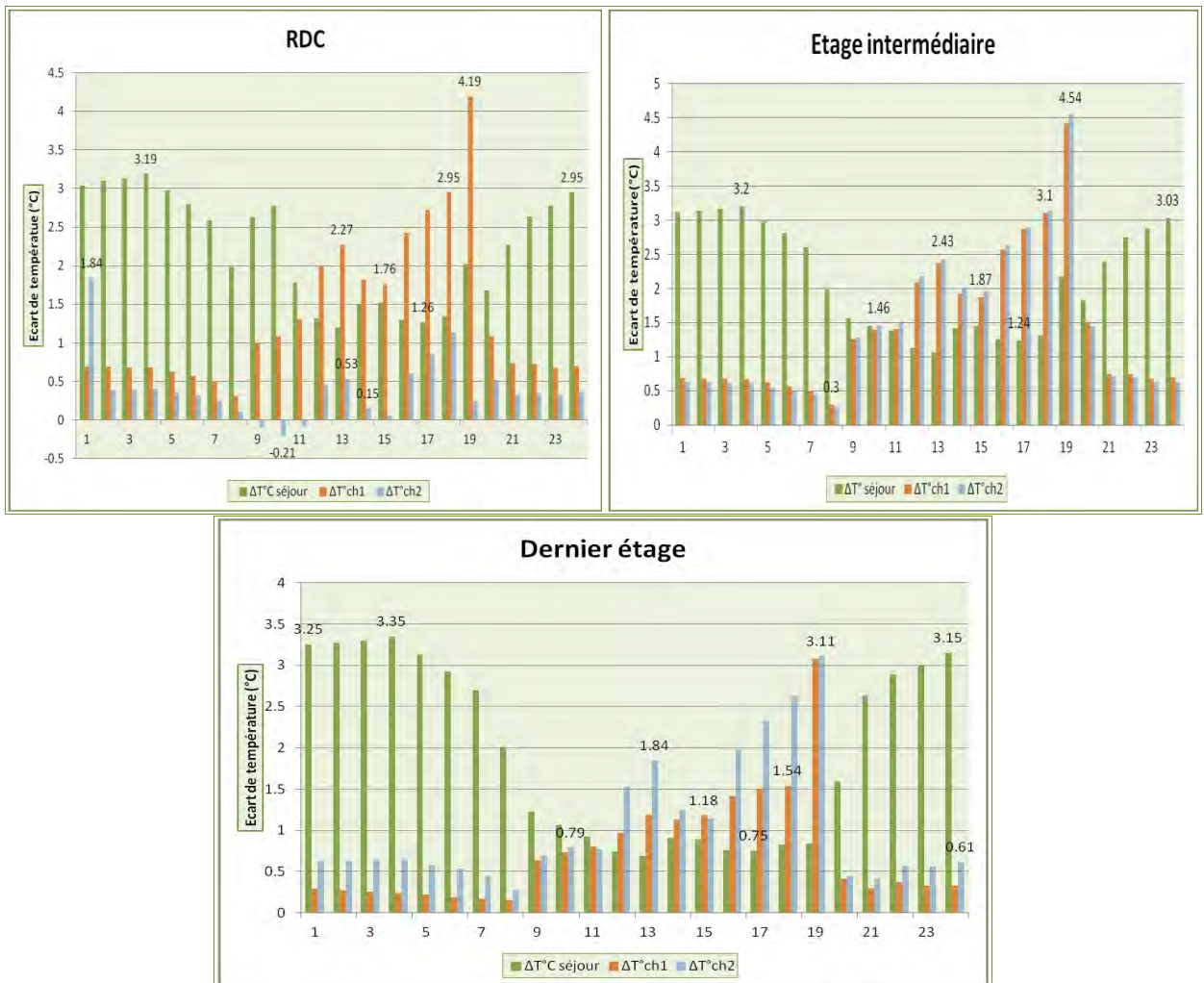


Fig. VI. 29 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polystyrène couplée à l'utilisation du DV et le cas initial le 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

VI.5.4.2 Isolation de l'enveloppe avec du polyuréthane et utilisation du DV:

La nuit, lorsque les températures sont basses, la couche de l'isolant en plus du double vitrage augmente la perte de chaleur du séjour parce qu'elle réduit le transfert de chaleur par rayonnement. Le dernier étage enregistre les écarts les moins importants par rapport aux autres niveaux. Pendant la période chaude de la journée, la température intérieure est en baisse continue jusqu'à atteindre 3.53°C de moins que la température enregistrée dans le cas de la paroi à l'état initial (cf. Fig. VI.30). Ce qui démontre l'efficacité de l'isolation extérieure de l'enveloppe associée à l'utilisation du double vitrage.

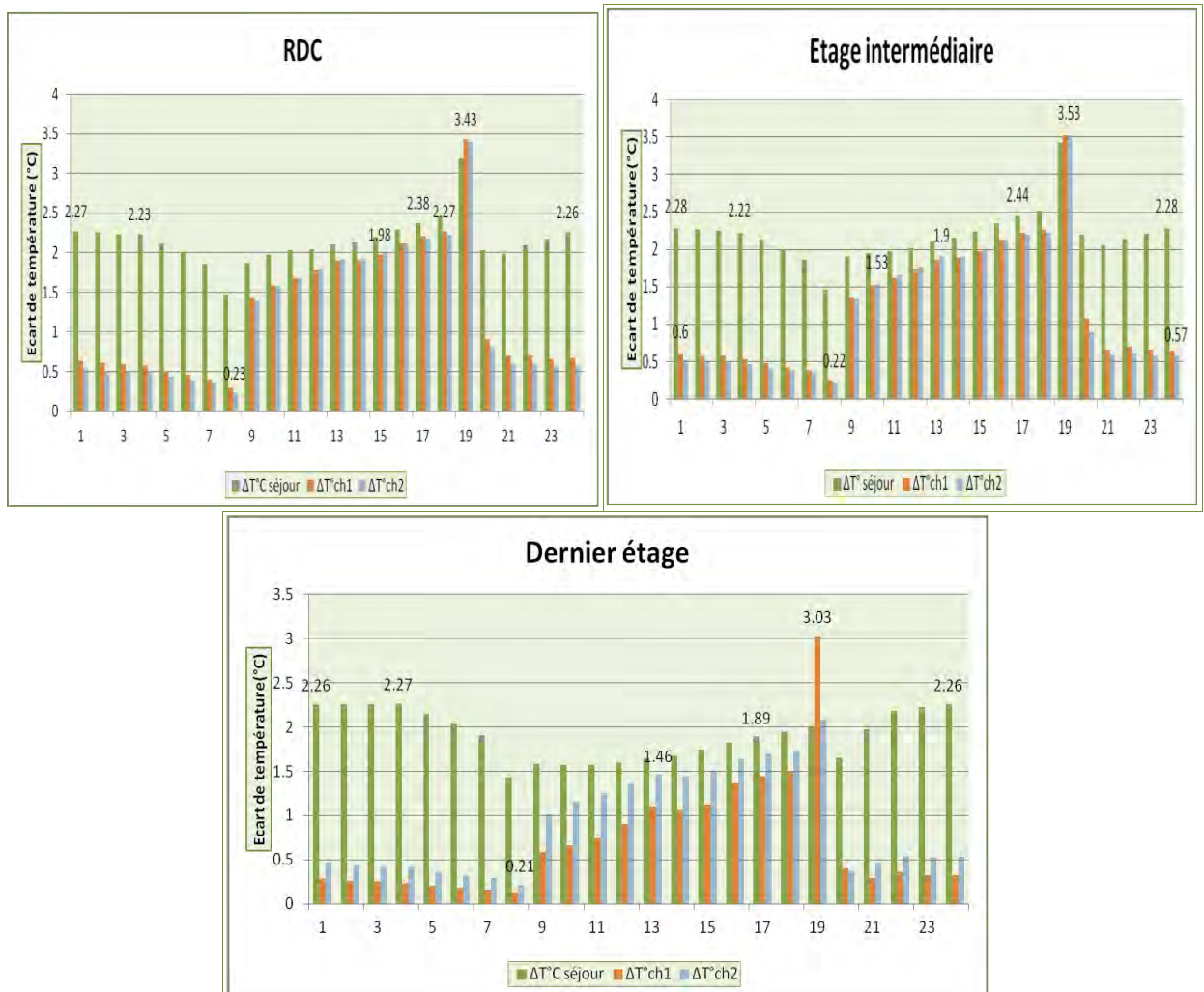


Fig. VI. 30 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polyuréthane couplée à l'utilisation du DV et le cas initial le 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

VI.5.4.3 Isolation de l'enveloppe avec la laine de verre et utilisation du DV:

Les écarts maximum atteints dans ce cas sont inférieurs aux deux premiers cas (polystyrène et polyuréthane). L'isolation associée à l'utilisation du double vitrage a réalisé des performances thermiques considérables en période diurne et de même en période nocturne au niveau du séjour (cf. Fig. VI.31).

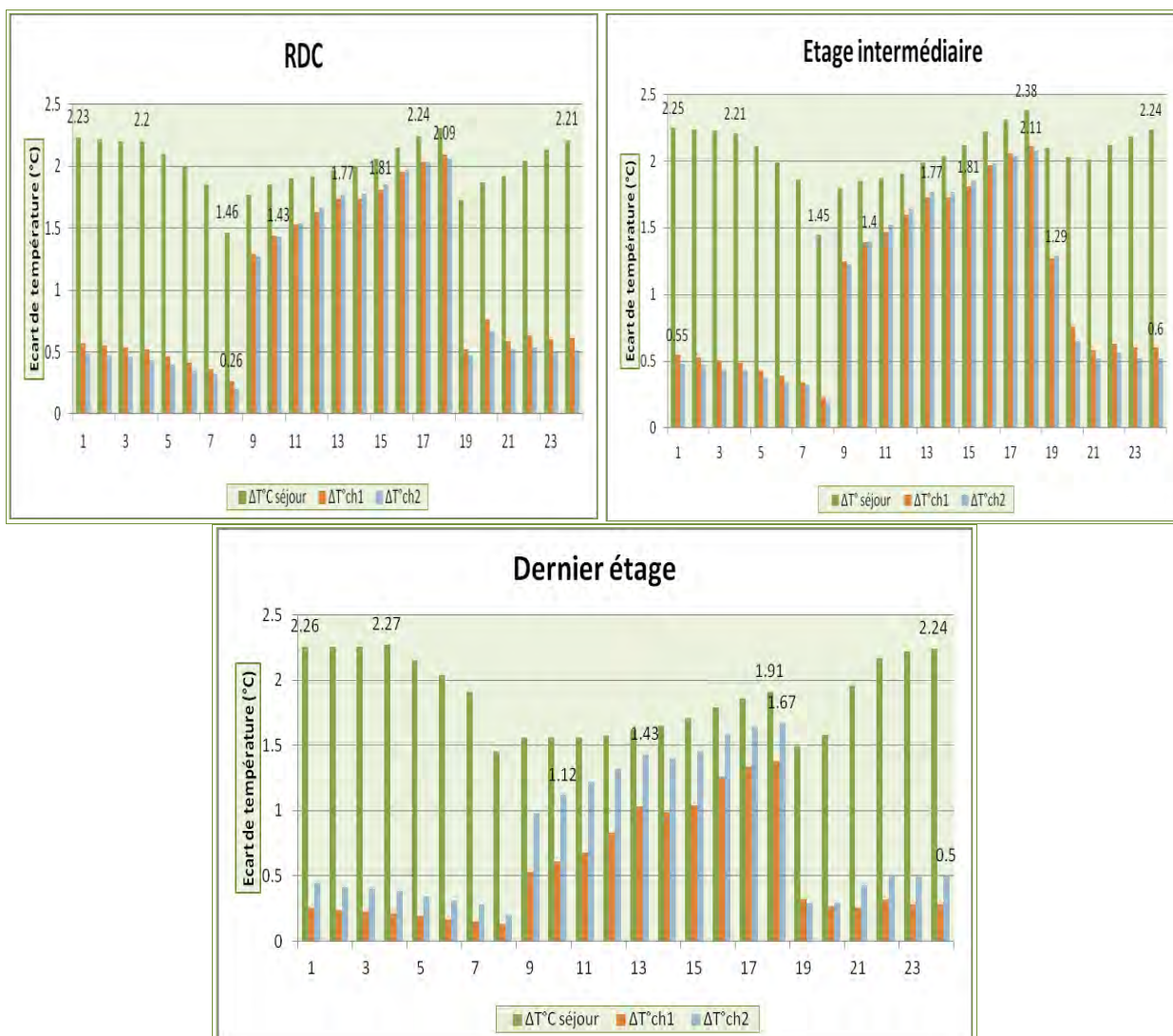


Fig. VI. 31 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre couplée à l'utilisation du DV et le cas initial le 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

On peut dire, qu'hormis la ventilation en période nocturne, une baisse de températures de l'air plus importante est procurée par l'isolation de l'enveloppe et le double vitrage lorsque l'air extérieur est très chaud pendant la période diurne surtout au niveau des étages inférieurs. Il y a peu de variation entre les modèles pour les heures d'inconfort. La ventilation naturelle compense les variations d'isolation entre les différents modèles. L'inconfort dû à la chaleur diminue avec la variante 4 « isolation de l'enveloppe + double vitrage », car il y a réduction des gains solaires et une diminution des besoins de climatisation de l'ordre de 35% jusqu'à 51%.

VI.5.5 Evaluation des performances thermiques du bâtiment après isolation extérieure de l'enveloppe et l'isolation du toit :

L'isolation extérieure de l'enveloppe combinée à l'isolation de la toiture a fait ses preuves dans bon nombre de sujets de recherche. Dans les cas précédemment étudiés, on a noté les écarts de température intérieure les moins importants au niveau de l'étage supérieur, dûs au flux de chaleur reçu par la toiture, ce qui nous amène à analyser ce cas précis et voir quelles sont les possibilités d'amélioration des performances thermiques des différents espaces dans l'appartement situé au dernier étage. Le choix de l'enveloppe du bâtiment notamment l'isolation des murs extérieurs et de la toiture, a une incidence notable sur la consommation d'énergie.

VI.5.5.1 Isolation externe avec du polystyrène et isolation du toit :

Bien que cette variante limite la surchauffe dans les chambres orientées nord-est, le sud-ouest reste l'orientation la plus difficile à contrôler en raison de l'incidence du rayonnement solaire par cette façade vitrée dans sa totalité. On remarque dans l'historique (cf. Fig. VI.32), les écarts négatifs au niveau du séjour, ce qui montre que l'isolation au lieu de limiter la surchauffe dans cet espace, elle l'a accentuée, la chaleur reste piégée dans l'espace ne pouvant être dissipée vu l'augmentation de la performance des parois isolées.

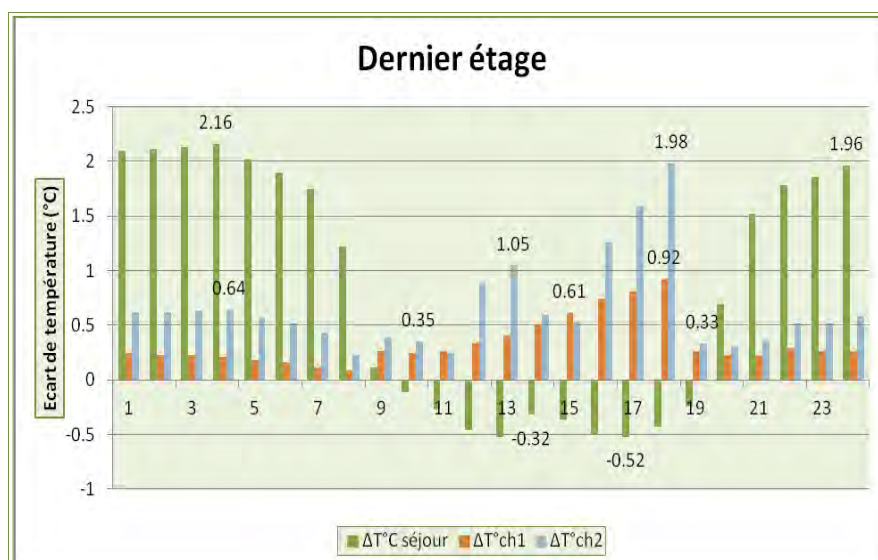


Fig. VI. 32 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polystyrène couplée à l'isolation de la toiture et le cas initial le 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

VI.5.5.2 Isolation de l'enveloppe avec du polyuréthane et isolation du toit :

Avec le polyuréthane comme isolant, on constate des écarts positifs pendant toute la journée. L'écart maximal atteint 2.81°C au sein de la chambre1 à 19h et l'écart minimal est de 0.21°C au sein de la même pièce qui bénéficie de deux parois externes (cf. Fig. VI.33). Le séjour

réalise les meilleures performances thermiques et voit ses heures d'inconfort diminuer considérablement.

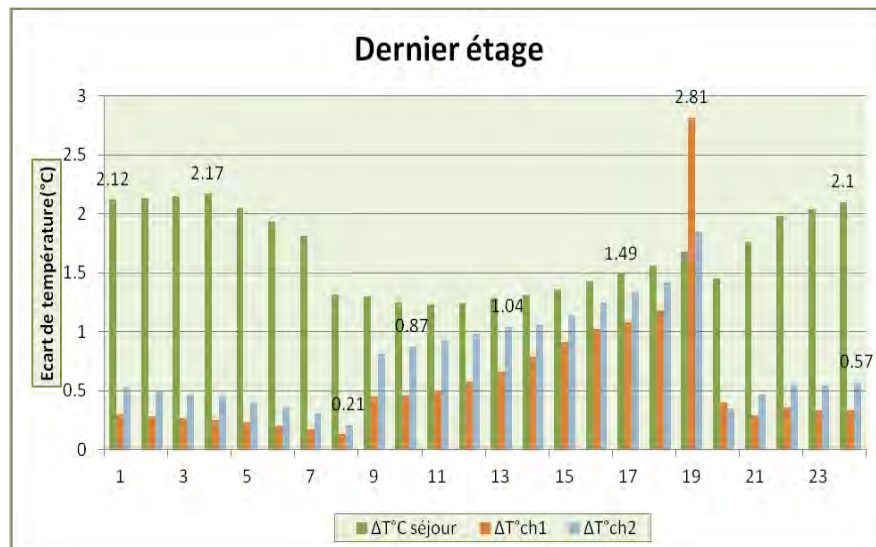


Fig. VI. 33 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polyuréthane couplée à l'isolation de la toiture et le cas initial le 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

VI.5.5.3 Isolation de l'enveloppe avec la laine de verre et isolation du toit:

On constate que ce cas de figure réalise des écarts positifs tout au long de la journée (cf. Fig. VI.34). Les plus importants en période diurne réduisant ainsi le nombre d'heures d'inconfort dans l'appartement.

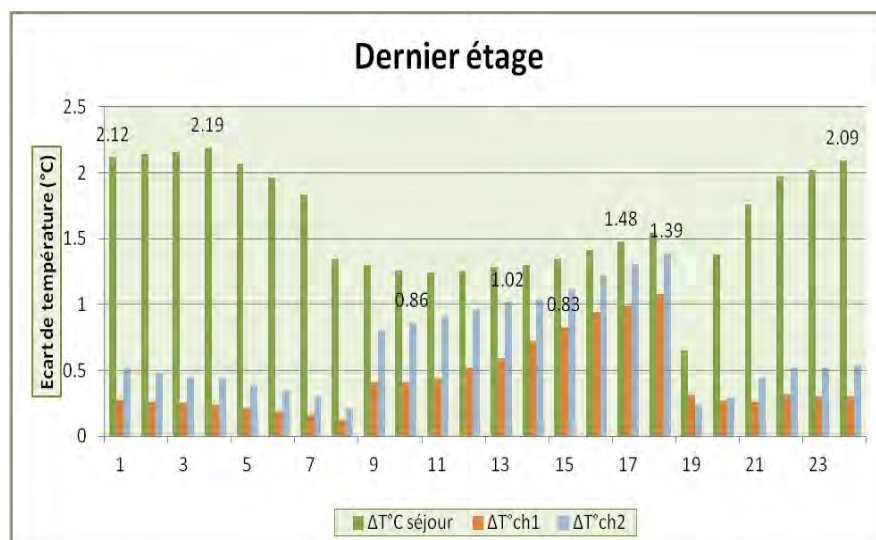


Fig. VI. 34 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre couplée à l'isolation de la toiture et le cas initial le 14 juillet 2010. (Source: Auteur 2011)

En isolant le toit et l'enveloppe, les températures intérieures des espaces de l'appartement du dernier étage baissent plus qu'avec l'isolation de l'enveloppe. Ce qui rejoint les résultats des chercheurs Fezzioui et al. (2008), Guechhati et al. (2010). Ces derniers ont souligné

l'importance de l'isolation de la toiture en plus de l'isolation de l'enveloppe pour la réduction des consommations énergétiques et la réduction du nombre d'heures d'inconfort. Les économies d'énergie à ce niveau variaient de 32% à 38%.

VI.5.6 Evaluation des performances thermiques du bâtiment après isolation extérieure de l'enveloppe, isolation du toit et utilisation du DV :

L'isolation extérieure de l'enveloppe couplée à l'isolation de la toiture a induit l'atténuation de la température intérieure au niveau du dernier étage en évitant les surchauffes. La nuit, la ventilation nocturne permet d'évacuer tout supplément de chaleur. Cependant, nous allons évaluer l'effet de la variante 6 sur la température ambiante et voir les possibilités d'amélioration de la performance thermique du bâtiment.

VI.5.6.1 Isolation avec du polystyrène, isolation du Toit et utilisation du DV :

On remarque une nette amélioration avec le polystyrène, il n'y a plus d'écarts négatifs. Les chambres réalisent des baisses assez importantes en période diurne, tandis que le séjour affiche les valeurs les plus importantes la nuit (cf. Fig. VI.35).

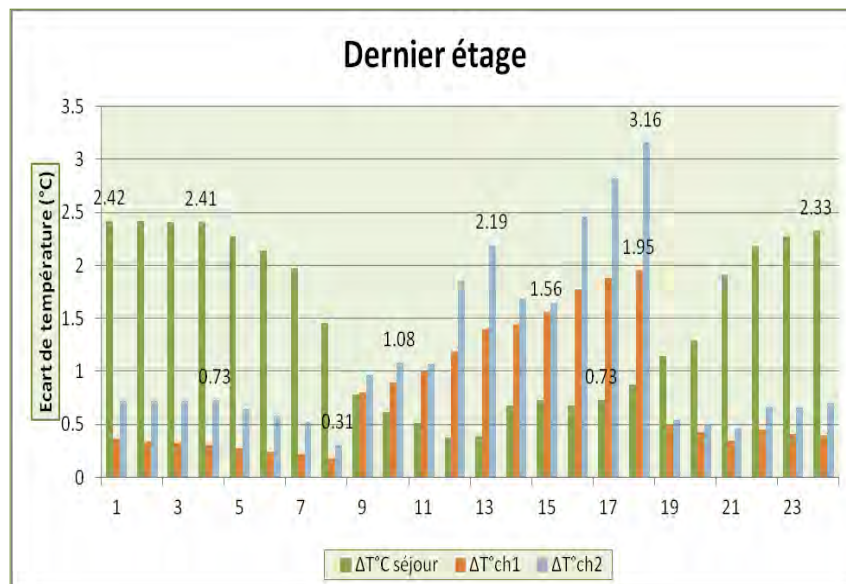


Fig. VI. 35 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polystyrène couplée à l'isolation de la toiture et l'utilisation du DV / cas initial le 14 juillet 2010.
(Source: Auteur 2011)

VI.5.6.2 Isolation avec du polyuréthane, isolation du toit et utilisation du DV:

Avec le polyuréthane, tous les écarts en période diurne sont supérieurs à 1°C, ils atteignent un maximum de 3.86°C (cf. Fig. VI.36). Dans ce cas de figure, le séjour réalise des écarts plus importants en période diurne au dernier étage.

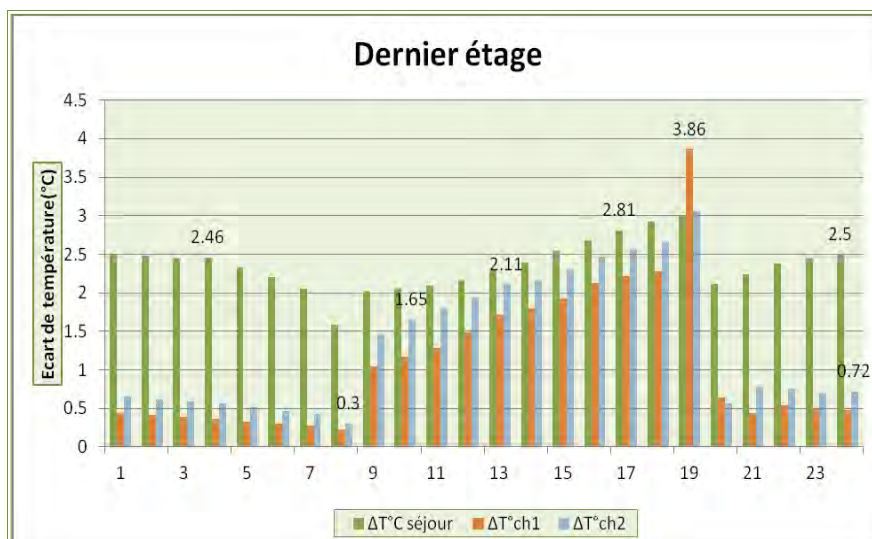


Fig. VI. 36 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec le polyuréthane couplée à l’isolation de la toiture et l’utilisation du DV / au cas initial le 14 juillet 2010.
(Source: Auteur 2011)

VI.5.6.3 Isolation avec la laine de verre, isolation du toit et utilisation du DV :

L’atténuation de la température ambiante dans tous les espaces est marquée par des écarts supérieurs à 1°C (cf. Fig. VI.37). Le séjour réalise la meilleure baisse de température avec l’isolation avec la laine de verre comme avec le polyuréthane.

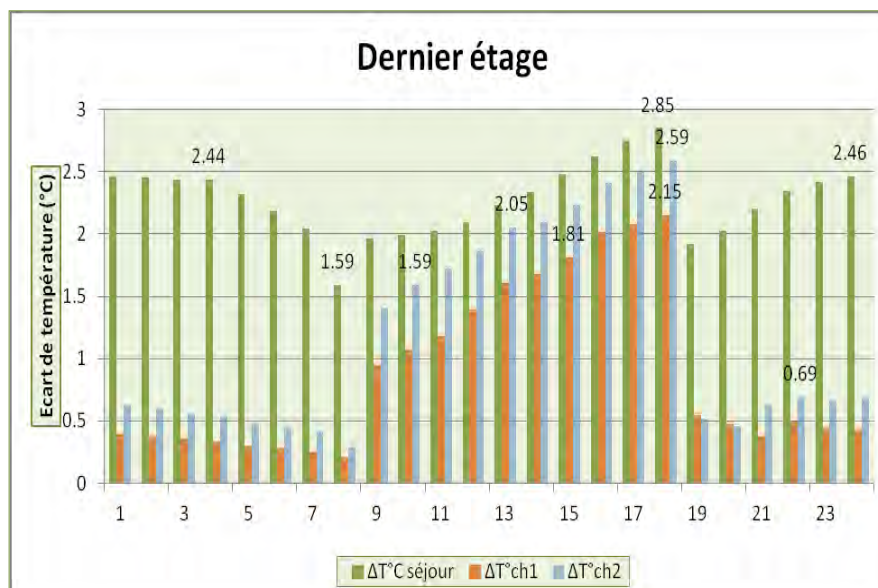


Fig. VI. 37 : Ecart de la température intérieure entre la paroi isolée avec la laine de verre couplée à l’isolation de la toiture et l’utilisation du DV / au cas initial le 14 juillet 2010.
(Source: Auteur 2011)

Toutes ces expérimentations montrent que la variante 6 « l’isolation de l’enveloppe, l’utilisation du double vitrage ainsi que l’isolation de la toiture » est une composante essentielle en climat semi-aride, car elle permet de limiter une grande proportion des gains solaires captés.

Par conséquent, elle a pour effet d'augmenter le confort, en plus de diminuer les besoins de climatisation en période estivale. Bien que « l'isolation de l'enveloppe associée à l'isolation de la toiture et le double vitrage » soit le modèle le plus performant au niveau du confort, la différence avec les autres modèles n'est pas notable au niveau des étages inférieurs, elle l'est surtout au dernier niveau.

Il a aussi été découvert que les apports sont bien amortis grâce à l'effet isolant du polystyrène, du polyuréthane et de la laine de verre et que la baisse maximale des températures de l'air intérieur survient durant la période la plus chaude de la journée. Les résultats de la simulation ont confirmé aussi que la performance du bâtiment dépend de l'isolation thermique et des surfaces vitrées, qui constituent des paramètres influents sur la performance thermique de la construction.

VI.5.7 Influence de la climatisation :

Les ambiances intérieures du bâtiment ne pouvant pas répondre toujours aux exigences de confort des occupants, la réponse du bâtiment est corrigée par des appareils de chauffage ou de climatisation agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid. Dans tous les cas, ces appareils consomment de l'énergie. En plus de cela, une mauvaise conception thermique induit un surdimensionnement de ces équipements et une surconsommation d'énergie ce qui accentue le coût financier et environnemental.

Les demandes de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment changent de façon saisonnière et, par définition, dépendent fortement du climat.²⁶³ La climatisation est utilisée pour maintenir une température de confort indépendamment de la température extérieure. Les appartements en été sont généralement climatisés entre 24°C et 26°C. Les fenêtres devront être maintenues fermées durant cette période. Pour les consommations énergétiques, nous pouvons constater l'impact préjudiciable de la climatisation par rapport à la ventilation nocturne.

Et même si la ventilation naturelle permet un rafraîchissement du bâtiment, elle n'a pas la prétention d'exclure tout système traditionnel de climatisation dans les pays chauds. Cependant, une bonne régulation permet la réduction non seulement des pointes de puissance appelées mais également de la durée d'utilisation du système.²⁶⁴

²⁶³ Niki Assimakopoulou M. « Développement et évaluation des systèmes de contrôle de régulation d'un vitrage électrochromique pour des applications de bâtiment » Thèse de doctorat, université de Lyon 2004.

²⁶⁴ Lavoye F. & Thellier F. & Spagnol S. « Généralités sur le confort thermique et présentation des indicateurs adaptés à l'étude », rapport d'étude, Laboratoire PHASE, Université de Toulouse, 2008.

VI.5.7.1 Consommation d'énergie selon les différentes variantes:

La consommation énergétique représente tant l'énergie utilisée pour le chauffage que pour la climatisation. Elle sert à quantifier les améliorations de la consommation. Dans notre cas, l'objectif est tout d'abord d'évaluer les besoins de rafraîchissement du bâtiment existant puis d'évaluer les solutions les minimisant. En terme de confort, le système de refroidissement conserve la température aux niveaux désirés et permet la diminution des heures hors du confort. Les fluctuations des températures intérieures sont aussi minimisées.

Dans cette étude, nous effectuons des simulations permettant d'étudier plusieurs variantes afin de déterminer la solution pertinente au niveau énergétique. Nous comparons la consommation énergétique nécessaire pour maintenir la température de confort égale à 26°C en fonction des différentes solutions proposées (les six variantes).

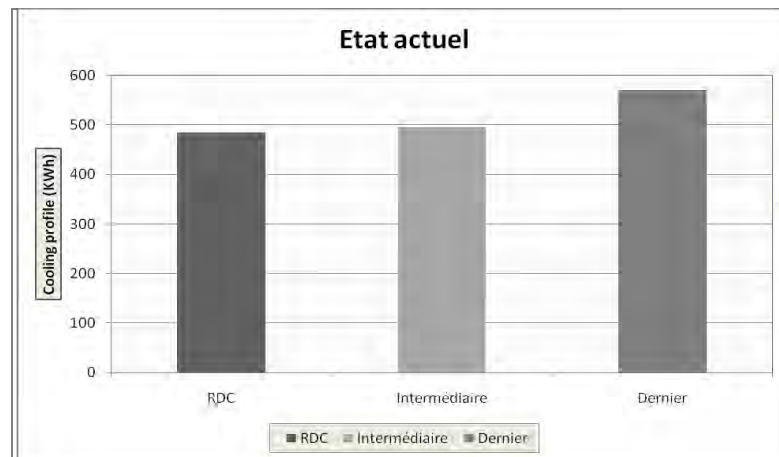


Fig. VI. 38 : Evaluation des charges de climatisation à l'état initial pour le mois de juillet.
(Source: Auteur 2011)

La figure VI.38 montre que le dernier étage a la plus grande demande en énergie pour la climatisation et pour le maintien des températures dans la zone de confort. Il ya une hausse dans la consommation de 17.97% par rapport au RDC et de 15.35% par rapport à l'étage intermédiaire. Quant à l'étage intermédiaire la consommation est supérieure de 2.27% par rapport au RDC.

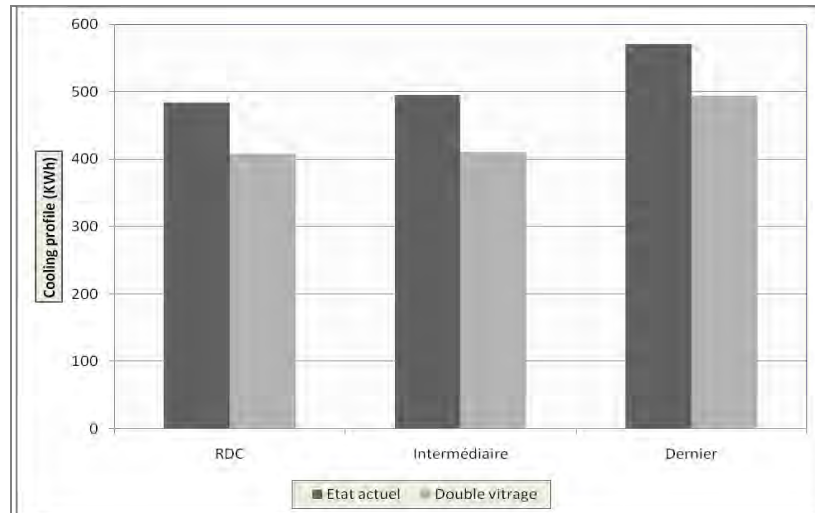


Fig. VI. 39 : Evaluation des charges de climatisation à l'état initial et après utilisation du DV pour le mois de juillet. (Source: Auteur 2011)

En ajoutant le double vitrage, Le dernier étage consomme 21.07% de plus que le RDC et 20.19% que l'étage intermédiaire. La différence entre l'étage intermédiaire et le RDC est de 0.73%. L'écart diminue dans les étages bas et augmente à l'étage supérieur (cf. Fig. VI.39).

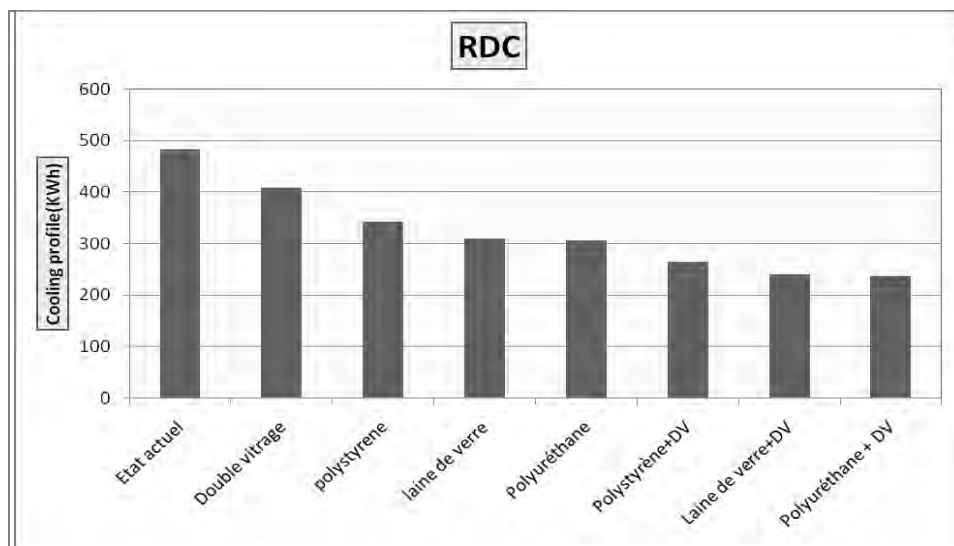


Fig. VI. 40 : Estimation des besoins en énergie de climatisation pour le mois de juillet au RDC selon les différentes variantes. (Source: Auteur 2011)

D'après les figures VI.40 et VI.41, les consommations d'énergie diminuent au fur et à mesure de l'intervention sur les parois opaques et les parois vitrées. L'isolation avec le polyuréthane et la laine de verre réalisent de meilleures économies que le polystyrène (9 et 10% de plus).

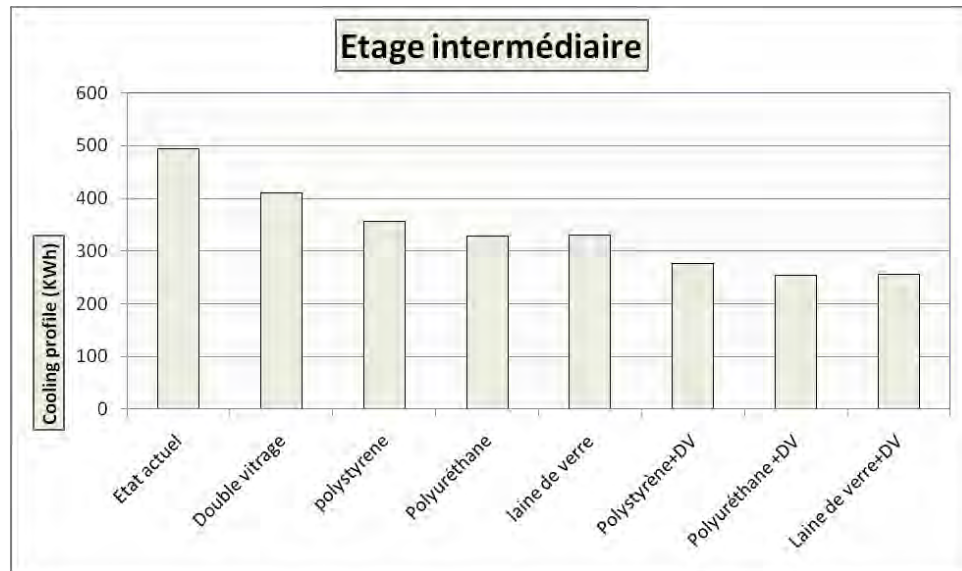


Fig. VI. 41 : Estimation des besoins en énergie de climatisation pour le mois de juillet à l'étage intermédiaire. (Source: Auteur 2011)

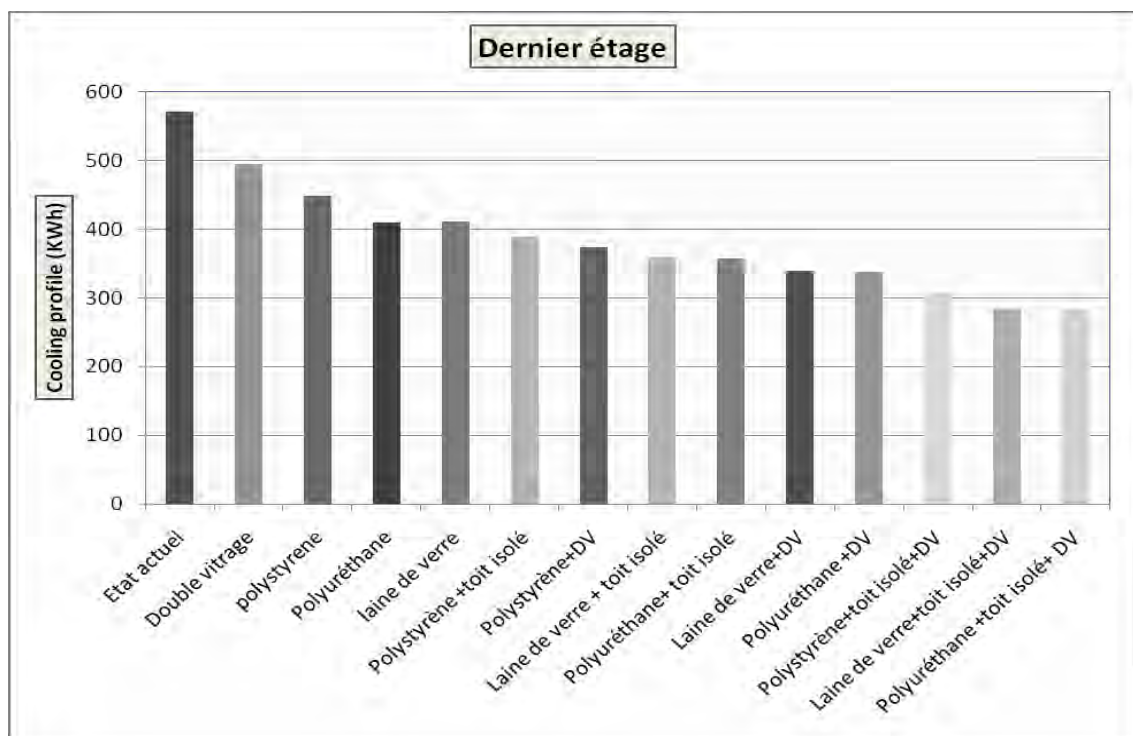


Fig. VI. 42 : Estimation des besoins en énergie de climatisation pour le mois de juillet au dernier étage. (Source: Auteur 2011)

La figure VI.42 montre que l'introduction de l'isolation entraîne une diminution remarquable des besoins de rafraîchissement par rapport à l'état actuel au dernier étage. L'isolation de la toiture par 6 cm de polystyrène expansé réduit les besoins d'énergie de 31.87% par rapport à l'état actuel pour le cas du polystyrène, 37.12% pour le polyuréthane et 37.47%

pour la laine de verre. Quant à la variante 6, elle implique des réductions de 46.05%, 50.26% et 50.43%.

Comme on peut le constater, l'utilisation du double vitrage avec une isolation de la toiture et des murs consomme moins d'énergie par rapport aux autres solutions proposées (cf. Fig. VI.43). Ceci est la caractéristique essentielle des isolants thermiques et du double vitrage qui réduisent les gains de chaleur et permettent des économies d'énergie pour la climatisation en conditions estivales.

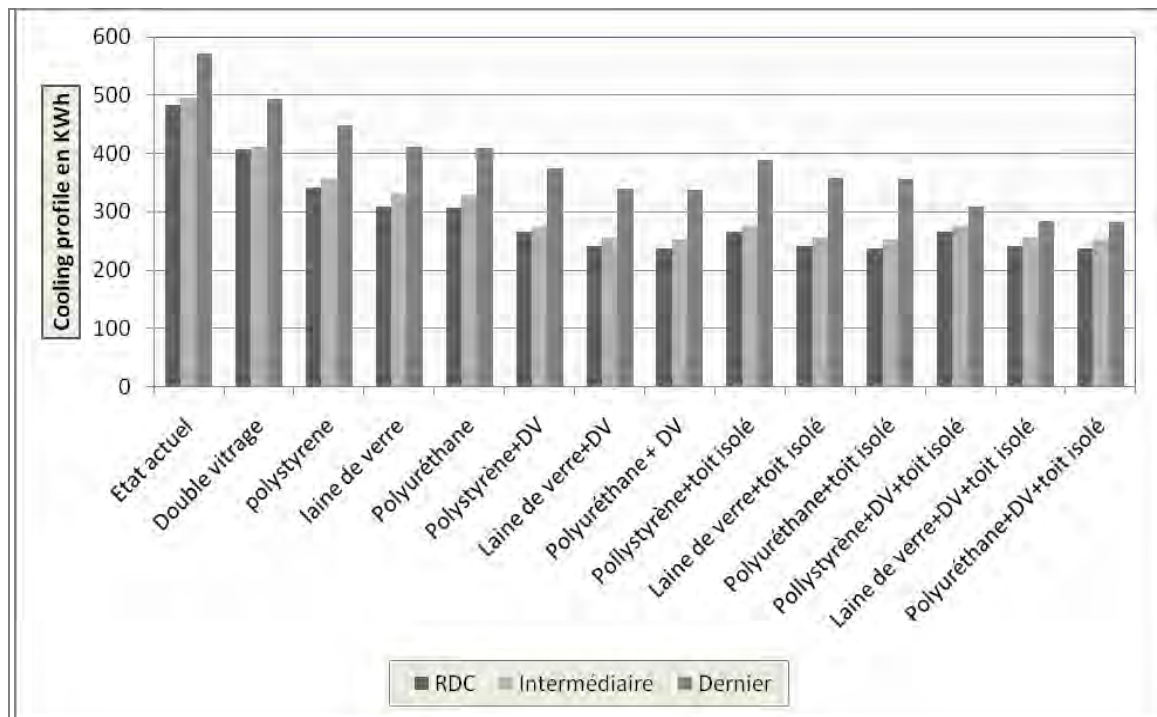


Fig. VI. 43 : Evaluation en énergie de climatisation selon les différentes variantes pour le mois de juillet. (Source: Auteur 2011)

La consommation énergétique dans l'étage supérieur a une valeur plus importante que tous les autres niveaux et dans tous les cas. Ceci est dû à son exposition aux fortes radiations par rapport à la toiture et par rapport aux façades non protégées. Néanmoins, on constate que l'écart dans la consommation tend à diminuer au fur et à mesure qu'on intervient sur les éléments du bâtiment. Ces résultats montrent que l'utilisation de la variante 6 où on propose d'utiliser l'isolation de la toiture, l'isolation externe des murs et l'utilisation du double vitrage permet de réduire considérablement les charges de rafraîchissement. La différence entre le dernier niveau et le RDC est équivalente à 16.22% et 11.59% par rapport à l'étage intermédiaire dans le cas du polystyrène, 16.22% et 10.93% dans le cas du polyuréthane, 19.40% et 11.41% dans le cas de la laine de verre.

VI.5.7.2 Besoins en climatisation et économie d'énergie au RDC :

Nombreux chercheurs comme Mohsen et al. (2001), Bolattürk et al. (2008), Aktacir et al. (2010) ont constaté que l'optimisation de l'épaisseur de l'isolant sur les charges de refroidissement est plus appropriée pour l'économie d'énergie dans les zones chaudes. Nous constatons que pour tous les cas, l'utilisation de l'isolation permet de diminuer la consommation énergétique (cf. Tab. VI.8).

Tab. VI. 8 : Economies d'énergie selon les différentes variantes au RDC. (Source: Auteur 2011)

Variantes	Economie d'énergie	Besoins en climatisation
Utilisation du double vitrage	16%	84%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm	29%	71%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm+ utilisation du double vitrage	45%	55%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm	36.59%	63.41%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm+ utilisation du double vitrage	50.90%	49.10%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre	36.10%	63.90%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre 10cm+ utilisation du double vitrage	50.11%	49.89%

Les économies d'énergie réalisées dans le cas du changement du simple vitrage par le double vitrage sont inférieures à celles de l'isolation externe de l'enveloppe. En effet, Mia Meftah et al. (2008) ont démontré que le double vitrage réalise 11% d'économie d'énergie annuelle pour le chauffage et l'isolation de l'enveloppe réalise 23%.

Les besoins de climatisation diminuent de façon importante avec l'isolation extérieure de l'enveloppe couplée à l'utilisation du double vitrage. Il ya un supplément d'économies de 16% quant au cas du polystyrène, de 14% pour le polyuréthane et la laine de verre.

VI.5.7.3 Besoins en climatisation et gain d'énergie à l'étage intermédiaire :

Au niveau de cet étage, les économies d'énergie réalisées par la variante 4, sont tout aussi importantes que pour le RDC, un gain d'économies de l'ordre de 16% pour le cas du polystyrène et de 15% pour le polyuréthane et la laine de verre (cf. Tab. VI.9).

Tab. VI. 9 : Economies d'énergie selon les différentes variantes à l'étage intermédiaire.
(Source: Auteur 2011)

Variantes	Economie d'énergie	Besoins en climatisation
Utilisation du double vitrage	17%	83%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm	28%	72%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm+ utilisation du double vitrage	44%	56%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm	34%	66%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm+ utilisation du double vitrage	49%	51%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre	33%	67%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre 10cm+ utilisation du double vitrage	48%	52%

VI.5.7.4 Besoins en climatisation et gain d'énergie au dernier étage :

L'étude comparative sur la consommation énergétique a trouvé qu'avec l'assurance du confort hygrothermique estival, l'isolation externe de l'enveloppe permet une consommation énergétique réduite. En été le recours à la climatisation se trouve réduit en nombre d'heures et en nombre de jours. Mais l'isolation combinée avec le double vitrage des fenêtres et l'isolation de la toiture garantit le maximum de réduction dans les charges de refroidissement au dernier niveau (cf. Tab. VI.10).

Tab. VI. 10 : Economies d'énergie selon les différentes variantes au dernier étage.
(Source: Auteur 2011)

Variantes	Economie d'énergie	Besoins en climatisation
Utilisation du double vitrage	13%	87%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm	22%	78%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm+ utilisation du double vitrage	35%	66%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm+ isolation du toit avec du polystyrène	32%	68%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polystyrène 10cm+ isolation du toit avec du polystyrène + utilisation du double vitrage	46%	54%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm	28%	72%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm+ utilisation du double vitrage	41%	59%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm+ isolation du toit avec du polystyrène	38%	62%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec du polyuréthane 10cm+ isolation du toit avec du polystyrène + utilisation du double vitrage	51%	49%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre	28%	72%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre 10cm+ utilisation du double vitrage	41%	59%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre 10cm+ isolation du toit avec du polystyrène	37%	63%
Isolation extérieure de l'enveloppe avec la laine de verre 10cm+ isolation du toit avec du polystyrène + utilisation du double vitrage	50%	50%

VI.5.7.5 Comparaison des économies d'énergies réalisées aux différents niveaux :

L'analyse montre que l'introduction d'un isolant permet un abaissement important de la température intérieure et des réductions assez significatives dans les consommations d'énergie (jusqu'à 37%) dans les charges de climatisation. Cependant l'isolation associée à l'utilisation du double vitrage peut réduire de moitié les consommations énergétiques (cf. Fig. VI.44).

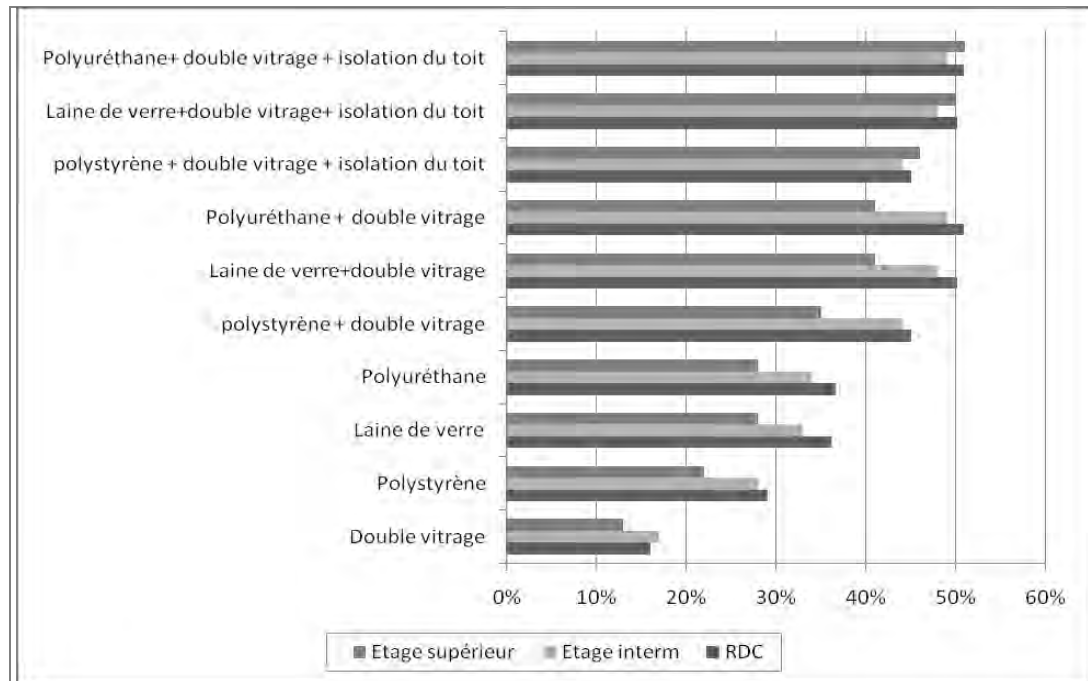


Fig. VI. 44 : Economies d’énergie selon les différentes variantes à tous les niveaux.
(Source: Auteur 2011)

Au fur et à mesure des changements opérés sur le bâtiment selon les différentes variantes, on constate qu’il ya un abaissement dans les charges de climatisation plus important et plus significatif pour le confort, pour les frais d’électricité et pour la préservation de l’environnement. (cf. Fig. VI .45).

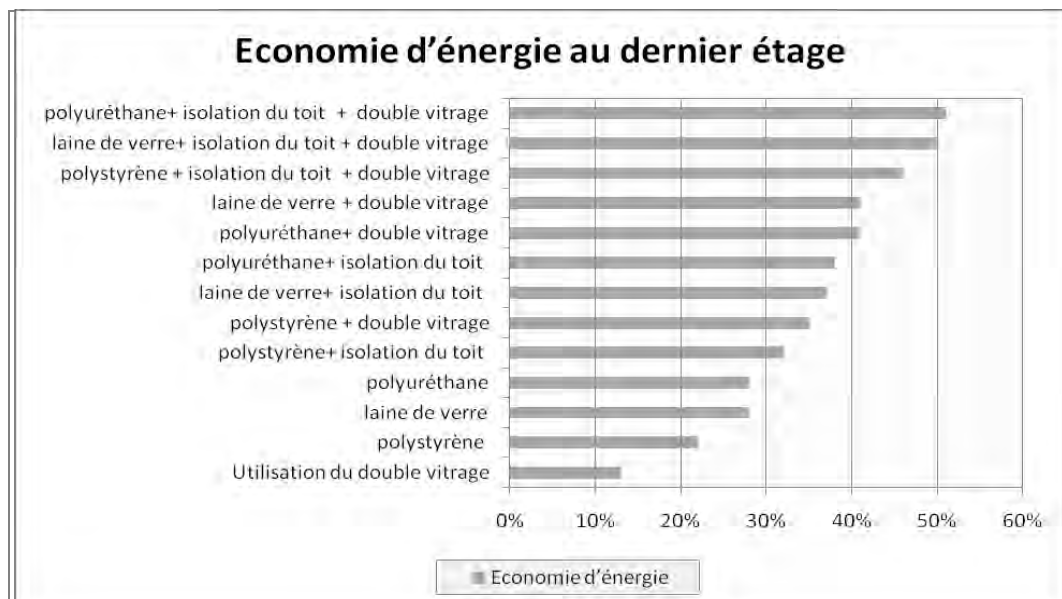


Fig. VI. 45 : Economies d’énergie au dernier étage selon les différentes variantes.
(Source: Auteur 2011)

On souligne l'importance de l'isolation de la toiture pour la réduction des charges de climatisation (cf. Fig. VI.45) surtout au niveau du dernier étage. Rejoignant les conclusions de certains chercheurs comme Mohsen M.S. et al. (2001), Wong N.H. et al. (2007), Guechhati R. et al (2010) qui préconisent l'isolation de la toiture en soulignant l'effet de l'isolation sur les consommations énergétiques.

Conclusion :

Pour conclure, nous dirons que le résultat de cette étude a mis en évidence les aspects qui ont impact sur le besoin de refroidissement dans les bâtiments d'habitation collective.

D'un point de vue pratique, les résultats présentés dans cette étude montrent que le choix de l'enveloppe du bâtiment a une incidence notable sur la consommation d'énergie. Cependant, un mauvais choix peut coûter très cher au long terme vis-à-vis des dépenses énergétiques pour assurer le confort thermique à l'intérieur des logements. Avec les contraintes du bâtiment existant, relatives à l'orientation, l'implantation et la géométrie, cette étude a montré que des solutions de réhabilitation, simples et efficaces, permettant d'améliorer les conditions de confort d'été existent.

Les différentes simulations entreprises réaffirment le rôle prépondérant de l'isolation des parois opaques et vitrées dans le maintien de l'équilibre hygrothermique intérieur. Il en résulte de cette étude que toutes les solutions proposées permettent de réduire la consommation d'énergie. Néanmoins, la mesure d'amélioration la plus justifiée économiquement est l'isolation de la toiture associée à une isolation extérieure de l'enveloppe et l'utilisation du double vitrage peu émissif. L'isolation des murs est pertinente, mais pas assez rentable si on l'applique seule. Une ventilation nocturne peut présenter une solution qui remplace les climatiseurs pour les mois où la température nocturne peut descendre au-dessous de la température extérieure mais elle s'avère insuffisante pour le mois de juillet, mois le plus chaud sous nos climats et éventuellement le mois d'août. En combinaison avec les changements opérés sur les parois opaques et vitrées de l'enveloppe, pour éviter la surchauffe, la ventilation naturelle reste un moyen efficace surtout en période nocturne.

Conclusion générale et recommandations :

Afin de situer le contexte de cette étude, on pourra se référer à l'actualité : une semaine ne passe sans que les médias ou la communauté scientifique ne fassent référence aux changements climatiques et à l'implication de l'homme dans ce processus (transport, énergie et bâtiments particulièrement).

Le respect de l'engagement de Kyoto passe par une réduction des gaz à effet de serre. Les objectifs correspondants ont été fixés et notamment dans le secteur des bâtiments résidentiels existants dont la rénovation constitue une priorité à travers le monde. L'amélioration énergétique des bâtiments existants est une démarche écologique qui permet de lutter contre le réchauffement climatique et la réduction des GES. Des prospections montrent que le plus grand gisement se situe au niveau de l'enveloppe. Elles distinguent par ailleurs différents niveaux de rénovation. La réhabilitation thermique va être donc un levier important pour réduire notre consommation d'énergie et nos émissions de gaz à effet de serre.

Le concept majeur de la rénovation ou réhabilitation thermique est de réduire les déperditions en saison froide et les gains en saison chaude, et pour cela il faut améliorer chacune des composantes de l'enveloppe sachant qu'une mauvaise conception thermique induit un surdimensionnement des équipements et une surconsommation d'énergie ce qui a un coût financier et environnemental.

Les résultats de recherches montrent l'efficacité de l'isolation thermique sous différents climats, dans la création du confort thermique et la réduction de la consommation énergétique. D'autres applications et recherches montrent que, si pour réduire les besoins en chauffage et en climatisation, des « solutions universelles », indépendantes de la zone géographique, semblent se détacher, telles que l'installation de fenêtres performantes, l'utilisation des matériaux d'isolation performants ou encore la ventilation mécanique assistée. L'enjeu dans le bâti existant est de parvenir à faire évoluer les pratiques de réhabilitation ainsi que les modes d'habiter vers un comportement plus vertueux tout en conservant les qualités spécifiques de chaque bâti.

Nous avons donc proposé une méthodologie permettant la détermination des facteurs importants dans la création d'une situation d'inconfort thermique dans un bâtiment et l'association de solutions appropriées : ce qui a permis d'identifier les priorités d'interventions sur l'enveloppe du bâtiment. Par conséquent, notre objet a été de déterminer l'influence de

l'isolation des éléments du bâtiment sur le confort d'été et la réduction des consommations énergétiques relatives à la climatisation.

La prise en compte du confort d'été lors de la réhabilitation des bâtiments résidentiels est difficile en raison de la diversité et de la variabilité des exigences et des paramètres à considérer. Les contraintes de confort doivent intégrer les caractéristiques spécifiques du bâtiment existant avec ses ambiances physiques intérieures et extérieures, mais également les caractéristiques comportementales et les besoins des occupants. Notamment il faut savoir que chaque bâtiment existant est un cas particulier dépendant de ses caractéristiques intrinsèques (matériaux utilisés, morphologie), mais également de son environnement et des facteurs météorologiques.

Notre préoccupation de réduire la consommation énergétique et d'obtenir une meilleure qualité thermique des ambiances, nous a orienté vers deux démarches, une campagne de mesures suivie d'une série de simulations qui décèleront les solutions de rénovation les plus appropriées au bâtiment d'habitation collective choisi, soumis à des conditions climatiques estivales :

- ✚ L'étude expérimentale a montré l'existence d'un inconfort pour les occupants, lié à un problème de surchauffe due à une orientation défavorable des baies vitrées, à un manque de protections solaires efficaces et à une ventilation inadaptée. Pour surmonter les désagréments thermiques l'élimination des surchauffes ne se fera qu'au prix de solutions très coûteuses en énergie « les climatiseurs ». C'est à ce moment que l'on s'est rendu compte que pendant la saison estivale le logement d'étude est le siège de surchauffes préjudiciables au confort.
- ✚ Lors de la simulation, on a présenté différentes solutions pour améliorer l'efficacité énergétique de ce bâtiment. Cette étude a été réalisée avec l'environnement de simulation « Tas Building Designer », et les différentes solutions ont été comparées. Des solutions réduisant au mieux les besoins en refroidissement tout en favorisant l'amélioration du confort d'été. Trois échantillons représentatifs ont servi de support à l'analyse du comportement thermique de ce bâtiment et ce, pendant plusieurs jours successifs au mois de juillet.

Les logements choisis se situent à différents niveaux : bas, intermédiaire et haut. L'enveloppe du bâtiment est réalisée en panneaux préfabriqués en béton armé, et dont la surface extérieure est à l'état brut, il n'y a qu'une couche de peinture qui revêt le mur extérieur. Préjugant que la cause des surchauffes est liée à l'enveloppe, il est donc question d'étudier, par

la simulation numérique, l'impact des paramètres constructifs, que nous avons dégagés dans l'analyse bibliographique, sur l'efficacité thermique de ce bâtiment. En effectuant une série de simulations, nous voulions surtout vérifier que l'isolation extérieure de l'enveloppe ainsi que l'utilisation du double vitrage étaient une solution envisageable pour améliorer le confort et réduire les consommations énergétiques relatives à la climatisation.

L'objectif de ce travail ayant été de tester des solutions en variant les isolants ainsi que leurs épaisseurs, le type de vitrage et de voir celles qui correspondent au mieux à notre bâtiment. Celles qui semblent constituer un bon compromis sont les suivantes : l'isolation extérieure de l'enveloppe du bâtiment, l'isolation de la toiture et la protection des baies vitrées exposées par l'utilisation du double vitrage peu émissif et des occultations solaires extérieures. La mise en œuvre de ces différentes mesures a permis de réduire les consommations d'énergie pour la climatisation jusqu'à 51%.

L'isolant le plus performant étant le polyuréthane dont la conductivité thermique est équivalente à $0.026\text{W/m}^\circ\text{C}$, la valeur la plus basse des isolants choisis, associé à un vitrage d'un pouvoir isolant de 1.6 en $\text{W/m}^2\text{K}$. D'où nous dirons que l'isolant choisi doit être de faible conductivité thermique et l'emplacement idéal de celui-ci est du côté externe de la masse thermique. Quant aux fonctions thermiques du vitrage qui sont souvent contradictoires : en augmentant les gains solaires en été et les déperditions thermiques en hiver, le vitrage constitue une source de surchauffe et d'inconfort. Le choix du double vitrage avec un coefficient de transmission thermique surfacique aussi bas que possible et à faible émissivité s'avère une nécessité.

Axes pour futures recherches :

Les champs d'investigation concernant la réhabilitation énergétique du bâti existant sont aussi vastes que nombreux. Plusieurs domaines d'application liés à l'urbanisme et aux bâtiments restent à développer. Les résultats obtenus dans la présente recherche peuvent constituer un inventaire des stratégies de réhabilitation énergétique des bâtiments existants.

D'autres axes de recherche s'ouvrent surtout au moyen des simulations sur ordinateur, ce qui permettra de vérifier et de valider d'abord les résultats obtenus par la campagne de mesure, d'évaluer l'effet de l'isolation thermique dans les saisons froides et chaudes pour différentes typologies, et de tester une variété d'isolants à différentes épaisseurs en cherchant l'optimale thermiquement et économiquement (coût et économie d'énergie) pour assurer un confort optimum ainsi que son influence sur l'isolation acoustique.

Dans le cas de cette étude, une isolation classique a été installée pour modéliser l'amélioration des performances thermiques de la toiture. Une perspective intéressante consisterait à étudier les effets d'une toiture végétalisée en plus de l'isolation externe de l'enveloppe, sur l'amélioration des caractéristiques performantielles du bâtiment. Par ailleurs, une recherche des caractéristiques de la toiture et le plancher types doit être évaluée dans le futur dans le secteur tertiaire et éventuellement l'habitat individuel, en testant leur impact sur la performance thermique et l'efficacité énergétique. Aussi le choix du vitrage en fonction de l'orientation est une opportunité non moins intéressante pour la régulation des apports par les parois vitrées et l'amélioration du confort.

A côté des actions spécifiques sur les bâtiments neufs et anciens, il conviendra de généraliser les bonnes pratiques dans la gestion des bâtiments par la généralisation progressive des bâtiments à très basse énergie dans la construction neuve et l'institution de l'obligation de ravalement thermique pour tous les bâtiments existants en évaluant les coûts d'une opération de réhabilitation thermique, intervenir sur le renouvellement urbain (optimisation énergétique des bâtiments existants).

Enfin, l'intégration des énergies renouvelables pour le chauffage et le refroidissement en plus d'une enveloppe performante, pourrait également constituer un domaine de recherches assez vaste.

Bibliographie

Ouvrages :

1. **ADEME & AICVF** « *Enseignement : programmer, concevoir, gérer les bâtiments à hautes performances énergétiques* », Pyc Edition, Paris 1993.
2. **Bloch-Lainé J.M.** « *Amélioration thermique de l'habitat existant Installations de chauffage et isolation des bâtiments* », Ed. Le Moniteur, Paris 1977.
3. **Brigitte Vu** « *La maison à énergie zéro* », Ed. Eyrolles, Paris 2008.
4. **Capderou.M** « *Atlas solaire de l'Algérie* » tome 2 : aspect énergétique. Edition : OPU, Alger 1985.
5. **Chevalier J.M.** « *Les nouveaux défis de l'énergie -Climat-Economie-Géopolitique* », Ed. EconomicaAuteur 2009. [En ligne] <http://www.notre-planete.info>
6. **Chitour Ch.E.** « *L'énergie, Les enjeux de l'an 2000* » Vol 1, Office des Publications Universitaires, Alger 1994.
7. **Gallauziaux T. & Fedullo D.** « *Le grand livre de l'isolation* », éd. Eyrolles, Paris 2010.
8. **Gauzin-Müller D.** « *L'architecture écologique, 29 exemples européens* », Ed Le Moniteur, 2001
9. **Gauzin-Müller D.** « *25 maisons écologiques* », Ed. le Moniteur 2005.
10. **Givoni. B** « *L'Homme, L'Architecture et le Climat* », Edition : Le Moniteur, paris 1978.
11. **Givoni, B.** « *Climate considerations in building and urban design* », Ed. John Wiley and sons, Etats-Unis 1998.
12. **Izard.J.L** « *Architecture d'été, construire pour le confort d'été* », Ed. Edisud, 1993.
13. **Lavigne P.** « *Architecture climatique : Une contribution au développement durable* » tome1, EDISUD, France 1994.
14. **Lavigne P.** « *Architecture climatique : une contribution au développement durable, concepts et dispositifs* », tome 2, EDISUD, France 1998.
15. **Lhomme J.C.** « *La maison économe* », Delachaux et Nestlé SA, Paris 2005.
16. **Liébard A. & De Herde H.** « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* », Ed. Le Moniteur, France 2005.
17. **Ministère de L'habitat** « *Recommandations architecturales* », Ed. ENAG, Alger 1993.
18. **Santamouris M. & Asimakopoulos D.** « *Passive cooling of buildings* » Ed. James and James, 1996.
19. **Watson D. & Camous R.** « *L'habitat bioclimatique de la conception à la construction* », Ed. L'Etincelle, Québec 1986.

20. **Wright D.** « *Soleil, Nature, Architecture* », Ed. Parenthèses, France 1979.

Mémoires et Thèses :

1. **Abbaoui H.** « *L'impact de la végétation sur le climat urbain dans les milieux arides* », Thèse de magister, Biskra 2006.
2. **Abdou. S.** « *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi-aride d'Algérie, cas de Constantine et Ouargla* », Thèse de doctorat d'état, Université de Constantine 2003.
3. **Badeche M.** « *Impact de la loggia vitrée sur le confort thermique dans la région de Constantine* », Thèse de magister, université Mentouri, Constantine 2008.
4. **Benhlilou K.** « *Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment. Cas du climat semi aride* », Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2008.
5. **Djouima.A.** « *Réalisation et vérification de la performance thermique d'une tour à vent pour un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides. Cas de Hassi Messaoud* », Thèse de magister, université Mentouri, Constantine 2008.
6. **Fleury S.** « *Aménagements Urbains et Haute Qualité Environnementale* », Mémoire de Fin d'Etudes, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, le Mans 2005.
7. **Flory-Celini C.** « *Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant* », Thèse de doctorat, Université Lyon 1 Claude Bernard, 2008.
8. **Gayral L.** « *Gestion de l'énergie au sein du patrimoine bâti des collectivités territoriales européennes dans le cadre de la libéralisation des marchés : Etude économique des mécanismes financiers favorisant l'investissement dans l'efficacité énergétique* », Thèse de doctorat, université de Paris, 2005.
9. **Lavergne M.** « *Opportunités solaires passives : optimisation du confort et de la consommation énergétique d'un espace séjour avec serre accolée* », Thèse de doctorat, Université Laval, Canada 2009.
10. **Lazaar S.** « *Le vieillissement prématuré du patrimoine d'habitation. Construction, entretien et législation- étude de cas d'exemple. Constantine* », Thèse de Magister université de Constantine 1994.
11. **Leroux F.** « *Intégration végétale des bâtiments, contributions environnementales sur une maison individuelle* », Mémoire de formation continue, Architecture HQE, Ecole d'Architecture de Lyon 2005.

12. **Louafi S.** « *Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine* » Thèse de magister, université Mentouri, Constantine 2005.
13. **Medjelekh D.** « *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitat de l'époque coloniale à Guelma* », Mémoire de magister. Université Mentouri, Constantine 2006
14. **Moujalled B.** « *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés* », Thèse de doctorat, Lyon 2007.
15. **Nadine A.** « *Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais* », Thèse de doctorat, Lyon 2001.
16. **Niki Assimakopoulou M.** « *Développement et évaluation des systèmes de contrôle de régulation d'un vitrage électrochromique pour des applications de bâtiment* », Thèse de doctorat, université de Lyon 2004.
17. **Rahal S.** « *L'impact de l'atrium sur le confort thermique dans les batiments publics, cas de la maison de culture à Jijel* », Thèse de magister, Université Mentouri, Constantine, 2011.
18. **Safer N.** « *Modélisation des Façades de Type Double-Peau Equipées de Protections Solaires : Approches Multi-Echelles*», Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, Centre de Thermique de Lyon, 2006.
19. **Sambou V.** « *Transferts thermiques instationnaires : vers une optimisation de parois de bâtiments* », Thèse de doctorat, Université de Toulouse 2008.
20. **Tamine R.** « *L'urbanisation de la ville de Constantine (Algérie)* » Mémoire DEA Université des sciences et techniques de Lille. [En ligne] <http://www.univ-lemans.fr>

Rapports d'étude et articles publiés :

1. **Aktacir M.A. & Büyükalaca O. & Yılmaz T.A.** « *A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-Conditioning System in the Hot and Humid Regions* », Applied Energy, Vol. 87, N°2, pp. 599 - 607, 2010.
2. **Al-Houmoud. M. S.** « *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials* », Building and Environment 40 pp: 353–366, 2005.
3. **Al-Khawaja M.J.** « *Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation* », Applied Thermal Engineering 25, pp. 2601-2610, 2004.

4. **Al-Mofeez A. I.** « *Field test results of interior VS exterior insulation of thermal mass in extremely hot-arid climates* », Rapport d'étude, Saudi Arabia King Faisal University Department of Architecture, 1993.
5. **Al-Sanea S.A & Zedan M.F.** « *Effect of Insulation Location on Initial Transient Thermal Response of Building Walls* », Journal of Thermal Envelope and Building Science 24, Pp 275-300, 2001.
6. **Al-Sanea S.A & Zedan M.F. & Al-Ajlan S.A.** « *Effect of Electricity Tariff on the Optimum Insulation Thickness in Building Walls as Determined by a Dynamic Heat-Transfer Model* », Applied Energy, Vol. 82, N°4, pp. 313 - 330, 2005.
7. **Antonopoulos, K.A. & Koronaki E.P.** « *On the dynamic thermal behaviour of indoor spaces* », Applied Thermal Engineering 21, 9, pp. 929-940, 2001.
8. **Asan H.** « *Effects of Wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor* », Energy and Buildings 28, pp. 299-305.1998.
9. **Asan H.** « *Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view* », Energy and Buildings 32, pp. 197–203, 2000.
10. **Babbah S. & Draoui A & Menezo C.H. & Yezou R. & Ben Abdelouahab J.** « *Evaluation Energétique des Bâtiments au Nord du Maroc* », Actes des 12èmes Journées Internationales de Thermique, pp. 235 - 238, Tanger, Maroc, 15 - 17 Novembre 2005.
11. **Bekkouche S.M.A. & Benouaz T. & Cheknane A.** « *Influence de l'isolation thermique intérieure et extérieure d'un bâtiment en pierre situé à Ghardaïa* », SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.
12. **Bojic M. L., Loveday D. L.** « *The influence on building thermal behavior of the insulation/masonry distribution in a three-layered construction* », Energy and buildings 26, pp. 153-157, 1997.
13. **Blondeau P.& Sperandio M. & Allard F.** « *Night ventilation for building cooling in summer* », Solar energy, vol. 61, n. 5, pp. 327-335.1997.
14. **Bojic M. & Yik F. & Sat P.** « *Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong* », Energy and Buildings 33, 569–581, 2001.

15. **Bolattürk A.** «*Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey*», Applied Thermal Engineering 26, Pp 1301-1309, 2006.
16. **Bolattürk A.** «*Optimum insulation thickness for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey*», Building and Environment 43, pp 1055–1064. 2008.
17. **Camponovo R. & Magnin J.Y. & Gallinelli P.** «*Thermal rehabilitation: assignment of balconies into conservatories; the Libellules case study* », PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.
18. **Carrié, R. & Jobert, R. & Fournier & M., Berthault, S. & Van Elslande, H.** «*Perméabilité à de l'enveloppe des bâtiments : Généralités et sensibilisation* », Rapport n° DVT 06-95, CETE de Lyon, Octobre 2006.
19. **Comakli K.& Yuksel B.** «*Optimum insulation thickness of external walls for energy saving* », Applied Thermal Engineering 23, 473–479, 2003.
20. **Daouas N. & Hassen Z. & Ben Aissia H.** «*Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia* », Applied Thermal Engineering 30, 319–326, 2010.
21. **Eben Salah M.A.** «*Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates*», Rapport de recherches Saudi Arabia: King Saud University, Department of Architecture and building sciences 1989.
22. **Fezzioui N. & Draoui B. & M. Benyamine & Larbi S.** «*Influence des Caractéristiques Dynamiques de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur le Confort Thermique au Sud Algérien* », Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°1, pp. 25 - 34, 2008.
23. **Flory-Celini C. & Safer N.& Virgone J.& Covalet D.& Roux JJ.** «*Réhabilitation des bâtiments : Impact de la combinaison des protections solaires et des vitrages en fonction de l'orientation* » Ibpsa 2006.
24. **Foster. M. et Oreszczyn. T.** «*Occupant control of passive systems: The use of venetian blinds* », Building and environment, vol36, pp 149-155, 2001.
25. **Gisselbaek M. & Haefeli P. & Hollmuller P.** «*Participative retrofit of the -îlot 13-area in Geneva* », PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

26. **Guechchati R. & Moussaoui M.A. & Mezrhab Ahm. & Mezrhab Abd.** « *Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda* », Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 ; pp 223 – 232, 2010.
27. **Juul Larsen K. & Balslev-Olesen.O** (Cenergia Energy Consultants). « *Best practices on energy savings in new and refurbished buildings* », Novembre 2006. [En ligne] <http://www.prebat.net>
28. **Kossecka E. & Kosny J.** « *Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building* », Energy and Buildings, 34, pp. 321-331, 2002.
29. **Kubin M. & Ham M.** « *Brand new second hand: Upgrading of a block of flats (b.1956) through energy efficient renovation* » PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.
30. **Lavoye F. & Thellier F. & Spagnol S.** « *Généralités sur le confort thermique et présentation des indicateurs adaptés à l'étude* », rapport d'étude, Laboratoire PHASE, Université de Toulouse, 2008.
31. **M.H.A.B. L.Y. & Boukadoum F. & Fleury S.E.e & Bolher A.** « *Etude de Sensibilité de Paramètres des Bâtiments Climatisés en Algérie* » Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique, pp 133-138, 2001.
32. **Mohsen M.S. & Akash B.A.** « *Some Prospect of Energy Saving in Building* », Energy Conversion Management, Vol. 42, N°11, pp. 1307 - 1315, 2001.
33. **Nezzar S. & Gourdache M.** « *Etude des Performances Energétiques d'une Conception Bioclimatique en Région Aride* », World Energy Council, 1999.
34. **Ouyang J. & Ge J. & Hokao K.** « *Economic analysis of energy-saving renovation measures for urban existing residential buildings in China based on thermal simulation and site investigation* », Energy Policy 37, pp140–149, 2009.
35. **Papadopoulos A.M.** « *State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments* », Energy and Buildings 37, pp: 255-265, 2005.
36. **Pfafferott J. & Herkel S. & JäschkeM.** « *Design of passive cooling by night ventilation: evaluation of a parametric model and building simulation with measurements* », Energy and Buildings 35, 11, pp. 1129-1143, 2003.
37. **Tsilingiris P.T.** « *Parametric space distribution effects of wall heat capacity and thermal resistance on the dynamic thermal behavior of walls and structures* », Energy and Buildings 38, pp. 1200–1211, 2006.

38. **Ucar A. & Balo F.** «*Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls* », *Renewable Energy*, 35, 88–94, 2010.
39. **Ulgen K.** «*Experimental and theoretical investigation of effects of wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor* », *Energy and Building* 34, pp. 273-278, 2002.
40. **Wong N.H. & Li S.** «*A study of the effectiveness of passive climate control in naturally ventilated residential buildings in Singapore* », *Building and Environment* 42, pp 1395–1405, 2007.

Revues, guides et Documents techniques:

1. **AIE** «*Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation* », Agence Internationale de l'Energie, 2008. [En ligne] <http://www.iea-shc.org/task37/index.html>
2. **APRUE** «*Consommation énergétique finale de l'Algérie. Chiffres clés, année 2005* » Données et indicateurs, Alger, APRUE 2007.
3. **ARENE** Agence Régionale de l'Energie «*Nouvelles solutions dans l'énergie : Caractéristiques pour un bâtiment méditerranéen* » Provence-Alpes-Côte d'Azur, avec l'aide de la Commission Européenne, 1999.
4. **Benoit G. & Comeau A.** «*MÉDITERRANÉE : Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement* », Dossier de presse 2005. [En ligne] <http://www.planbleu.org>
5. «*Bulletin des énergies renouvelables* », semestriel n°11 Juin 2007. [En ligne] <http://www.cder.dz>
6. «*Bulletin trimestriel de l'Aprue 09* », Avril 2009. [En ligne] www.aprue.org.dz
7. **Collard B. & Nihoul A. & De Herde A. & Lesens N.** «*Guide d'aide à la rénovation bioclimatique* », Ministère de la Région Wallonne DGTRE, Division Energie et Université Catholique de Louvain (Faculté des Sciences Appliquées Architecture et Climat), 1996.
8. **Enertech** «*Amélioration thermique de l'habitat existant : Rénovation du quartier Franklin à Mulhouse* » Présentation dans le cadre des « Ateliers » de l'Agence Locale de l'Energie de Lyon, 2007
9. **FFB** Fédération Française du Bâtiment «*Amélioration énergétique des bâtiments existants : les bonnes solutions* », Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de

- l'Energie (ADEME) et le Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques (COSTIC), Collection recherche développement métier, 2004.
10. **GIEC** Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, « *rapport d'évaluation n°4* », 2007. [En ligne] <http://www.ipcc.ch>
 11. « *Guide des énergies renouvelables* », édition 2007. [En ligne] <http://www.cder.dz>
 12. Guide pratique de l'ADEME « *L'isolation thermique* » [En ligne] www.ademe.fr
 13. « *guide de rénovation* », [En ligne] <http://www.amisdelaterre.org>
 14. « *Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments* » [En ligne] www.fr.rockwool.be
 15. Guide pratique/Rénovation thermique « *Comprendre les enjeux de la rénovation thermique* », 2009 [En ligne] <http://www.batirenover.com>
 16. **Gobin C.** « *Analyse fonctionnelle et construction* » Techniques de l'Ingénieur, Dossier C3-052, novembre 2003. [En ligne] www.ensmp.fr
 17. **Hauglustaine JM. & Simon F. & Baltus C. & Liesses S.** « *La rénovation et l'énergie: Guide pratique pour les architectes* », Ministère de la Région Wallonne, Université Catholique de Louvain, 2002.
 18. **Hauglustaine J.M. & Simon F. & Baltus C. & Liesse S.** « *L'isolation thermique des façades verticales: Guide pratique pour les architectes* », Ministère de la Région Wallonne, Université Catholique de Louvain, 2006.
 19. **IEA** « *Collection of Reports* », IEA Annex 41 Subtask 1, Common Exercise 1: Case 0A & Case 0B, 2005
 20. **Journal Officiel de République Algérienne** « *Loi N°99-09 du 28 Juillet 1999 Relative à la Maîtrise de l'Energie* », J.O.R.A., N°51, Alger, 2 Août 1999.
 21. **Mémento technique du bâtiment** « *Le confort thermique* », Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer, CETE Lyon, Juillet 2003.
 22. **Millet J.R & Nicolas C.** « *Les paramètres objectifs du confort* » Bâtiment et énergie N° 60 Jan/Fév, 1990.
 23. **Ministère de l'habitat**, Document technique réglementaire (D.T.R.C3-2) « *Réglementation thermique des bâtiments d'habitation Règles de calcul des déperditions calorifiques* », Fascicule1, Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment CNERIB, Alger 1998.
 24. **ONM.** *Office national de la météorologie*, 2007.

25. **ONS** « Exploitation exhaustive du recensement général de la population et de l'habitat, Résultats 2002-2004 », 2006. [En ligne] <http://www.ons.org.dz>
26. **Orselli J.** « Recherche et Développement sur les économies d'énergies et les substitutions entre énergies dans les bâtiments », Rapport pour le Conseil Général des Ponts et Chaussée 2005.
27. « Revue des énergies renouvelables », Vol.9 n°3, 2006. [En ligne] www.cder.dz
28. **Sidler O.** Sté ENERTECH « Les bâtiments à faible consommation d'énergie - Eléments de contexte », Journée technique sur l'étanchéité à l'air des bâtiments Dijon - 21 Novembre 2007. [En ligne] www.territoire-energie.fr
29. **Sonelgaz** « Guide du confort ».
30. **Tissot B. et al.** « Energie 2007-2050 les choix et les pièges », Paris : Académie des sciences, institut de France, 2007. [En ligne] <http://www.academie-sciences.fr>
31. **Weber W.** « Soleil et architecture », Guide pratique pour le projet - Programme d'action PACER – Energies renouvelables, Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne 1991.

Compte rendu de colloques et congrès :

1. **Colloque international** « Bâtiments et territoires durables : Enjeux et solutions », Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie mai 2008.
2. **Duchesne V.** « La maison passive » Prix EpE 2007. [En ligne] www.epe-asso.org
3. **Forum d'Alger** « La rente pétrolière sous pression internationale » 1^{ère} session organisée le 9 mars 2011 par le cabinet EMERGY et le quotidien LIBERTE.
4. **Laponche B.** « Prospective et enjeux énergétiques mondiaux : un nouveau paradigme énergétique », 1er Séminaire, Saline Royale d'Arc et Senans, 23-24 novembre 2006.
5. **Medjelekh D. & Abdou S.** « Impact de l'isolation thermique sur la température intérieure du bâtiment », Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique, SIGCLE 2010 Constantine, Algérie.
6. **Mia Meftah M. & Benmanssour.M.B.** « Etude de faisabilité de l'utilisation de l'énergie solaire en vue de la réhabilitation thermique du bâti existant. » Colloque National : Pathologie des Constructions : Du Diagnostic à la Réparation, Département de Génie Civil, Université Mentouri Constantine - 25 et 26 Novembre 2008.
7. **RehabiMed** « Réhabiliter l'architecture traditionnelle méditerranéenne », Symposium régional Marseille, le 23, 24 et 25 de septembre 2005, Programme Rehabimed, [En ligne] www.rehabimed.net, 2005

8. **Smalley R.E.** Rice University, allocution prononcée au 27e Illinois Junior Science and Humanities Symposium, le 3 avril 2005. [En ligne] <http://www.cohesion.rice.edu>
9. **Wenzel K.** « *Efficacité Energétique dans le Bâtiment-Expériences dans la Région MEDA* » Table Ronde « *Energie et expériences sectorielles* » ENERGAIA, Montpellier 2008. [En ligne] www.med-enec.com

Sites WEB :

1. « *Algérie : Paradoxe facture Sonelgaz* » juin 2006. [En ligne] www.ladepeche.be.tf
2. « *Efficience Energétique dans le Secteur du Bâtiment en Méditerranée* » [En ligne] www.medenec-gtz.fr
3. « *Efficacité énergétique des bâtiments* », Un programme de mesures de plus en plus performant 2007-2008. [En ligne] <http://www.ecologie.gouv.fr>
4. « *Fiche technique 33 : régulation du chauffage* », p 5. [En ligne] www.anah.fr
5. « *Guide recommandations pour le DPE* » février 2007. [En ligne] www.planetegagnante.fr
6. **Horn G.** « *Construire avec une bonne isolation thermique et de façon étanche à l'air* », [En ligne] www.cr-bourgogne.fr
7. « *Les économies d'énergie dans le bâtiment : La réglementation thermique en mouvement* ». [En ligne] www.ademe.fr
8. « *Les vitrages et menuiseries* », fiches techniques. [En ligne] www.oikos-ecoconstruction.com
9. « *Potentiel et opportunités en Algérie* », Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement de l'Algérie, Agence internationale de l'énergie, IEPF2004. [En ligne] <http://www.planbleu.org>
10. « *Pourquoi et comment rénover les bâtiments anciens.* » [En ligne] <http://www.morezjura.net/BBC.htm>
11. « *Qualité énergétique, environnementale et sanitaire, Préparer le bâtiment à l'horizon 2010* », [En ligne] www.btap2002.pdf
12. « *Réhabilitation thermique de l'habitat existant* », 2008 [En ligne] www.ageden.org
13. « *Rénovation des bâtiments : Comment réduire de moitié la consommation énergétique dans le bâtiment grâce à des mesures ciblées* », [En ligne] www.suisse-energie.ch
14. **Schildt J.** « *Comment sauver le climat* », [En ligne] <http://www.greenpeace.org>
15. « *Situation énergétique en région euro-méditerranéenne* » [En ligne] <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

16. **Tareb** « *chauffage et climatisation* » Chapter 3 [En ligne] www.ecb_ch3_fr
17. **Tareb** « *Energy Comfort and Buildings* », Principles of Renewables, Chapter 5 [En ligne] www.learn.londonmet.ac.uk
18. [En ligne] <http://www.croissance-verte.com>
19. [En ligne] <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan>.
20. [En ligne] <http://www.moinsdeco2.com>
21. [En ligne] <http://www.algerie-dz.com>
22. [En ligne] <http://www.ale-grenoble.org>
23. [En ligne] <http://www.chantier.net/prebat>.
24. [En ligne] <http://www.toutsurlisolation.com>
25. [En ligne] www.uvcw.be
26. [En ligne] www.suisse-energie.ch
27. [En ligne] www.anah.fr
28. [En ligne] http://europa.eu/legislation_summaries/environment
29. [En ligne] <http://www.legrenelle-environnement.fr/>
30. [En ligne] <http://www.cstb.fr>
31. [En ligne] www.I3ER.ORG
32. [En ligne] [http:// www.lemaghrebdz.com](http://www.lemaghrebdz.com)

Annexe A :
Analyse bioclimatique de Constantine :

A/ Méthode de Mahoney

Localisation de la ville de Constantine:

Localisation	NORD- EST
Longitude	7° EST
Latitude	36° 17' NORD
Altitude	675 m

Température de l'air en °C

Données climatiques de la région de Constantine- période 1995-2005. Source O.N.M

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Température mensuelle max.	12.3	13	17.1	19.5	25.5	31.3	34.5	34.4	28.6	24.3	16.8	12.9
Température mensuelle min	2.7	2.6	5.2	7.3	11.6	16	18.6	19.1	16	11.5	7.3	4.2
Température mensuelle moy	7.5	7.8	11.2	13.4	18.6	23.7	26.6	26.8	22.3	17.9	12.1	8.6

AMT = (H + L) / 2

AMR = H - L

T max.= 34.5°C	AMT= 18.55
T min. = 2.6°C	AMR= 31.9

Humidité Relative en %

HR max.	93.8	94.6	92	92.6	89.3	80.3	74.4	75.9	88.8	89.7	92.8	94.2
HR min	56.8	52.2	44	43.7	37.9	28.9	24.9	26.3	36.5	40.7	52.2	58.6
HR moyenne	75.3	73.4	68	68.2	63.6	54.6	49.7	51.1	62.7	65.2	72.5	76.4
Groupe d'humidité	4	4	3	3	3	3	2	3	3	3	4	4
	Groupe d'humidité		HR moy									
	1		< 30%									
	2		30 – 50%									
	3		50 – 70%									
	4		>70%									

Précipitations et vents :

Précipitations en mm	76	55	38.5	55.9	41.2	20.7	5.6	13	40.8	32	72.7	83.9
----------------------	----	----	------	------	------	------	-----	----	------	----	------	------

Vitesse Vent en m/s	2.6	2.9	2.5	2.9	2.5	2.4	2.4	2.4	2.1	2.2	2.8	2.9
---------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Limites de confort :

Groupe d'humidité	AMT plus de 20°C		AMT 15-20°C		AMT moins de 15°C	
	jour	nuit	jour	nuit	jour	nuit
1	26-34	17.25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17.23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17.21	20-25	14-20	18-24	12-18

1- Diagnostic de température :

C / Froid (cold)

O / Confort (comfort)

H / Chaud (hot)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp men max.	12.3	13	17.1	19.5	25.5	31.3	34.5	34.4	28.6	24.3	16.8	12.9
Conf jour sup.	24	24	25	25	25	25	31	29	29	29	25	24
Conf jour inf.	18	18	20	20	20	20	25	23	23	23	20	18
Temp mens min	2.7	2.6	5.2	7.3	11.6	16	18.6	19.1	16	11.5	7.3	4.2
Conf nuit sup.	18	18	20	20	20	20	24	23	23	23	20	18
Conf nuit inf.	12	12	14	14	14	14	17	17	17	17	14	12
Conf thermique jour	C	C	C	C	H	H	H	H	O	O	C	C
Conf thermique nuit	C	C	C	C	C	O	O	O	C	C	C	C

2- Indicateurs:

Humidité	H1															0	
	H2																0
	H3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
Arid	A1			X	X	X	X	X	X	X							8
	A2							X									1
	A3	X	X	X	X								X	X			6

3- Application :

Meaning	indicateurs	Confort thermique		pluviométrie	Groupe d'humidité	différence moyenne
		jour	nuit			
Mvt essentiel de l'air	H1	H			4	
		H			2-3	Moins de 10°C
Mvt indésirable de l'air	H2	O			4	
Quantité de pluie nécessaire	H3			Plus de 200mm		
Capacité thermique nécessaire	A1				1-2.-3	Plus de 10°C
Temp ext désirable	A2		H		1-2	
		H	O		1-2	Plus de 10°C
Protection contre le froid	A3	C				

Total des indicateurs :

H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	12	8	1	6

Spécifications recommandées:

a- Disposition / plan de masse

H1	H2	H3	A1	A2	A3		
			0-10			√	1
			11,12		5-12		Orientation Nord et sud (axe long est-ouest)
					0-4		2 Planning compact

b- Espacement :

11-12							3	Ouverture des espaces pour pénétration de brise
2-10							4	Protection contre vent chaud et froid
0,1						√	5	plan compact

c- Mouvement d'air :

3-12							6	Chambres individuelles permettant la circulation d'air
1-2			0-5				7	Chambres doubles permettant une provision temporaire de l'air
			6-12					
0	2-12							
	0-1					√	8	mouvement d'air non recommandé

d- Ouvertures :

			0,1		0		9	Larges 40-80%
			11,12		0,1		10	Petites 10-20%
Autres conditions						√	11	Moyennes 20-40%

e- Murs :

			0-2				12	Murs légers
			3-12			√	13	Murs intérieurs et extérieurs épais

f- Toit :

			0-5				14	Toiture légère
			6-12			√	15	Toiture épaisse

g- Terrasse :

				2-12		√	16	Espace demandé pour terrasse
--	--	--	--	------	--	---	----	-------------------------------------

h- Protection contre la pluie :

		3-12				√	17	Protection nécessaire contre les pluies
--	--	------	--	--	--	---	----	--

Recommandations détaillées :

Total des indicateurs					
HI	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	12	8	1	6

1- Dimensions des ouvertures :

			0-1		0		1	Large :40-80%
					1-12		2	Moyennes : 25-40%
			2-5					
			6-10			√	3	Petites : 15-25%
			11-12		0-3		4	Très Petites : 10-20%
					4-12		5	moyennes : 25-40%

2- Positions des ouvertures :

3-12							6	Au Nord et au sud, murs s'élevant face au vent
			0-5					
			6-12				7	Hautes ouvertures dans les murs intérieurs
0	2-12							

3- Protection des ouvertures :

					0-2		8	Exclure rayonnement directe
		2-12				√	9	Protection contre la pluie

4- Murs et planchers :

			0-2				10	Capacité thermique faible
			3-12			√	11	Epais, tps de déphasage plus de 8h

5- Toits :

10-12			0-2				12	Surface réfléchive de lumière
			3-12				13	Lumière quand c'est l'ensoleillement
0-9			0-5					
			6-12			√	14	Massif, tps de déphasage plus de 8h

6- External features :

				1-12		√	15	Espace pour dormir la nuit
		1-12				√	16	Drainage adéquat des pluies

B/ Méthode de Szokolay Steeve1. Détermination De La Zone De Confort :a. Température moyenne annuelle :

$$T_m = \sum tm/12 = \underline{16.3^\circ\text{C}}$$

b. Température neutre :

$$T_n = 17,6 + (0,31 \times T_m)$$

$$T_n = \underline{\underline{22,6 \text{ °C}}}$$

c. Limite de la zone de confort :

$$T_1 = T_n + ((A_{hn} - 12) \times 0,025 \times (T_n - 14)) - 2$$

$$T_1 = \underline{\underline{19,95 \text{ °C}}}$$

$$T_2 = T_1 + 4$$

$$T_2 = \underline{\underline{23,95 \text{ °C}}}$$

(Le point 1 & 2 correspondant à la ligne d'humidité absolue 12 g/Kg)

$$T_3 = T_1 + 0,2 (T_1 - 14)$$

$$T_3 = \underline{\underline{21,14 \text{ °C}}}$$

$$T_4 = T_2 + 0,2 (T_2 - 14)$$

$$T_4 = \underline{\underline{25,94 \text{ °C}}}$$

(Le point 3 & 4 correspondant à la ligne d'humidité absolue 4 g/Kg)

2. Détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes froides :

(Zone de chauffage solaire passif)

$$T_5 = T_n + 0,36 - 0,0025 \times H_v$$

$$T_5 = \underline{\underline{13,63 \text{ °C}}}$$

$$H_v = 3732 \text{ watt. h/m}^2 \text{ }^{265}$$

(*H_v est la moyenne journalière totale d'irradiations solaires d ,une surface verticale sud pour le mois le plus froid*)

(Le point 5 correspond à la ligne de saturation HB = 100%)

3. Détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes :a) Zone d'effet de masse :

d T_m = T moy max. – T moy min (pour le mois le plus chaud)

$$d T_m = 34,5 - 18,6$$

$$d T_m = \underline{\underline{15,3 \text{ °C}}}$$

$$T_6 = T_2 + 0,5 \times d T_m$$

T₆ = 31,6°C (Le point 6 correspond à la ligne d'humidité absolue 12g / Kg)

$$T_7 = T_6 - 0,05 (T_6 - 14)$$

$$T_7 = \underline{\underline{30,7 \text{ °C}}}$$

²⁶⁵ Capderou M. « Atlas solaire de l'Algérie », tome 2 : aspect énergétique, OPU Alger, 1985. Page 102

(Le point 7 correspond à la ligne d'humidité absolue 14g / Kg)

$$T8 = T6 + 0.2 (T6 - 14)$$

$$T8 = \underline{\underline{35.12 \text{ °C}}}$$

(Le point 8 correspond à la ligne d'humidité absolue 4g / Kg)

Et la limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'HR du point 1

b) Zone d'effet de masse avec ventilation nocturne :

$$T9 = T2 + 0.8 (d Tm) = \underline{\underline{36.67 \text{ °C}}}$$

(Le point 9 correspond à la ligne d'humidité absolue 12g / Kg)

$$T10 = T9 - 0.05 (T9 - 14) = \underline{\underline{35.53 \text{ °C}}}$$

(Le point 10 correspond à la ligne d'humidité absolue 14g / Kg)

$$T11 = T9 - 0.2 (T9 - 14) = \underline{\underline{41.2 \text{ °C}}}$$

(Le point 11 correspond à la ligne d'humidité absolue 4g / Kg)

c) Zone de ventilation naturelle (Mouvement d'air sur la surface de peau)

$$T12 = T2 + 5 = \underline{\underline{28.95 \text{ °C}}}$$

(Le point 12 correspond à la ligne d'humidité absolue 12g / Kg)

$$T13 = T12 + 0.1 (T12 - 14) = \underline{\underline{30.44 \text{ °C}}}$$

(Le point 13 correspond à la ligne d'humidité absolue 4g / Kg)

$$T14 = T1 = \underline{\underline{19.95 \text{ °C}}}$$

$$T15 = T12 - 0.18 (T12 - 14) = \underline{\underline{26.26 \text{ °C}}}$$

(Le point 14 & 15 seront localisés sur la courbe de 90% d'humidité relative)

d) Zone de refroidissement évaporatif direct :

$$T16 = Tn + 12 = \underline{\underline{34.6 \text{ °C}}}$$

Les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracées à partir des lignes de températures humides des points 1 et 2.

e) Zone de refroidissement évaporatif indirect :

$$T17 = Tn + 15 = \underline{\underline{37.6 \text{ °C}}}$$

La limite supérieure de cette zone correspond à la ligne de 14 g / Kg de (HA)

Les limites des zones définies vont être figurées selon la méthode de SZOCOLAY, ainsi que tous les mois, représentés par des segments limités par deux points représentant:

- La température moyenne maximale mensuelle avec l'humidité relative minimum.
- La température moyenne mensuelle avec l'humidité relative maximum.

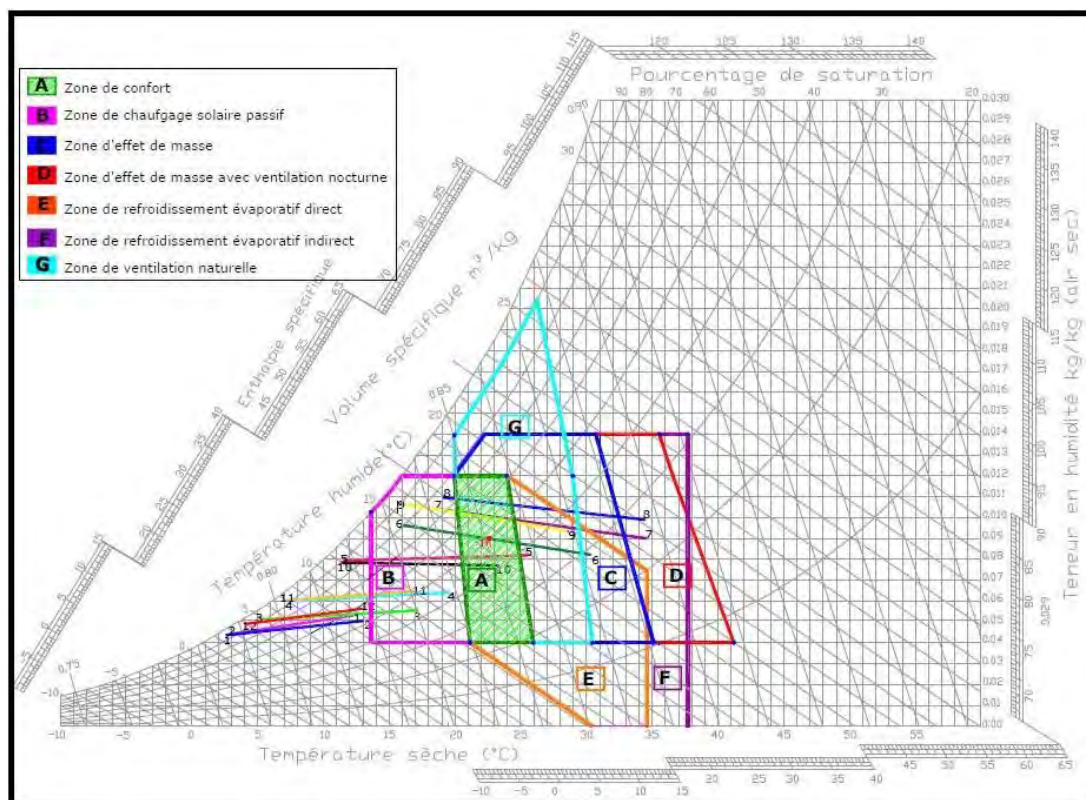


Figure A. 1 : Le diagramme psychométrique complet. Diagramme psychrométrique de Szokolay appliqué à la ville de Constantine. (Source : Auteur)

C/ Détermination de la zone climatique de la ville de Constantine selon la formule de De Martonne :

$$Im = P / (T + 10) \dots\dots\dots$$

Où : Im est l'indice d'aridité.

P : précipitation annuelle.

T : température moyenne annuelle.

On obtient un $Im=20$, donc : $10 < Im < 20$

De part cette valeur calculée de l'indice d'ED Martonne, la ville de Constantine est classée comme région à climat **semi aride**.

D/ Matrice des isothermes de la région de Constantine :

Sur le graphe qui comporte les mois en abscisse, et les heures en ordonnées, on met les températures équivalentes aux heures synoptiques, ensuite à l'aide d'une ligne on relie les points de même température (5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C....).

D'après le diagramme des isothermes de la ville de Constantine (Fig. 2) cinq zones se distinguent :

- ✚ Zone de sous chauffe très froide : dans laquelle les températures sont inférieures à 10°C, elle englobe les mois de janvier, février, mars, novembre et décembre.
- ✚ Zone de sous chauffe froide : délimitée par les courbes 10° et 15°C, elle englobe principalement les mois d'hiver : mars, avril, mai, octobre et novembre où le chauffage passif pendant l'après midi est nécessaire.
- ✚ Zone de confort : comprise entre les courbes 15°C et 20°C, englobe les mois de mai, juin, septembre et octobre mais la tranche horaire diffère d'un mois à l'autre.
- ✚ Zone chaude : délimitée par les courbes 20°C et 25°C englobe le mois de mai, juin, et septembre.
- ✚ Zone de surchauffe : englobe les mois d'été (juin, juillet et août). De 10h jusqu'à 17h, les températures sont supérieures à 25°, à ce moment, le soleil est perpendiculaire et son intensité est maximale, où on doit chercher le maximum d'ombre et de protection.

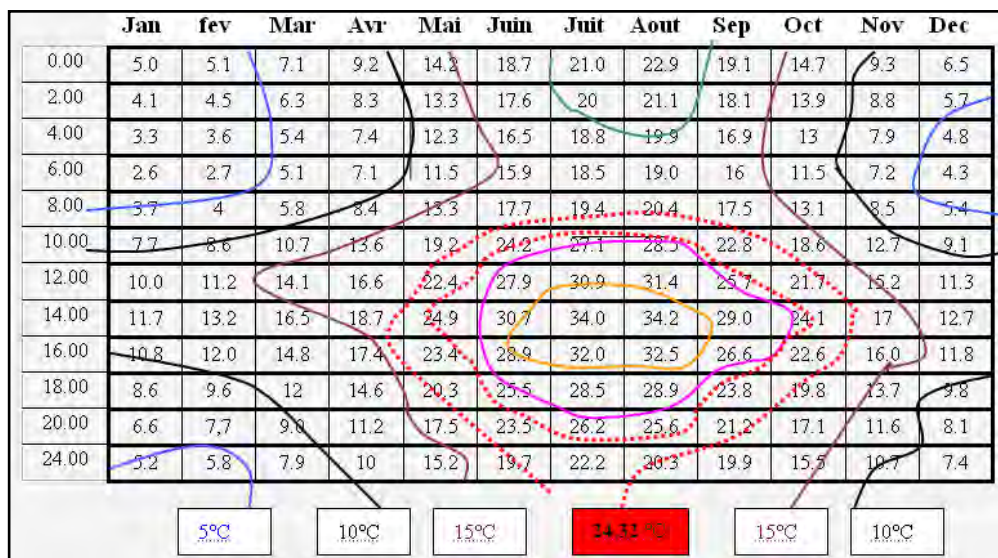


Figure A. 2 : Matrice des isothermes de la région de Constantine. (Source : Auteur)

E/ Calcul de la température neutre Tn d'après la formule de Humphrey :

En raison des études sur le terrain, il a été proposé que la température de confort soit une fonction de la température extérieure, et peut être prévu par des équations de la forme suivante (Humphreys 1978, Auliciens et De Dear 1986, Nicol et Raja, 1995) :

$$T_{comf} = a \cdot T_{a-out} + b \dots \dots \dots (1)$$

Où Ta,out est la température d'air extérieure moyenne.

Ainsi, après De Dear et Brager, (2002), ont proposé l'expression suivante :

$$T_{comf} = 0.31 T_{a-out} + 17.8 \dots \dots \dots (2)$$

Tandis que Humphreys 1978, Humphreys et Nicol 2000 et Nicol 2002 ont proposé une expression presque similaire²⁶⁶ :

$$T_{\text{comf}} = 0.534 T_{\text{a-ou}} + 11.9 \dots \dots \dots (3)$$

$T_{\text{a-ou}}$: la température extérieure moyenne du mois en question en °C.

Les températures limites de confort T_c :

$$T_c = T_n \pm 2 \text{ K.}$$

$T_c = T_n + 2\text{K} = 28.6^\circ\text{C}$ c'est la limite supérieure du confort.

$T_c = T_n - 2\text{K} = 24.6^\circ\text{C}$ c'est la limite inférieure du confort.

1. Calcul de la température neutre T_n d'après la formule de Humphrey:

$$T_n = 11.9 + 0.534 T_0$$

Où T_n : la température neutre en °C

T_0 : la température extérieure moyenne du mois en question en °C.

Pour le mois de juillet $T_0 = 26,1^\circ\text{C} \implies T_n = \underline{\underline{25,8^\circ\text{C}}}$

Pour le mois de mars $T_0 = 10.19^\circ\text{C} \implies T_n = \underline{\underline{17.3^\circ\text{C}}}$

Pour le mois d'avril $T_0 = 12.64^\circ\text{C} \implies T_n = \underline{\underline{18.6^\circ\text{C}}}$

2. Les températures limites de confort T_c :

- Pour le mois de juillet : $T_c = T_n \pm 2 \text{ K.}$

$T_c = T_n + 2\text{K} = \underline{\underline{27,8^\circ\text{C}}}$ c'est la limite supérieure du confort.

$T_c = T_n - 2\text{K} = \underline{\underline{23.8^\circ\text{C}}}$ c'est la limite inférieure du confort.

- Pour le mois de mars :

La limite supérieure du confort $T_c = T_n + 2\text{K} = \underline{\underline{19.3^\circ\text{C}}}$

La limite inférieure du confort. $T_c = T_n - 2\text{K} = \underline{\underline{15.3^\circ\text{C}}}$

- Pour le mois d'avril :

La limite supérieure du confort $T_c = T_n + 2\text{K} = \underline{\underline{20.6^\circ\text{C}}}$

La limite inférieure du confort. $T_c = T_n - 2\text{K} = \underline{\underline{16.6^\circ}}$

²⁶⁶ **Niki Assimakopoulou M.** « Développement et évaluation des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d'un vitrage électrochromique pour des applications de bâtiment », thèse de doctorat, Lyon 2004.p 243

Annexe B**Résultats des mesures :**

Relevés des températures et des humidités relatives à l'étage intermédiaire au printemps (29-30/03/2010)

Heures	T° séj	HR séj	T° ch1	HR ch1	T° ch2	HR ch2	T° int	HR int	T° ext	HR ext	T° mét	HR mét
22h	20	75	19	72	20.3	65	19.9	71	14.4	61	15.7	62
00h	20	75	18.7	72	20	66	19.8	72	14.5	62	15.4	62.7
02h	19.9	77	18.6	75	20.2	67	19.6	71	14.2	72	13.4	70.3
04h	19.6	77	18.5	75	19.9	67	19.6	71	14.1	81	9.8	85
06h	19.5	81	18.5	79	19.5	68	19.4	64	13.6	86	9.1	87.7
08h	19.4	81	18.5	80	19.5	68	19.4	63	12.3	85	11.5	82.3
10h	18.9	81	17.8	79	19.6	69	19.8	73	11.3	71	16.9	69
12h	18.9	65	17.8	66	19.6	50	19.4	54	18	49	19.6	45.7
14h	18.6	65	17.8	61	19.6	53	19.4	55	20.4	43	20	40.3
16h	18.4	65	18.3	61	19.9	53	19.7	55	21.1	47	18.3	53
18h	18.4	60	18.3	66	19.9	52	19.4	52	18.5	59	15.2	63.7
20h	18.4	71	18.5	68	19.4	62	19.3	68	14.2	75	12.7	74.3
22h	18.2	70	18.4	68	19.2	65	19.1	68	12.4	80	11.6	79.7

Relevés des températures et des humidités relatives au dernier étage au printemps (31/03 et 1^{er}/04/2010)

Heures	T° séjour	HR séjour	T° ch1	HR ch1	T° ch2	HR ch2	T° int	HR int	T° ext	HR ext	T° météo	T° météo
22h	19.6	62	19	55	19.1	54	19.5	56	14.2	67	10.9	85
00h	19.8	62	18.9	59	18.9	56	19.2	61	14.2	62	9.9	87.7
02h	19.8	65	18.8	58	18.5	56	19.2	60	13	68	9.1	91
04h	19.5	68	18.5	57	18.5	55	19.2	60	12.9	65	8.4	95
06h	19.2	70	18.3	57	18.6	55	19.4	60	11.6	67	7.4	95
08h	19	70	18.5	59	18.8	55	19.4	62	10.7	69	9	87.3
10h	18.9	59	17.9	56	18.6	52	19.5	56	12.8	67	13.2	72
12h	18.9	58	17.9	52	18.3	53	19.5	50	15.3	51	15.2	65.3
14h	19	58	18.3	55	19.1	51	19.7	53	17.5	45	15.7	62.7
16h	19.6	62	18.3	61	19.1	53	19.9	60	17.8	42	14.8	64
18h	19.8	61	18.5	58	18.2	54	19.8	55	16.4	45	13.1	76.7
20h	19.5	62	18.5	59	18.1	55	19.6	56	14.6	62	11.7	85
22h	19.5	64	18.5	64	18	55	19.5	61	13.7	71	11.2	87.7

Relevés des températures et des humidités relatives RDC au printemps (02-03/04/2010):

Heures	T° séj	HR séj	T° ch1	HR ch1	T° ch2	HR ch2	T° int	HR int	T° ext	HR ext	T° mét	HR mét
22h	19.4	75	19.7	72	20.2	65	20.9	70	13.8	68	10.6	90
00h	19.5	76	19.6	71	20.2	66	20.8	72	13.1	71	9.9	92
02h	19.6	77	19.5	73	20.1	67	20.8	73	13.1	66	9.5	93
04h	19.6	77	19.4	75	20.1	68	20.6	71	12.9	71	9	93
06h	19.6	81	19.2	79	19.9	68	20.5	64	11.3	73	6.8	94.3
08h	19.5	81	19.1	80	19.8	69	20.4	63	10.2	73	8.9	85.3
10h	19.3	80	19.1	79	19.9	68	20.5	70	12.7	69	12.9	66
12h	17.8	68	17.7	69	19.8	50	20.4	54	14.6	42	15.1	54.7
14h	18.6	65	18.6	66	19.7	50	21.5	56	16.1	43	16.4	50
16h	18.9	64	19	62	19.7	53	20.9	55	18.9	33	16.3	52
18h	18.8	62	19.2	66	19.7	51	20.7	52	24.4	26	14.5	70
20h	18.9	60	19.1	66	19.7	52	20.5	52	16.6	52	12.1	83.3
22h	18.8	72	18.6	69	19.3	67	20.1	68	12.9	65	9.7	92

Relevés des températures et des humidités relatives à l'étage intermédiaire en été

	Séj		Ch1		Ch2		Hall		Ext		Météo	
heures	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)
Le 09/07/2010												
22H	27	64	26.9	65	25	62	24.9	62	22.8	60	25.5	53
0H	26.6	65	26.5	65	24.5	65	24.5	65	22.8	61	22.2	61
Le 10/07/2010												
2H	26.6	67	26.4	64	24	64	24.3	64	22.3	59	20.3	66.3
4H	26.3	68	25.8	58	24.1	60	24	60	20.8	60	19.9	69
6H	26.5	64	26	58	24	57	24.6	55	22.9	62	21	69.7
8H	26.5	67	26.1	60	24.9	60	24.8	65	25.9	59	24.6	61.7
10H	26.5	60	27.2	51	25	52	25.2	52	33.3	58	30.3	45
12H	28.1	48	27.8	47	25.5	48	25.9	52	32.5	45	33.2	38.3
14H	29.5	45	29.4	38	27.9	38	26	44	35.7	38	35.1	34
16H	29.6	41	30.4	48	28.7	45	26.6	41	37.5	38	36.1	32
18H	30.6	51	31.4	47	29.7	48	25.8	41	35.8	48	33.5	37.3
20H	31	54	30.7	52	28.7	52	27.3	49	35.5	55	29.9	46.7
22H	30.6	62	31.8	57	29.7	58	28.3	59	33.2	57	25.4	60
0H	30.8	62	29.9	65	28.7	65	27.3	65	22.2	61	23.1	62.7
Le 11/07/2010												
2H	30.6	65	25.4	64	26.7	64	26.3	65	22.1	51	21.4	65.7
4H	28	67	25	58	26.1	60	25.6	60	21.8	55	20.1	69
6H	27.4	61	24.1	58	25.6	57	25.1	57	22.4	60	21.7	67
8H	26.9	65	25	60	25.1	60	24.5	60	26.2	55	25.7	53.3
10H	27.4	58	24.7	51	26.9	53	25.1	52	33.4	51	32	28
12H	29.6	45	25.1	45	28.5	48	25.6	50	32.9	35	35.3	22.7
14H	29.9	40	26.4	39	28.7	38	26.8	46	35.5	34	37.1	22
16H	30	41	30.1	48	28.9	45	27	42	37.8	37	37.4	26
18H	30.9	50	31	47	28.7	48	27.9	42	35.8	47	31.9	36.7
20H	31	52	30.2	52	27.7	52	28.3	48	35.8	55	28	47.3
22H	30.9	61	31.2	57	26.7	59	27.3	55	33	52	25.7	58
0H	29	62	28.9	54	26.3	61	24.3	63	25.7	53	23.8	60.7
Le 12/07/2010												
2H	28.2	61	25.4	64	25.4	64	23.9	65	22.1	55	21.9	65
4H	28.5	61	24.2	58	24	60	24.3	60	21.8	55	20.1	71
6H	26.3	62	24.1	58	24.2	54	24.1	57	22.4	60	21.4	71.7
8H	26.8	55	24.6	54	24.1	58	24.3	56	26.8	55	25.4	58.7

Relevés des températures et des humidités relatives du dernier étage en été

	Séj		Ch1		Ch2		Hall		Ext		Météo	
Heures	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)
Le 13/07/2010												
22h00	30.6	40	30.9	44	30.4	39	30.5	39	30.5	46	25.3	54
00h00	30.5	40	30.7	45	30	41	30.1	41	27.5	51	23.3	61.3
Le 14/07/2010												
02h00	29.8	41	29.9	46	29.8	41	30	41	24	60	21.6	65.7
04h00	29.1	40	28.8	46	27.9	39	29.8	40	22.5	62	20.3	67
06h00	28.6	39	28.6	45	29.3	38	29.5	39	24.8	57	21.6	59.7
08h00	28.9	40	28.5	45	29.1	39	29.1	40	28.9	48	26.1	48.7
10h00	29.9	42	30.6	43	30.5	41	30.2	42	34.7	42	33.6	34
12h00	30.5	40	30.6	45	30.5	42	30.2	42	38.9	36	37.6	26
14h00	30.6	40	30.6	42	30.6	40	30.2	41	39.6	26	39.1	25
16h00	31.3	45	30.9	42	30.8	44	30.4	45	39.6	22	38	31
18h00	31.5	44	31	42	31.1	42	30.6	45	37.1	27	34.6	33
20h00	31.2	41	31.3	42	31.2	33	30.6	41	33.8	36	30.8	37.3
22h00	30.9	34	31.2	39	31.1	33	30.7	39	31.6	41	26.6	44
00h00	29.6	31	30.7	40	29.6	31	30.5	32	29.9	42	24.3	48.7
Le 15/07/2010												
02h00	29.3	31	29.1	39	28.5	30	29.6	32	25.3	50	22.8	51.3
04h00	29.1	30	28.9	39	27.1	29	29.2	31	21.8	54	21.9	52
06h00	28.9	30	28.7	39	27.3	30	28.9	31	22.4	48	22.6	51.3
08h00	29.1	31	28.8	39	27.6	30	28.8	32	26.4	45	26	42.3
10h00	29.4	30	29.9	36	30.6	30	29.8	34	33.4	32	32.3	25
12h00	30.6	28	30.9	34	30.8	29	30.4	35	34.6	24	35.6	21
14h00	30.8	32	31.5	38	31	38	30.6	38	37.5	23	37	21.3
16h00	30.7	37	31.3	41	31.2	39	30.8	41	36.8	30	36.4	26
18h00	32.4	35	31.3	38	31.2	37	30.9	40	34.4	30	33.5	27.3
20h00	32	28	31.4	38	31.2	29	31	30	31.6	35	30.1	32
22h00	31.5	29	31.1	39	30.5	29	30.8	31	27	42	26.2	40
00h00	30.9	29	30.5	39	28.6	29	30.7	31	23.4	49	23.5	51.3
Le 16/07/2010												
02h00	29.9	30	29.5	38	28.1	30	29.3	31	22.1	59	21.4	61
04h00	29.6	30	29.1	37	28	30	28.6	30	21.1	65	20	69
06h00	29.4	30	28.7	35	27.9	29	29	30	20.8	62	20.8	65
08h00	29.7	30	29.2	36	28.5	30	29.6	32	24.8	54	25.1	50.3
10h00	29.9	32	30.1	38	29.4	30	30.6	32	33.1	32	32.9	25
12h00	31.2	32	31.4	33	31.8	30	31.3	30	37.6	19	37.2	15.7
14h00	31.6	29	31.2	34	31.5	30	31.2	35	39.7	18	39.2	12.7
16h00	31.8	30	31.3	34	31.5	29	31.3	36	39.1	20	38.9	16
18h00	32.6	27	31.9	31	31.6	29	31.6	30	37.1	26	34.9	23.3
20h00	32.4	30	31.7	33	31.8	30	31.6	32	32	32	31.5	28.3

Relevés des températures et des humidités relatives RDC en été

heures	Séj		Ch1		Ch2		Hall		Ext		Météo	
	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)
Le 17/07/2010												
8h	25.4	62	24.6	59	24.2	58	23.4	60	33.5	30	26.8	33
10h	26.9	56	27.6	53	26.9	51	25.8	52	36.2	31	33.5	25
12h	30.9	42	29.9	41	30.8	42	28.9	46	37.1	30	36.6	22.3
14h	32	38	30	37	30.8	39	30.6	42	38.9	25	38.2	22
16h	32.3	36	31.1	35	31.9	37	31.6	36	39.2	28	38.5	24
18h	32.7	47	31.7	41	32	42	31.7	43	35.8	48	34.9	36.7
20h	32.7	49	32	51	31.9	50	31.6	46	31.8	55	30.9	49
22h	31.9	56	30.6	53	29.8	55	29.2	55	29.6	57	26.5	61
0h	31	59	30.4	52	29.9	57	28.9	60	25.4	61	24.8	69
Le 18/07/2010												
2h	30.8	60	28.9	56	27.9	59	27.4	62	26.3	59	23.3	74.3
4h	29.8	61	28.5	58	26.2	56	25.9	60	25.6	56	22.1	77
6h	28.6	62	27.5	59	26.6	54	24.8	57	25.9	61	22.6	77
8h	28.1	65	27.2	54	27.2	52	24.6	56	26.5	59	24.8	67.7
10h	27.9	58	27.6	40	28.3	40	26.8	39	34.5	51	28.5	49
12h	28.9	45	28.9	45	28.9	48	27.4	50	35.6	35	31.6	34.3
14h	29.6	40	29.3	39	28.6	38	27.9	46	35.9	34	32.9	29
16h	30.1	41	29.5	48	28.9	45	28.1	42	35.1	38	32.3	33
18h	30.9	50	29.1	47	29.3	48	27.9	42	34.5	48	30.6	41
20h	31.2	52	30.5	52	30.1	52	29.2	48	32.5	55	27.7	50.7
22h	30.6	61	30.7	57	29.6	59	28.7	55	31.4	52	23.7	62
0h	30.8	62	30.3	54	28.9	61	28.2	63	29.9	53	21.8	67.3
Le 19/07/2010												
2h	30.1	61	29.7	64	27.6	64	26.9	65	26.2	58	20.1	69.7
4h	28.2	61	28.7	58	26.9	60	26.5	60	23.4	55	18.5	69
6h	26.4	62	27.9	58	27.6	54	26.7	57	24.6	61	19.4	70.3
8h	26.9	55	28.7	54	27.9	58	26.5	56	28.5	58	22.8	60
10h	28.8	41	29.3	40	29.9	40	28.2	39	31.6	36	28.8	38
12h	30	40	30.1	42	29.6	41	28.9	40	33.1	34	31.4	32
14h	30.6	39	30.3	40	30	42	29.1	42	34.5	34	32.8	30
16h	31.4	36	30.6	38	30.5	41	29.3	41	35.6	35	33	32
18h	32.1	36	30.7	37	30.9	38	29.6	38	33.6	36	29.9	34.7
20h	31.1	37	30.4	36	30.7	35	29.2	37	30.5	42	26.5	40.7
22h	29.3	39	30.2	39	28.7	38	27.6	42	26.4	46	22.6	50
0h	28.8	41	29.9	41	26.9	42	25.4	44	24.3	52	21	54
Le 20/07/2010												
2h	27.7	43	28.6	45	26.1	45	25	51	21.8	55	19.5	57
4h	26.5	46	28.7	47	25.7	48	25.1	52	20.6	58	18	59
6h	26.4	50	28.1	50	26.6	52	25.8	52	21.8	55	19.3	55
8h	27.1	52	27.6	51	27.9	50	26	51	23.4	52	23.1	45.7

Annexe C

1. Propriétés des vitrages :

Pour améliorer la valeur du coefficient de déperdition du vitrage U_g , il est possible de : créer des vitrages multiples (cf. Fig. 3), augmenter l'épaisseur de la feuille de verre, augmenter l'épaisseur de la lame d'air ou de gaz ou encore limiter le transfert de chaleur dans la lame d'air.²⁶⁷

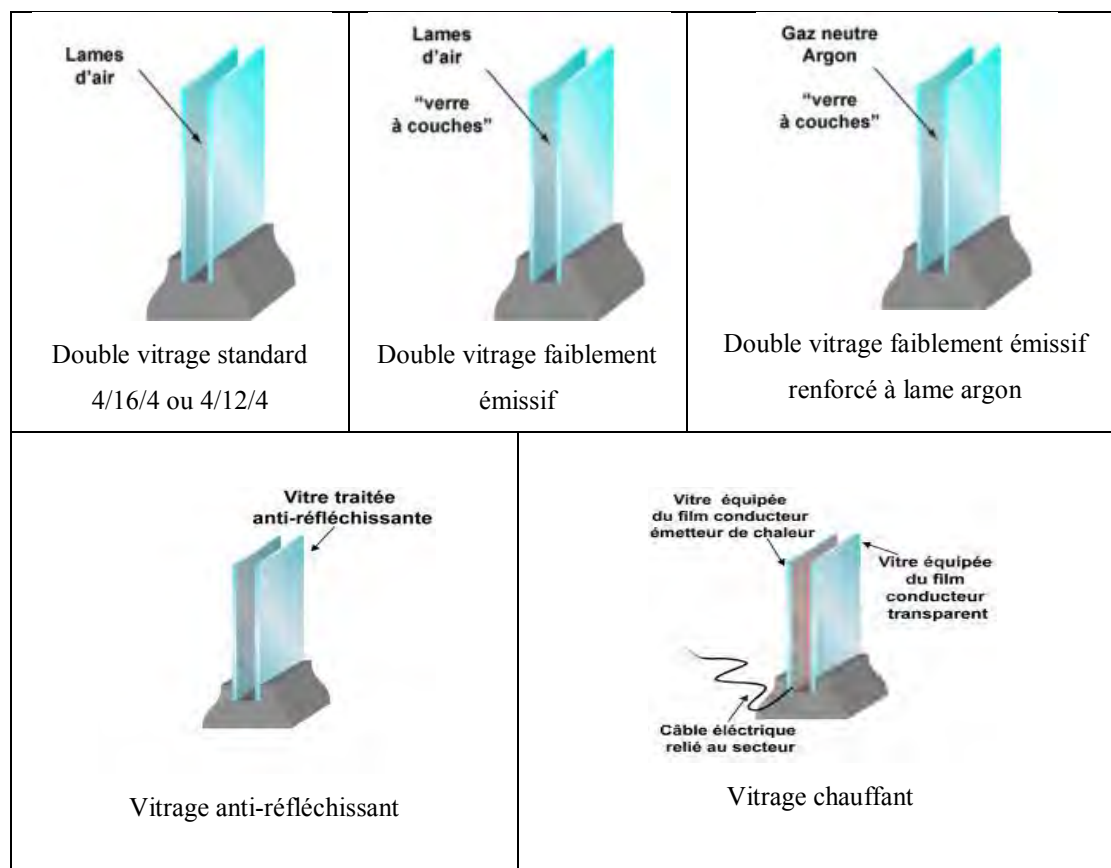


Fig. C. 1 : Les cinq principaux types de double vitrage.

Source : « *Vitrage thermique* » www.Fenetre.ComprendreChoisir.com

Dans les bâtiments existants, il est difficile pour améliorer les performances, de changer leur orientation. Par contre le remplacement de vitrages peut se faire aisément. C'est pour cette raison qu'il semble important d'insister sur les performances des vitrages.

La performance thermique d'une paroi vitrée dépend de la nature de la menuiserie, des performances du vitrage et de la qualité de la mise en œuvre de la fenêtre. Les coefficients de transmission surfacique U_g et U_w sont donnés dans le tableau C.1 & 2.

²⁶⁷ Flory-Celini C. « *Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant* », Thèse de doctorat, Université Lyon 1 Claude Bernard, 2008, p 222.

Tableau C. 1 : Caractéristiques des vitrages commercialisés

(Source : Simon F. & Hauglustaine J.M.1998)

Type de vitrage		Epaisseur [mm]	Poids [kg/m ²]	U _g [W/m ² .K]	Facteur solaire g	Facteur lumineux	
Simple vitrage ordinaire ou trempé ou armé ou durci		2	5	5,9	0,88	0,91	
		3	7,5	5,8	0,87	0,90	
		4	10	5,8	0,85	0,90	
		5	12,5	5,8	0,84	0,89	
		6	15	5,7	0,82	0,89	
		8	20	5,7	0,80	0,87	
		10	25	5,6	0,78	0,86	
		12	30	5,6	0,75	0,85	
Simple vitrage réfléchissant		Clair	6	15	5,7	0,5	0,52
		Bronze	6	15	5,7	0,44	0,18
		Gris	6	15	5,7	0,42	0,15
		Rose	6	15	5,7	0,51	0,25
		Vert	6	15	5,7	0,36	0,26
Simple vitrage feuilleté		33.1	6	15,5	5,7	0,79	0,89
		44.1	8	20,5	5,7	0,77	0,87
		55.1	10	25,5	5,6	0,75	0,86
		66.1	12	30,5	5,6	0,73	0,85
Double vitrage		4/6/4	14	20	3,3	0,75	0,81
		4/8/4	16	20	3,1	0,75	0,81
		4/12/4	20	20	2,9	0,76	0,81
		6/12/6	24	30	2,8	0,72	0,79
		6/15/6	27	30	2,7	0,72	0,79
		8/12/8	28	40	2,8	0,66	0,77
Vitrage à basse émissivité (ou haut rendement) avec lame d'air		4/12/4	20	20	1,8	0,64	0,76
		4/15/4	23	20	1,5	0,63	0,76
		6/12/6	24	30	1,7	0,61	0,74
		6/15/6	27	30	1,5	0,61	0,74
Vitrage à basse émissivité (ou haut rendement) avec argon		4/12/4	20	20	1,4	0,64	0,76
		4/15/4	23	20	1,3	0,63	0,76
		6/12/6	24	30	1,4	0,61	0,74
		6/15/6	27	30	1,3	0,61	0,74
Vitrage chromogène		On	11	27,5	5,7	0,63	0,75
		Off	11	27,5	5,7	0,64	0,74
Triple vitrage		4/8/4/8/4	28	30	2,1	0,67	0,73
Vitrage réfléchissant		6/12/6	24	30	2,8	0,4	0,7
Double vitrage à isolation acoustique renforcée		6/12/33.1	24	30,5	2,8	0,71	0,79
		8/8/33.1	20	35,5	3,2	0,68	0,78
		6/12/44.1	26	35,5	2,8	0,7	0,78
		8/6/44.1	22	40,5	3,2	0,67	0,77
		6/12/44.1	28	40,5	2,8	0,67	0,77
		10/12/44.1	30	40,5	2,8	0,65	0,76

Tableau C. 2 : Coefficients U_w de fenêtres (menuiserie + vitrage)

Source : Diagnostic de Performance Energétique Guide à l'usage du diagnostiqueur V2Guide
« Recommandations » pour le DPE 2007 www.ademe.fr

		U_w (W/m ² .K)	
		U_{jn} (W/m ² .K)	
Menuiserie	Vitrages	Sans volet	Avec volet
Bois	Simple	4.2	3.9
	survitrage	2.9	2.75
	4/12/4	2.55	2.25
	4/12/4 peu émissif	2	1.8
	4/16/4	2.4	2.15
	4/16/4 peu émissif	1.75	1.62
	4/16argon/4 peu émissif	1.6	1.47
	Double fenêtre	2.3	2
PVC	Simple	3.9	3.65
	survitrage	2.75	2.6
	4/12/4	2.35	2.05
	4/12/4 peu émissif	1.83	1.63
	4/16/4	2.3	2.05
	4/16/4 peu émissif	1.70	1.56
	4/16argon/4 peu émissif	1.55	1.41
Métallique sans rupture de pont thermique	Simple	4.95	4.50
	survitrage	3.8	3.55
	4/12/4	3.6	3.05
	4/12/4 peu émissif	3.04	2.6
	4/16/4	3.6	3.05
	4/16/4 peu émissif	2.95	2.52
	4/16argon/4 peu émissif	2.8	2.37
Métallique avec rupture de pont thermique	4/12/4	2.9	2.55
	4/12/4 peu émissif	2.34	2.10
	4/16/4	2.9	2.50
	4/16/4 peu émissif	2.25	1.97
	4/16argon/4 peu émissif	2.10	1.82

2. Caractéristiques thermiques des différents matériaux :

Les impacts des matériaux sur l'environnement sont multicritères. Comme indiqué dans le tableau C1, l'énergie grise est l'un d'eux. Il est difficile voire impossible de dissocier les caractéristiques environnementales des produits de leurs caractéristiques techniques.²⁶⁸

²⁶⁸ Gallauziaux T. & Fedullo D. "Le grand livre de l'isolation", éd. Eyrolles, Paris 2010. Page 113.

Tableau C. 3 : Caractéristiques thermiques des différents matériaux

Source : « Propriétés et performances thermiques des matériaux » 2008. www.ageden.org

	Masse volumique ρ (kg/m ³)	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Capacité thermique ρC (Wh/m ³ .K)	Diffusivité thermique a (m ² /h) * 10 ⁻³	Vitesse de transfert v (cm/h) *	Efficacité thermique E (Wh/1/2m ² .K)	Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau μ	Énergie grise (kWh/m ²)
Matériaux d'isolation								
Polystyrène expansé	30 à 300	0,038	12	3,14	4,06	0,7	40 à 100	≈ 450
	15 à 30	0,042	9	4,63	4,93	0,6	30 à 70	
	7 à 15	0,050	4	11,29	7,7	0,5	20 à 50	
Polystyrène extrudé	20 à 30	0,028					80 à 300	≈ 850
Polyuréthane (panneaux)	30	0,030	12				Imperméable	1000 à 1200
Polyuréthane (mousse)	27 à 60	0,032	17	1,89	3,15	0,7	Imperméable	
Laine de verre	40 à 150	0,039	27	1,43	2,74	1	perméable à la vapeur d'eau mais les performances thermiques sont fortement diminuées par l'humidité	150 à 250
	15 à 40	0,041	8	5,21	5,23	0,6		
	7 à 15	0,050	3	15,89	9,14	0,4		
Laine de roche	40 à 200	0,045	34	1,31	2,62	1,2	Moins sensible à l'humidité que la laine de verre	
	25 à 40	0,044	9	4,73	4,99	0,6		
	15 à 25	0,050	6	8,74	6,78	0,5		
Verre cellulaire	140 à 180	0,057	44	1,28	2,59	1,6	∞	≈ 1600
	110 à 140	0,051	35	1,47	2,78	1,3	∞	
Vermiculite	75 à 130	0,06 à 0,08					3 à 4	≈ 230
Panneaux de bois mou	40 à 55	0,040	113	0,37	1,39	2,2	1 à 2	≈ 12,5
Panneaux de bois « mi dur »	160	0,050	156	0,62	1,81	2,8	5	≈ 12,5
Laine de cellulose	20 à 30	0,043	11	3,97	4,57	0,7	1 à 2	≈ 6
Liège expansé	100 à 150	0,049	65	0,75	1,99	1,8	5 à 30	80 à 90
Panneaux de chanvre	20 à 30	0,039					1 à 2	30
Panneaux en lin semi-rigide	30 à 35	0,037					1 à 2	
Laine de coton en rouleaux	20	0,040					1 à 2	
Laine de mouton	20 à 50	0,060	16	3,86	4,5	1	1 à 2	80
	10 à 20	0,065	7	9,75	7,16	0,7	1 à 2	80
Matériaux de construction à isolation répartie								
Béton cellulaire	775 à 825	0,29	222	1,31	2,62	8	4 à 10	≈ 400
Béton cellulaire	575 à 625	0,21	167	1,26	2,57	5,9		
Béton cellulaire	375 à 425	0,14	111	1,26	2,57	3,9		
Béton de chanvre	400 à 450	0,11	213	0,52	1,65	4,8		
Brique alvéolée (monomur)	700 à 750	0,12	202	0,59	1,76	4,9		700
Terre-paille	300 à 400	0,11	136	0,81	2,06	3,9	Très faible	Très faible
Autres matériaux								
Parpaing de ciment	850 à 950	0,9	250	3,6	4,35	15	5 à 10	1800
Brique de terre cuite pleine	2300 à 2400	1,04	653	1,59	2,89	26,1	50 à 100	1700
	1600 à 1700	0,64	458	1,4	2,71	17,1	50 à 100	1700
Pisé	1770 à 2000	1,1	785	1,4	2,71	29,4		100 à 120

Tableau C. 4 : Exemples de performances thermiques d'isolantSource : Guide « recommandations » pour le DPE 2007 www.ademe.fr

<u>Pour les toitures terrasse :</u>					
Polyuréthane avec $\lambda=0.025$ W/m.K :					
Epaisseur (cm)	3	4	6	8	10
R (m ² .K/W)	1.1	1.55	2.4	3.2	4
<u>Pour les murs :</u>					
Laine minérale ou polystyrène expansé avec $\lambda=0.032$ W/m.K :					
Epaisseur (cm)	4	6	8	10	
R (m ² .K/W)	1.2	1.85	2.45	3.1	
Laine minérale ou polystyrène expansé avec $\lambda=0.038$ W/m.K :					
Epaisseur (cm)	2	4	6	8	10
R (m ² .K/W)	0.5	1	1.55	2.05	2.6
Enduit chaux/chanvre $\lambda=0.13$ W/m.K :					
Epaisseur (cm)	2	3	4	5	
R (m ² .K/W)	0.15	0.23	0.31	0.38	
<u>Pour les planchers bas sur garage ou local non chauffé :</u>					
Laine minérale (verre ou roche) ; laine de mouton ; laine de chanvre avec $\lambda=0.040$ W/m.K :					
Epaisseur (cm)	6	8	10	12	
R (m ² .K/W)	1.5	2.05	2.55	3.05	

3. Les pare-vapeur :

La quantité de vapeur d'eau traversant un mur ne dépend pas uniquement de la différence de pression de vapeur d'eau, mais également de la perméabilité du mur à la vapeur. Cette perméabilité est due aux pores très fins que comportent la plupart des matériaux.

Lorsqu'on désire éviter la condensation autant que possible, il faut placer un pare-vapeur du côté chaud de l'isolant (cf. Tableau.3). On peut admettre une certaine condensation interne si celle-ci n'est pas résiduelle et si elle n'entraîne pas de dégradations des matériaux et des écoulements excessifs de condensats.²⁶⁹

²⁶⁹ **Hauglustaine J.M. & Simon F. & Baltus C. & Liesse S.** « L'isolation thermique des façades verticales » Guide pratique pour les architectes, Ministère de la Région Wallonne, Université Catholique de Louvain, 2006. **pour les architectes** Universités de Louvain et de Liège Ministère de la Région Wallonne février 2006.

Tableau C. 5 : Les différents matériaux Pare-Vapeur

(Source : Hauglustaine J.M. 2006)

MATERIAUX PARE-VAPEUR	$\mu \cdot d$ [m]	MATERIAUX PARE-VAPEUR (suite)	$\mu \cdot d$ [m]
Peinture minérale	0,02	Papier kraft bitumé ou papier kraft aluminium	5,0
Papier peint ordinaire (Ep. $\pm 0,15$ mm)	0,03	Feuille polyéthylène (Ep. $\pm 0,2$ mm)	7,5
Papier peint textile (Ep. ± 1 mm)	0,045	Feuille aluminium plastifié sur 1 face	18
Papier peint vinyl (Ep. $\pm 0,2$ mm)	0,43	Membrane PVC	40
Peinture au latex	0,6	Bitume armé polyester APP (Résines polypropyléniques)	120
Peinture acrylique	0,7	Feuille aluminium plastifié sur 2 faces	160
Papier bitumé sur une face	0,7	Bitume armé voile de verre	216
Vernis d'adhérence	1,35	Bitume armé aluminium	432
Feuille polyéthylène armée micro-perforée	1,7	Bitume armé polyester SBS (Elastomère-Caoutchouc)	750
Peinture à l'huile	2,4	Membrane polyisobuthylène	520
Feuille aluminium armé	4,3		

4. Les matériaux à changement de phase (MCP) :

L'utilisation des MCP doit permettre de stocker/ déstocker l'énergie provenant des apports solaires ou internes. Les applications dans le cadre de constructions légères permettent de conduire à une amélioration du confort thermique des usagers et à une réduction des consommations d'énergie.

Le stockage d'énergie thermique peut se faire par plusieurs moyens²⁷⁰ :

- Stockage par chaleur sensible : eau, huiles synthétiques, vapeur d'eau sous pression, sels fondus sans changement de phase, céramiques, béton, ...
- Stockage par chaleur latente : transitions de phases Solide/Liquide, Liquide /Gaz, Solide /Gaz, Solide /Solide de produits organiques (paraffines, acides gras, ...) ou inorganiques (eau, sels, métaux, ...)
- Stockage thermochimique par réactions chimiques endo/exothermiques, adsorption, absorption.

La modélisation des parois à MCP nécessite l'intégration de certains facteurs décrits ci-dessous²⁷¹ :

- ✚ Les échanges thermiques : Fonction du côté de paroi considéré. Pour les cloisons : échangent la chaleur essentiellement avec l'atmosphère intérieure.
Pour les murs de béton: peuvent échanger à la fois du côté intérieur et du côté extérieur.
- ✚ Le type de paroi : La paroi est constituée d'une partie qui stocke la chaleur sous forme de chaleur sensible et du MCP qui stocke la chaleur sous forme de chaleur latente

²⁷⁰ Flory-Celini C. « *Op. Cit. 3* » p 295

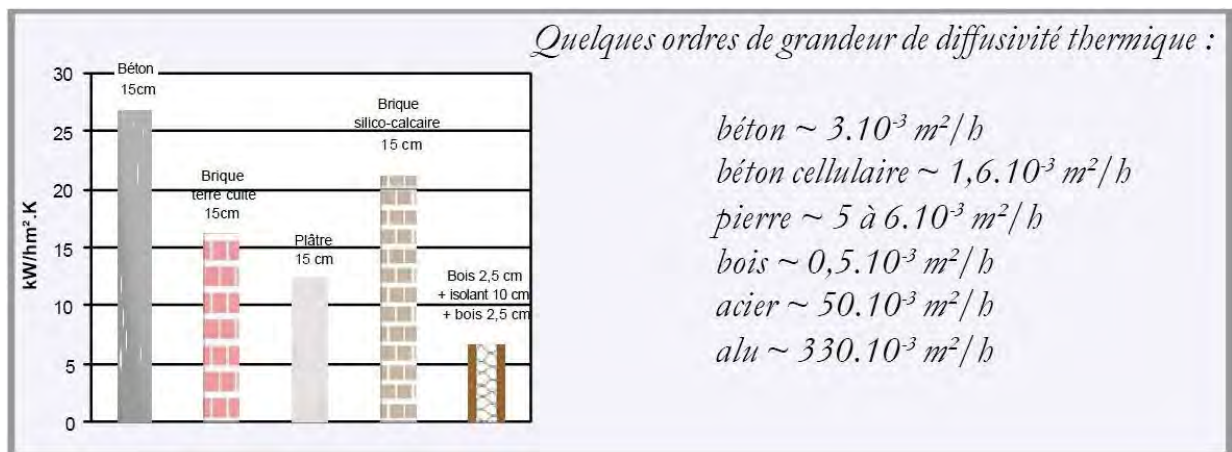
²⁷¹ *Ibid.* p 301.

- Le cycle thermique : Fonction des matériaux utilisés, de la taille du bâtiment, du taux de renouvellement d'air et de sa distribution dans la pièce.

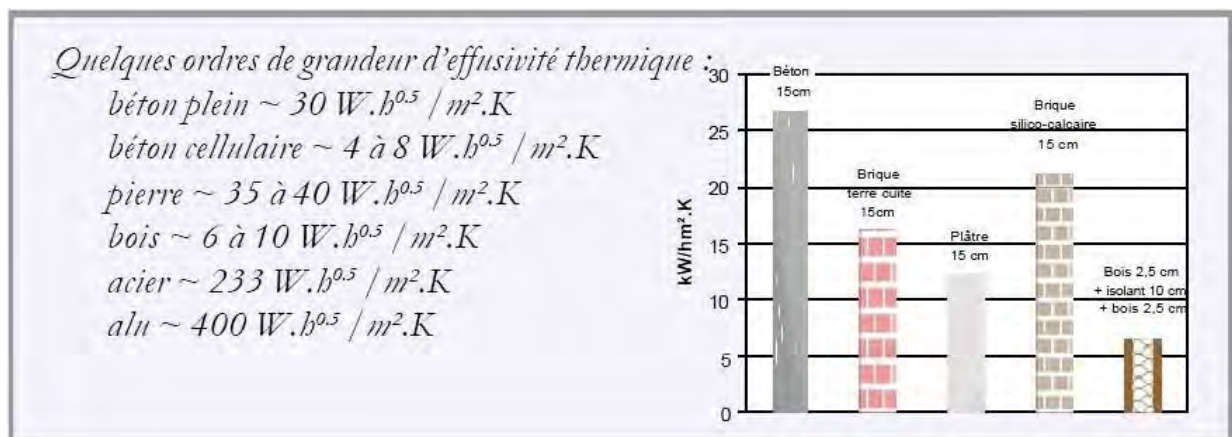
Certains fabricants proposent des plaques de plâtre ou des enduits intégrant des microcapsules d'une paraffine dont la t° de fusion est comprise entre 21°C et 26°C . Ainsi en été lors des journées chaudes, ces éléments de construction en MCP accumulent de la chaleur. La paraffine contenue dans leurs microcapsules se liquéfie, ce qui a pour effet de refroidir la pièce.²⁷²

5. Diffusivité et effusivité thermique:

La diffusivité thermique exprime la capacité d'un matériau à transmettre (rapidement) une variation de température. Plus la valeur de la diffusivité thermique est faible, plus la chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau.



L'effusivité caractérise la sensation de «chaud» ou de «froid» que donne un matériau. Si la valeur d'effusivité est élevée, le matériau absorbe rapidement beaucoup d'énergie sans se réchauffer notablement en surface. Les matériaux isolants ont un coefficient E faible



²⁷² Gallauziaux T. & Fedullo D. « *Op. Cit. 4* » Page 51.

Annexe D :

1. Les éléments de protection solaire :

Les gains solaires peuvent être des sources de surchauffes et d'éblouissement dans les bâtiments en saison chaude. Les contrôler permet d'améliorer le confort thermique et visuel en réduisant les surchauffes et les risques d'éblouissement, tout en assurant l'intimité.

Le contrôle solaire doit être fait en parallèle avec l'éclairage et la ventilation naturels. Les niveaux intérieurs d'éclairage naturel et la ventilation naturelle ne doivent pas être négligés au point que l'éclairage artificiel et la ventilation mécanique soient nécessaires. La modulation des gains de chaleur solaires entrant dans un bâtiment est permise par : l'orientation et la géométrie des ouvertures, les dispositifs de protection solaire ou encore le contrôle des propriétés solaires et optiques des éléments opaques et transparents.²⁷³

La disposition des protections solaires mobiles ou fixes devrait être considérée comme une partie intégrante des systèmes de dimensionnement des fenêtres. Bloquer le soleil avant qu'il atteigne l'intérieur du bâtiment est la méthode la plus efficace pour réduire les charges de refroidissement. Ainsi, le dimensionnement d'une protection fixe dépend de la surface et de l'orientation de l'ouverture par rapport à la position du soleil. Généralement, une protection horizontale est utilisée pour les façades sud, contrairement aux orientations Est et Ouest ou une protection verticale est plus appropriée (cf. Figure D.1). La plupart des protections fixes sont installées à l'extérieur du bâtiment afin de dissiper la chaleur du soleil absorbée par l'air extérieur.

Le même dispositif installé à l'intérieur réduira son efficacité de 30% en moyenne. En effet, les dispositifs d'ombrage extérieurs dissipent la chaleur par convection et le rayonnement grande longueur d'onde. En revanche, les dispositifs internes dissipent la chaleur à l'intérieur du bâtiment.²⁷⁴

²⁷³ Flory-Celini C. « *Op. Cit. 3* » p 277.

²⁷⁴ *Ibid* p 279.

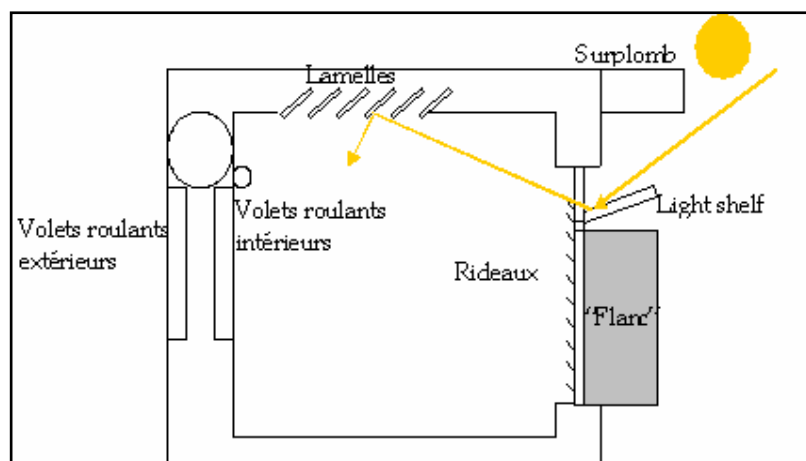


Figure D. 1 : Les dispositifs de protection solaire (Flory-Celini 2008)

1.1. Les protections fixes :

Les projections architecturales, surplombs, quand elles sont horizontales, ou lamelles inclinées, quand elles sont verticales, sont généralement employées pour contrôler la quantité de rayonnement solaire atteignant une surface. Les surplombs conviennent aux surfaces orientées au sud ou vers le sud, et les « flancs » aux surfaces Est et Ouest.

Les systèmes fixes limitent forcément la pénétration des rayonnements diffus provenant de certains angles pouvant être utiles pour l'éclairage naturel par ciel couvert. Cet effet peut être limité par l'utilisation de protections mobiles.²⁷⁵

Les dispositifs fixes, qui peuvent être horizontaux extérieurs ou encore verticaux, comprennent : les surplombs, ou des persiennes au-dessus des fenêtres, les lamelles inclinées ou des volets verticaux sur les côtés et les stores.

1.1.1. Les stores :

Un store extérieur peut diviser par 5 les apports par ensoleillement pour un vitrage à l'ouest ou à l'est au maximum de l'exposition.²⁷⁶ Les plus efficaces sont opaques et placés à l'extérieur. Ils réduisent les apports solaires et contribuent donc à l'amélioration du confort par l'abaissement de la température des surfaces de vitrage (cf. Figure D. 2).

²⁷⁵ Flory-Celini C. « *Op. Cit. 3* » P 282.

²⁷⁶ [En ligne] www.anah.fr

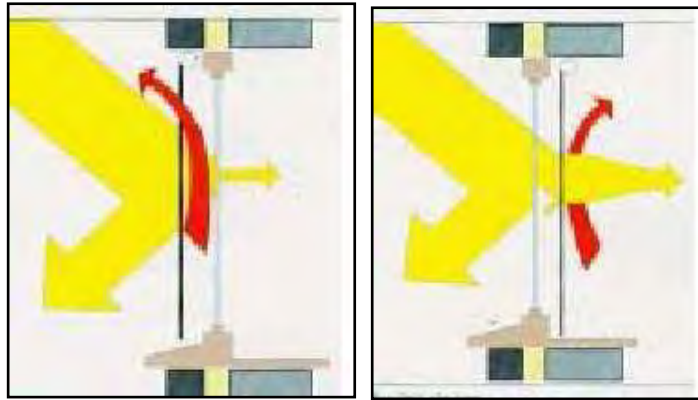


Figure D. 2 : Comparaison entre une protection extérieure (à droite) et une protection intérieure (à gauche) (Tareb, 2004)

1.1.2. Les persiennes :

Elles peuvent être constituées de châssis extérieurs mobiles composés de panneaux et articulés pouvant donc se replier. Les persiennes, placées de façon stratégique, permettent de laisser passer le soleil à travers les interstices, et de le bloquer en été.

1.2. Les protections mobiles :

Ils peuvent être adaptés aux différentes conditions climatiques, complètement rétractables et asservis. Les systèmes mobiles sont préférables dans les zones climatiques froides. Les volets ou les stores extérieurs ajustables et complètement rétractables sont efficaces pour contrôler le rayonnement direct, diffus et réfléchi, et ils sont ainsi capables de moduler les gains solaires ainsi que les niveaux de lumière naturelle.

Les dispositifs mobiles peuvent être internes, externes ou entre les vitres d'un double ou triple vitrage, ils incluent : les volets roulants, les stores vénitiens et les rideaux (généralement internes).

1.2.1. Les rideaux :

Ils peuvent être plus efficaces en les doublant par une toile d'aluminium qui a un fort pouvoir réfléchissant et en les disposant le plus près possible du vitrage.

1.2.2. Les volets :

Ce sont des panneaux mobiles de fermeture de baies. Il existe plusieurs types de volets dont :

- Les volets roulants qui sont des éléments horizontaux pouvant faire interception au soleil.
- Les volets battants en bois extérieurs ou intérieurs
- Les volets coulissants en bois extérieurs ou intérieurs.

Tableau. 1 : Caractéristiques et performances des volets isolantsSource : www.egr-renovation.com

Volets isolants	Caractéristiques et performances
Volets isolants caractérisés par une résistance thermique additionnelle apportée par l'ensemble volet-lame d'air ventilé	R > 0,20 m ² °K/W

2. La ventilation :

Il existe plusieurs moyens pour agir sur les débits entrants et sortants : par différence de pression (VMC, ...), par différence de température (tirage thermique) ou encore par l'utilisation de l'effet du vent.

2.1. La ventilation naturelle :

La stratégie la plus simple pour l'amélioration du confort quand la température intérieure, dans des conditions de calme, se montre assez élevée, c'est la ventilation qui offre du confort, au moyen de plus grandes vitesses d'air intérieur et de plus grandes pertes thermiques du corps humain.²⁷⁷

Le refroidissement de l'intérieur d'un bâtiment par le mouvement de l'air, peut être réalisé naturellement de deux manières : la ventilation croisée qui utilise l'effet du vent et l'effet de cheminée²⁷⁸, elle permet de créer de la ventilation naturelle même en l'absence du vent à l'extérieur.²⁷⁹ Comme il existe plusieurs moyens pour agir sur les débits entrants et sortants : par différence de pression (VMC, ...), par différence de température (tirage thermique) ou encore par l'utilisation de l'effet du vent. L'air chaud s'élève naturellement à l'intérieur d'un bâtiment en créant un appel d'air dans les pièces ouvertes.

2.1.1. Ventilation à simple exposition :

Un des modes de ventilation naturelle le plus utilisé est l'ouverture des fenêtres. Le vent et le tirage thermique provoquent le débit d'air entrant dans les ouvrants. Tareb (2004) montre que la ventilation naturelle à simple exposition dépend fortement du vent moyen et qu'elle n'est pas très efficace si l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur demeure limité (cas des

²⁷⁷ Niki Assimakopoulou M. « Op. Cit.2 ».

²⁷⁸ Watson D. & Camous R. « L'habitat bioclimatique de la conception à la construction », Ed. L'Étincelle, Québec 1986, Page 12.

²⁷⁹ Ibid. page 162.

périodes chaudes) ou alors cette stratégie nécessite de grandes surfaces d'ouvrants, et précise que « C'est souvent cette dernière solution qui est appliquée dans les climats relativement chauds pour des immeubles de compacité importante ne permettant pas l'utilisation de la ventilation traversante».

2.1.2. Ventilation traversante :

Dans le cas de la ventilation traversante, l'air entre par une façade, traverse l'ensemble du bâtiment et ressort par une façade opposée. La circulation d'air à l'intérieur du bâtiment étant principalement provoquée par le vent.

Tareb (2004) précise que la ventilation traversante peut fournir les taux de renouvellement d'air les plus importants, et peut ventiler efficacement des pièces bien plus profondes (cinq fois la hauteur sous plafond) que la ventilation à exposition simple. En revanche, cette stratégie nécessite d'éviter les obstacles entre les ouvertures situées de part et d'autre du bâtiment, pour ce faire, la porosité intérieure du bâtiment peut être augmentée.

2.1.3. La ventilation nocturne en période chaude:

Elle consiste à ventiler le bâtiment pendant la nuit afin de rafraîchir sa structure, pour ensuite absorber les flux de chaleur pendant le jour suivant. Ceci permet de réduire la température de l'air et des surfaces intérieures, et d'améliorer le niveau du confort à l'intérieur du bâtiment. La ventilation de jour introduit l'air neuf extérieur, qui est nécessaire afin de maintenir la qualité d'air d'intérieur acceptable.

Quand la température extérieure est plus basse que celle de l'ambiante, le bâtiment voit sa température diminuer par l'air qui le traverse durant la nuit. Ce phénomène est également fortement associé à l'inertie du bâtiment qui favorise le stockage de la fraîcheur. Le bâtiment reste froid durant une certaine fraction du jour suivant si les fenêtres sont fermées²⁸⁰

Le mouvement d'air augmente la dissipation thermique des matériaux de construction et l'air plus chaud est alors évacué dans l'atmosphère de basse température²⁸¹. Ce processus continue pendant la nuit et, la température de l'air et la masse intérieure du bâtiment sont ainsi à des niveaux plus bas quand le cycle d'augmentation de la température recommence le jour suivant. Par conséquent, le matin, les occupants entrent dans un environnement plus frais, ce qui signifie que même pour les bâtiments climatisés de jour, une réduction substantielle d'énergie est possible.

²⁸⁰ Santamouris M. & Asimakopoulos D. «*Passive cooling of buildings*», Ed. James and James, 1996.

²⁸¹ Ibid.

Dans le cadre de la rénovation d'un bâtiment, l'installation de systèmes passifs n'est pas toujours aisée. Ainsi, concilier isolation et aération passe par le contrôle de la ventilation. Dans certains cas, il ne pourra donc pas être possible de s'affranchir des systèmes mécanisés.

2.2. La ventilation mécanique :

Pour palier au problème du renouvellement de l'air dans un bâtiment, des systèmes de Ventilation Mécanique Contrôlée sont à proscrire car ils évacuent la chaleur de l'air vicié.

2.2.1. La VMC simple flux auto réglable :

L'air vicié est extrait de la cuisine, de la salle de bains et des WC par des bouches reliées à un groupe d'extraction avec des conduits souples. L'air neuf pénètre par des entrées d'air placées au-dessus des fenêtres des chambres et du séjour. Cette installation a des débits d'air constants quelles que soient les conditions extérieures (vent, pluie) et intérieures (nombre d'occupants, humidité).

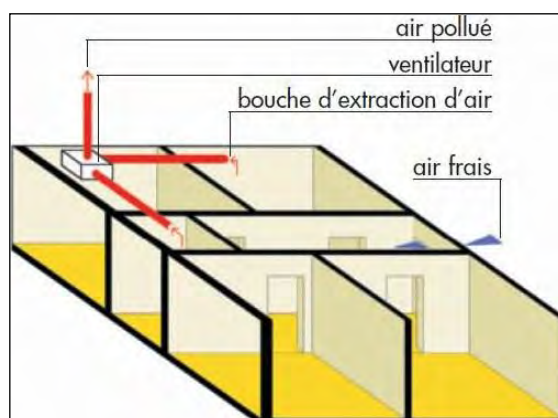


Figure D. 3 : La VMC simple flux

Source : www.anah.fr

2.2.2. La VMC hygroréglable :

L'idée est de réguler le débit d'air de façon à ce qu'il soit minimal à chaque instant tout en correspondant aux vrais besoins de renouvellement.²⁸² Son principe de fonctionnement est le même que dans le cas de la VMC simple flux. La différence est que son débit d'air est régulé en fonction de l'humidité intérieure et extérieure, ce qui permet de garantir l'évacuation plus rapide d'un air très humide tout en limitant les gaspillages.

Cette ventilation est adaptée aux besoins puisqu'elle évacue plus rapidement un air humide tout en limitant les gaspillages d'énergie, ce qui allie bonne hygiène et confort de vie.

²⁸² Lavigne P. « Architecture climatique : une contribution au développement durable, concepts et dispositifs » tome 2 page 68. 1994. Page 192.

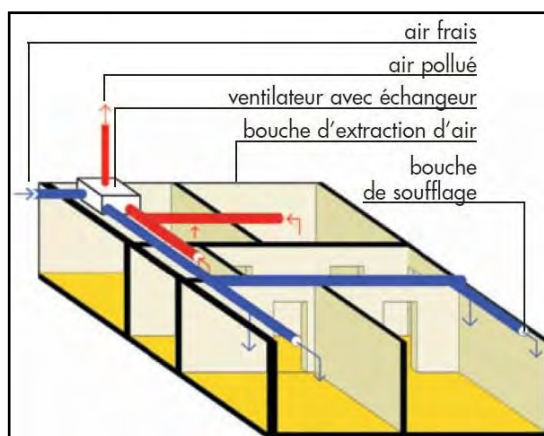


Figure D. 4 : La VMC double flux.

Source : www.anah.fr

2.2.3. La VMC double-flux avec récupération de chaleur :

En limitant les pertes de chaleur, ce système est le plus performant car il récupère la chaleur de l'air vicié extrait du logement et l'utilise pour préchauffer l'air neuf filtré provenant de l'extérieur. En plus de la chaleur du chauffage, des appareils électroménagers et des occupants, la VMC double-flux permet de profiter de la chaleur dégagée par la cuisson ou la toilette. Le rendement de récupération permet de réutiliser jusqu'à 95 % de l'énergie contenue dans l'air vicié²⁸³. En rénovation, ce système ne dispense pas pour autant d'un moyen de chauffage.

Un ventilateur pulse cet air neuf préchauffé dans les pièces du bâtiment par le biais de bouches d'insufflation. Cet équipement est plus coûteux qu'une VMC simple-flux, mais il permet des économies de chauffage importantes en récupérant jusqu'à 70% de l'énergie contenue dans l'air vicié extrait et en profitant de la chaleur dégagée dans les pièces chaudes.

2.2.4. La Ventilation mécanique répartie (VMR) :

Elle est constituée d'aérateurs individuels placés dans les pièces de service. Si ce système ne comporte pas de conduits ni de gaines à entretenir, il implique en revanche la présence d'un groupe d'extraction dans chaque pièce de service, il est de ce fait encombrant et inesthétique. Ce système convient en rénovation, quand la pose d'une VMC est trop problématique.

L'efficacité de cette technique dépend de l'amplitude des températures extérieures, de l'inertie thermique du bâtiment et des paramètres techniques relatifs aux équipements (période et taux de ventilation).²⁸⁴

²⁸³ [En ligne] www.anah.fr

²⁸⁴ Blondeau P. & Sperandio M. & Allard F. « Night ventilation for building cooling in summer », Solar energy, vol. 61, n. 5, pp. 327-335.1997.

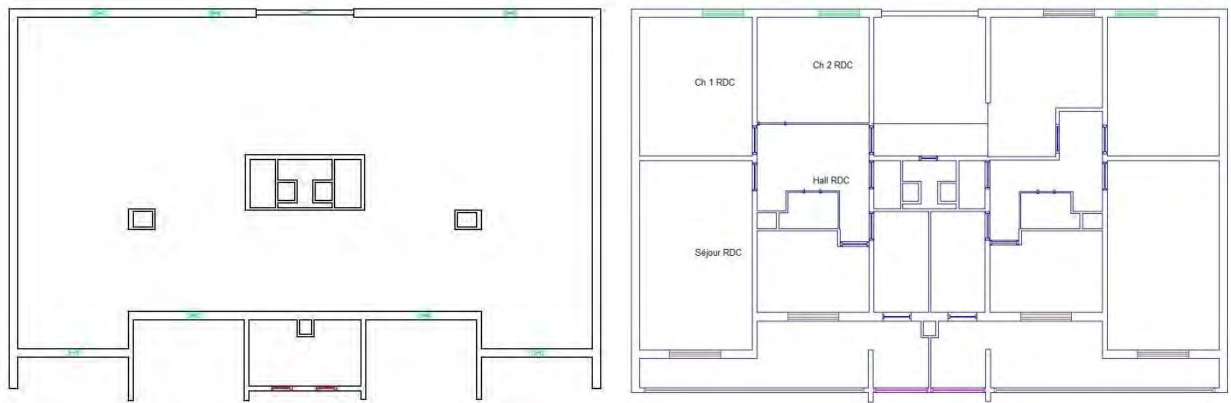
Annexe E

Figure E. 1 : Plans du bâtiment d'étude réalisés par TAS 3D Modeller

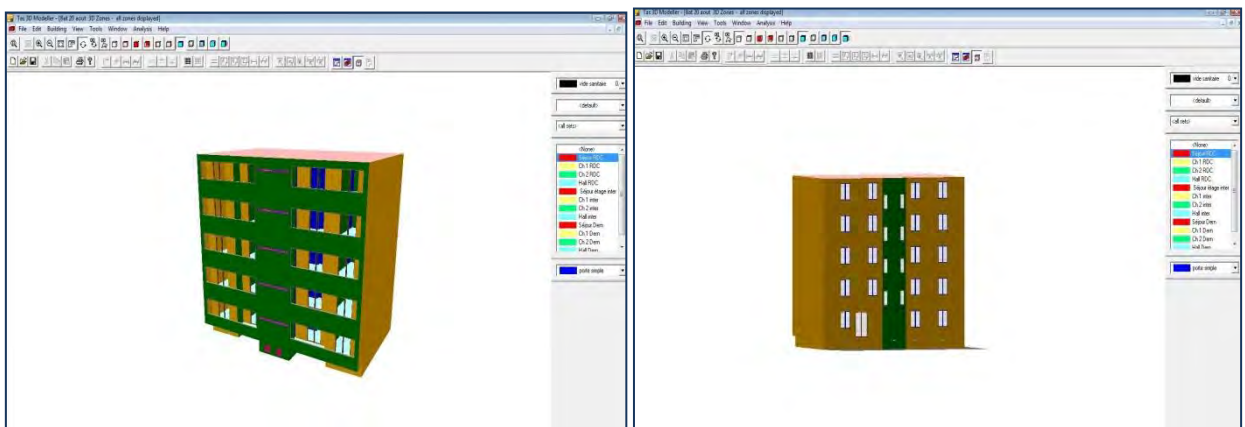


Figure E. 2 : Le bâtiment d'étude réalisé par TAS 3D Modeller

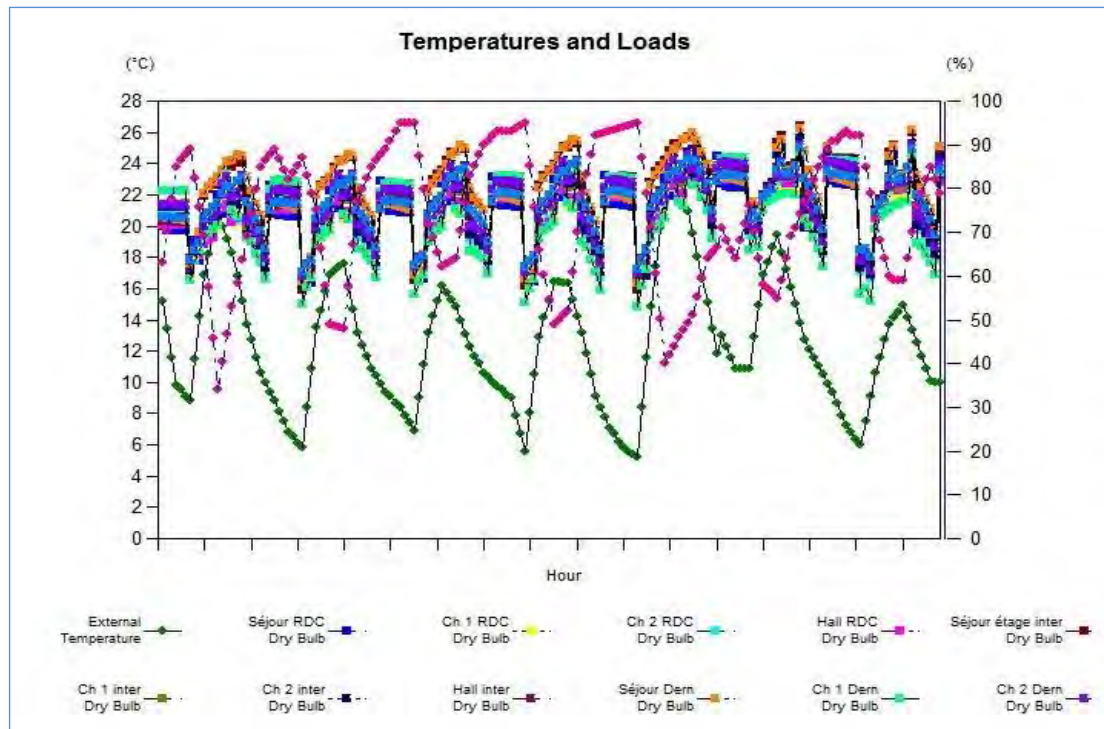


Figure E. 3 : Variation de la température intérieure et extérieure de la période du 29/03/2010 au 05/04/2010 (Source : EDSL TAS 9.1.4.2)

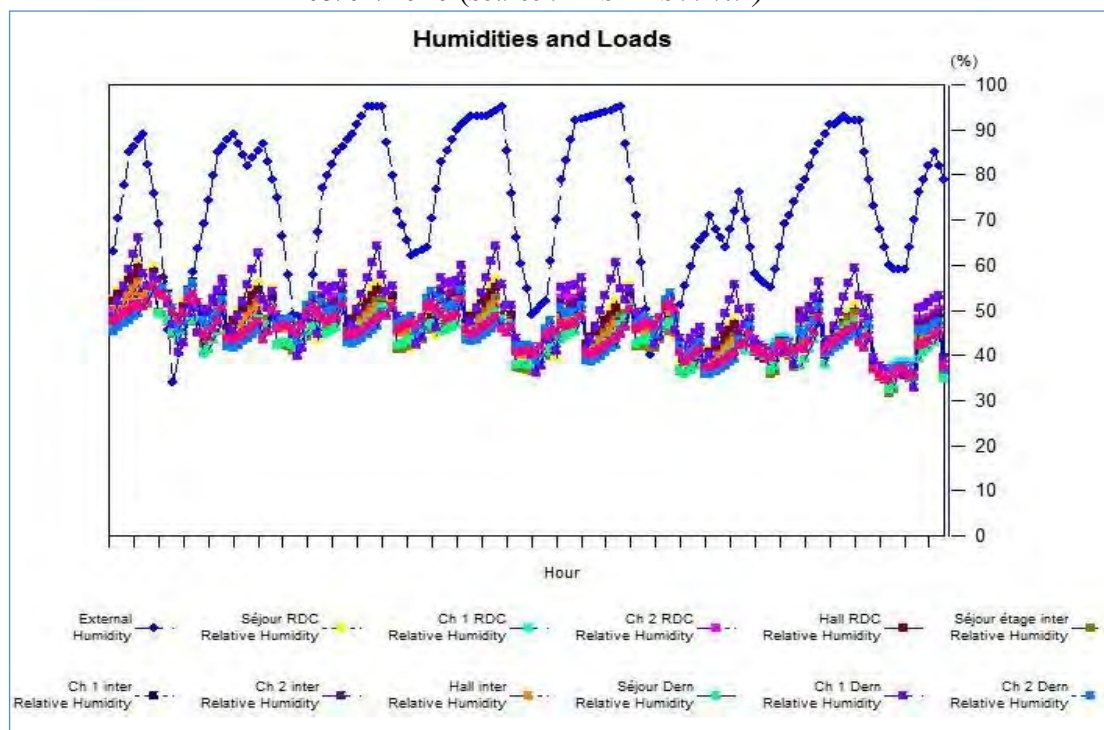


Figure E. 4 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure de la période du 29/03/2010 au 05/04/2010 (Source : EDSL TAS 9.1.4.2)

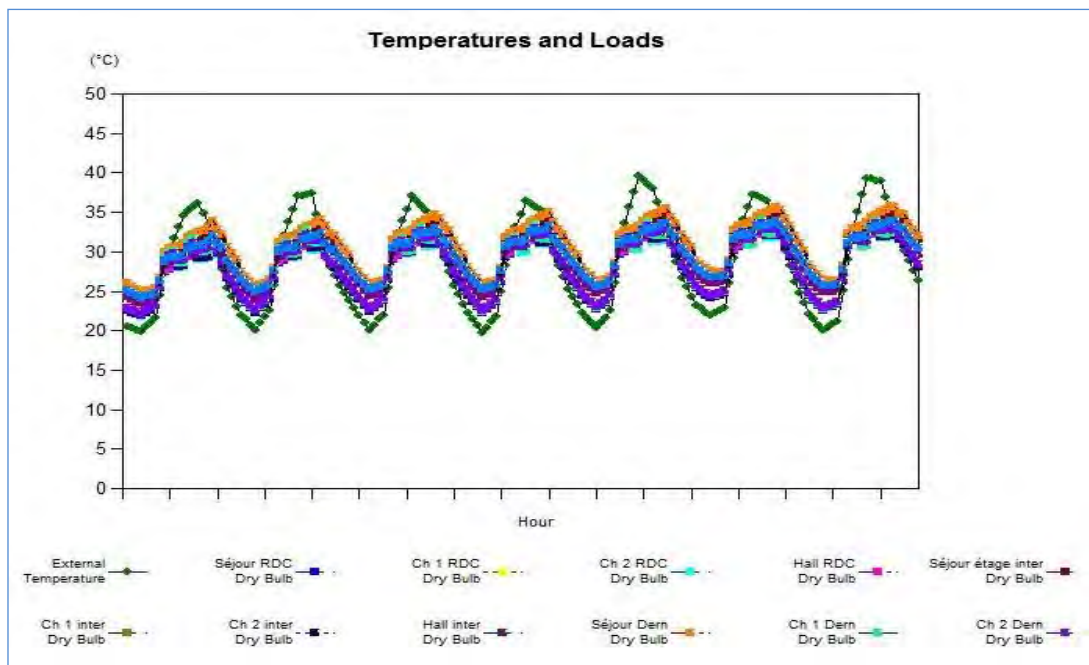


Figure E. 5 : Variation de la température intérieure et extérieure de la période du 10/07/2010 au 16/07/2010 (Source : EDSLTA 9.1.4.2)

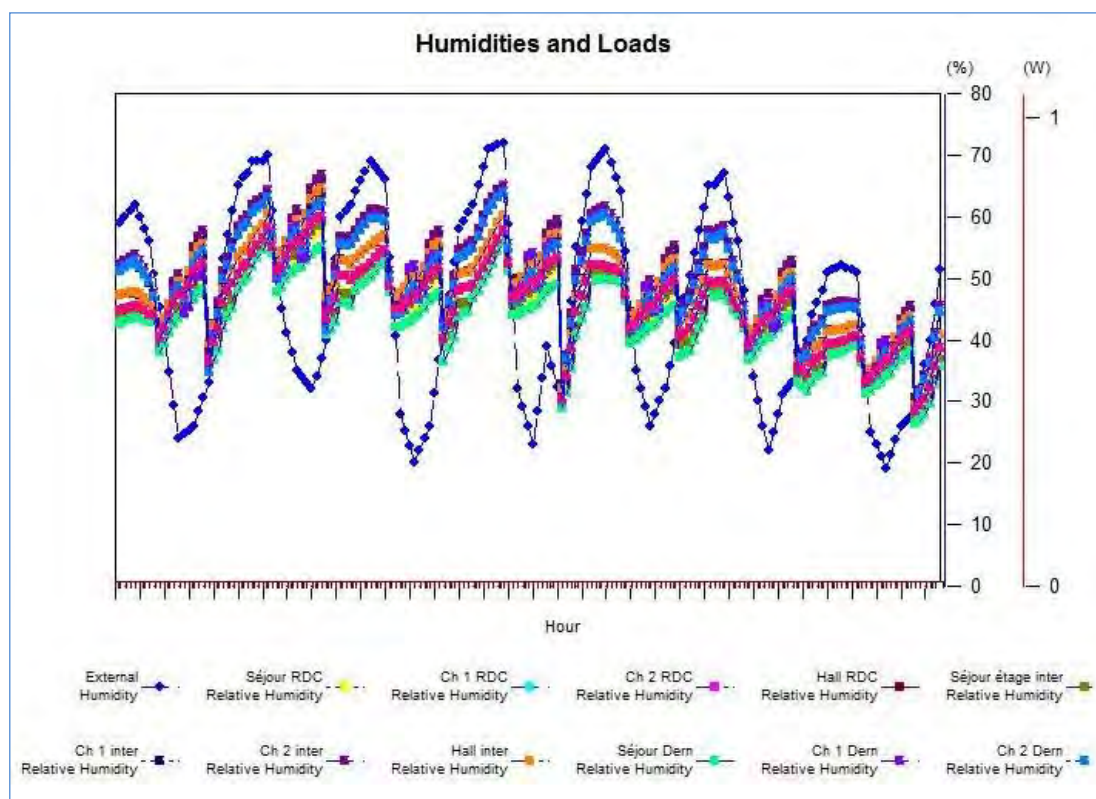


Figure E. 6 : Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure de la période du 10/07/2010 au 16/07/2010 (Source : EDSLTA 9.1.4.2)

Résumé :

La sécurité énergétique et les contraintes environnementales sont un défi considérable pour le développement économique et social à l'échelle de la planète. Le logement de demain doit s'inscrire dans une démarche durable qui économise les ressources et remet en cause les matériaux polluants. C'est un logement qui se veut de qualité, durable, adapté au climat et aux ménages, préservateur de l'environnement. Néanmoins il faut agir en urgence sur les logements anciens, afin d'entretenir ce parc et d'éviter une dégradation encore plus rapide qui ne fera qu'accentuer la crise de logements. L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments est une démarche évidente : le parc de bâtiments existants constituant un gisement d'économies incontournable. L'isolation des bâtiments constitue à l'évidence un des éléments clés de la réponse globale à cette problématique.

Pour contribuer à ces recherches, nous nous sommes intéressés à étudier les caractéristiques thermiques d'un bâtiment datant de 1974, situé dans la ville de Constantine à l'est de l'Algérie dotée d'un climat chaud et sec en été, froid et humide en hiver.

Le travail a débuté par un suivi expérimental sur deux périodes représentatives des saisons froide et chaude, en faisant appel aux mesures par une station météo SMV sans fil permettant l'enregistrement de la température de l'air ainsi que l'humidité relative sur un ordinateur dans les espaces de vie de l'appartement. Les résultats de l'investigation montrent un comportement assez stable en période printanière, alors qu'en période estivale la situation est insoutenable affichant des températures intérieures trop élevées entraînant une situation d'inconfort permanente.

Pour palier à ce problème, nous avons réalisé une série de simulations numériques à l'aide du programme « EDSL TAS program version 9.1.4.2 ». La simulation entreprise vise l'objectif de la détermination d'une panoplie de solutions adéquates pour un bâtiment plus performant thermiquement et plus économe énergétiquement. Toutes les propositions notamment ont permis la réduction de la consommation en énergie de rafraîchissement. L'économie en énergie maximale a été obtenue en utilisant l'isolation complète du bâtiment et l'utilisation du double vitrage.

Mots Clés:

Logements collectifs – réhabilitation énergétique – consommation énergétique – confort thermique – Isolation thermique.

Summary:

Energy security and environmental constraints are a significant challenge for the economic and social development across the planet. The building of tomorrow must be part of a sustainable resource-efficient. This home wants quality, it is sustainable, adapted to the climate and preserved of the environment. Nevertheless we must act urgently on existing buildings, to maintain the park and to prevent degradation even faster which will only exacerbate the housing crisis. Improving the energy performance of these buildings is an obvious approach: the existing building constituting a savings deposit. The insulation of buildings is clearly a key element of the overall response to this problem.

To contribute to this research, we are interested in this study to the thermal characteristics of a building dating from 1974; located in the city of Constantine in the east of Algeria with a hot and dry summer, cold and wet winter.

The work began with an experimental monitoring on two representative periods of cold and warm seasons, using measurements with a station weather wireless "VMS" for recording the air temperature and relative humidity on a computer in the living spaces of the apartment. The results of the investigation show a fairly stable behavior during spring, while in summer the situation is unsustainable indoor temperature too high what resulting in a situation of permanent discomfort.

To resolve this problem, we conducted a series of numerical simulations using the program "EDSL TAS program Version 9.1.4.2". The simulation is aiming the determination of a range of appropriate solutions for a building more thermally efficient and more energy-saving. All propositions have permit particular the reduction of energy consumption of cooling. The maximum energy saving was obtained using the complete insulation of the building and a use of double glazing.

Key words:

Family Housing - retrofit - energy - thermal comfort - Thermal insulation.

ملخ — ص:

أمن الطاقة والتكنولوجيا يتشكلت تحديات بيئية القومية والاقتصادية والاجتماعية في جميع أنحاء العالم عمورة. يجب على المسكن في الوقت قبل أنتكون سميت دامة اللغواء تسببت خدام الموارد وبيع يد عن السوائل السامة للهوث. مسكن بيديد لاجودة وسمت دامة وبكيفية مع المناخ والأسر، ومخاطر تلوث الهواء. ومع ذلك يجب علينا أن نعمل على تقليل عاقل على المنازل والبيئة، للحفاظ على ما ومنعت دورها السريع والتي سوف تؤدي إلى تقليل أزم فلأسكن بتسريع أداء الطاقة البيئية هون هج واضح: البيئية والبيئة للشكل ولتتبع الدخل جدمم وعزل البيئية للشكل واضح عن صراحي من مجمل على لتتصدي هذه المشلكة.

للمساهمة في هذا البحث نحن متدمون بدراسة الخصائص الحرارية البيئية، يبقى عبيدوقن بقنطينة شرق لاجزئركي هامن اخ جاف وافئفي طي فوبارد و رطب في فصل الشتاء.

بدأ العمل مع رصنت حبيبي في فورتين من طئة للموسم الباردة والهدئة، وتكبلست خدام القياسات بمحطة لالتي "VMS" لتتجيد درجة حرارة الهواء والرطوبة البيئية على جهاز طبي وترفي للمساكنات لعنفي للشقوق لتتقيقتظ مرسلوك مستقر لى حد ما خالفه لولبي يعين طبي طيف الوضعال يطاق عرض درجات الحرارة لاجد لعبيدة داخل المنازل مما أدى لى حلة من عدم الراحة للبيئة.

للتغلب على هذه المشلكة، أرجين السلسلة من تحديات المحكاة العددية (simulation) (بيئات خداميون امج « EDSL TAS program version 9.1.4.2 ». للمحاكاة هدف لتتجيد مجموعة من التحول للمنازل لتبنا كثر لفناء حراري لتتراق تصادا. جميع التحول لتتجيد أدت لى الحد من سرات الك طول لتتايوي دتم لوصول على وأصق درم لالتصان في سرات الك لالطقت بيئات خدام لعزل الكامل لبناء سرات خدام لالزجاج المزدوج.

للخدمات فيمتحية :

للمسكن لالجماعي لتتجيدية - الطاقة - الراحة - لعزل لالحراري.