

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

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI – TIZI OUZOU
FACULTÉ DU GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Architecture
Option: Architecture et Développement durable

Présenté par :
Mr MERZEG Abdelkader

Sur le thème :

**La réhabilitation thermique de
l'habitat contemporain en Algérie**

Devant le jury composé de :

M ^r . AIT-AIDER Hacène	Maitre de conférences	U.M.M.T.O	Président
M ^{me} . BOUSSOUALIM Aïcha	Maitre de conférences	E.P.A.U	Examinatrice
M ^r . CHABI Mohamed	Chargé de recherche	U.M.M.T.O	Examineur
M ^r . CHENAK Abdelkrim	Maitre de conférences	C.D.E.R	Examineur
M ^r . DAHLI Mohamed	Maitre de conférences	U.M.M.T.O	Rapporteur

Soutenu le : 21 octobre 2010

Remerciements

Ce travail de thèse n'aurait pas été possible sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes que je souhaite ici vivement remercier ;

Avant toute chose, je tiens à remercier Monsieur Mohamed DAHLI, mon directeur de mémoire, pour ses conseils avisés, sa sympathie, et surtout, sa volonté de rencontrer et d'écouter les étudiants qui s'intéressent aux problématiques liées à l'architecture durable en général.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury d'avoir accepté de porter leurs apports en examinant le travail de recherche du présent mémoire, en espérant que leurs remarques, orientations et conseils me seront utiles pour la continuité de mon processus de formation.

Mes remerciements sont adressés également à toute l'équipe du département d'Architecture de la faculté du Génie de la construction de l'Université Mouloud Mammeri à Tizi Ouzou (Administration, bibliothèque, enseignants...etc.), pour leur disponibilité et encouragements tout au long de notre formation.

Un grand merci à M^{lle} Oudjhani du département du génie civil de l'université Abderrahmane Mira de Béjaïa ; ceci pour m'avoir aidé à maîtriser le logiciel de simulation thermique TRNSYS.

Merci et bonne chance à mes amis de promotion de PG 2006-2007 ; ceux qui ont terminé et ceux qui travaillent toujours...

Je n'oublierais pas de remercier les étudiants et résidants de l'habitat pour leur aide lors de ma première année.

Je souhaite également adresser un grand remerciement à toute l'équipe du bureau d'études BART de Béjaïa, spécialement les gérants Hocine et Hacène ; qui m'ont longtemps supporté afin que je termine à bien ce travail.

Enfin, merci aux membres de ma famille pour leur confiance, et leur soutien total, spécialement à ma chère épouse qui n'a cessé de m'encourager pour la rédaction de ce mémoire et qui a toujours respecté mes choix.

Sommaire

Remerciements.....	i
Sommaire	ii
Résumé	x
Abstract	xi
الملخص.....	xii
CHAPITRE INTRODUCTIF	1
1. Introduction.....	2
2. Problématique	4
3. Hypothèses.....	5
4. Objectif de l'étude	5
5. Méthodologie de recherche.....	6
6. Structure du mémoire.....	6
PARTIE -I- REPERES THEORIQUES	8
Chapitre I - L'HABITAT EN ALGERIE.....	9
Introduction.....	10
I- 1. Analyse des types d'habitat existants en Algérie.....	11
I- 1.1 L'habitat traditionnel et vernaculaire	13
I- 1.2 L'habitat colonial ou européen.....	14
I- 1.3 L'habitat contemporain ou « moderne »	15
I- 2. Analyse de l'habitat contemporain en Algérie	18
I- 2.1 La Crise de l'habitat en Algérie	18
I- 2.2 Segmentations de l'habitat en Algérie	19
I- 2.2.1 Logements individuels et collectifs	19
I- 2.2.2 Logement rural et urbain	21
I- 2.2.3 Segmentation selon la surface	22
I- 2.3 Disposition de l'habitat contemporain	22
I- 2.3.1 Site et implantation	23
I- 2.3.2 Plan fonctionnel.....	23
I- 2.3.3 Forme et gabarit.....	24
I- 2.4 Modes constructifs de l'habitat contemporain	24

I- 2.4.1	Le système structurel	25
I- 2.4.1.1	L'infrastructure	26
I- 2.4.1.2	La superstructure	26
I- 2.4.2	L'enveloppe	26
I- 2.4.2.1	Les parois extérieures opaques	27
I- 2.4.2.2	Les parois transparentes	28
I- 2.4.2.2.1	La structure.....	28
I- 2.4.2.2.2	Le vitrage	29
I- 2.4.2.3	La couverture	29
I- 2.4.2.3.1	Le plancher terrasse.....	29
I- 2.4.2.3.2	La toiture en pente.....	30
I- 2.4.2.4	Les Planchers intermédiaires.....	30
I- 2.4.2.4.1	Les planchers à corps creux	30
I- 2.4.2.4.2	Les planchers à dalle pleine	31
I- 2.4.2.5	Planchers bas	32
I- 2.5	Comportement thermique de l'habitat contemporain en Algérie.....	32
I- 2.5.1	Isolation thermique	32
I- 2.5.2	Ponts thermiques.....	33
I- 2.5.3	Inertie thermique	34
I- 2.5.4	Parois transparentes	34
I- 2.5.5	Etanchéité & Ventilation	34
I- 2.5.6	Autres désordres et dégradations	34
	Conclusion	35
	Chapitre II- CONTRIBUTIONS DU BATIMENT AU DEVELOPPEMENT DURABLE	37
	Introduction.....	38
II- 1.	Le développement durable	38
II- 1.1	Bref historique du développement Durable.....	38
II- 1.2	Définition.....	39
II- 1.3	Principes du développement durable.....	40
II- 1.4	Enjeux du développement durable	40
II- 2.	Contribution du bâtiment au développement durable	40
II- 2.1	La dimension de durabilité en architecture	40
II- 2.2	Le confort dans l'habitat.....	41

II- 2.3 Enjeux.....	42
II- 3. Le confort thermique.....	42
II- 3.1 Définitions	42
II- 3.2 Paramètres du confort thermique.....	43
II- 3.3 Les échanges thermiques	44
II- 3.3.1 La convection.....	45
II- 3.3.2 Le rayonnement	45
II- 3.3.3 La conduction	45
II- 3.3.4 L'évaporation	45
II- 3.4 L'équilibre thermique.....	46
II- 3.5 Analyse des paramètres de confort thermique.....	46
II- 3.5.1 Paramètres du confort thermique liés au cadre bâti	47
II- 3.5.1.1 La température	47
II- 3.5.1.2 L'humidité de l'air	48
II- 3.5.1.3 Le mouvement de l'air	48
II- 3.5.2 Les paramètres de confort liés aux occupants des locaux.....	49
II- 3.5.2.1 Le métabolisme de l'homme.....	49
II- 3.5.2.2 Le niveau d'habillement.....	50
II- 3.6 Evaluation du confort thermique	51
II- 3.7 Diagrammes de confort	52
II- 3.8 Stratégies bioclimatiques pour améliorer le confort thermique	53
II- 3.8.1 Confort d'été (stratégie du froid)	53
II- 3.8.2 Confort d'hiver (stratégie du chaud)	53
II- 3.9 Confort et caractéristiques thermiques des matériaux.....	54
II- 3.9.1 Isolation thermique	54
II- 3.9.1.1 Classification des matériaux isolants	55
II- 3.9.1.1.1 Les isolants fibreux	55
II- 3.9.1.1.2 Les isolants cellulaires	56
II- 3.9.1.1.3 Les isolants pulvérulents, nodulaires ou granulaires.....	56
II- 3.9.1.1.4 Les superisolants	56
II- 3.9.1.2 L'isolation écologique	56
II- 3.9.1.3 Les formes de base des matériaux isolants	57
II- 3.9.2 Conductivité thermique.....	57
II- 3.9.3 Résistance thermique	58
II- 3.9.4 Inertie Thermique.....	58

II- 3.9.5 Capacité thermique	58
II- 3.9.6 Diffusivité thermique	59
II- 3.9.7 Effusivité thermique.....	59
II- 4. L'efficacité énergétique dans le bâtiment	59
II- 4.1 Situation énergétique et environnementale mondiale.....	60
II- 4.1.1 L'énergie ; vers l'épuisement des ressources.....	60
II- 4.1.2 L'environnement, entre risques et désordres.....	61
II- 4.2 Le contexte en Algérie : le bâtiment, l'énergie et l'environnement.....	62
II- 4.2.1 La consommation énergétique par secteur économique	62
II- 4.2.2 Evolution de la consommation.....	63
II- 4.2.3 L'énergie dans le Résidentiel.....	64
II- 4.2.4 L'énergie, l'environnement et les GES en Algérie	64
II- 4.2.5 Le contexte réglementaire.....	65
II- 4.3 Efficacité énergétique dans le bâtiment : du neuf vers l'existant.....	65
II- 4.3.1 Classification des bâtiments efficaces énergétiquement	66
II- 4.3.1.1 Bâtiments performants « basse énergie »	66
II- 4.3.1.2 Bâtiments très performants « très basse énergie »	67
II- 4.3.1.3 Bâtiments zéro énergie ou à énergie positive	67
II- 4.3.2 La réhabilitation thermique ou introduction du concept de l'efficacité énergétique dans l'habitat existant.....	68
Conclusion.....	69
Chapitre III - ETAT DE L'ART DE LA REHABILITATION THERMIQUE DANS LE BATIMENT	70
Introduction.....	71
III- 1. Etat de l'art en Algérie	71
III- 1.1 Programme ECO-BÂT	72
III- 1.2 Réhabilitation d'une maison en intégrant le solaire actif et les principes de la bioclimatique à Ghardaïa	73
III- 1.3 Projets de recherches	74
III- 2. Les réglementations thermiques pour l'habitat existant.....	74
III- 2.1 Bref rappel du contexte réglementaire en Algérie.....	75
III- 2.2 Contexte internationale (Europe)	75
III- 2.2.1 La réglementation thermique en France	75
III- 2.2.2 La réglementation en Angleterre	76

III- 2.2.3 La réglementation en Espagne - l'initiative de Barcelone	76
III- 2.2.4 La réglementation en Allemagne.....	77
III- 3. Programmes et approches internationales de réhabilitation thermique.....	77
III- 3.1 L'expérience Allemande	78
III- 3.2 L'expérience Française.....	79
III- 3.3 L'expérience Suisse.....	80
III- 4. Exemples de réalisation.....	81
III- 4.1 Rénovation d'une maison d'habitation de 1964 (Suisse).....	81
III- 4.2 Réhabilitation d'un immeuble locatif des années 50 en Suisse.....	83
III- 5. Synthèse des étapes pour une réhabilitation thermique	87
III- 5.1 Diagnostic énergétique de la construction.....	88
III- 5.2 Points clés dans une réhabilitation thermique	89
III- 5.2.1 Analyse du site et du climat.....	90
III- 5.2.2 Intégration des concepts de l'architecture bioclimatique	90
III- 5.2.3 L'isolation thermique de l'enveloppe.....	91
III- 5.2.4 Eliminer ou réduire les ponts thermiques.....	93
III- 5.2.5 Maitriser l'étanchéité et contrôler ventilation.....	94
III- 5.2.6 Améliorer les performances des équipements	94
III- 5.2.7 Recours aux énergies renouvelables	95
III- 5.2.8 Autres mesures recommandées	95
Conclusion.....	95
PARTIE -II- IDENTIFICATION DES SOLUTIONS & SIMULATION D'UN CAS D'ETUDE.....	97
Chapitre IV - LA REHABILITATION THERMIQUE ; TECHNIQUES, SOLUTIONS & POSSIBILITES D'ADAPTATION AU CONTEXTE ALGERIEN	98
Introduction.....	99
IV- 1. Techniques et solutions pour la réhabilitation thermique	99
IV- 1.1 Diagnostic de la construction existante	99
IV- 1.1.1 Mesures concernant la consommation d'énergie	99
IV- 1.1.2 Mesures de la qualité thermique du bâtiment.....	100
IV- 1.1.2.1 Thermographie	100
IV- 1.1.2.2 Mesure de l'isolation thermique.....	100
IV- 1.1.2.3 Mesure d'imperméabilité à l'air (infiltrométrie)	101
IV- 1.2 L'isolation thermique de l'enveloppe.....	101

IV- 1.2.1 L'isolation des murs extérieurs	102
IV- 1.2.1.1 Isolation thermique par l'extérieur	102
IV- 1.2.1.2 Isolation thermique par l'intérieur	107
IV- 1.2.1.3 Isolation thermique intermédiaire.....	111
IV- 1.2.2 Isolation thermique des toitures.....	112
IV- 1.2.2.1 Isolation thermique des toitures inclinées	113
IV- 1.2.2.1.1 Les combles perdus (greniers)	113
IV- 1.2.2.1.2 Les combles habitables.....	114
IV- 1.2.2.2 Isolation thermique des toitures-terrasses	115
IV- 1.2.3 Isolation thermique des planchers bas	116
IV- 1.2.3.1 Planchers sur locaux non chauffés ou sur passages	117
IV- 1.2.3.2 Planchers sur terre-plein.....	118
IV- 1.2.4 Isolation des parois transparentes	120
IV- 1.2.4.1 Techniques de réhabilitation des fenêtres.....	120
IV- 1.2.4.1.1 Le survitrage	120
IV- 1.2.4.1.2 Le double vitrage de rénovation.....	121
IV- 1.2.4.1.3 Changement de fenêtre	121
IV- 1.3 Mesures de conceptions bioclimatiques	123
IV- 1.3.1 La situation géographique	123
IV- 1.3.1.1 La localisation	124
IV- 1.3.1.2 L'orientation	125
IV- 1.3.2 L'organisation intérieure	127
IV- 1.3.3 Les protections solaires	129
IV- 1.3.4 La végétation comme moyen de réhabilitation thermique	131
IV- 1.3.4.1 Toiture végétalisée.....	132
IV- 1.3.4.2 Mur végétal.....	133
IV- 1.4 Ventilation et réhabilitation thermique.....	134
IV- 1.4.1 Types de ventilations	135
IV- 1.4.1.1 La ventilation naturelle	135
IV- 1.4.1.2 La ventilation mécanique contrôlée (VMC)	137
IV- 1.4.1.2.1 VMC simple flux	138
IV- 1.4.1.2.2 VMC double flux.....	139
IV- 1.5 Couleurs des revêtements extérieurs (la chromatique).....	139
IV- 2. Adaptation des techniques de réhabilitation au contexte algérien	140
IV- 2.1 L'isolation des murs	140

IV- 2.2 L'isolation des toitures	141
IV- 2.3 L'isolation des planchers bas.....	141
IV- 2.4 La réhabilitation des fenêtres et les protections solaires	141
IV- 2.5 La ventilation.....	141
Conclusion	142
Chapitre V- ETUDE PAR SIMULATION DE L'EFFET DE LA REHABILITATION THERMIQUE SUR LE CONFORT THERMIQUE DE L'HABITAT CONTEMPORAIN	143
V- 1. L'outil informatique et la thermique du bâtiment	144
V- 2. Simulation thermique de l'habitat contemporain.....	144
V- 2.1 Présentation du programme de simulation thermique TRNSYS.....	145
V- 2.2 Fonctionnement pratique du programme.....	145
V- 3. Caractéristiques climatiques de l'Algérie	148
V- 3.1 Zones climatiques.....	149
V- 3.1.1 Zones climatiques d'hiver.....	149
V- 3.1.2 Zones climatiques d'été	150
V- 3.2 Présentation des zones d'études	150
V- 3.2.1 Dar El Beida, analyse des données climatiques.....	151
V- 3.2.1.1 Situation.....	151
V- 3.2.1.2 Températures d'air	152
V- 3.2.1.3 Humidité relative	152
V- 3.2.2 Béchar, analyse des données climatiques	153
V- 3.2.2.1 Situation	153
V- 3.2.2.2 Températures d'air	153
V- 3.2.2.3 Humidité relative	154
V- 3.2.2 Tamanrasset, analyse des données climatiques.....	154
V- 3.2.2.1 Situation	154
V- 3.2.2.2 Températures d'air	155
V- 3.2.2.3 Humidité relative	155
V- 4. Simulation thermique du cas de base	156
V- 4.1 Description du bâtiment cas de base	156
V- 4.2 Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du cas de base.....	156
V- 4.3 Présentation des résultats de la simulation	157
V- 4.3.1 Evolution des températures moyennes mensuelles	158

V- 4.3.2 Station météorologique de Dar-El-Beida	159
V- 4.3.2.1 Hiver (résultats des simulations)	159
V- 4.3.2.2 Eté (résultats des simulations)	161
V- 4.3.1 Station météorologique de Béchar	162
V- 4.3.1.1 Hiver (résultats des simulations)	162
V- 4.3.1.2 Eté (résultats des simulations)	164
V- 4.3.2 Station météorologique de Tamanrasset.....	166
V- 4.3.2.1 Hiver (résultats des simulations)	166
V- 4.3.2.2 Eté (résultats des simulations)	168
V- 5. Amélioration de l'isolation thermique du local type contemporain.....	169
V- 5.1 Températures moyennes annuelles (par mois)	170
V- 5.2 Station météorologique de Dar-El-Beida	171
V- 5.2.1 Hiver (Résultats des simulations)	171
V- 5.2.2 Eté (Résultats des simulations)	173
V- 5.3 Station météorologique de Béchar.....	175
V- 5.3.1 Hiver (Résultats des simulations)	175
V- 5.3.2 Eté (Résultats des simulations)	177
V- 5.4 Station météorologique de Tamanrasset	179
V- 5.4.1 Hiver (Résultats des simulations)	179
V- 5.4.2 Eté (Résultats des simulations)	180
V- 5.5 Influence de l'isolation thermique élément par élément.....	182
Conclusion	183
CONCLUSION GENERALE	185
LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX	188
Liste des figures	189
Liste des tableaux.....	193
BIBLIOGRAPHIE.....	194
ANNEXES	203

Résumé

L'Algérie recèle d'un parc immobilier assez important, en effet, le dernier RGPH effectué par l'O.N.S faisant état d'un parc total de 5.024.977 logements dont 850.000 ont été réalisés avant 1945, entre logement social ou promotionnel, privé ou public, individuel ou collectif. La surcroissance démographique a fait qu'avec ce nombre et types d'habitats, la demande en logement ne cesse de croître de jour en jour. Pour répondre à ce problème l'état a lancé le programme d'un million de logements entre 2005 et 2009. Il est clair que les potentialités nationales en matières de moyens humains et même matériels ne sont pas prêtes à répondre qualitativement à ce problème, ce qui fait que la durabilité de l'habitat contemporain produit en Algérie est remise en cause. Tout ce qui est nouveau aujourd'hui ne le sera pas demain donc réfléchir le logement d'aujourd'hui c'est garantir et satisfaire celui de demain.

Nous avons souvent tendance à parler de la qualité du bâti à travers les nouvelles constructions achevées ou bien en voie d'achèvement en oubliant les constructions existantes, quantitativement plus importante, cette partie devrait être prise en charge afin de réduire son impact sur l'environnement de par l'amélioration de son efficacité énergétique. Malheureusement les techniques constructives utilisées actuellement ne répondent pas aux critères de confort thermique et d'économie d'énergie, source de pollution et de réchauffement climatique.

L'objectif de notre projet est de répondre au souci de confort thermique et d'économie d'énergies pour s'inscrire dans la tendance du développement durable. Le sujet de réhabilitation thermique sera lié au phénomène de déperditions thermiques à travers les surfaces exposées au milieu extérieur comme les parois verticales (éléments de façades) et horizontales (planchers, toitures et terrasses) ainsi que les principes de l'architecture bioclimatique.

Mots clés :

Habitat contemporain, réhabilitation thermique, développement durable, confort thermique, économie d'énergie.

Abstract

Algeria has a large housing stock, in fact, the last population census performed by the O.N.S reports of a total stock of 5,024,977 of which 850,000 units were made before 1945, between social rented housing, participatory social private or public, individual or collective. The overgrowth demographic has made, that with this number and types of habitats, housing demand continues to grow day by day. To resolve this problem, the government has launched the program of one million housing units between 2005 and 2009. It is clear that the national potential in mater of human resources including material is not suitable for qualitative answer to this problem, so that the durability of contemporary housing in Algeria is being called into question. All that is new today will not be so tomorrow, so, thinking today's housing is ensuring tomorrow's one.

We usually tend to talk about the quality of the construction around the new buildings completed or nearing completion by ignoring the existing structures, quantitatively more important, this section should be managed to reduce its environmental impact by the improvement of its energy efficiency. Unfortunately, the construction techniques currently used do not meet the criteria of thermal comfort and energy savings, source of pollution and global warming.

The objective of our study is to address the concern of thermal comfort and energy saving to enrol in the trend of sustainable development. The issue of thermal retrofitting will be linked to the phenomenon of heat loss through the surfaces exposed to external environment such as vertical walls (front elements) and horizontal (floors, roofs and terrace) and principles of bioclimatic architecture.

Key words:

Contemporary housing, thermal retrofitting, thermal comfort, energy savings, sustainable development.

المخلص

تحتوي الجزائر على عدد هام من السكنات . بالفعل، فقد تم إحصاء في التعداد الأخير الذي قامت به الوكالة الوطنية للإحصاء، أزيد من خمسة ملايين سكن منها 850.000 فقط أنجزت قبل سنة 1945، ما بين السكن الاجتماعي و الترقوي، الخاص و العمومي، الفردي و الجماعي . الزيادة الهامة في عدد السكان أدت إلى أنه بالرغم من هذا العدد الهام من السكنات، فإن الطلب لا يزال في تزايد يوما بعد يوم .

إنه لمن الواضح أن الإمكانيات المادية و البشرية غير قادرة للاستجابة بطريقة كافية لهذا الطلب ، مما سيؤدي إلى جعل هذه البنايات بعيدة عن مبادئ ال سكن المستديم . كل ما هو جديد اليوم لن يكون كذلك غدا، لذلك، فإن التفكير العميق في سكن اليوم يعني ضمان جودة سكن الغد .

نميل دوما للحديث عن الجودة فيما يتعلق بالبنايات الجديدة المتممة أو في طور الإتمام مهملين البنايات الموجودة، و التي عددها أكبر . لا بد علينا الاهتمام بهذا الجزء من الحضيرة السكنية من أجل التقليل من أثرها على المحيط، ذلك بتحسين مردودها الحراري و الطاقوي . لكن و للأسف فإن تقنيات البناء المستعملة حاليا لا تستوفي متطلبات ال راحة الحرارية و اقتصاد الطاقة، منبع التلوث و الاحتباس الحراري.

الهدف من عملنا هذا هو الإجابة لمطلب الراحة الحرارية و اقتصاد الطاقة كي نندرج في سياق التنمية المستدامة. موضوع إعادة التهيئة الحرارية للسكنات الحديثة بالجزائر سيرتبط بظاهرة التضييع الحراري عبر المساحات المعرضة للمحيط الخارجي كالجدران و الأسقف، مع أخذ بعين الاعتبار أسس ال هندسة المعمارية البيئية.

الكلمات المفاتيح:

السكن الحديث، التهيئة الحرارية، التنمية المستدامة، الراحة الحرارية، اقتصاد الطاقة .

CHAPITRE INTRODUCTIF

1. Introduction

La production de l'habitat en Algérie durant les dernières décennies (post indépendance) a connu une allure accélérée afin de parer la crise due à la forte demande des citoyens en logements décents, mais la quasi-totalité de ce parc de constructions dites « modernes » a été réalisé en négligeant les caractéristiques climatiques des régions d'implantations produisant ainsi un habitat non intégré climatiquement et dont le bilan thermique est incontestablement négatif. Les déperditions thermiques en période de froid et les apports calorifiques en période de chaleur font que cet habitat est loin d'être confortable.

En effet, cette notion de confort thermique, qui compte parmi les aspects qualitatifs des constructions, a été et reste toujours délaissée au profit de l'aspect quantitatif, considéré plus urgent. Le besoin de construire beaucoup, vite et pas cher a entraîné une rupture entre l'architecture et le climat, ce qui nécessite le recours abusif à des systèmes mécaniques de conditionnement d'air énergivores pour atteindre le confort thermique requis dans les locaux⁶. Cet état de fait est la conséquence directe du recours à des technologies importées inadaptées au contexte climatique, culturel et social du pays et l'abandon des pratiques ancestrales et de l'expérience longtemps accumulée en matière de construction ainsi que la négligence des principes de construction adaptés au climat et au site.

Une orientation optimale, une implantation intelligente, une conception réfléchie et un choix judicieux des matériaux qui profite de leurs potentialités et propriétés thermiques ; des principes passifs entrants dans ce qui est appelé communément « l'habitat bioclimatique » qui tire parti du climat afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort⁷; tout ce savoir, pourtant à la portée de tous ; a généralement été négligé lors de la conception et de la réalisation de l'habitat contemporain en Algérie.

Afin de réadapter cet habitat aux conditions climatiques environnantes et d'y assurer le confort thermique ; les occupants font appel à des systèmes actifs (climatisation en été et chauffage en hiver), ce qui implique une consommation considérable d'énergie, une consommation qui ne cesse d'augmenter d'autant plus que l'accroissement du niveau de vie et la disponibilité des appareils ménagers à des prix abordables encouragent cette attitude.

Face à cette problématique, les architectes et autres spécialistes du bâtiment se sont tournés vers une nouvelle approche visant la réhabilitation thermique des constructions existantes, cela après avoir longtemps exploré et optimisé les solutions pour une architecture confortable, économique et écologique dans le neuf.

⁶ A. Mokhtari et al. « Architecture et confort thermique dans les zones arides, application au cas de la ville de Béchar ». in Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2. 2008. p. 309

⁷ A. Liébard et A. de Herde. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Ed. Le Moniteur. Paris 2005. p. 60a

La réhabilitation thermique, doit alors relever trois défis simultanément : le confort thermique des occupants, l'économie de l'énergie et la protection de l'environnement. Ce triptyque fait référence aux principes fondamentaux du développement durable avec ses trois piliers : social, économique et environnemental.

Malgré le fait que l'Algérie soit un pays riche en ressources énergétiques, mais la croissance de la consommation des énergies fossiles (aux niveaux local et international), ainsi que la nécessité de diminuer leurs effets sur l'environnement met le pays devant l'obligation de réduire le recours à ces ressources épuisables. A cet effet, une loi cadre sur la maîtrise de l'énergie a été promulguée afin de palier à ces menaces. La notion de "maîtrise de l'énergie", dans la loi, couvre trois dimensions : l'utilisation rationnelle de l'énergie, le développement des énergies renouvelables et la protection de l'environnement des effets néfastes du système énergétique⁸.

Le secteur du bâtiment a été partiellement visé par cette loi algérienne sur la maîtrise de l'énergie, ceci en introduisant des réglementations spécifiques qui établiront des exigences et des normes nationales d'efficacité énergétique appliquées aux bâtiments neufs et aux appareils. Cependant, nous avons souvent tendance à parler de la maîtrise de l'énergie et de la qualité du bâti à travers les bâtiments neufs négligeant et mettant à l'écart le parc immobilier existant, qui, quantitativement beaucoup plus nombreux, constitue logiquement un gisement d'économie d'énergie beaucoup plus important.

La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie paraît être le chemin le plus court dans la recherche de gisement d'économie d'énergie, de réduction d'émissions de GES et de confort thermique d'une grande frange de la population. Effectivement, le parc logement existant est constitué dans sa majorité de constructions réalisées après l'indépendance, puisque le RGPH (Recensement Général de la Population et de l'Habitat) de 2008, effectué par l'ONS (Office Nationale des Statistiques), fait état d'un parc total de 6.748.057 logements dont seulement 850.000 ont été réalisés avant 1945⁹.

Dans le cas de l'habitat existant, étant donné que les facteurs liés à la conception, à l'orientation et aux matériaux de construction sont un état de fait, la réhabilitation thermique sera réalisée essentiellement par l'amélioration des qualités thermiques de l'enveloppe des constructions. Dans la conception d'habitat confortable thermiquement et efficace énergétiquement, outre la nécessité de proposer des équipements plus efficaces et moins énergivores, il est primordial de maîtriser les échanges thermiques au travers de l'enveloppe. Le bilan énergétique résulte d'un équilibre entre les gains et les pertes thermiques, entre

⁸ <http://www.aprue.org.dz> , site officiel de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.

⁹ <http://www.rgph2008.ons.dz> , site officiel de l'Office Nationale des Statistiques.

l'enveloppe et ses environnements (intérieurs et extérieurs). La conception d'enveloppes, capables de valoriser les gains énergétiques gratuits tout en limitant les pertes, doit contribuer à améliorer le confort intérieur tout en diminuant les besoins énergétiques.

L'objectif de notre projet est de répondre à ce souci de confort thermique, tout en ayant en point de mire les aspects économiques et environnementaux afin de s'inscrire dans la tendance du développement durable.

2. Problématique

A part le fait que le bâtiment a un impact visible et direct sur son environnement, en terme d'esthétique, de consommation d'espaces, d'éventuelles nuisances, il s'avère être, entre tous les autres secteurs d'activité économique, le secteur le plus consommateur d'énergie. Le bâtiment représente selon les pays de 30 à 40 % des émissions de gaz à effet de serre et de 40 à 50 % de la consommation d'énergie. Il devient ainsi un enjeu central de deux défis planétaires majeurs: le changement climatique et l'approvisionnement énergétique¹⁰.

Durant les années post indépendance, l'Algérie a consenti des efforts importants pour permettre aux différentes couches sociales l'accès à une habitation de qualité convenable et cela en construisant plusieurs millions de logements. Une action poursuivie de nos jours avec la diversification des formules pour d'acquisition de logements de construction et la facilitation d'accès à la propriété. Toutefois, et compte tenu de l'évolution des exigences en matière d'habitat et d'environnement qui s'est profondément modifié, une grande partie de ce parc logement, existant bien avant la réglementation thermique, ne répond plus aux aspirations actuelles en termes de confort des occupants, de protection de l'environnement et moins encore en terme d'efficacité énergétique.

Cette partie du parc logement devrait être alors prise en charge afin de réduire son impact sur l'environnement de par l'amélioration de son rendement thermique. Malheureusement les techniques constructives utilisées actuellement ne répondent pas souvent aux critères de confort thermique et d'économie d'énergie, source de pollution et de réchauffement climatique. Aussi, nous avons souvent tendance à parler de la qualité du bâti à travers les projets en phase d'étude ou nouvellement achevées ou bien en voie d'achèvement, oubliant les constructions déjà existantes, quantitativement plus importantes.

Dans cette optique, les questions suivantes nous interpellent:

¹⁰ J. Carassus. « Changement climatique, énergie et bâtiment: La nouvelle donne ». Séminaire IHEDATE (Institut des Hautes Etudes de Développement et d'Aménagement des Territoires Européens). Paris. 2008.

- Est-il possible d'améliorer les qualités thermiques de l'habitat contemporain existant afin qu'il soit confortable thermiquement, efficace énergétiquement et qu'il ait le minimum d'impact sur l'environnement ?
- Quelle approche serait la plus efficace pour réaliser cette réhabilitation thermique de l'habitat contemporain, en associant tout les acteurs concernés et en respectant les concepts d'un développement durable ?

3. Hypothèses

Pour répondre à la problématique posée, nous avons construit les hypothèses suivantes :

- La prise en charge du parc habitat contemporain par le biais d'une réhabilitation thermique serait l'option la plus pertinente pour améliorer les conditions de confort de la majorité de la population et un choix idéal dans la course à l'économie d'énergie et la réduction des GES (Gaz à effet de serre).
- La réinterprétation des principes de l'architecture bioclimatique peut participer fortement à l'amélioration des performances thermiques de l'habitat « moderne » existants et du confort de ces occupants.
- L'économie réalisée au départ de la réalisation de l'habitat actuellement (économie à court terme) au détriment des différents aspects de la qualité des constructions qui entraîne une mauvaise prise en charge du confort des occupants ; coûtera à long terme très cher ; en premier lieu en termes d'une surconsommation et d'une lourde facture énergétique et en deuxième lieu en termes de réhabilitation et de réadaptation de ce produit aux normes.

4. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude consiste à maîtriser les techniques de réhabilitation thermique des immeubles d'habitation contemporains existants en Algérie et cela en évaluant, dans quelle mesure l'environnement intérieur de l'habitat contemporain, avec ses matériaux et ses procédés constructifs, contribue-t-il ou non au confort thermique de ses occupants. Pour cela, et après étude de la situation actuelle dans le domaine de la construction en Algérie, nous allons identifier les différentes parties des constructions pouvant agir directement ou indirectement sur l'état de l'environnement intérieur, en l'occurrence l'enveloppe du bâtiment, et enfin déterminer les mesures à entreprendre afin de corriger ou d'améliorer l'enveloppe afin qu'elle soit bénéfique thermiquement et efficace énergétiquement.

5. Méthodologie de recherche

Cette étude est une recherche appliquée, qui nécessite la compréhension des différents concepts et notions liées aux différents aspects du confort des occupants de l'habitat contemporain, que nous tirerons de la thermique et de l'énergétique du bâtiment. Cette première étape théorique, nous permettra de mieux appréhender les schémas d'interaction de l'individu et de son environnement physique, et de déterminer l'approche la mieux appropriée à l'appréciation des éléments qui influent sur le niveau de confort des occupants de cet environnement.

Dans un second temps, nous aborderons l'état des connaissances dans le domaine de recherche de l'efficacité énergétique et la thermique du bâtiment, et nous explorerons les expériences internationales pour enfin synthétiser les solutions qu'on pourra adapter au contexte algérien.

Enfin, une fois la méthode d'approche établie, et à partir d'une série de simulations avec des combinaisons de paramètres significatifs nous tenterons de dégager les paramètres optimaux afin d'atteindre, dans le cadre de l'habitat contemporain, le triple objectif qu'est le confort thermique, l'économie d'énergie et la préservation de l'environnement dans le cadre d'un développement durable.

6. Structure du mémoire

L'étude est structurée en deux grandes parties. Dans une première partie à caractère théorique, et après qu'on est cerné notre sujet d'étude qu'est l'habitat contemporain dit « moderne » (chapitre I), nous allons déterminer les différentes corrélations qu'ont le bâtiment, l'énergie et l'environnement et l'influences des uns sur les autres, en passant par un bref historique de l'évolution de la notion de développement durable (chapitre II). Avant d'arriver au dernier chapitre qui concerne l'application d'un cas d'étude par simulation (chapitre V), nous avons jugé nécessaire passer en revue l'état de l'art en ce qui concerne la réhabilitation thermique dans le bâtiment et de transiter par la détermination des techniques et solutions qui jouent un rôle dans la réhabilitation thermique du bâtiment (chapitres III & IV).

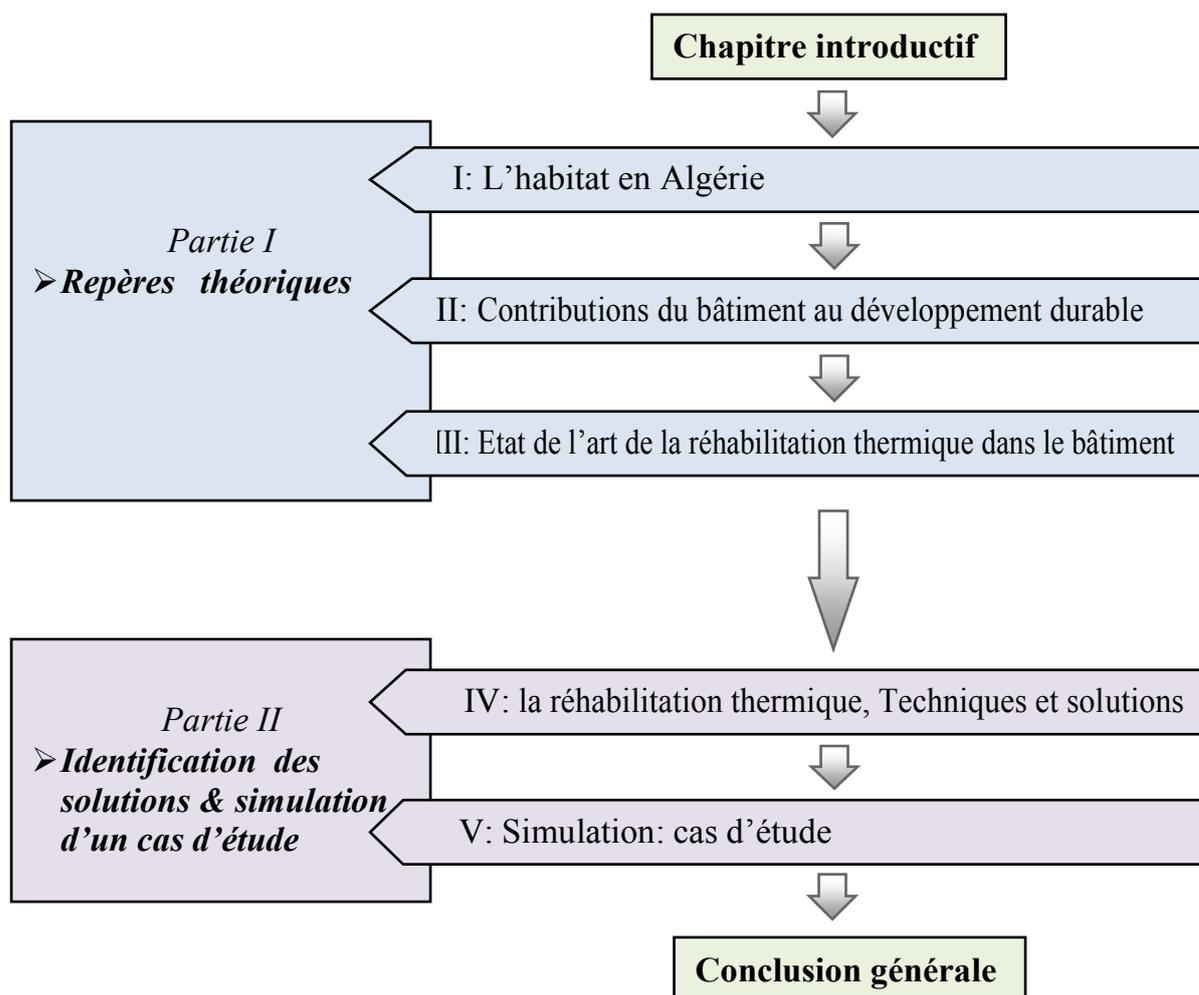


Figure 00-1. Structure du

PARTIE -I- REPERES THEORIQUES

Chapitre I- **L'HABITAT EN ALGERIE**

Introduction

« Si le premier souci d'une population est de se nourrir, le second est de se loger »¹¹. Entre l'habitat nomade ou sédentaire, de montagnes ou du désert, l'habitat urbain ou rural, celui des riches ou des démunis, collectif ou individuel, les attentes fondamentales de l'habitant restent les mêmes : celles de l'intimité, de confort et de bien-être, de sécurité, d'épanouissement individuel et collectif à la fois, aussi bien dans l'habitation que dans l'ensemble habité¹².

Selon Sue Roaf, l'abri représenté par les bâtiments est notre troisième peau¹³. Comme nos ancêtres se sont déplacé vers le nord à partir des steppes de l'Afrique tempérée, Il ya de cela des centaines de milliers d'années, non seulement ils ont eu à enfiler des vêtements plus chauds, mais ils ont aussi eu à renforcer leurs bâtiments qui les mettrait à l'abri de la chaleur des déserts et du froid des climats du nord.

L'Algérie, à l'instar des autres pays du monde, doit répondre présent au défi de la civilisation moderne en fournissant à sa population tout les moyens d'une vie meilleure, à commencer par un habitat confortable. Mais, ce dessein paraît difficile vu le déficit flagrant tant au niveau quantitatif qu'au niveau qualitatif. La voie de l'industrialisation massive choisie par l'Algérie au lendemain de l'indépendance, ainsi que la rapide augmentation des taux de croissance, ont entraîné une importante augmentation de la population urbaine. Ce qui s'est inévitablement répercuté sur la qualité de l'habitat qui n'était pas encore considérée comme une priorité dans les plans de développement.

Avant de continuer, il nous paraît nécessaire de rappeler la définition des termes et concepts et d'opter pour les définitions qui nous paraissent les plus adéquates.

L'habitat, objet de notre présente recherche, renferme beaucoup de significations, mais ceux qui nous reviennent le plus souvent à l'esprit sont « logement », « domicile », « demeure », « logis », « maison », « habitation ». L'encyclopédie « Larousse » le définit comme étant « une partie de l'environnement définie par un ensemble de facteurs physiques, et dans laquelle vit un individu, une population, une espèce ou un groupe d'espèces »¹⁴. Cette définition nous éclaire que cette notion dépasse la petite sphère qu'est la cellule individuelle ou même familiale et s'élargit pour englober tout un ensemble social ainsi que son environnement physique.

¹¹ M. Bouhaba. Le logement et la construction dans la stratégie algérienne de développement. in P. R. Baduel. Habitat, Etat, Société au Maghreb. Ed. CNRS Editions. Paris 2002. p. 51

¹² E.B.Azzag, « Habiter mieux, habiter autrement ». in Vies de villes. n°02, printemps 2005, p. 37

¹³ S. Roaf, D. Crichton and F. Nicol. Adapting buildings and cities for climate change - a 21st century survival guide. Ed. Architectural press. Oxford 2005. p. 33

¹⁴ <http://www.larousse.fr/encyclopedie/>

Le dictionnaire du développement durable relie cette notion à son milieu naturel la définissant comme le Lieu ou type de site ou dans lequel un organisme ou une population existe à l'état naturel ; milieu ou vit une population ou un individu¹⁵. Il poursuit toujours en se référant aux aspects environnementaux et biologiques : cette notion englobe non seulement le lieu occupé par une espèce, mais également les caractéristiques particulières de ce lieu, comme le climat ou la disponibilité de nourriture et d'abris appropriés, permettant de satisfaire aux besoins biologiques de cette espèce¹⁶.

De ces différentes définitions, on aperçoit toute la complexité du terme « habitat », qui peut être compris dans un sens large représentant les milieux ou environnements naturel, physique, social, culturel, appropriés à la vie d'un être vivant, comme il peut être admis dans un de ses sens étroits ou restreints tels que logement, demeure, logis, abris...etc. ainsi que les conditions y afférentes.

Dans cette étude, et pour une meilleure maîtrise de notre sujet, nous comptons considérer la notion « habitat » dans le sens le moins large, soit le sens de logement, immeuble d'habitation, résidence...etc., sans pour autant négliger les milieux où ils évoluent et les interactions entre les différents éléments qui les composent.

Dans le contexte algérien, et afin de mieux appréhender la problématique du confort thermique et de l'efficacité énergétique dans l'habitat, nous allons essayer de prendre connaissance de l'état de ce secteur à partir d'une segmentation et d'une compréhension de la multiplicité des différentes configurations et typologies existantes.

I- 1. Analyse des types d'habitat existants en Algérie

On peut classer le bâti en général et l'habitat en particulier de plusieurs façons, mais nous nous intéresserons aux aspects qui nous permettront en définitif de dégager la catégorie de bâtiments la plus représentative du parc immobilier en Algérie et qui constituera une base d'étude pour la requalification du plus grand nombre de logements touchant ainsi la qualité de vie de la plus grande frange de population et le plus grand potentiel de gisement d'économie d'énergie possible.

L'analyse du parc bâti à grande échelle nécessite la caractérisation du bâti existant. Les typologies identifiées doivent être représentatives du parc étudié, et la première indication ou étape à entreprendre dans ce cas est de bien identifier les périodes de construction.

Le parc bâti algérien recèle d'un patrimoine architectural très riche et très diversifié du point de vue typologique ; des typologies qui retracent de par leurs caractéristiques spécifiques les

¹⁵ C. Brodhag, F. Breuil, N. Gondran et F. Ossama. Dictionnaire du développement durable. Ed. AFNOR. Saint-Denis-La Plaine. 2004. p. 177.

¹⁶ Ibid. m. p.

différentes époques historiques qui se sont succédé et par lesquelles le pays est passé. Marc Côte a qualifié cette variété par l'expression « habitat mosaïque ». Il poursuit : d'ouest en est du pays, comme du littoral au massif du Hoggar, quelle variété de formes architecturales, quelle multiplicité de types de groupements ! Rien apparemment de commun entre la tente du pasteur des steppes, la maison en hauteur du montagnard, le gourbi en pisé des hautes plaines, la grosse ferme des plaines socialistes. Rien apparemment de plus différencié que le village montagnard tassé sur son versant rocheux, le ksar saharien et son ordonnancement de cubes rouges, le village de colonisation patiné par le temps, et le village pimpant neuf de la révolution agraire. A chaque région son habitat¹⁷.

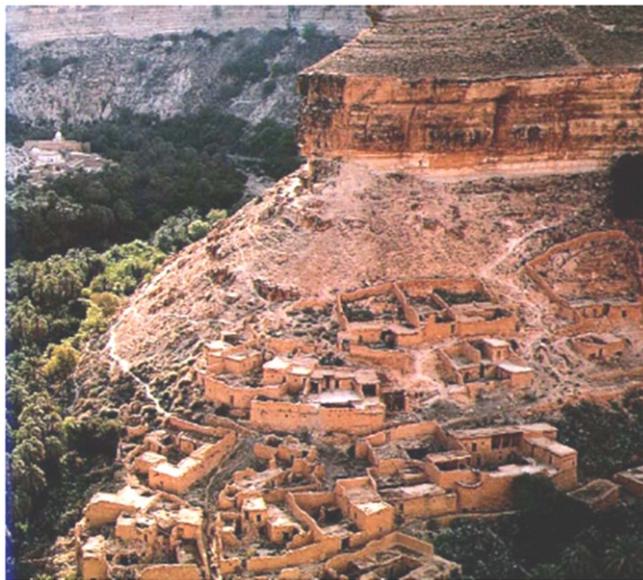


Figure I-1. Ksar des Aurès. (Source: www.yannarthusbertrand2.org)

Ces modèles constructifs sont variés et s'adaptent parfaitement aux régions climatiques dans lesquelles ils se trouvent (vieilles médinas du Sahel méditerranéen, villages de montagnes kabyles, ksour des oasis du Sahara ...) ¹⁸.

Ainsi, en Algérie se juxtaposent -ou se superposent- des types d'habitat particuliers, soit antérieurs à la période de la colonisation française ou hérités de cette période, soit plus récents comme résultats de l'urbanisation et de l'industrialisation ¹⁹. Suivant cette répartition de Deluze*, on va classer ce parc bâti selon trois grandes familles, qui en définitif, constituent sa majeure partie :

¹⁷ M. Côte. « L'habitat rural en Algérie, Formes et mutations ». in P. R. Baduel. Habitat, Etat, Société au Maghreb. Ed. CNRS Editions. Paris 2002. p. 300.

¹⁸ H. Ougouadfel. « Modernité et tradition : Eléments de réflexion sur la crise identitaire ». in revue d'architecture et d'urbanisme. n°1. octobre 1993

¹⁹ J-J. Deluz. « Les grands types d'habitat en Algérie ». Polycopié. Ecole d'Architecture et d'Urbanisme. Alger. 1980.

* Jean-Jacques Deluze, architecte suisse, il arriva en 1956 en Algérie et y restera, enseignant à l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme à Alger de 1964 à 1988, il décédera le 30 avril 2009.

- Le traditionnel ou le vernaculaire ;
- Le colonial de l'époque française ;
- Le contemporain ou « le moderne ».

I- 1.1 L'habitat traditionnel et vernaculaire

Les bâtiments vernaculaires sont ceux qui appartiennent à un type qui est commun, dans une région donnée à un moment donné²⁰.



Figure I-2. El Atteuf, vallée du Mزاب. (Source: www.yannarthusbertrand2.org)

En Algérie, dans un contexte urbain, l'habitat vernaculaire est représenté par les vieilles médinas du Sahel méditerranéen (Maison turque compacte, organisation introvertie autour d'un patio) ou les maisons Mozabites (Présahara), maison en terre à patio. Dans un milieu Rural, ce type d'habitat est matérialisé par les villages de montagnes kabyles (maison en pierre/moellons, et toiture à double pente en tuile) ou les villages des Aurès (maison en pierre/terre mitoyenne avec cour intérieure) ou les ksour des oasis du Sahara (maison en terre introvertie)²¹.

L'habitat traditionnel ou vernaculaire est l'habitat transmis par les ancêtres, bâti avec des méthodes anciennes et originales à une région donnée, il est surtout caractérisé par des techniques de construction spécifiques, propres à une époque et à une communauté, techniques parfaitement adaptées aux sites et au climat de la région d'implantation et réalisées avec des matériaux de constructions disponibles sur place.

Ce type d'habitat est le plus représentatif de la culture du pays et de sa diversité, mais en même temps le moins représenté en terme quantitatif, puisqu'il est de moins en moins pris

²⁰ C. Lassurance. « L'architecture vernaculaire ». Extrait d'un article publié dans le supplément N°3. 1983.

²¹ A. Ould Henia. « Choix climatiques et construction en zones arides et semi arides, la maison à cour de Bousaada ». Thèse de doctorat. EPFL, Lausanne. 2003. p. 59.

comme modèle pour l'architecture d'aujourd'hui, supplanté par le modèle occidental, considéré actuellement comme étant le symbole de promotion sociale. Ces espaces (habitat vernaculaire) souffrent continuellement de dégradation physique et menacent ruine, d'autant plus que leurs occupants sont souvent démunis de ressources. Ainsi ce parc du logement traditionnel est en continue régression en termes qualitatif et par conséquence quantitatif, remplacé continuellement par les nouveaux modèles dits modernes. Selon le RGPH de 1998, le parc logement traditionnel s'élevait à **860.164** habitations, soit un peu plus de **21%** du parc total. Désormais le tissu vernaculaire s'estompe et se transforme sous la pression des nouveaux besoins de la société contemporaine.

I- 1.2 L'habitat colonial ou européen

Le terme colonial est utilisé ici pour définir une frange de l'histoire de l'Algérie vécue sous le règne d'une autre nation en l'occurrence la France. Donc, on appellera habitat colonial celui érigé au cours de la période 1830 – 1962, qui se caractérise par une typologie spécifique, typologie européenne qui devait permettre au colonisateur de se sentir chez lui.

C'est ainsi qu'au lendemain de la colonisation, un nouveau mode de production se substitue à la logique et à la cohérence des tissus originels, créant ainsi une rupture irréversible avec les structures spatiales et sociales des villes. L'acte de bâtir obéit alors à de nouveaux paramètres et à de nouveaux concepts, au détriment d'un équilibre ancestral. Si ce bouleversement a changé irrémédiablement le paysage urbain ainsi que l'image des villes, il a surtout inauguré une ère nouvelle dans l'histoire de l'architecture algérienne. Les villes deviennent un laboratoire d'idées et de formes exportées de la métropole²².



Figure I-3. L'aménagement du front de mer d'Alger.
(Source : www.alger-roi.net)

²² S. Boughaba. « L'architecture de la ville comme lieu de l'affrontement et du dialogue culturel ». Thèse de Doctorat. EHESS. Paris. 1999.

L'habitat dit colonial se concentre en grande partie dans les centres des grandes villes, matérialisé par des immeubles de type haussmanniens (maison en maçonnerie à étage), ou les immeubles de type barre et tour des années 1960, issues des principes de l'architecture moderne. En milieu rural, l'habitat colonial se présente sous forme de villas (maison en pierre), localisé surtout dans les fermes.

Soumis aux mêmes conditions que l'habitat traditionnel, l'habitat colonial connaît dans sa majorité une dégradation avancée, causée par plusieurs facteurs dont : les difficultés techniques de restauration, manque d'entretien conjugué aux problèmes de copropriété, démolition pour des fins lucratives (récupération de foncier). Ces éléments, Combinés au facteur d'âge (l'habitat colonial, patrimoine du 19^e et 20^e Siècles, a une moyenne d'âge de plus d'un siècle) font que nous considérons qu'en termes quantitatif, le parc logement de type colonial est appelé à décroître d'année en année.

I- 1.3 L'habitat contemporain* ou « moderne »

L'habitat contemporain, appelé aussi « moderne », est le type d'habitat le plus courant actuellement, qui est venu remplacer les anciens modèles (traditionnel et colonial). Ce « nouveau » modèle qui tire ses racines typologiquement des principes de l'architecture moderne se présente sous l'aspect de bâtiments collectifs en forme de barres ou de tours, ou bien sous forme de constructions dites « individuelles ». Le schéma d'organisation prédominant dans ce type d'habitat s'inspire directement du modèle européen.

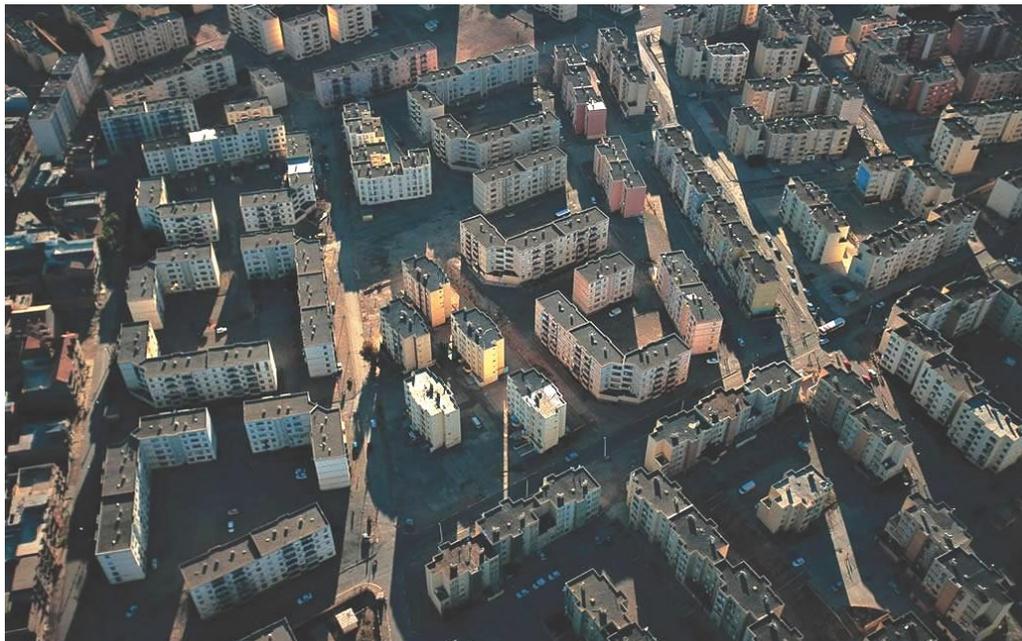


Figure I-4. Ensemble urbain à Sétif. (Source: www.yannarthusbertrand2.org)

* La période contemporaine considérée ici est la phase post-coloniale.

L'habitat contemporain est apparu en Algérie en deux grandes phases, toutes deux avaient comme but de pallier la crise du logement :

La première phase (1970-1985) correspond à la période qui a suivi les premières années de l'indépendance où la priorité était à la reconquête et la réappropriation des villes dont le parc immobilier a été libérée suite au départ des français. Cette phase qui a accompagné les années de la politique d'industrialisation avec ses modèles standardisés et ses procédés et techniques de construction industrialisés pour une production en série du logement, s'était les années de la préfabrication et des Zones d'Habitat Urbain Nouvelles (ZHUN) constituées de logements collectifs standard de type H.L.M, économiques et de typologies standard. Durant cette période, le foncier est nationalisé (1974) et l'espace urbain libre est municipalisé²³.

La seconde phase (1985-2009) avec un passage par une crise économique causée par la chute des prix du pétrole, il y eu redéfinition de toute la stratégie socio économique et une réévaluation de l'action publique sur l'espace urbain à travers :

- la régularisation de l'habitat illégal (en dur) ;
- la mise en place de nouveaux instruments d'urbanisme (1990) ;
- la libération du marché foncier ;
- la libération des études d'urbanisme (ce n'est plus l'état à travers ses bureaux d'études mais une multitude d'autres opérateurs professionnels) ;

Cette période a vu le modèle de construction individuelle privée proliférer, et l'apparition des promotions immobilières, ainsi que les nouvelles politiques de logements initiés par l'état proposées sous différentes formules (Agence AADL, Logement Socio Participatif (LSP), Logement socio locatif (LSL), logement promotionnel...etc.)

La volonté du pouvoir à éradiquer la crise du logement provoquée par la croissance démographique et l'exode rural l'a entraîné à importer des technologies de construction étrangères et les généraliser sur tout le territoire national, mais, inappropriée au contexte culturel, social et climatique du pays, cette expérience a été un échec total.

Ce type d'habitat compte actuellement la majorité du parc national, et il continue à être pris comme modèle pour les programmes en cours. En effet, les statistiques font état d'un parc total de **6.748.057**²⁴ logements dont seulement **850.000** ont été réalisés avant 1945. Pour cette raison, nous estimons que face au triple défi : rétablissement du confort thermique des occupants, économie énergétique et protection de l'environnement, cette frange d'habitat paraît la plus apte à constituer une réelle solution et devrait être prise comme cible privilégiée pour une réhabilitation thermique.

²³ A. Hafiane, « Les projets d'urbanisme récents en Algérie ». 43rd ISOCARP Congress. 2007.

²⁴ <http://www.rgph2008.ons.dz>.

Habitat traditionnel	Implantation	Orientation	Volumétrie/ Plan	Organisation	Ombrage	Ouvertures	Ventilation	Matériaux	Chauffage
Maison citadine / Nord (turque)	Site en pente Intégration tissu dense	Varie suivant parcelle. Principale N/S	Compacte / Carré R+2	Entrée chicane Introvertie Autour d'un patio	Maisons voisines Moucharabieh	A l'int. patio Très petites à l'ext.	Effet de cheminée: Entrée / patio	Murs maçonnerie Plancher bois Plâtre (chaux)	Passif solaire Bois
Maison montagnarde/ Nord (kabyle)	Site très en pente Tissu dense	Principale N/S	Compacte / Rectangulaire R+ 1/2 niv	Cour intérieure	Végétation: oliviers, figuiers	Extérieures et intérieures. Moyennes	Entrée / cour / fenêtres	Murs moellon Plancher bois Toit. tuile	Bois
Maison (Aurès) montagnarde/ Hauts plateaux	Site en pente Site plat Tissu dense	Varie suivant parcelle.	Compacte R+1	Cour intérieure semblable au Ksar	Maisons voisines Végétation: oliviers, figuiers...	A l'int. cour Très petites à l'ext.	Entrée / cour	Pierre, argile, terre, Plancher bois	Passif solaire Bois
Maison Mozabite Pré Sahara	Site en pente Tissu dense	Varie suivant parcelle.	Compacte R+1	Ré interprétation patio: chebeq Introvertie	Maisons voisines Végétation: palmiers	Presque inexistantes Fentes (larg. 7cm)	Effet de cheminée: Entrée / patio	Brique terre, argile, Enduit plâtre, tronc palmiers	Passif solaire Bois
Ksar du Désert	Site relativement plat Tissu dense	Varie suivant parcelle. Principale N/S	Compacte R+1	Entrée dans cour Introvertie, autour cour.	Maisons voisines palmiers	Zénithal sur cour Fentes sur rue	Effet de cheminée: Entrée / cour	Brique terre, argile, tronc palmiers, pisé	Passif solaire Bois
Habitat colonial	Implantation	Orientation	Volumétrie	Organisation	Ombrage	Ouvertures	Ventilation	Matériaux	Chauffage
Immeuble Haussmannien Nord	Site plat Tissu urbain Ilot	Principale N/S Double	Rectangulaire+ variantes. R+4 à R+8	Cage d'escalier Couloir Chambres	Balcons, auvents, avancées, persiennes/volets	Fenêtre Porte fenêtre	Gaines, fenêtres, cheminée...	Brique, hourdi, enduit plâtre, bois, pierre...	Bois Mazout
Maison coloniale Nord	Site plat Tissu urbain Ilot	Principale N/S	R+1	Maison européenne classique	Balcons, auvents, avancées, persiennes/volets	Fenêtre Porte fenêtre	Gaines, fenêtres, cheminée...	Brique, hourdi, enduit plâtre, bois, pierre...	Bois Mazout
Ferme	Site plat Découpage rural	Principale N/S	R	Forme en C ou en L. Véranda, étable	Balcons, auvents, avancées, persiennes/volets	Fenêtre Porte fenêtre	Gaines, fenêtres, cheminée...	Brique, hourdi, enduit plâtre, bois, pierre...	Bois Mazout
Habitat "moderne"	Implantation	Orientation	Volumétrie	Organisation	Ombrage	Ouvertures	Ventilation	Matériaux	Chauffage
Immeubles années 70	Site plat Indépendante du tissu	Diverses	Barre Tour Grande échelle R+4 à R+21	Cages d'escalier Coursives Couloirs	Avancées: horiz/vert Circulations, Loggias,	Fenêtre Porte fenêtre Baies...	Gaines, fenêtres, cheminée...	Béton, acier brique, parpaing	Mazout Gaz
Appartement courant	Site plat Indépendante du tissu	Diverses	Rectangle barre Tour R+4 à R+10	Cages d'escalier Couloirs	Loggias, Persiennes, volets.	Fenêtre	Gaines, fenêtres	Béton, béton préfabriqué, acier brique, parpaing.	Gaz

Tableau I-1. Caractéristiques des principaux types d'habitat en Algérie.

Source : Ould Henia (2003)

I- 2. Analyse de l'habitat contemporain en Algérie

Dans cette partie, nous allons analyser qualitativement et quantitativement l'habitat contemporain afin de mieux l'appréhender, mais avant cela nous devons revenir légèrement en arrière pour mieux comprendre le processus historique qui l'a engendré.

I- 2.1 La Crise de l'habitat en Algérie

Au lendemain de l'indépendance, l'Algérie avait hérité d'une situation socio-économique déplorable, devant cette situation, le logement ne constituait pas une priorité, d'autant plus que le parc de logements abandonnés par les français était jugé suffisant, on s'est aperçu un peu plus tard qu'on avait entretenu un mythe.(...) La portée réelle du legs colonial en matière de logement s'est avérée beaucoup plus réduite que l'on s'imaginait²⁰.

Face à cette crise une urbanisation hâtive a caractérisé les deux premières décennies postindépendance, qui résulte selon les spécialistes de deux faits combinés (outre la croissance démographique): l'exode rural (déjà enclenché pendant la guerre de libération) et la politique d'industrialisation²¹. C'est ainsi qu'en pensant pouvoir rattraper les retards accumulés dans le domaine du logement le plus rapidement possible et au moindre coût, les responsables du secteur ont décidé d'introduire de nouvelles technologies dans le bâtiment. Attirés par les résultats en matière de temps de réalisation et de coûts obtenus dans certains pays industrialisés où ces technologies sont nées, les opérateurs économiques ont optés pour la voie de l'industrialisation du bâtiment dès le début des années 1970²².

Mais cette arme s'est avérée à double tranchant, puisque, vu le manque flagrant d'encadrement et de spécialistes dans le domaine de la construction, la maîtrise des nouvelles technologies était difficile et pouvait avoir un résultat contraire à ce qui était attendu, ce qui s'est répercuté sur le produit final, qualitativement et même quantitativement. Le retard accumulé dans le domaine de l'ingénierie était considérable. En 1980, il y avait environ 5000 ingénieurs, architectes et techniciens nationaux contre 14000 étrangers²³.

Pour pallier ces insuffisances, les sociétés nationales entreprennent elles-mêmes de former leur personnel, mais cette « formation sur le tas » ne donne que des résultats médiocres. Pour pourvoir tous les postes, des initiés remplacent des spécialistes manquants, et ce, de la base au sommet de l'échelle. Alors qu'un spécialiste ou ouvrier qualifié réalise une tâche dans son

²⁰ M. Bouhaba. (2002). Op.Cit. p. 52

²¹ B. Sid. L'habitat en Algérie : Stratégies d'acteurs et logiques industrielles. Office des publications universitaires. Alger 1986. p. 20

²² M. Bouhaba. (2002). Op.Cit. p. 58

²³ B. Sid. L'industrie du bâtiment dans la politique industrielle de l'Algérie. in P. R. Baduel. Habitat, Etat, Société au Maghreb. Ed. CNRS Editions. Paris 2002. p. 90

domaine dans le temps imparti, l'initié le fait dans un temps plus long. La qualité médiocre du travail oblige à des réfections successives²⁴.

Une autre conséquence de cette urbanisation, cette fois-ci sociologique, s'est fait sentir, puisqu'elle a entraîné des bouleversements dans le mode de vie des habitants et peut être même dans les représentations sociales : changement dans la perception des besoins, préférence pour les logements modernes et les matériaux lourds tels que le ciment, la brique cuite, etc....

Au cours du premier plan, la priorité a été accordée aux procédés de préfabrication les plus complexes (procédés Pascal, Gibat, Vareco). Le second plan est marqué par le recours à des procédés de construction d'âges différents (préfabrication lourde, coffrage tunnel, coffrage traditionnel), mais également par l'hétérogénéité des procédés d'un même âge technique : variété des procédés de préfabrication et des coffrages tunnel en particulier. Ce qui fait dire au Centre National d'études d'Animation de l'Entreprise de Travaux (CNAT) que le secteur de la construction au cours de ce plan se distingue par une « industrialisation tout azimuts »²⁵.

Enfin, après la mise en place de nouveaux instruments d'urbanisme (1990) et la libération du marché foncier ; cette période a vu l'entrée des entreprises privées de constructions sur la scène de la construction, et vu leur manque de moyens techniques et financiers, le procédé adapté à ce genre d'entreprises était le système de portiques (poteaux poutres à coffrages traditionnel), procédé qui a servi à la construction de la majorité du parc d'habitat ces dernières années.

I- 2.2 Segmentations de l'habitat en Algérie

Nous commencerons par une classification selon les types d'occupation, puis par zone d'implantation ou aire géographique, ensuite selon la taille des logements. Nous excluons de cette classification l'habitat précaire, puisqu'on considère que cette frange du parc immobilier est appelée à être démolie et remplacée par un habitat plus digne, même s'il a connu un développement considérable au cours des deux dernières décennies* échappant plus que d'autres aux normes et règlements en vigueur et remettant en cause la possibilité pour les populations vulnérables de vivre dignement et en sécurité.

I- 2.2.1 Logements individuels et collectifs

La première segmentation des différents types de logements existants sera selon le type d'occupation ; soit le logement **individuel** et logement **collectif**. Selon l'Institut National de la

²⁴ B. Sid (1986). Op.Cit. p. 65

²⁵ B. Sid (2002). Op.Cit. p.85

* À titre d'exemple, le nombre de logements précaires était évalué à presque 6% du parc total de logements à Alger en 1998, soit 22 744 logements d'un total de 381 086 logements.

Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) le logement individuel est une construction qui ne comprend qu'un logement (maison), alors que le logement collectif est le type de logement qui se trouve dans un immeuble collectif qui comprend au moins deux logements (appartements)²⁶. D'après le RGPH 2008, (voir Tableau. 2) on notera la prédominance de la maison individuelle avec **58,70%** contre seulement **19,10%** pour l'immeuble d'habitation collectif²⁷, d'où la nécessité de la mise en place d'une stratégie de prise en charge adaptée à l'habitat individuel.

	<i>Total Effectif</i>	<i>%</i>
Immeuble d'habitation	1 007 000	19,1
Maison individuelle	3 091 000	58,7
Maison traditionnelle	761 000	14,4
Autres ordinaires*	63 000	1,2
Précaire	202 000	3,8
Non déclaré	144 000	2,7
Total	5 268 000	100

Tableau I-2. Répartition des logements occupés selon le type de construction (RGPH 2008)

La gestion des problématiques thermiques varie fortement de l'individuel au collectif notamment le choix du mode de chauffage, de la température de chauffe et les possibilités ou non d'isolation du bâti²⁸.



Figure I-5. Maison individuelle à Ouargla.



Figure I-6. Immeubles collectifs.
Source : La revue de l'habitat (2009)

²⁶ <http://www.insee.fr>. Site officiel de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. France.

²⁷ ONS, RGPH 2008.

²⁸ O. David et A. Fabre. Les économies d'énergies dans l'habitat existant une opportunité si difficile à saisir. Ed. Ecole des mines. Paris 2007. p. 38

I- 2.2.2 Logement rural et urbain

Une autre segmentation possible peut être faite selon la **localisation : rurale ou urbaine** du logement. Cette caractéristique nous importe dans la mesure où les modes constructifs et les sources d'énergie disponibles varient suivant le lieu d'implantation du logement ; puisqu'en zone rurale la construction « traditionnelle » est toujours de mise, même si les nouveaux modèles de construction ont tendances à se généraliser ; cependant en zone urbaine, hormis les travaux de restauration des anciennes casbahs ou ksars, le traditionnel n'a plus cours, et c'est la domination totale des constructions modernes contemporaines.

Le tableau suivant montre que la population urbaine est en forte croissance grâce à un fort taux d'accroissement naturel, mais surtout grâce à l'apport migratoire des ruraux.

<i>Année</i>	<i>Population</i>			<i>% Population urbaine</i>
	Urbaine	Rurale	Totale	
1954	2 157 938	6 456 766	8 614 704	25,0
1966	3 778 482	8 243 518	12 022 000	31,4
1977	6 686 785	10 261 215	16 948 000	40,0
1987	11 444 249	11 594 693	23 038 942	49,7
1998	16 966 937	12 133 916	29 100 863	58,3

Tableau I-3. Evolution de la population algérienne selon la répartition
(Source : RGPH 1998)

Dans le tableau suivant, nous avons résumé quelques caractéristiques types des constructions d'habitation en zone rurale et en zone urbaine :

<i>Dans le périmètre urbain</i>	<i>Dans le périmètre Rural</i>
Immeubles barres/tours en béton, avec un schéma d'organisation de type européen et des constructions individuelles (villas) en maçonnerie/béton.	Immeubles en maçonnerie / béton, des groupements de constructions individuelles (villages socialistes ou lotissements) et des maisons isolées en maçonnerie /béton / terre.

Tableau I-4. Caractéristiques générales de l'habitat dans les périmètres urbain et rural.
(Source : auteur)

Les dernières statistiques de 2008 dénombrent pour l'habitat rural environ deux (02) millions de logements (**946 259** en zones éparses **ZE** et **1 059 341** en agglomérations secondaires **AS**) ce qui constitue environ **30 %** du parc total, tandis que l'habitat urbain (agglomérations chef lieu **ACL**) compte **4 742 457** de logements soit plus de **70 %** du parc existant. Vu que l'habitat type contemporain est celui qui est produit le plus en zone urbaine, cela veut dire que ce type d'habitat prédominant.

<i>Zone d'implantation</i>	<i>Taux %</i>
Agglomération chef lieu (ACL)	70
Agglomération secondaire (AS)	16
Zone épars (ZE)	14
Total	100

Tableau I-5. Répartition des logements selon zone d'implantation (RGPH 2008)

I- 2.2.3 Segmentation selon la surface

L'analyse des caractéristiques de l'habitat algérien, en vue d'une étude thermique serait incomplète si on omettait les particularités liées à la surface. En effet, selon Olivier David²⁹, un petit logement consomme davantage par mètre carré qu'un plus grand logement, et par conséquent, le choix d'une stratégie de confort thermique pourrait notamment être fonction de la surface du logement. Il existe toute taille de logement, dans l'habitat collectif comme dans l'habitat individuel. C'est dans l'individuel que le nombre de pièces et la surface sont les plus élevés.

<i>Nombre de pièces</i>	<i>Total %</i>
1 -2	32,8
3 - 4	54,9
5 & plus	12,3
Total	100

Tableau I-6. Répartition des logements selon le nombre de pièces. (RGPH 2008)

D'après le RGPH 1998, dans le tableau de répartition des logements à usage d'habitation occupés par les ménages ordinaires et collectifs et selon le nombre de pièces, on notera qu'environ **87 %** du parc occupé est composé de logements variant du type à 01 pièce au type à 04 pièces dont les surfaces varient entre 30 m² et 80 m². Cette configuration du parc habitat en Algérie est synonyme d'un niveau de consommation énergétique par mètre carré bâti élevée.

I- 2.3 Disposition de l'habitat contemporain

La situation de l'habitat contemporain démontre qu'aucune stratégie sur le plan de la thermique du bâtiment n'a été réfléchi lors de la projection de ce parc. Orientation aléatoire, implantation et conception qui n'obéissent qu'au souci financier, la construction actuelle ne tire pas profit des potentialités du site et néglige dans sa production les principes passifs de l'architecture bioclimatique.

²⁹ O. David & al. (2007). Op.Cit. p. 39

I- 2.3.1 Site et implantation

Dans l'habitat contemporain, les constructions collectives sont généralement regroupées dans des cités résidentielles de plusieurs blocs d'habitations, agencées en bande ou en îlot. Tandis que les constructions individuelles sont rassemblées dans des lotissements ou situées dans des zones éparses



Figure I-7. Lotissement à Bejaïa.

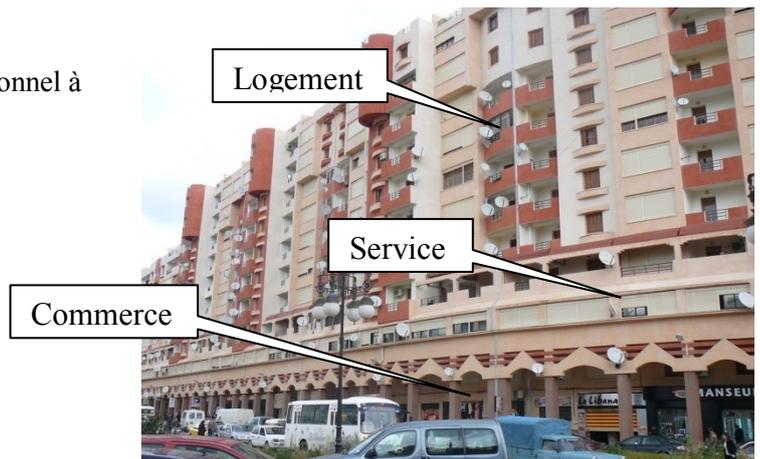
(Source: Google Earth)

L'habitat contemporain est projeté indifféremment dans toutes les régions du pays sans aucune modalité d'intégration aux spécificités du site et de l'environnement, les bâtiments sont implantés sur des terrains plats ou inclinés, sans tenir compte des vents dominants de l'ensoleillement de la végétation existante, de l'environnement bâti et des spécificités du lieu.

I- 2.3.2 Plan fonctionnel

Selon la situation ou le besoin, l'habitat collectif et individuel est caractérisé par sa mixité, associant souvent une activité rentière à sa vocation principale³⁰, combinant entre un rez-de-chaussée (et même les premiers étages) à caractère commercial et de service et des étages supérieurs à vocation résidentielle. Ils croisent dans leur conception, organisation et traitement architectural des signes de la tradition et d'autres de la modernité.

Figure I-8. Habitat collectif promotionnel à Béjaïa. (Source : auteur)



Les immeubles collectifs comprennent à chaque étage deux (02) ou plusieurs logements desservis par un escalier collectif et un ascenseur dans le cas d'immeuble à grande hauteur. Quand aux habitations individuelles, hormis une couche aisée de propriétaires qui conçoivent leurs demeures comme une « villa » à espaces ouverts, le plus souvent elles sont conçues de façon que la cage d'escalier dite « indépendante » desserve des appartements séparés et cela pour des raisons socio-économiques.

³⁰ B. Benyoucef. La crise de mutation de la ville algérienne et ses enjeux (cas d'Alger). in Ali Hadjiedj, Claude Chaline, Jocelyne Dubois-Maury. Alger, les nouveaux défis de l'urbanisation. Ed. L'Harmattan, Paris, 2003, p.33

Thermiquement, l'organisation des espaces intérieurs n'est aucunement étudiée en fonction de l'usage, de manière à ce que l'ambiance thermique corresponde aux activités et aux heures d'utilisation³¹. Les pièces principales ou de service sont orientées au hasard. Aussi des espaces non chauffés sont en contact avec le logement sans barrière de protection, tels que les locaux au rez-de-chaussée et le comble sous toiture.

I- 2.3.3 Forme et gabarit

Les formes les plus courantes de ce genre de constructions sont les formes simples (carré, rectangulaire ou en L). Toutefois, pour des raisons d'esthétique, des décrochements sous forme de saillis et de retraits (balcons, loggias, terrasses, encorbellements...) sont additionnés au volume général.



Figure I-9. Type de conception d'habitation individuelle. On note les décrochements sur la façade.

(Source : auteur)

Du point de vue thermique, ces formes diminuent de la compacité des bâtiments et par conséquent augmente leurs coefficients de forme*. Chose qui les rend plus exposés aux conditions climatiques et moins efficaces énergétiquement.

Concernant le gabarit, pour le collectif, la hauteur la plus répandue est le R+5, surtout pour les programmes sociaux, mais vu la cherté du foncier, les immeubles promotionnels ont pris des hauteurs plus grandes. Quand à l'individuel, la hauteur des constructions varie du simple rez-de-chaussée au R+5, mais la hauteur la plus répandue est le R+3.

I- 2.4 Modes constructifs de l'habitat contemporain

A l'échelle de la région méditerranéenne, trois grandes familles de constructions coexistent, correspondant à trois périodes de construction³² :

- Avant 1920 : Dominance de constructions traditionnelles réalisées avec l'adobe, la maçonnerie de pierre et la maçonnerie de briques et planchers en bois et / ou en voûtains.
- Période 1920-1950 : constructions en maçonnerie de briques et / ou en pierres avec des planchers dalles en béton armé.

³¹ J. P. Oliva & S. Courgey. La conception bioclimatique des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation. Ed. Terre vivante. Paris 2006.

* Le coefficient de forme, ou compacité, mesure le rapport de la surface de l'enveloppe déperditive au volume habitable (m^2/m^3). Il permet de qualifier les volumes construits en indiquant leur degré d'exposition aux conditions climatiques.

³² A.Petruccioli « Alger 1830-1930, Pour une Lecture typologique des immeubles d'habitation », p. 33

- Après 1950 : constructions modernes en poteaux poutres en béton armé.

Les constructions contemporaines à usage d'habitation de type courant en Algérie sont principalement constituées d'une **structure** à ossature en portique en béton armé et d'une **enveloppe** composée par des murs de remplissages en maçonnerie et d'ouvertures, d'une **couverture** en toiture en pente ou bien en plancher terrasse et de **planchers** intermédiaires en dalle à corps creux et d'un plancher bas en béton armé. Cette configuration est appliquée sur tout le territoire national sans tenir compte des spécificités climatiques des régions d'implantation.



Figure I-10. Projets de logements sociaux dans la région de Tamanrasset³³.

I- 2.4.1 Le système structurel

Les constructions courantes, de nos jours, sont généralement dotés d'une structure avec ossature en portiques en béton armé type poteaux, poutres, et voiles de contreventement. La structure bien entendu est composée de l'infrastructure et de la superstructure.

I- 2.4.1.1 L'infrastructure

L'infrastructure est composée essentiellement des fondations de l'ouvrage ainsi que d'éventuels niveaux enterrés. Elle assure le transit des efforts venant de la partie aérienne du projet (superstructure) vers les éléments de fondations.³⁴ L'infrastructure comprend les fondations (dont le type dépend de plusieurs facteurs : la hauteur de l'immeuble, les différentes charges et actions et aussi de la portance du sol ; ainsi les fondations peuvent être de simples semelles isolées, des semelles filantes, un radier ou des fondations profondes), les avants poteaux, les longrines, les poutres de redressement et les voiles et murs de soutènement en béton armé.

³³ S. Benmessaoud. « Prospection pour l'introduction de la construction en matériaux locaux dans le secteur du logement à Tamanrasset ». Mémoire DSA, Architecture de terre. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture, Grenoble. 2006. p. 26

³⁴ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Infrastructure>.

I- 2.4.1.2 La superstructure

La superstructure comprend les poteaux, les poutres et depuis le séisme qui a frappé le nord du pays en mai 2003, des voiles de contreventements qui sont exigés à partir d'une certaine hauteur définie selon la zone sismique où la construction est édifiée.

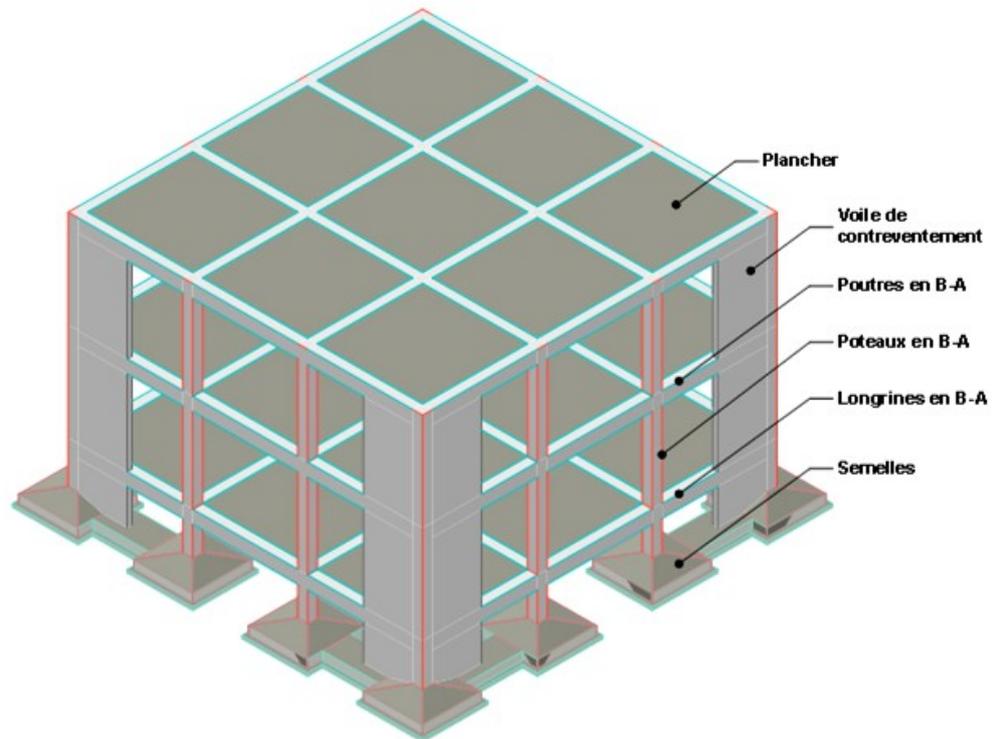


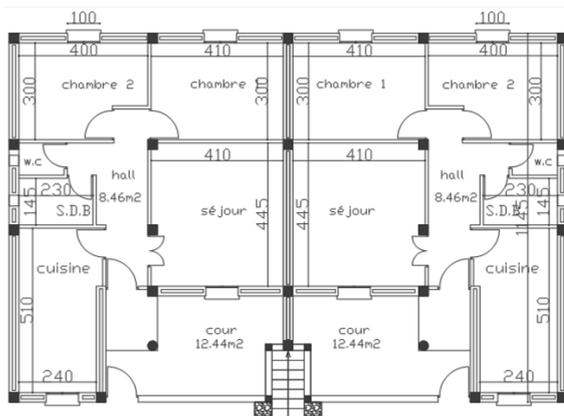
Figure I-11. Structure type poteaux poutres voiles en béton armé. (Source : auteur)



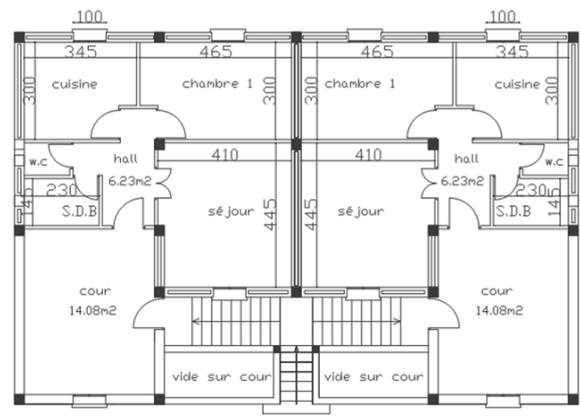
Figure I-12. Habitations collective & individuelle en Structure poteaux-poutres-voiles (Source : Auteur)

I- 2.4.2 L'enveloppe

Deux parties essentielles composent l'enveloppe d'un bâtiment d'habitation; les parois opaques et les parois transparentes.



Plan du rez-de-chaussée



Plan de l'étage

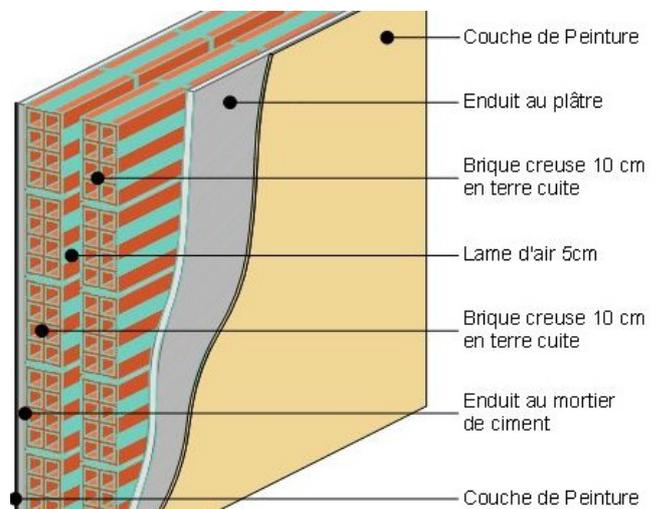
Figure I-13. Projet de logements à Tamanrasset.

Source : S. Benmessaoud. (2006)

I- 2.4.2.1 Les parois extérieures opaques

Les parois extérieures opaques des immeubles contemporains récents se composent de matériaux hétérogènes appelées communément maçonnerie à double paroi, les différentes couches qu'elles comportent sont disposées comme suit de l'intérieur vers l'extérieur de la paroi :

- Couche mince de peinture vinylique (ou laquées dans les salles d'eau) ;
- Couche de 02 cm d'enduit au plâtre (ou au ciment dans les salles d'eau) ;
- Mur en brique creuse de terre cuite de 10 cm d'épaisseur (08 trous) ;
- Vide de 05 cm (lame d'air) ;
- Mur en brique creuse de terre cuite de 15 cm d'épaisseur (12 trous) ;

**Figure I-14.** Composition des murs extérieurs.

(Source : auteur)

- Couche de 02 à 03 cm d'enduit au mortier de ciment ;
- Couche mince de peinture.



Figure I-15. Photo du site Mekadem-Aek à HassiMessaoud

D'autres matériaux sont utilisés dans les constructions contemporaines ; telles que le béton armé sous forme de voile (élément de structure et enveloppe), les briques de béton aggloméré, les briques silico-calcaires, mais la première configuration en double parois en brique creuse est la plus répandue.

I- 2.4.2.2 Les parois transparentes

Les proportions des parois transparentes sont calculées selon le niveau d'éclairage souhaité et le débit d'air nécessaire à la ventilation des locaux d'habitations, elles occupent généralement entre 10 et 25% de la surface totale de l'enveloppe extérieure des constructions, elles sont composés principalement d'une structure porteuse et de vitreries ; on peut citer parmi ces éléments les fenêtres, les portes fenêtres, les châssis, les baies, les fenêtres de toit...etc., ces éléments peuvent être, selon le besoin, fixent ou ouvrants (à la française, coulissants, à guillotine, pivotants, à soufflets, basculants...).

Ce type de paroi est composé en général de deux parties :

I- 2.4.2.2.1 La structure

La structure est composée de montants et de traverses, elle est habituellement en bois, mais d'autres matériaux commencent à concurrencer le bois tel que l'aluminium et le PVC, préférés pour la facilité de leur entretien et parce qu'ils représentent un symbole de modernité.

I- 2.4.2.2.2 Le vitrage

Dans l'habitat contemporain produit actuellement en Algérie, mis à part quelques immeubles d'habitation privés de haut standing, les constructions d'habitations courantes reçoivent habituellement des vitrages de type **simple vitrage et clair** d'une épaisseur de 3 à 4 mm, ignorant le fait que les apports dus à l'ensoleillement des vitrages sont de loin les plus importants, pouvant représenter 50 à 80% des charges totales des locaux climatisés³⁵.

I- 2.4.2.3 La couverture

Deux types de couvertures coiffent couramment les bâtiments d'habitations contemporains en Algérie : le plancher terrasse et la toiture en pente.

I- 2.4.2.3.1 Le plancher terrasse

Il est composé comme suit (de l'intérieur vers l'extérieur):

- Couche mince de peinture (vinylique ou laquées dans les salles d'eau) ;
- Couche de 02 cm d'enduit au plâtre (ou au ciment dans les salles d'eau) ;
- Plancher à corps creux de 20 cm (poutrelles + hourdis + dalle de compression) ou (plus rarement) plancher dalle pleine en béton armé ;
- Forme de pente en béton ;
- Film pare vapeur ;
- Panneaux isolants en liège ou en polystyrène ;
- Etanchéité multicouche ;
- Protection en gravillons.

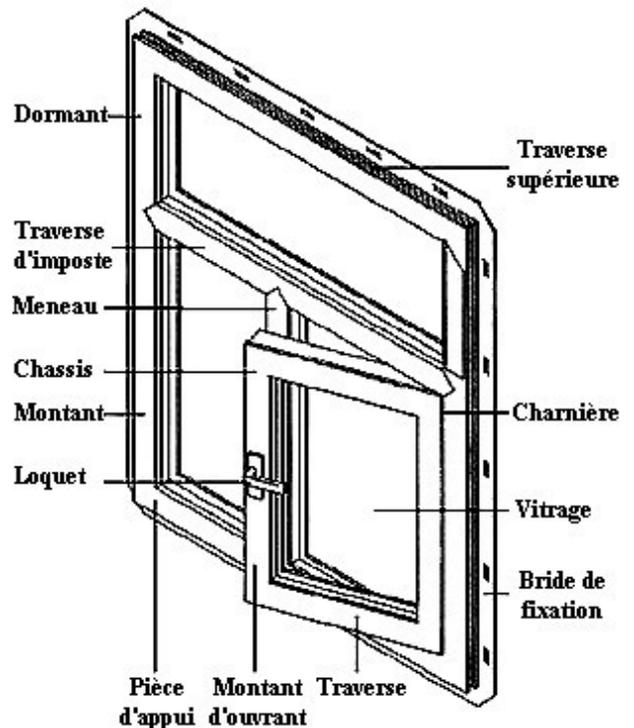


Figure I-16. Eléments constitutifs d'une fenêtre.

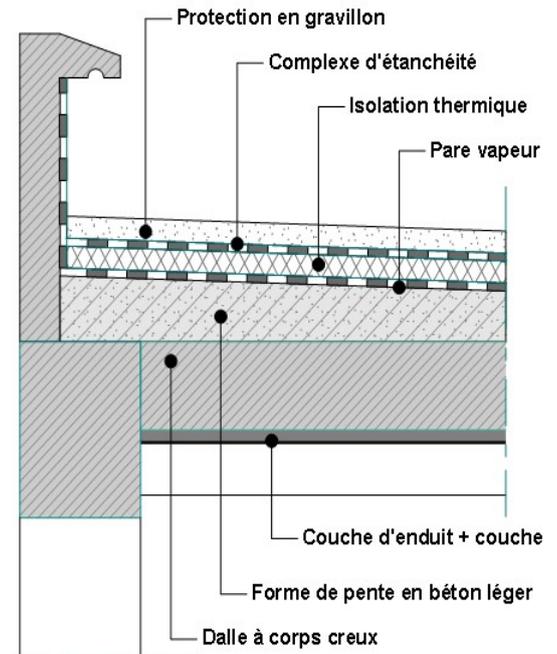


Figure I-17. Coupe sur un plancher terrasse.
(Source : auteur)

³⁵ C. Bougriou, A. Hazem et K. Kaouha. « Protections Solaires des Fenêtres ». in revue des énergies renouvelables. Vol. 3. 2000. p. 127.

I- 2.4.2.3.2 La toiture en pente

C'est un type de couverture réalisée en système de charpente en bois (madriers, chevrons, liteaux...) couvert de tuiles mécaniques associés à un faux plafond généralement en roseaux, plâtre et solives en bois. Quelquefois la charpente est posée directement sur un plancher (à corps creux ou dalle pleine), remplaçant ainsi le faux plafond, méthode plus onéreuse, mais quelquefois préférée pour éluder les problèmes d'étanchéité et d'entretien.

Une structure en béton armé (poteaux et poutres inclinées) remplace parfois la structure de madriers en bois. Ainsi les tuiles sont posées sur un lit de liteaux et de chevrons lui-même posé sur les poutres en béton armé.

Enfin, et plus occasionnellement, la toiture en pente est entièrement réalisée en béton armé (dalle inclinée). Cette formule est utilisée dans le but de profiter des espaces créés par la toiture inclinée (combles aménagés).



Figure I-18. Habitat à toiture en pente à Alger. (Source : auteur)

I- 2.4.2.4 Les Planchers intermédiaires

On peut recenser essentiellement deux types de planchers :

I- 2.4.2.4.1 Les planchers à corps creux

Il constitue le type de plancher le plus courant, il est composé de :

- Couche mince de peinture (vinylique ou laquées dans les salles d'eau) ;
- Couche de 02 cm d'enduit au plâtre (ou au ciment dans les salles d'eau) ;
- Blocs d'hourdis en béton aggloméré de 16 cm d'épaisseur;
- Dalle de compression de 4 cm en béton armé d'un treillis soudé ou d'armature légère ;

- Poutrelles en béton armé ;
- Lit de mortier de sable ;
- Revêtement en carreaux de granito.

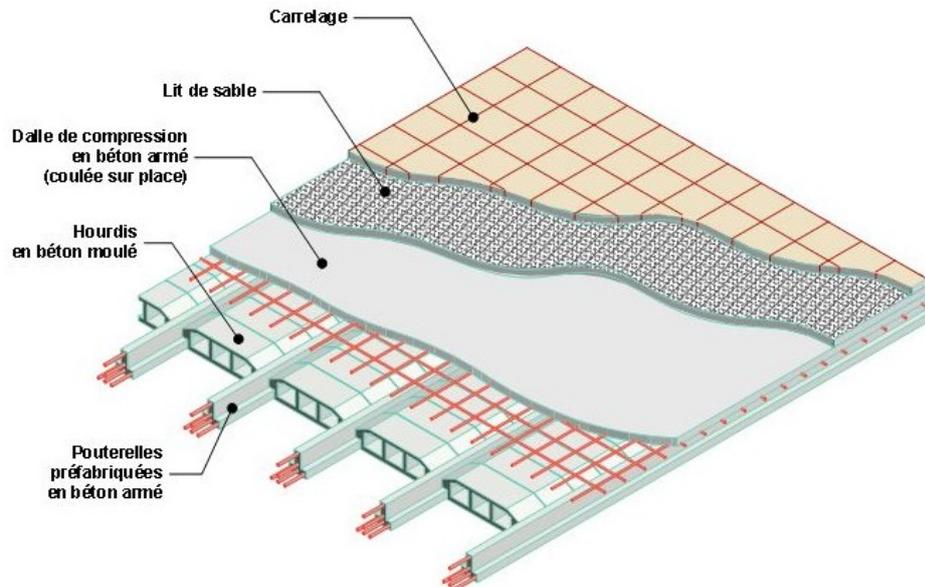


Figure I-19. Plancher en béton armé avec poutrelles et hourdis (plancher à corps creux)
(Source : auteur)

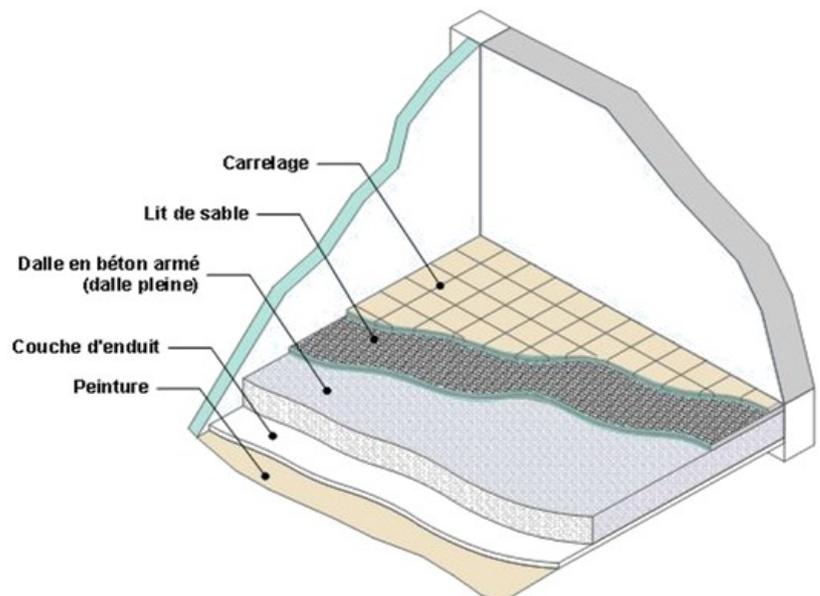
I- 2.4.2.4.2 Les planchers à dalle pleine

Moins utilisés que le premier type, les dalles pleines sont constitués de :

- Couche mince de peinture (vinylique ou laquées dans les salles d'eau) ;
- Couche de 02 cm d'enduit au plâtre (ou au ciment dans les salles d'eau) ;
- Dalle en béton armé d'environ 15 cm d'épaisseur (ép. selon la charge à supporter)
- Lit de mortier de sable ;
- Revêtement en carreaux de granito.

Figure I-20. Plancher en béton armé, dit « à dalle pleine ».

(Source : auteur)



I- 2.4.2.5 Planchers bas

Les planchers bas des bâtiments contemporains présentent deux configurations ; ils sont soit posés directement sur terre plein, soit ils couvrent un espace non chauffé (vide sanitaire, garage ou local commercial...). Dans les deux cas, les planchers bas sont thermiquement vulnérables aux déperditions thermiques.

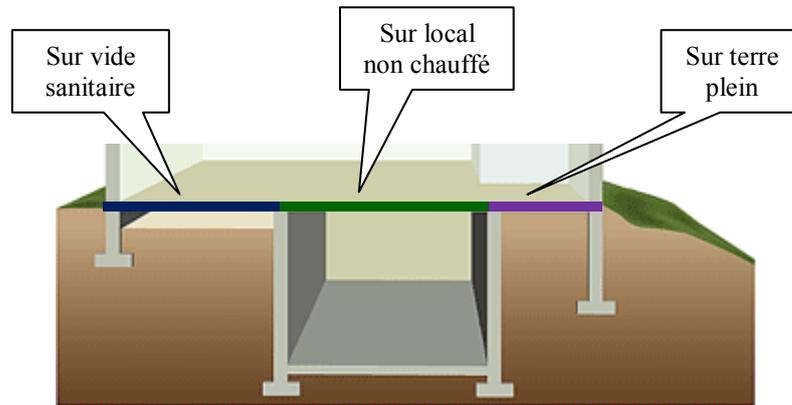


Figure I-21. Trois configurations des planchers bas. (Source : auteur)

Les planchers bas sont soit réalisés avec la technique des planchers à corps creux, ou en béton plein. On notera l'absence d'isolation thermique dans la composition de ces planchers.

I- 2.5 Comportement thermique de l'habitat contemporain en Algérie

L'enveloppe constituant l'habitat contemporain comporte plusieurs défauts qui la rend inefficace thermiquement, les principales anomalies à retenir sont :

I- 2.5.1 Isolation thermique

L'enveloppe des immeubles d'habitation récents ne joue pas correctement son rôle de barrière thermique, cet état est dû principalement :

- Aux mauvaises caractéristiques thermiques des couches qui composent les murs ;
- A l'absence d'un isolant thermique performant parmi ces couches ;
- A la mauvaise mise en œuvre en cours de réalisation (la lame d'air est souvent mal dimensionnée, contient des déchets de construction et n'est pas complètement étanche à l'air) ;
- La mauvaise étanchéité à l'air de l'enveloppe (défauts constatés notamment au niveau des ouvertures) ;
- L'absence de pare vapeur, ce qui implique la pénétration de l'humidité dans l'enveloppe la rendant moins isolante ;
- Fenêtres à simple vitrage dans la quasi-totalité des cas ;
- Combles et toitures en pente non isolés ;

- Planchers au sol et autres parties en contact avec le sol sans couche isolante.

I- 2.5.2 Ponts thermiques

Les ponts thermiques sont fréquents dans l'habitat récent qui fait largement appel au béton pour ses structures: jonctions entre façades et planchers, entre façades et refends, appuis de baies...etc. ³⁶. C'est une rupture totale ou partielle de l'isolation ; en cet endroit de la construction, le flux de chaleur y est particulièrement dense ; il n'est plus perpendiculaire à la surface des murs (flux surfacique) mais concentré.³⁷

En effet, de multiples ponts thermiques existent dans l'enveloppe des constructions contemporaines à usage d'habitation, ceux-ci sont dus essentiellement à la géométrie des bâtiments, au système constructif adopté, au choix des matériaux ou à la mauvaise exécution en cours de chantier.

Les ponts thermiques ne font pas qu'augmenter la consommation d'énergie de chauffage d'un bâtiment, ils exercent aussi un rôle négatif sur la sensation de confort thermique et sur l'hygiène du logement. Ils sont souvent la cause de désordres liés à la condensation qui s'accompagne de moisissures.

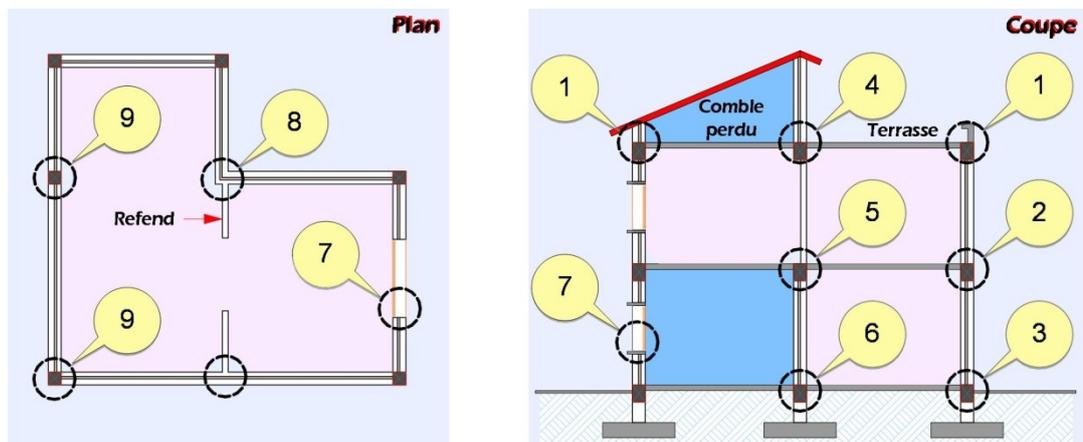


Figure I-22. Positions des principaux ponts thermiques. (Source : auteur)

Légende

repères 1, 2, et 3	Murs et planchers hauts, intermédiaires et bas
repères 4, 5 et 6	Refends et planchers hauts et bas
repère 7	Baies et ouvertures
repère 8	Refends et murs
repère 9	Murs et éléments de structure

³⁶ Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH). L'isolation thermique des logements anciens. Ed. Du moniteur. Paris 1980. p. 17

³⁷ A. Liébard et A. de Herde (2005). Op.cit. p. 85b

I- 2.5.3 Inertie thermique

L'inertie thermique des constructions participe au confort thermique de ces occupants et au bon rendement énergétique du bâtiment. Une étude comparative effectuée sur l'habitat contemporain³⁸ a démontré la déficience de ce type d'architecture à valoriser le rôle de ce phénomène qu'est l'inertie dans la double quête d'un meilleur confort hygrothermique et d'une économie d'énergie.

La faible inertie thermique de ce type de parois la rend inadaptée surtout en période de chaleur. Ces parois font que les températures intérieures des habitations suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de la température extérieure.

I- 2.5.4 Parois transparentes

Les parois transparentes dans l'habitat contemporain en Algérie présente plusieurs carences du point de vue thermique, agissant directement sur le confort des occupants et sur la facture énergétique (chauffage/climatisation). Cette insuffisance est due à plusieurs facteurs :

- Mauvaises performances thermiques (fenêtres non isolantes, à simple vitrage dans la majorité des cas) ;
- Absence de protections solaires ;
- Dimensions des vitrages non étudiées;
- Orientations des ouvertures aléatoires.

I- 2.5.5 Etanchéité & Ventilation

L'aération des logements est laissée aux soins des conduits de cheminée et des multiples défauts d'étanchéité des constructions. La circulation de l'air et les déperditions de chaleur sont alors incontrôlables. Les systèmes de ventilation étudiés (naturelle ou mécanisé) sont absents dans l'habitat contemporain.

I- 2.5.6 Autres désordres et dégradations

La négligence du volet qualitatif dans la construction contemporaine a conduit à des désordres et dégradations qui jouent un rôle déterminant dans la qualité thermique de l'habitation ; parmi ces désordres on peut citer de manière non exhaustive :

- Remontées capillaires ;
- Les infiltrations d'eau de pluie ;
- Les fissurations au niveau de l'enveloppe ;
- Les défauts de menuiserie ;

³⁸ D. Medjelakh et S. Abdou. « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment ». in Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°3. Alger 2008.

- Le vieillissement des enduits.

Ces différents défauts constituent une cause directe ou indirecte dans la diminution des qualités thermo-physiques des composantes des constructions contemporaines en Algérie, devenant ainsi inconfortables et inefficaces énergétiquement.

Conclusion

A l'heure ou dans les pays développés, l'approche du secteur de l'habitat s'est élevée vers des réflexions d'ordre qualitatives, par la recherche du confort sous tous ses aspects ; qu'ils soient aux plans thermiques, perceptuels, spatiales, esthétiques...etc. ; chez nous, la préoccupation reste toujours focalisée sur l'aspect quantitatif de l'habitat.

L'état algérien, depuis l'indépendance, a toujours considéré le secteur de l'habitat comme un secteur prioritaire, politique qui a donné ses fruits du point de vue statistique, il n'en demeure que ces efforts fournis tout au long de ses années ont négligés les aspects qualitatifs de ce produit, aspects liés au confort thermique, à l'impact sur l'environnement et aux économies d'énergie.

Les habitations contemporaines dites « moderne », produites après l'indépendance, et qui constituent actuellement la partie du parc la plus représentative quantitativement ; sont les moins performantes thermiquement parmi les typologies variées de l'habitat en Algérie. Ces performances thermiques sont en dessous des normes requises pour procurer aux occupants le confort thermique nécessaire et constituent un réel souci énergétique et environnemental. Cet état est le résultat de :

- La négligence des relations entre la construction et son environnement ;
- Aucune amélioration en matière de choix des matériaux de construction ;
- Le manque de créativité dans le domaine des procédés de construction ;
- Le déficit en matière de spécialistes en thermique du bâtiment ;
- La persistance de la pression sur le logement, malgré tous les moyens mis à la disposition du secteur ;

Aujourd'hui, l'Algérie a adhéré à la démarche du développement durable, concept qui intègre dans son approche les dimensions sociales, économiques et environnementales, et compte inscrire cette démarche dans tous les secteurs socio-économiques. Dans cette optique, le secteur de l'habitat est appelé à corriger le pas, et prendre en charge la réhabilitation thermique de son parc, particulièrement l'habitat contemporain, une préoccupation déjà enclenché par la loi sur la maîtrise de l'énergie dans le secteur de la construction.

La réhabilitation thermique des logements existant doit passer par la compréhension des phénomènes thermiques dans le bâtiment, sa relation avec son environnement, sans oublier la connaissance de l'expérience internationale dans ce domaine. C'est les points qu'on va analyser dans les prochains chapitres afin d'arriver à une proposition en adéquation avec la situation et le contexte local algérien.

**Chapitre II- CONTRIBUTIONS DU
BATIMENT AU DEVELOPPEMENT
DURABLE**

ENTRE CONFORT THERMIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE

Introduction

Il est évident que le progrès industriel et technologique représente le facteur le plus important pour vaincre la pauvreté, la famine et les maladies. Mais ce progrès conduit en même temps à des changements inquiétants dans notre environnement et à l'épuisement de nos ressources naturelles. Aussi, le genre humain est menacé de dangers écologiques graves³⁹. Depuis plus d'un demi-siècle déjà, des voix se sont levées pour dénoncer le mode de développement de l'humanité. La thèse de l'épuisement des ressources naturelles et les dangers écologiques constituait et constitue encore une pression importante et une raison sérieuse pour revoir notre mode de vie et la conception actuelle du développement économique⁴⁰. Dans ce contexte, la réhabilitation thermique de l'habitat s'avère, de plus en plus, un champ d'intervention potentiel, parce que le secteur résidentiel est le secteur le plus consommateur d'énergie, et l'un des plus gros émetteurs de gaz à effet de serre.

Avec l'avènement du concept de développement durable et ses préoccupations grandissantes, le secteur du bâtiment doit répondre aux exigences sociales, économiques et environnementales. Le bâtiment doit permettre la réalisation de situations quelquefois contradictoires que le concepteur doit réaliser dans le respect des trois piliers du développement durable. Il s'agit d'assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra en plus, de faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement extérieur soit minimisé⁴¹.

II- 1. Le développement durable

L'expression « développement durable » devient aujourd'hui incontournable dans le monde, c'est la conséquence d'une volonté de prise en considération des valeurs sociales, économiques et écologiques par l'ensemble des acteurs de la construction et plus généralement par tous⁴².

II- 1.1 Bref historique du développement Durable

En 1972 s'est tenu à Stockholm en Suède la Conférence des Nations Unies sur l'environnement qui a été pour beaucoup de spécialistes un tournant historique important et qui a constitué l'assise principale du courant écologique appelant à vivre en symbiose avec l'environnement et à cesser sa surexploitation.

Cette conférence a adopté une série de principes pour une gestion écologiquement rationnelle de l'environnement. Cette "Déclaration de Stockholm" a placé les questions écologiques au

³⁹ Andréï Sakharov. Discours prononcé à la séance d'attribution du Prix Nobel de la Paix, 1975.

⁴⁰ APRUE. Un plan d'action ambitieux pour les années 2005 – 2006. in Revue « La lettre » de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, n°08, mai 2005, p5

⁴¹ A. Mokhtari & al. (2008). Op.cit. p. 307.

⁴² F. Cherqui & al. « Elaboration d'une méthodologie d'aménagement durable d'un quartier ». in Annales du bâtiment et travaux publics n°1. France 2004.

rang des préoccupations internationales et a marqué le début d'un dialogue entre pays industrialisés et pays en développement concernant le lien qui existe entre la croissance économique, la pollution de l'indivis mondial (l'air, l'eau, les océans) et le bien-être des peuples dans le monde entier⁴³.

Plusieurs conférence et sommets mondiaux ont suivis, dont la conférence de Rio en 1992 (premier sommet de la terre) où la notion de développement durable a été officiellement adoptée comme fondement de la coopération internationale, une notion apparue pour la première fois dans le rapport Brundtland* en 1987 qui vise à promouvoir un développement qui favorise un état d'harmonie entre les êtres humains et entre l'homme et la nature⁴⁴.

Ce nouveau mode préconisé pour le développement inclura parmi ces principes la volonté de réalisation d'établissements humains et de villes durables, et les Agendas 21 signés par près de 150 pays seront consacrés pour le développement durable des établissements humains, ce qui constituera un véritable défi pour les acteurs et spécialistes du bâtiment (architectes, ingénieurs, entrepreneurs...etc.) et même les gouvernants et décideurs.

Viendra par la suite en 1997 le protocole de Kyoto lors de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. Le Protocole de Kyoto fixera des objectifs chiffrés, juridiquement contraignants, de réduction ou de limitation des émissions des GES (gaz à effet de serre) des pays développés, qui sont responsables de la majorité des émissions. Ces pays sont tenus de diviser par quatre (04) leur rejet de gaz à effet de serre avant l'an 2050.

II- 1.2 Définition

Le développement durable a été défini comme « le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » par le rapport Brundtland, publié en 1987. Le processus vise à concilier l'écologique, l'économique et le social, en établissant une sorte de cercle vertueux entre ces trois piliers.

L'adjectif durable signifie que ce type de développement vise à améliorer les conditions humaines de façon continue sur le long terme⁴⁵.

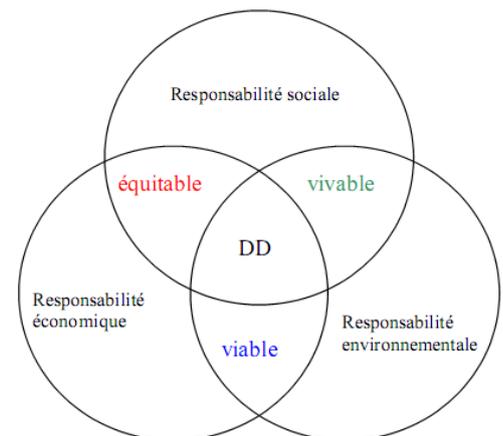


Figure II-1. Les trois piliers du développement durable et leurs interactions.

⁴³ Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement.

* Du nom de Grø Harlem Brundtland, Premier ministre norvégien de l'époque.

⁴⁴ S. Brunel. Le développement durable. Ed. Que sais-je ? 2^{ème} Edition mise à jour. Paris 2007. p. 47.

⁴⁵ J.C.Van Duysen & S. Jumel. Le développement durable. Ed. L'harmattan. Paris 2008. p. 15.

II- 1.3 Principes du développement durable

Le développement durable correspond à une ambition caractérisée par un ensemble de principes exprimés lors des différentes conférences internationales. Parmi les plus importants on citera⁴⁶ :

- Prévention et précaution ;
- Pollueur payeur ;
- Protection de l'environnement ;
- Participation et engagement ;
- Solidarité ;
- Production et consommation responsables.

II- 1.4 Enjeux du développement durable

Le développement durable, dans sa quête au rétablissement d'un équilibre planétaire, fait face à plusieurs défis et enjeux, les principaux sont :

- Epuisement des ressources naturelles ;
- La dégradation des milieux ;
- L'effet de serre ;
- La pérennité du développement ;
- Les agendas 21 ;
- Les engagements de Kyoto.

II- 2. Contribution du bâtiment au développement durable

La fonction première du bâtiment est de protéger l'homme des agressions extérieures de son environnement ; nous en sommes pourtant arrivés aujourd'hui au stade où il faut protéger l'environnement des hommes et de leurs constructions⁴⁷. La construction du XXI^{ème} siècle ne peut plus ignorer tout à la fois, les limites physiques de la planète, les exigences sociales en termes de sécurité et de bien-être, le rôle du bâti dans la culture et les contraintes fortes de l'environnement et de l'économie. Dans cette optique, le bâtiment doit participer au grand chantier du développement durable pour un bien-être social, une volupté économique et une sécurité environnementale.

II- 2.1 La dimension de durabilité en architecture

L'architecture durable est une architecture qui répond au mieux à des besoins bien identifiés de ses utilisateurs, qui s'avère économique pour sa construction et son exploitation, enfin qui

⁴⁶ Y. Lazzeri. Le développement durable du concept à la mesure. Ed. L'harmattan. Paris 2008. p. 23

⁴⁷ M. L. Cao. Les vrais enjeux d'un projet de construction durable. Ed. L'harmattan. Paris 2009. p. 25

conduit au plus faible impact environnemental possible⁴⁸. Son objectif final est de diminuer l'empreinte écologique* des bâtiments et d'en optimiser les impacts sociétaux.

Partant des principes du développement durable, l'architecture devra concilier trois mondes différents, celui de l'économie, celui de l'écologie et celui du social. Ce triptyque formé par les trois piliers du développement durable est étroitement liée au domaine du bâtiment du moment que ce secteur agit directement sur leurs composantes, en effet :

- En termes de société : l'environnement bâti de par ces différentes caractéristiques (physiques, d'ambiance, sanitaires...etc.) détermine le confort ou l'inconfort des utilisateurs.
- En termes d'économie : la construction présente une part importante dans les dépenses de l'état**, aussi il joue un rôle majeur dans le secteur de l'emploi, mais également, le secteur du bâtiment offre une opportunité importante en étant le plus grand gisement d'économie d'énergies.
- En termes d'environnement : la construction des bâtiments, leur entretien et leur exploitation représente une très grande part dans la consommation énergétique d'un pays avec pour corolaire, les émissions des GES. Ajouté à cela, d'autres nuisances existent liées à l'extraction des matériaux bruts, la fabrication de matériaux de construction, les déchets de construction et de démolition.

L'évolution de l'architecture à travers le temps - vernaculaire, solaire, bioclimatique - a permis à la fois, la théorisation et la concrétisation des concepts du développement durable dans la production normale du cadre bâti. Cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement⁴⁹.

II- 2.2 Le confort dans l'habitat

Il y a moins d'un siècle, le confort d'une habitation se mesurait par son niveau d'hygiène, aujourd'hui, il conjugue un grand nombre de paramètres qui représentent une ambiance

⁴⁸ J. B. Gay. « Définition et principes de la construction durable ». Conférence-débat « Le développement durable, matière à construction ». Genève, mars 2008.

* L'empreinte écologique est un indicateur pertinent du développement durable, elle est définie, pour une population donnée, comme « la surface terrestre et aquatique biologiquement productive nécessaire à la production des ressources consommées et à l'assimilation des déchets produits par cette population, indépendamment de la localisation de cette surface. »

** A titre d'exemple, l'état algérien a consacré 20 milliards de dollars pour financer les programmes de logements sous ses différentes formes (AADL, LSP, logement social...) et améliorer le cadre urbain en Algérie pour la période 2005-2009.

⁴⁹ A. Mokhtari & al. (2008). Op.cit. p. 308.

donnée dans un milieu bien déterminé, parmi ces éléments, sans faire une énumération exhaustive, on peut citer la température, le degré d'humidité, le niveau d'éclairage, le niveau acoustique, la qualité de l'air et sa vitesse...etc. D'autres paramètres, qui échappent généralement aux analyses et ne peuvent être appréhendés que par la sensibilité, peuvent intervenir tel que les dimensions d'un local, sa forme, la couleur des murs, l'ameublement, la qualité de l'éclairage.

Dans son célèbre traité « De architectura », Vitruve pose déjà les premiers principes de l'architecture soucieuse du confort de ses occupants : « S'agit-il de construire une ville? La première chose à faire est de choisir un endroit sain. Il doit être élevé, à l'abri des brouillards et du givre, situé sous la douce température d'un ciel pur, sans avoir à souffrir ni d'une trop grande chaleur ni d'un trop grand froid »⁵⁰.

Comme la sécurité, le confort, c'est aussi ce qui ne se remarque pas ; ce qui se remarque c'est l'inconfort (ou l'insécurité). Une maison confortable doit donc offrir le moins d'inconfort possible à ses occupants⁵¹.

II- 2.3 Enjeux

Le confort dans le bâtiment comporte des enjeux majeurs qui s'expriment à travers :

- Le confort des occupants en toute saison ;
- L'hygiène et la santé des occupants ;
- La pérennité du bâtiment et des équipements ;
- L'économie liée à la consommation énergétique ;
- La préservation de l'environnement, par rapport à l'utilisation des ressources non renouvelables et aux émissions de polluants dans l'atmosphère.

II- 3. Le confort thermique

II- 3.1 Définitions

D'après E. Dumitriu-Valcea^{*}, Le confort thermique des constructions est l'ensemble des conditions optimales nécessaires au développement de la vie physiologique de l'homme à l'intérieur des pièces différentes – en fonction de la destination des locaux – d'habitat⁵².

⁵⁰ Vitruve. De Architectura. Texte latin. Ed. Bès. Mouzeuil-Saint-Martin 2004. Traduction française par CH. L. Maufra. Paris 1847.

⁵¹ J. Rousseaux. Habiter demain, la domotique, intelligence et communication. Ed. EGT / Nathan. 1989

^{*} Docteur Ingénieur, ancien Professeur à l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'El-Harrach à Alger.

⁵² E. Dumitriu-Valcea. Isolation thermique des constructions en Algérie. Ed. Entreprise nationale du livre. Alger 1986. p. 31

Mais, la définition du confort thermique reste toutefois difficile et ambiguë ; ainsi, les fiches techniques « confort thermique », de l'Agence National pour l'Amélioration de l'Habitat (A.N.A.H) en France, ont essayé d'éclaircir le phénomène par ces termes : « Ne pas avoir trop froid, ne pas avoir trop chaud, ne pas sentir de courants d'air gênant : ainsi pourrait-on essayer de définir le confort thermique. Il est plus aisé d'essayer de le définir en précisant ce qui crée l'inconfort qu'en voulant définir des critères de confort. »⁵³.

Selon d'autres sources⁵⁴, le « plaisir thermique » n'existe que dans les états dynamiques où le sujet passe d'un état déséquilibré (hypo ou hyperthermie) à un état équilibré, l'ambiance thermique statique n'engendrant aucune impression agréable. Notre système nerveux est davantage exercé à reconnaître les modifications d'ambiance qu'il ne s'attache aux états durables⁵⁵. Aussi on peut additionner le facteur vestimentaire qui joue un rôle très important dans la manière dont sont ressentis les échanges de chaleur entre le corps humain et l'ambiance ou il évolue.

II- 3.2 Paramètres du confort thermique

Dans un logement, le confort thermique des occupants dépend, en plus des paramètres liés aux personnes tels que l'habillement et le niveau d'activité, de nombreux paramètres : température au centre des pièces et aux abords des parois, hygrométrie, mouvements d'air nécessaires à la ventilation, nature des locaux⁵⁶.

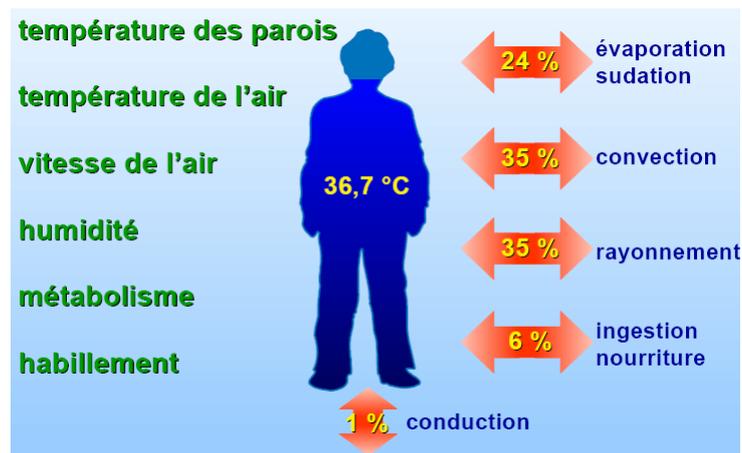


Figure II-2. Paramètres liés au confort thermique.

Source : A. Liébard et A. de Helde (2005)

⁵³ Agence National pour l'Amélioration de l'Habitat (ANAH). Fiche technique « confort thermique ». Paris, mars 2004.

⁵⁴ Manuel des industries thermiques. COSTIC Dunod.

⁵⁵ L. Heschong. Architecture et volupté thermique. Éd. Parenthèses. Paris 1992. p. 38

⁵⁶ Ministère de l'équipement (France). Direction de la Construction. Amélioration thermique de l'habitat existant, Installations de chauffage et isolation des bâtiments. Ed. Du moniteur. Paris 1977. p. 19

Tel que c'est représenté dans la figure précédente, le confort thermique dépend essentiellement de six paramètres⁵⁷ :

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

Pour mieux cerner le problème de confort thermique nous allons essayer de comprendre ces paramètres chacun isolément. Mais avant cela, nous passerons par un rappel des modes d'échanges thermiques.

II- 3.3 Les échanges thermiques

Pour assurer le confort d'un individu, un équilibre thermique entre la température ambiante et celle du corps (environ 37°C) doit être trouvé. Pour atteindre cet équilibre, l'homme (homéotherme*) possède des mécanismes de régulation qui l'adapte aux conditions thermiques de l'ambiance⁵⁸. Pour se sentir bien, les échanges de chaleur ne doivent s'effectuer ni trop rapidement, ni trop lentement.

Il existe quatre modes essentiels d'échange thermique :

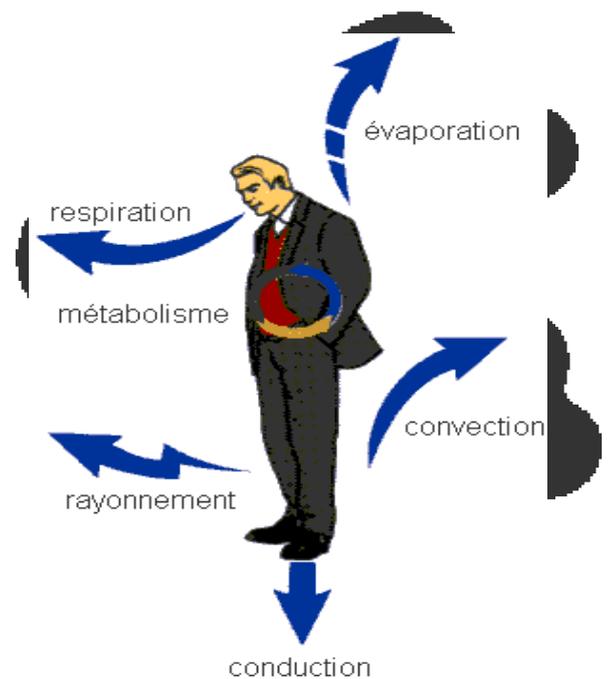


Figure II-3. Modes d'échanges thermiques.
Source : <http://www.epfl.ch/enerbat>

⁵⁷A. Liébard et A. de Helde (2005). Op.Cit. p. 27a

* Dont la température centrale est constante et indépendante du milieu extérieur.

⁵⁸ M. Frenot et N. Sawaya. L'isolation thermique, le répertoire des solutions pratiques pour l'habitat existant. Ed. Edisud. Aix en Provence, France 1979.

II- 3.3.1 La convection

La convection est une transmission de température entre deux régions d'un même milieu ou entre deux milieux en contact, sans déplacement de matière⁵⁹. Elle correspond aux échanges thermiques entre le corps et l'air qui l'entoure et dépend surtout de la température de l'air et de la vitesse de l'air.

II- 3.3.2 Le rayonnement

C'est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. Le corps humain émet en permanence une chaleur radiative liée à sa température cutanée et son émissivité. Le flux radiatif échangé par le corps correspond à la différence entre le rayonnement émis par celui-ci et le rayonnement reçu de son environnement (parois). Si le rayonnement reçu par le corps est supérieur à sa propre émission, le corps se réchauffe, il se refroidit dans le cas inverse⁶⁰. En effet, une paroi froide absorbe la chaleur du corps, alors qu'un mur exposé au soleil toute la journée transmet sa chaleur le soir sans même le toucher.

II- 3.3.3 La conduction

Concerne l'échange de chaleur par contact direct entre le corps et les parois. Ce mode a un impact minime vu la surface d'échange limitée entre le corps et les parois.

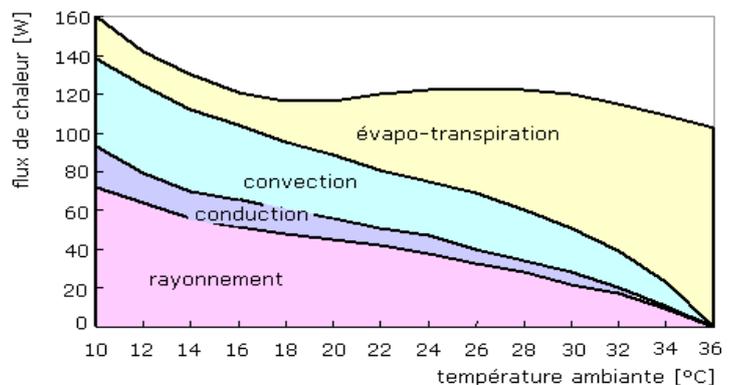
II- 3.3.4 L'évaporation

C'est le mode d'échange dû au changement d'état de l'eau (changement de phase). C'est le moyen essentiel pour évacuer la chaleur dans les ambiances chaudes par évaporation de la sueur à la surface de la peau⁶¹.

La figure suivante montre la répartition modale des échanges de chaleur d'une personne en fonction de la température ambiante.

Figure II-4. Répartition modale des échanges de chaleur.

Source : <http://www.epfl.ch/enerbat>



⁵⁹ P. De Haut. Chauffage, isolation et ventilation écologique. Ed. Eyrolles. Paris 2007. p. 21

⁶⁰ F. Thellier. « Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat. Une approche de l'étude du confort ». Etude réalisée à l'université Paul Sabatier de Toulouse, France 1989.

⁶¹ B. Moujalled. « Modélisation dynamique du confort thermique ». Thèse de doctorat présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon (France). Janvier 2007.

Ainsi, lorsque la température de l'air est inférieure à celle du corps, il est simple d'évacuer la chaleur métabolique, mais lorsque l'air ambiant est plus chaud que le corps, les transferts de chaleur par rayonnement, conduction et convection ne fonctionnent plus dans le bon sens puisqu'ils vont toujours d'une zone chaude à une zone froide. C'est par évapo-transpiration que le corps abaisse sa température⁶².

II- 3.4 L'équilibre thermique

Comme on vient de le voir, le corps humain échange de la chaleur avec son environnement selon plusieurs modes : la conduction au travers des surfaces en contact, la convection et l'évaporation avec l'air ambiant et le rayonnement avec les surfaces avoisinantes⁶³. L'équation basique qui exprime l'équilibre thermique entre le corps et son environnement (production et perte de chaleur) est la suivante⁶⁴ :

$$M - W = Ev + Ra + K + Co + Re + S \dots\dots (W.m^{-2})$$

Avec :

- M : Chaleur produite par le métabolisme
- W : Energie utilisée pour accomplir des travaux physiques
- Ev : Déperditions de chaleur par évaporation par la peau
- Ra : Déperditions de chaleur par rayonnement
- K : Déperditions de chaleur par conduction (généralement négligeable)
- Co : Déperditions de chaleur par convection
- Re : Déperditions de chaleur par respiration (convection et évaporation)
- S : Chaleur stockée dans le corps

II- 3.5 Analyse des paramètres de confort thermique

Les facteurs d'équilibre thermique cités dans l'équation précédente n'expriment pas à eux seuls la sensation de confort thermique. D'autres facteurs d'ordre psychosociologiques peuvent influencer la satisfaction du corps vis-à-vis de son environnement. En effet, le phénomène d'acclimatation peut développer des ajustements adaptatifs pour permettre une meilleure tolérance à la chaleur⁶⁵. Aussi, certaines caractéristiques des matériaux peuvent

⁶² <http://www.epfl.ch/enerbat>

⁶³ J. B. Malchaire. « Les échanges thermiques ». in Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, du bureau international du travail. Edition établie sous la direction de J. Magger Stellman, Publiée par International Labour Organisation. Genève, Suisse 2000.

⁶⁴ S. Roaf. Adapting buildings and cities for climate change. 2nd Ed Elsevier. Oxford 2009. p. 159

⁶⁵ K. B. Pandolf. « Time course of heat acclimatation and its decay ». in International journal of medicine n°157-16. London 1998.

influencer la sensation thermique, en particulier l'effusivité thermique qui donne, par exemple, une sensation d'absorption plus grande chez la pierre que chez le bois⁶⁶.

Cependant, pour leurs aspects objectifs et quantifiables, les facteurs pris en compte dans cette étude sont les variables personnelles liées aux occupants des locaux et les variables environnementales qui dépendent directement du cadre bâti.

II- 3.5.1 Paramètres du confort thermique liés au cadre bâti

II- 3.5.1.1 La température

Le rôle de l'enveloppe de l'habitat est de maintenir la température à l'intérieur du bâti dans une fourchette de confort malgré les fluctuations de la température extérieure, été comme hiver, de jour comme de nuit. Aussi, faudrait-il assurer une homogénéité de la température intérieure.

Ainsi, on définit la température de confort ressentie, appelée encore température opérative ou température résultante sèche, comme étant la moyenne entre la température de l'air ambiant et la température des parois⁶⁷ : $T_{RS} = (T_A + T_P) / 2$.

- T_A représente la température de l'air mesurée à l'ombre par un thermomètre ordinaire.
- T_P ou T_{MR} correspond à la moyenne des températures des surfaces qui nous entourent (murs, fenêtres, radiateurs...etc.) et avec lesquelles nous échangeons de la chaleur par rayonnement infrarouge.

La température de la face intérieure des parois extérieures des bâtiments ne peut jamais être égale à la température de l'air intérieur. En pratique on tente de rapprocher ces deux valeurs en augmentant la résistance thermique des parois par l'utilisation des matériaux isolants.

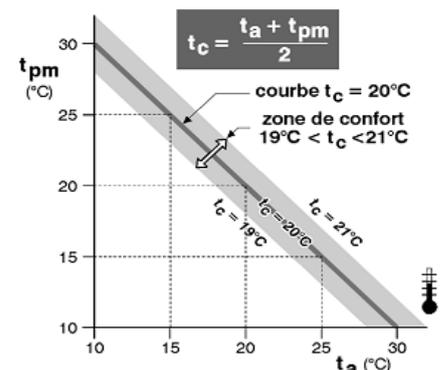
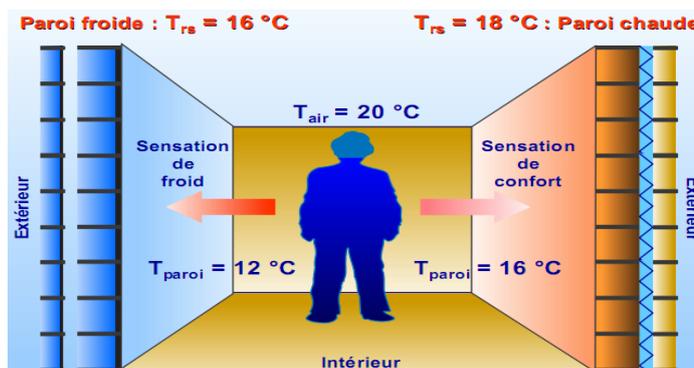


Figure II-5. Température de confort.

Source : Hauglustaine (2006)

Figure II-6. La température de confort dépend de la température de l'air et de la température des parois.

$$T_{RS} = 16^{\circ}\text{C} = (20 + 12) / 2$$

Paroi froide = inconfort

$$T_{RS} = 18^{\circ}\text{C} = (20 + 16) / 2$$

Paroi chaude = confort

Source : A. de Herde (2005)

⁶⁶ T. Salomon et C. Aubert. Fraicheur sans clim. Ed. Terre vivante. Paris 2005.

⁶⁷ A. de Herde et al. (2005). Op.Cit. p. 28a

II- 3.5.1.2 L'humidité de l'air

L'humidité relative de l'air affecte le confort dans la mesure où les taux faibles ou élevés entraînent des sensations d'inconfort. Une humidité trop faible dessèche les muqueuses respiratoires qui ne jouent plus leur rôle filtrant vis-à-vis des poussières et des germes pathogènes. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration⁶⁸.

L'humidité détermine la capacité évaporative de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur. Dans le domaine de températures d'air allant de 20 à 25°C, les variations d'humidité relatives comprises entre 30 et 85% sont pratiquement imperceptibles par l'homme, pour des températures supérieures à 25°C, l'influence de l'humidité devient apparente sur la température cutanée et des températures élevées sur la sudation⁶⁹. Selon A. de Herde⁷⁰, entre 30% et 70%, l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort thermique.

II- 3.5.1.3 Le mouvement de l'air

Le mouvement de l'air est un paramètre très important du confort. Il affecte le corps humain de deux façons différentes. Tout d'abord il détermine l'échange de chaleur convectif du corps et ensuite il affecte la capacité évaporative de l'air et par conséquent agit sur la production de la sueur⁷¹.



Figure II-7. Relations entre les paramètres de confort et les modes d'échange de chaleur⁷²

⁶⁸ T. Salomon et S. Bedel. La maison des [nega]watts, Le guide malin de l'énergie chez soi. Ed. Terre vivante. Mens 2004. p. 25.

⁶⁹ B. H. Jennings et B. Givoni. «Environmental reactions in the 80° - 105° F zone ». in ASHVE Journal. 1959.

⁷⁰ A. de Herde et al. (2005). p. 29a

⁷¹ B. Givoni. L'homme l'architecture et le climat. Ed. Du Moniteur, Paris 1978.

⁷² M. Frenot & al. (1979). Op.Cit. p. 19.

II- 3.5.2 Les paramètres de confort liés aux occupants des locaux

Les principaux paramètres de confort liés aux occupants sont le métabolisme et l'habillement, d'autres variables peuvent y contribuer, mais ne sont généralement pas pris en considération, tels que l'état de santé et l'acclimatation.

II- 3.5.2.1 Le métabolisme de l'homme

L'Homme, pour assurer ses fonctions vitales, dégrade des substrats énergétiques en permanence, en consommant de l'oxygène, en produisant du CO₂, de l'eau métabolique et en dégageant de l'énergie. Même au repos, une centaine de watts sont produits en permanence et cette énergie dégagée sous forme de chaleur se propage de l'intérieur vers l'extérieur de l'organisme, véhiculée un peu par conduction tissulaire mais surtout par la convection sanguine⁷³.

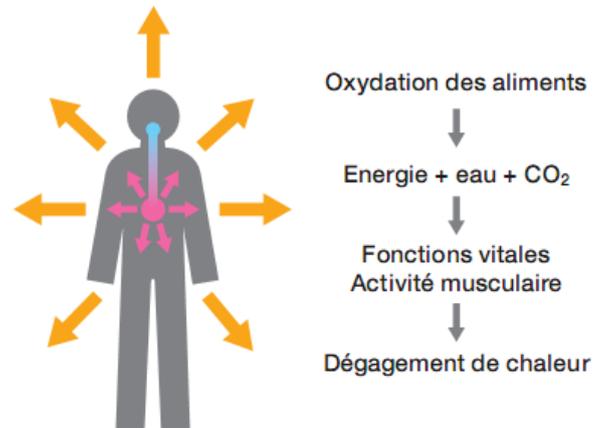


Figure II-8. Le métabolisme humain.

Source: P. Chiché (2007)

La régulation physique de la température du corps s'effectue suivant différents modes ; principalement par convection, rayonnement et évaporation, dans une moindre mesure par conduction, respiration et sécrétion, l'Hypothalamus est le centre de contrôle de cette régulation jouant le rôle de thermostat du corps humain.

Pour contrôler la température à la surface de la peau, le corps humain utilise soit la vasoconstriction (diminution du diamètre des vaisseaux sanguins) cela, dans le cas où la température est en dessous des conditions de confort, pour minimiser les pertes de chaleur. Dans le cas contraire (la température est au dessus des conditions de confort) la vasodilatation (augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins) est le remède, une hausse de la température superficielle du corps augmente le gradient de température avec l'ambiance et par voie de conséquence augmente les pertes de chaleur du corps.

Lorsque la température est élevée et que l'activité physique est intense, la simple vasodilatation se révèle insuffisante, rentre alors le phénomène de **sudation** produisant la sueur à la surface de la peau. La chaleur nécessaire à l'évaporation de cette sueur est alors prise à l'organisme qui de fait se refroidit.

⁷³ V. Candau. « Confort thermique ». in Techniques de l'ingénieur. Traité génie énergétique. BE 9 085.

▪ La chaleur métabolique

Tout être humain dégage de la chaleur. La puissance thermique dégagée est fonction de son activité. On rapporte l'activité à une valeur conventionnelle, le *met* qui correspond à la position assise.

Activité	Dégagement de chaleur		
	[met]	[W/m ²]	[W/pers]
Couché, inactif, sommeil	0,8	46	83
Assis inactif	1,0	58	104
Activité sédentaire (bureau, lecture)	1,2	70	126
Debout, inactif	1,2	70	126
Activité légère, debout (magasin, labo)	1,6	93	167
Travail debout (ménage, atelier)	2,0	116	209
Marche (4 km/h)	2,8	162	292
Travail intensif (mécanique lourde)	3,0	174	313
Marche (5 km/h)	3,4	197	354
Course (10 km/h)	8,0	464	834

Tableau II-1. La puissance thermique dégagée en fonction de l'activité humaine
(Source : www.enerbat.org)

II- 3.5.2.2 Le niveau d'habillement

L'habillement représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. C'est l'équivalent de l'isolant pour une maison. Son rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.

Les vêtements traditionnels qui furent conçus en des contextes culturels variés remplissent souvent des fonctions thermiques sophistiquées. Les robes blanches amples et ondoyantes que portent les arabes repoussent les radiations solaires tout en facilitant une circulation de l'air autour du corps ce qui maintient une sensation de fraîcheur au contact de l'évaporation. A l'extrême opposé, la parka de fourrure des esquimaux emprisonne à la fois la chaleur du corps et la vapeur d'eau due à la sudation, l'esquimau vit alors en climat semi tropical⁷⁴.

⁷⁴ Lisa Hescong. (1992). Op.cit. p. 22

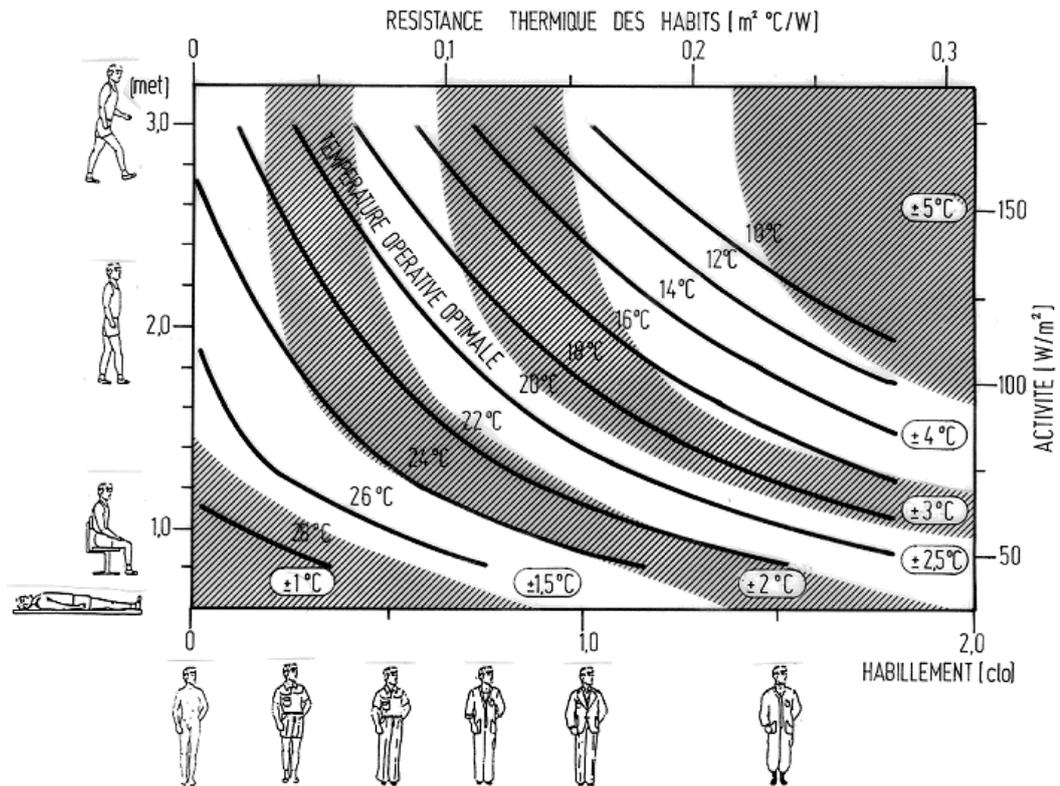


Figure II-9. Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme.

II- 3.6 Evaluation du confort thermique

Du fait que les sensations thermiques soient aussi des préférences personnelles, la zone de confort thermique ne peut être mesurée par des instruments. Les sensations thermiques sont mesurées par sondage; Un grand nombre de personnes ont exprimés leur sensation en face d'un large éventail d'environnements thermiques. Des moyennes ont été exprimées en fonction de différentes échelles.

A titre d'exemple, la norme ISO-7730 propose les indices de **vote moyen prévisible** PMV (Predicted Mean Vote) et le **pourcentage prévisible d'insatisfaits** PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) comme moyen d'évaluer l'environnement thermique pour diverses combinaisons de l'habillement et de l'activité, avec quatre variables d'ambiance (Température d'air, Température radiante, Humidité relative et vitesse de l'air).

Certains chercheurs ont essayé de développer des méthodes impliquant des critères d'appréciation du degré de confort d'une ambiance interne donnée. Les méthodes les plus en vue ont été élaborées par des chercheurs tels que : Fanger, Missenard, Givoni, Mahoney.

<i>Description des échelles établies pour exprimer ces votes.</i>	<i>ASHRAE</i>	<i>Fanger (PMV)</i>	<i>Rohles & Nevins</i>	<i>Gagge's DISC</i>	<i>SET (°C)</i>
	<i>le premier à développer un indice de confort 1=froid à 7=chaud</i>	<i>(Predicted Mean Vote) neutre=0</i>	<i>R&N ont étendue les limites des échelles</i>	<i>se sont orientés sur la notion d'inconfort, (DISComfort).</i>	<i>"Standard Effective Température" transcrit en température.</i>
<i>Douloureux</i>			+5	+5	
<i>Très chaud</i>			+4	+4	37,5–
<i>Chaud</i>	7	+3	+3	+3	34,5–37,5
<i>Tiède</i>	6	+2	+2	+2	30,0–34,5
<i>Léger. chaud</i>	5	+1	+1	+1	25,6–30,0
<i>neutre</i>	4	0	0	±0.5	22,2–25,6
<i>Léger. frais</i>	3	-1	-1	-1	17,5–22,2
<i>frais</i>	2	-2	-2	-2	14,5–17,5
<i>froid</i>	1	-3	-3	-3	10,0–14,5
<i>Très froid</i>			-4	-4	

Tableau II-2. Echelles des sensations thermiques.

II- 3.7 Diagrammes de confort

Chronologiquement les frères **Olgay** ont été les premiers à approfondir la notion de confort thermique, malheureusement leurs travaux se sont arrêtés au stade de considérations d'appréciations liées à des sensations physiologiques. Se basant sur les études antérieures d'Olgay concernant les indices de confort, **B. Givoni** a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychométrique courant. La zone de confort est positionnée au centre, l'aire extérieure à cette zone est subdivisée en zones secondaires, où l'auteur propose différentes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort⁷⁵.

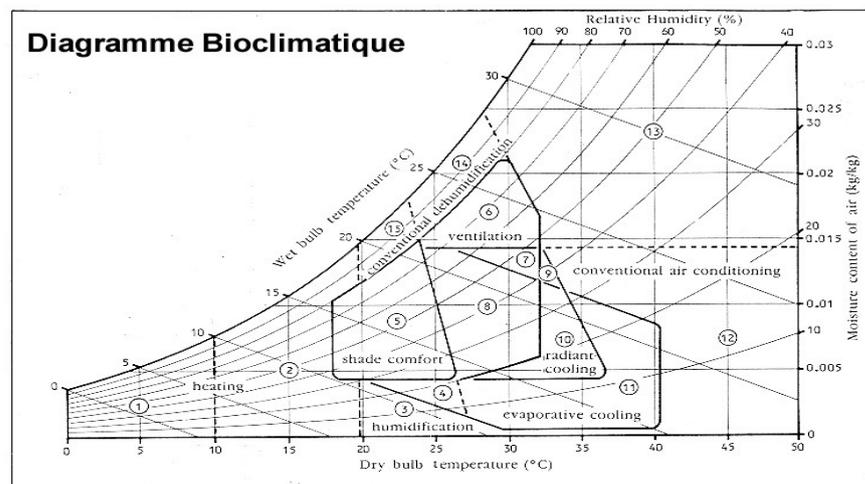


Figure II-10. Diagramme psychométrique (B. Givoni 1978)

⁷⁵ B. Givoni. (1978). Op.cit.

II- 3.8 Stratégies bioclimatiques pour améliorer le confort thermique

Fondée sur des choix judicieux ; de la forme du bâtiment, de son orientation en fonction des particularités du site (climat, ensoleillement, vents dominants, topographie...etc.), de son implantation, de la disposition des espaces, des matériaux utilisés, l'architecture bioclimatique est une conception qui vise l'utilisation des éléments favorables du milieu pour la satisfaction du confort et du bien-être de l'homme⁷⁶. En été comme en hiver, l'architecture bioclimatique a développé des stratégies passive, profitant des aspects favorables de l'environnement, pour créer une ambiance intérieure confortable.

II- 3.8.1 Confort d'été (stratégie du froid)

Au confort d'été répond la stratégie du froid qui consiste à :

- **Protéger** en érigeant des écrans (surtout au droit des ouvertures) contre le rayonnement solaire ;
- **Eviter** la pénétration de la chaleur en isolant l'enveloppe du bâtiment ;
- **Minimiser** l'apport de chaleur en limitant les apports internes afin d'éviter les surchauffes dues aux occupants et à l'équipement ;
- **Dissiper** la chaleur par la ventilation pour éviter les suurchauffes.

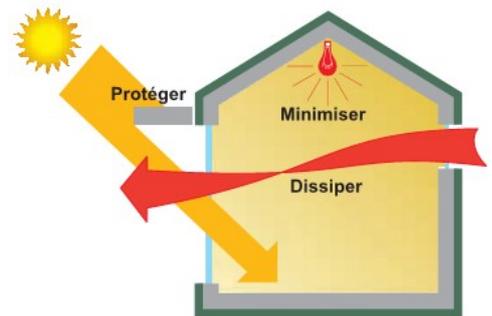


Figure II-11. Stratégie du froid

II- 3.8.2 Confort d'hiver (stratégie du chaud)

Au confort d'hiver répond la stratégie du chaud qui consiste à :

- **Capter** la chaleur en valorisant les apports solaires ;
- La **stocker** dans la masse en exploitant l'inertie thermique du bâtiment;
- La **conserver** en limitant les déperditions thermiques par une isolation efficace;
- La **distribuer** et répartir la chaleur dans le bâtiment.

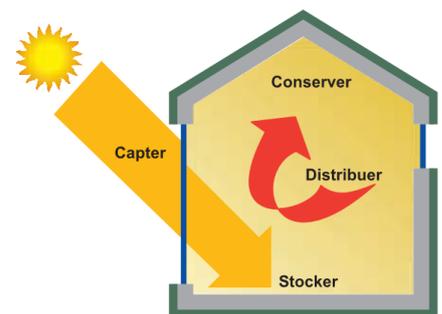


Figure II-12. Stratégie du chaud

Dans cette stratégie, les rôles de l'orientation, des surfaces vitrées, de l'inertie et de l'isolation sont prépondérants.

⁷⁶ V. Olgyay. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press. USA 1963.

II- 3.9 Confort et caractéristiques thermiques des matériaux

On citera les principales caractéristiques thermiques des matériaux de construction ayant un effet sur le confort thermique du bâti.

II- 3.9.1 Isolation thermique

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleur entre deux ambiances. Elle a pour but de protéger les bâtiments et leurs occupants contre les effets de variations de température et des conditions atmosphériques ainsi que de l'humidité⁷⁷.

Généralement, ces matériaux, dits isolants, contiennent un gaz (fréquemment de l'air) emprisonné dans des cellules ou dans un enchevêtrement de fibres.

L'isolation thermique permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage et/ou de climatisation (limite les déperditions en hiver et les apports de chaleur en été), et d'accroître le confort (maintien les températures et l'hygrométrie aux niveaux de confort d'été comme d'hiver et règle le problème de parois froides en hiver ou chaudes en été). L'isolation est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre⁷⁸. Ainsi, l'isolation thermique est triplement intéressante, en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières.

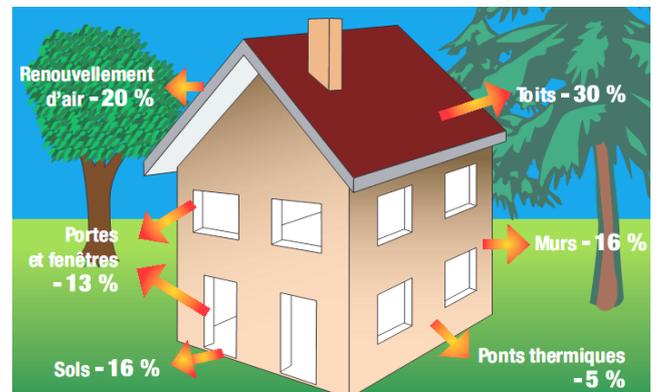


Figure II-13. Déperditions thermiques par éléments. Source : P. de Haut (2007)

D'après la norme française NF P 75-101, l'appellation "isolant thermique" dans le bâtiment est réservée aux produits dont la résistance thermique est au moins égale à 0,5 m².K/W, et dont le rapport de l'épaisseur par sa résistance thermique (conductivité thermique) est au plus égal à 0,065 W/m.K.

L'ACERMI (Agence de certification des matériaux isolants en France) a élaboré un classement de performances afin d'évaluer les aptitudes des produits isolants nommé **Isole-R**. Additivement à la résistance thermique, caractéristique principale de l'isolant, on retrouve la

⁷⁷ A. Bonhomme. Isolation thermique des bâtiments. 4e édition mise à jour et augmentée. Ed. Du Moniteur, Paris 1979. p. 24.

⁷⁸ ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), Améliorer le confort de votre maison, Le confort thermique, guide, Août 2007

compressibilité, la stabilité dimensionnelle, le comportement à l'eau, les performances mécaniques à la traction et la perméance à la vapeur⁷⁹. (Voir tableau II-3)

<i>Caractéristique physique</i>		<i>Faible</i>	<i>Forte</i>
I	➤ Incompressibilité	I1	I5
S	➤ Stabilité des dimensions	S1	S4
O	➤ Comportement à l'eau	O1	O3
L	➤ Traction	L1	L4
E	➤ Perméance à la vapeur d'eau	E1	E4

Tableau II-3. Caractéristiques Isole-R selon l'ACERMI⁸⁰

Ces caractéristiques ont été choisies car elles représentent ce que l'on attend des isolants dans leurs emplois courants de bâtiment. Elles permettent efficacement de vérifier la convenance d'un isolant donné à un emploi donné

II- 3.9.1.1 Classification des matériaux isolants

Il existe plusieurs types d'isolants thermiques et plusieurs manières de les classer, on retiendra celle établie par la norme française NF P 75-101, dont le critère de classification repose sur la structure de leur matrice solide et sur la nature chimique de la substance qui la constitue. Nous retiendrons à cet effet les types d'isolants suivants⁸¹ :

II- 3.9.1.1.1 Les isolants fibreux

Nous distinguons dans cette catégorie, les isolants fibreux **minéraux** manufacturés à partir de matières amorphes fondues tel que le basalte, le verre, la silice vitreuse. Les principaux représentants sont les laines minérales et les isolants en fibres céramiques. Les isolants fibreux **organiques**, par contre, sont d'origine naturelle, comme la laine de bois, la laine animale ou manufacturés à partir de matières plastiques comme les fibres de polyester.



Fibre de bois en panneau rigide.



Laine de verre en rouleau.



Laine de roche panneau rigide.

Figure II-14. Isolants fibreux. (Source: C. Langlais & al.)

⁷⁹ Y. Couasnet. Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction. 2^e Ed Le moniteur. Paris 2007. p..303

⁸⁰ T. Salomon et S. Bedel (2004). Op.cit. p. 30

⁸¹ C. Langlais et S. Klarsfeld. « Isolation thermique à température ambiante. Propriétés » Techniques de l'ingénieur. Document n° C 3 371. France.

II- 3.9.1.1.2 Les isolants cellulaires

Ce sont les matériaux poreux à matrice solide contenant des cellules fermées, ouvertes ou partiellement ouvertes, contenant de l'air ou un autre gaz ayant servi à l'expansion du matériau initial. Parmi les isolants cellulaires d'origine minérale, on retrouve le béton cellulaire léger et le verre cellulaire. Parmi les isolants cellulaires organiques manufacturés on compte le polystyrène expansé et extrudé, le polyuréthane, le polychlorure de vinyle, la mousse phénolique et les mousses souples d'élastomère.



Figure II-15. Polystyrène extrudé en panneau. (Source : C. Langlais & al.)

II- 3.9.1.1.3 Les isolants pulvérulents, nodulaires ou granulaires

Les matériaux d'origine minérale sont la perlite et la vermiculite qui se présentent respectivement sous forme de grains et de paillettes obtenus à partir de l'expansion à chaud de roches volcaniques et de mica, le granulat de verre cellulaire, les flocons de laine de roche ou de verre. Les isolants d'origine organique sont les granulats de liège, les copeaux de mousse rigide de polychlorure de vinyle, les fibres de cellulose (obtenues à partir de papiers, de cartons, de pâte à bois avec ou sans liant et d'autres adjuvants) et les perles expansées à partir de granules de polystyrène.

II- 3.9.1.1.4 Les superisolants

Ce sont des matériaux manufacturés, c'est-à-dire des matériaux microporeux de type cellulaire, comme des plaques aérogel de silice monolithique, ou pulvérulents, comme les poudres aérogel ou les poudres ultrafines (nanomatériaux) de silice. On peut les obtenir également à partir d'isolants en poudre ou en fibre, sous vide, confinés dans un espace étanche.

II- 3.9.1.2 L'isolation écologique

Les isolants, de par leur effet réducteur de la consommation d'énergie, participent par définition à la préservation de l'environnement et des ressources naturelles. Mais pour être vraiment écologiques, ils doivent, en plus, avoir un impact environnemental le plus faible possible au cours des phases successives de production, de mise en œuvre, d'utilisation et de recyclage⁸². Les isolants écologiques présentent un meilleur écobilan que les isolants

⁸² P. de Haut. (2007). Op.cit. p. 47

minéraux ou synthétiques qui dominent le marché : matière première renouvelable et recyclable, peu d'énergie grise ou d'émission de CO₂ pour leur production, moindre nocivité.

Des recherches⁸³ sont même arrivées plus loin ; en valorisant des déchets dans le domaine du bâtiment. En effet, les propriétés isolantes de matériaux élaborés à partir des déchets grignon/cellulose se sont avérées très intéressantes avec des valeurs expérimentales du coefficient de conductibilité thermique λ arrivées à 0,08 W/m.°C.

II- 3.9.1.3 Les formes de base des matériaux isolants

Les matériaux isolants se présentent sous différentes formes. Cette diversité intéressante dans la mesure où chaque forme d'isolant peut s'adapter à un usage spécifique. Les principales formes sont⁸⁴:

- En matelas ou rouleau : il est assez souple pour remplir les vides et on peut le découper pour l'adapter à des reliefs importants.
- L'isolant en vrac est parfait pour combler les vides peu accessibles ou de forme irrégulière. Il peut venir en complément des autres isolants.
- En panneau, idéal pour les surfaces planes, planchers, dalle flottante, murs, en isolation intérieure ou extérieure.
- La mousse à vaporiser vient en complément des autres isolants pour les travaux peu accessibles.

II- 3.9.2 Conductivité thermique

C'est le flux de chaleur, par mètre carré, traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température de un degré entre les deux faces. Elle s'exprime en watts par mètre et par degré Celsius (**W/m.°C**). C'est une donnée intrinsèque à chaque matériau, qui caractérise donc uniquement ses performances isolantes. Le coefficient λ (lambda) d'un matériau caractérise sa capacité à transmettre la chaleur par conduction, plus λ est grand, plus le matériau est conducteur de chaleur. Plus λ est petit, plus le matériau est isolant thermiquement⁸⁵.

⁸³ M. Dahli et R. Toubal. « Elaboration d'un matériau isolant à base de déchets grignon/cellulose ». in Revue francophone d'écologie industrielle - N° 56 - 4^e trimestre 2009.

⁸⁴ Batirénover. Guide pratique de la rénovation thermique. 2e partie. Avril 2009

⁸⁵ F. Jadoul, La Terre est notre maison, Construire, rénover, habiter en respectant l'Homme et l'environnement, Ed. Luc Pire, Bruxelles 2002, p.50.

II- 3.9.3 Résistance thermique

La résistance thermique R mesure combien un matériau «résiste» à la perte de chaleur. Plus R est élevée, mieux c'est⁸⁶. La résistance thermique d'un matériau dépend de son épaisseur et aussi de sa conductivité thermique.

II- 3.9.4 Inertie Thermique

C'est la propriété d'un matériau lui permettant de stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et d'amortir les variations de température⁸⁷. Les matériaux à forte inertie thermique dits « lourds » ont un double rôle : stocker la chaleur en hiver et amortir les surchauffes en été. La masse des matériaux permet de maintenir la fraîcheur le jour en été, et de restituer de la chaleur la nuit en hiver. Le retard des variations internes par rapport aux variations externes est appelé déphasage et s'exprime en heures.

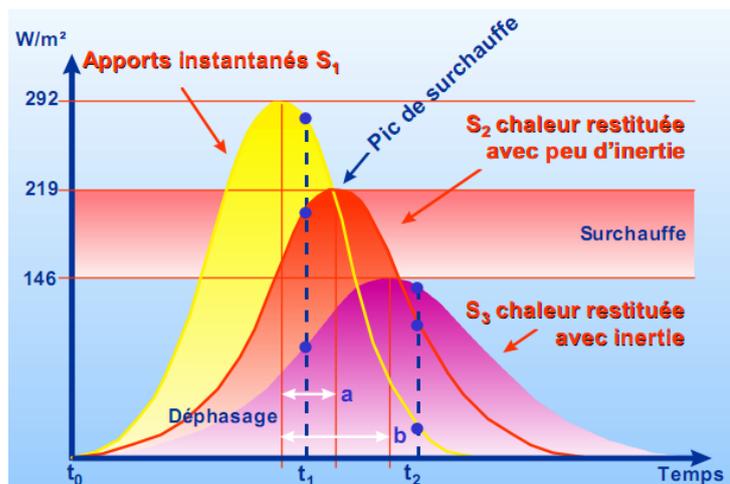


Figure II-16. Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires.

Source : A.de Herde & al (2005)

Associée à l'isolation thermique des bâtiments, l'inertie thermique est un critère majeur du confort hygrométrique, car, à eux deux, ils favorisent à la fois le bien-être des personnes et les économies d'énergie grâce aux matériaux qui emmagasinent et restituent petit à petit chaleur ou fraîcheur, permettant un réchauffement ou un refroidissement progressif.

II- 3.9.5 Capacité thermique

La capacité thermique d'un matériau est le produit de sa masse volumique par sa chaleur spécifique, cette dernière étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de masse de 1°C. La capacité thermique est donc la quantité de chaleur mise en réserve lorsque sa température augmente de 1°C.

Plus la capacité thermique est élevée, plus la quantité d'énergie que peut stocker le matériau pour que sa température s'élève d'un degré est grande. Les variations de températures des

⁸⁶ P. G. Bellin. L'habitat bio-économique. Ed. Eyrolles. Paris 2008. p. 20

⁸⁷ T. Salomon et S. Bedel. (2004). Op.cit. p. 16

parois et de l'air seront d'autant plus faibles que la capacité thermique des matériaux sera plus forte. D'une manière générale, les matériaux à forte capacité thermique sont aussi les plus lourds.

II- 3.9.6 Diffusivité thermique

La diffusivité thermique caractérise **la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps**. Plus elle est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau, et donc, plus le temps entre le moment où la chaleur est arrivée sur une face d'un mur et le moment où elle atteindra l'autre face est important.

La diffusivité est le rapport de la conductivité d'un corps à sa capacité thermique ⁸⁸:

Avec :

- d : diffusivité en m^2/s
- λ : conductivité thermique en $W/m \cdot ^\circ C$
- ρ : masse volumique en kg/m^3
- c : chaleur spécifique en $kJ/kg \cdot ^\circ C$.

$$d = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

II- 3.9.7 Effusivité thermique

L'effusivité caractérise la capacité des matériaux à réagir plus ou moins rapidement à un apport de chaleur intérieur au logement, que cet apport soit le fait d'une source interne ou du rayonnement solaire. Plus l'effusivité est grande, plus la chaleur interne à la pièce sera absorbée rapidement par le mur, et donc, plus l'élévation de température dans le local sera limitée. On privilégiera les matériaux ayant une grande effusivité. Elle est donnée par la formule suivante et s'exprime en $W \cdot s^{0,5}/m^2 \cdot ^\circ C$ ⁸⁹:

$$Ef = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$$

Cette capacité ne signifie pas que la température du mur s'élève rapidement, puisqu'une grande effusivité implique une valeur élevée de la capacité thermique, ce qui garantit de faibles variations de température de paroi et une grosse quantité d'énergie stockée.

II- 4. L'efficacité énergétique dans le bâtiment

Pratiquement jusqu'à la moitié du 19e siècle, les données climatiques et énergétiques ont été prises en compte tout naturellement, au même titre que les aspects plastiques et constructifs de l'architecture. L'évolution rapide du génie climatique a libéré les architectes de ces contraintes et les a amenés à se concentrer sur les aspects structurels et formels. L'architecture

⁸⁸ A. Degiovani. « Diffusivité et méthode flash ». in revue générale de thermique n° 185. France 1977.

⁸⁹ J. L. Izard. Architecture d'été – construire pour le confort d'été. Ed. Edisud. Paris 1993. P. 68

s'est ainsi petit à petit éloignée de la nature, ce qui explique l'utilisation irresponsable des ressources énergétiques⁹⁰.

Depuis les années 70, suite à la crise du pétrole, une prise de conscience et des efforts conséquents ont été fournis afin d'intégrer l'efficacité énergétique dans tout les secteurs économiques. Le secteur résidentiel, gros consommateur d'énergie et par conséquent pollueur, est l'une des cibles privilégiées. La réhabilitation thermique du parc logement existant dans le cadre d'une efficacité énergétique soucieuse du confort des utilisateurs peut participer fortement à minimiser les effets de la crise énergétique et son corollaire écologique.

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau de confort ou de qualité de service dans les bâtiments⁹¹. Cette définition met le point sur les deux conditions principales de l'efficacité dans le bâti : le confort des occupants et l'économie d'énergie.

II- 4.1 Situation énergétique et environnementale mondiale

Des points de vue énergétique et environnemental, la situation mondiale connaît ces dernières décennies un bouleversement sans précédent qui risque d'entraîner le monde vers des conditions incontrôlables et non maitrisables.

II- 4.1.1 L'énergie ; vers l'épuisement des ressources

Aujourd'hui plus qu'hier, la situation énergétique mondiale est en crise, et le prix du pétrole ne cesse de monter présageant des crises économiques, sociales et même politiques imminentes. Le prix du pétrole a presque triplé en l'espace d'une année (2007-2008) causant une hausse considérable des prix dans tous les secteurs, quoi de plus normal puisque l'énergie est la source de tout les produits qu'ils soient alimentaires, industriels ou de service.

Olivier SIDLER, directeur du projet « *Renaissance* » du programme européen CONCERTO, qui étudie la rénovation à basse consommation d'énergie des logements en France, affirme qu'au rythme de consommation actuel, les réserves prouvées⁹² d'énergie fossile sont de **40** années pour le **pétrole**, **63** pour le **gaz**, **218** pour le **charbon** et **71** pour l'**uranium**. Et si, au lieu de raisonner à consommation constante (ce qui est évidemment faux), on tient compte de

⁹⁰ R. Gonzalo et K. J. Habermann, Architecture et efficacité énergétique. Ed. Birkhauser. Berlin 2008. p. 88

⁹¹ Définition issue de la loi d'efficacité énergétique turque : « Energy efficiency means reducing the energy consumption without causing any decline in the living standards and service quality in buildings, and production quality and quantity in industrial establishments ».

⁹² Voir www.manicore.com « Pétrole dont l'existence est physiquement prouvée, sans considération sur la possibilité de récupération future. » À distinguer des réserves probables : « pétrole dont l'existence sous terre est considérée comme probable, compte tenu des caractéristiques géologiques de réservoirs découverts à proximité, etc. » et des réserves possibles « pétrole dont l'existence sous terre est considérée comme seulement possible ».

l'augmentation annuelle de la demande (égale à 2%/an depuis 30 ans), dans 50 ans l'ensemble des réserves prouvées sera épuisé⁹³.

Ce délai peut paraître large sur le plan individuel, mais qu'en est-il des générations futures ?

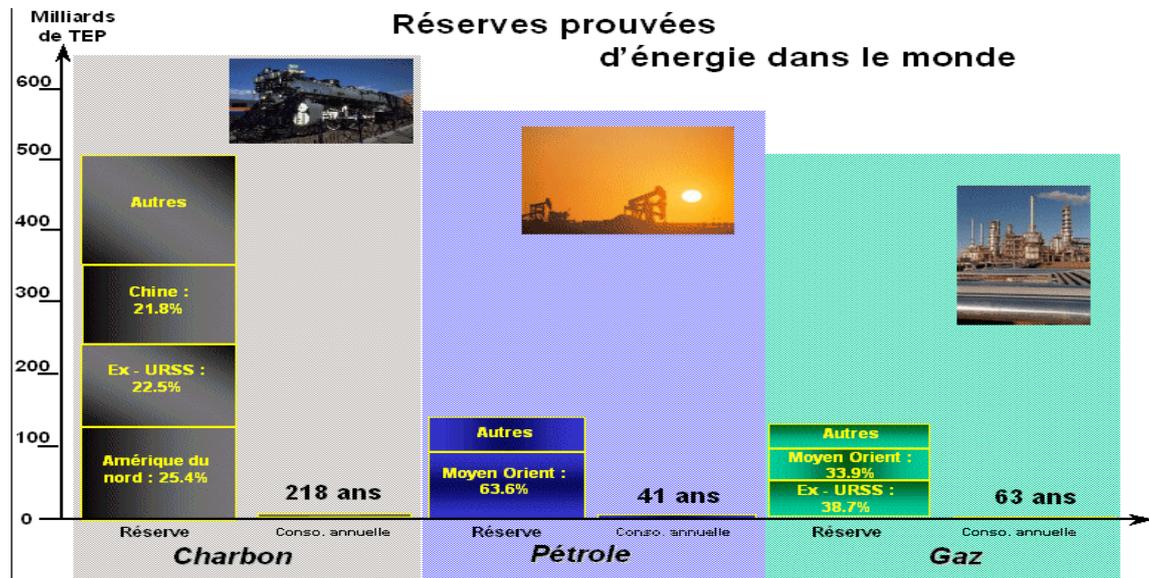


Figure II-17. Réserves prouvées d'énergie dans le monde. (Source: AIE/OCDE)

II- 4.1.2 L'environnement, entre risques et désordres

De même que pour l'épuisement prochain des ressources fossiles, la réalité du changement climatique, dû à l'augmentation exceptionnelle des émissions de gaz à effet de serre produits par l'activité humaine, est désormais incontestable. Le réchauffement climatique, dû à l'augmentation des GES, en est la preuve tangible. Les principales conséquences du réchauffement de la planète sont :

- Une augmentation de la température ;
- Une augmentation du niveau de la mer ;
- Des sécheresses et des inondations plus sévères et une augmentation des précipitations;
- Une modification de l'équilibre entre les espèces;
- Des conséquences préjudiciables sur la santé humaine.

Le bâtiment s'avère parmi les secteurs économiques qui ont le plus d'impact sur l'environnement, les graphiques suivants exprime l'importance de cet impact⁹⁴.

⁹³ O. Sidler, Rénovation à basse consommation d'énergie des logements en France. Projet «RENAISSANCE» Programme européen CONCERTO. Août 2007. p.5.

⁹⁴ R. Hyde. Bioclimatic housing, innovative designs for warm climates. Ed. Earthscan, 2008. p. 29.

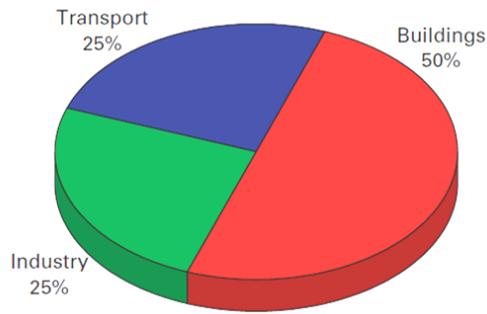


Figure II-18. Les proportions de l'utilisation de combustibles fossiles dans les pays développés.

Graphique montrant le grand impact des bâtiments dans le monde développé, en termes de consommation d'énergie, d'émissions de gaz à effet de serre et de changement climatique.

(Source: Max Fordham et partenaires)

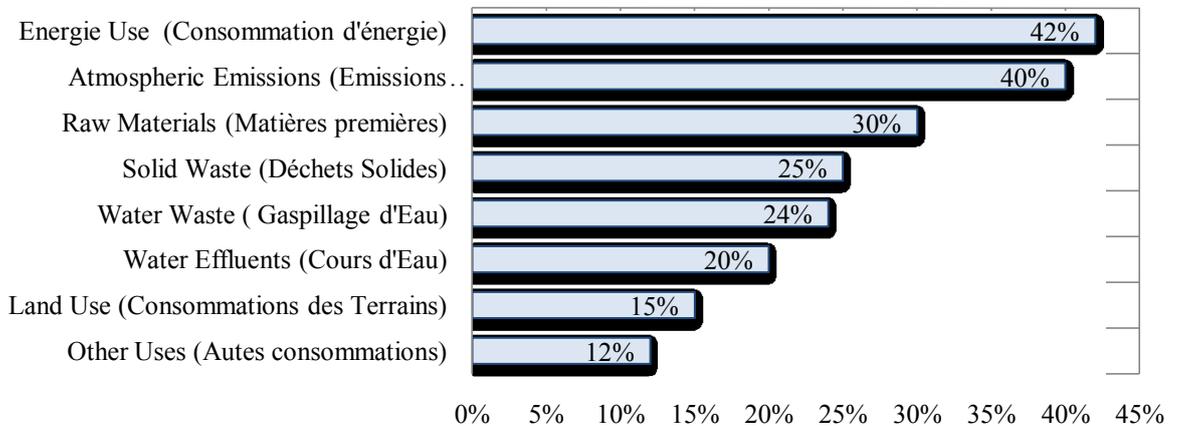


Figure II-19. Les impacts environnementaux des bâtiments

II- 4.2 Le contexte en Algérie : le bâtiment, l'énergie et l'environnement

On ne pourra estimer l'impact du secteur du bâtiment sur l'économie du pays, et principalement son caractère énergivore sans passer en revue l'état de la production et de la consommation énergétique par produits et par secteurs.

II- 4.2.1 La consommation énergétique par secteur économique

D'après les chiffres recueillis, pour l'année 2005, par l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), dans son rapport sur la consommation énergétique finale de l'Algérie, la consommation nationale totale d'énergie finale s'élève à environ 17 millions de TEP (tonne équivalent pétrole)⁹⁵.

La figure suivante ainsi que le tableau qui lui est associé, illustrent la répartition de cette consommation entre les différents secteurs de l'économie.

⁹⁵ Ministère de l'Energie et des Mines, Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), Consommation énergétique finale de l'Algérie, Chiffres clés Année 2005. Edition.2007.

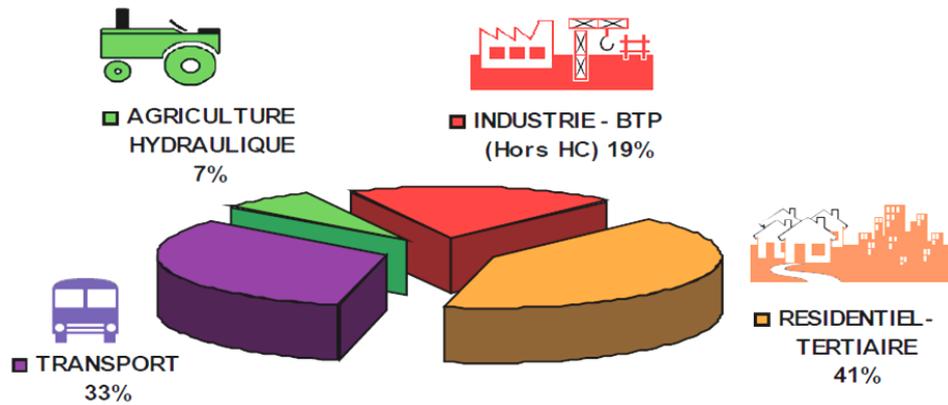


Figure II-20. Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en 2005
(Source : APRUE, 2007)

KTEP/PCI/2005	Solides	Essence	Gas Oil	Fuel lourd	Fuel léger	GPL	GN	Electricité	Total
INDUSTRIE + BTP	0	0	548	0	0	72	2 078	528	3 226
RESIDENTIEL	0	0	1 165	0	54	1 498	2 509	807	6 034
TERTIAIRE	0	0	101	0	0	55	360	498	1 013
TRANSPORT	0	2 377	2 482	334	0	338	0	4	5 536
AGRICULTURE +HYDRAULIQUE	2	0	862	0	0	0	0	266	1 130
Consommation Finale	2	2 377	5 158	334	54	1 964	4 947	2 104	16 939

Tableau II-4. Répartition de la consommation Finale 2005 par secteur et par type d'énergie.
(Source : APRUE, 2007)

La lecture de ces données démontre l'importance, souvent méconnue, de la consommation d'énergie dans le secteur du résidentiel-tertiaire qui représente près de la moitié de la consommation d'énergie finale en Algérie.

II- 4.2.2 Evolution de la consommation

L'amélioration du niveau de vie du citoyen, les efforts réalisés par l'état dans le domaine de l'électrification et des réseaux de gaz dans toutes les régions du pays ainsi que l'évolution technologique dans tous les domaines et parmi eux le domaine des équipements ménagers, a fait que la consommation de énergétique n'a pas cessé d'augmenter depuis l'indépendance à nos jours. D'après les statistiques établies par l'APRUE, entre 2000 et 2005⁹⁶, La consommation énergétique finale nationale a enregistré un taux de croissance moyen annuel de l'ordre de 5,68%.

La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel en particuliers a augmenté considérablement au cours des dernières années du fait de l'accroissement du parc des bâtiments (un parc qui a triplé depuis l'indépendance à nos jours), de l'accroissement de la

⁹⁶ APRUE, (2007). Op.cit.

surface moyenne des logements, de l'augmentation du confort et de l'apparition de nouveaux besoins.

II- 4.2.3 L'énergie dans le Résidentiel

Avec un taux d'équipement des ménages de 70% et un taux d'électrification de 98% ainsi qu'un taux de raccordement au réseau gaz naturel est de 36%, la consommation énergétique moyenne annuelle d'un logement est arrivée à 1,050 tep.

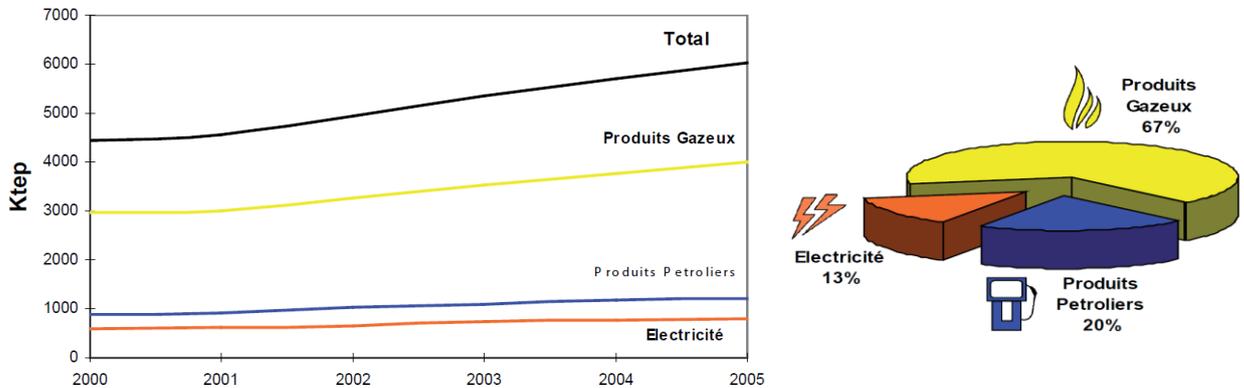


Figure II-21. L'évolution de la consommation du secteur résidentiel. (Source: APRUE, 2007)

La consommation finale du secteur résidentiel a atteint 6 millions de tep en 2005, un chiffre qui ne devrait pas s'arrêter là vu le taux d'évolution de la consommation de ce secteur.

II- 4.2.4 L'énergie, l'environnement et les GES en Algérie

L'indicateur représenté ici par l'émission des GES sert à évaluer et à comparer l'impact des différents secteurs économiques sur l'environnement, en se référant au tableau suivant qui décrit le bilan des émissions des GES par secteur, on notera qu'hormis les industries énergétiques et le transport, les secteurs du bâtiment et du résidentiel et tertiaire se trouvent parmi les secteurs les plus concernés par les émissions de GES.

	Consommation (ktep)	Emissions GES (Teg CO ₂)
Agriculture & Hydraulique	1 130	1 538
Industrie & BTP	3 226	3 881
Résidentiel & Tertiaire	7 047	6 312
Transport	5 536	9 574
Industries Energétiques	5 889	18 544

Tableau II-5. Bilan des émissions des GES par secteur. (Source : APRUE 2007)

Conclusion

Loin d'être uniforme sur l'ensemble des secteurs de l'économie, la croissance de la consommation d'énergie est principalement imputable aux secteurs de transport et du

résidentiel-tertiaire. Ce dernier a connu une évolution d'environ 20% entre 2000 et 2005. Il représente de ce fait le plus gros gisement d'économie d'énergie parmi tous les autres secteurs. Une réhabilitation du secteur résidentiel en particulier aura un effet plus que favorable dans le triple but économique, environnemental et social.

II- 4.2.5 Le contexte réglementaire

En 1986, l'Algérie, pays exportateur de pétrole et de gaz naturel, subit de plein fouet le contrechoc pétrolier : les prix du pétrole baissent et provoquent une diminution des rentrées de devises pour le financement de l'activité économique. Dans ce contexte, le pays prend conscience de la nécessité de définir une politique d'efficacité énergétique⁹⁷. Hormis ses engagements à l'échelle internationale*, un cadre réglementaire s'est installé au niveau national en faveur d'un développement durable, une meilleure maîtrise de l'énergie et la promotion des énergies renouvelables dans le développement économique et une protection de l'environnement et la préservation des ressources naturelles.

Toutefois, cet arsenal réglementaire a négligé le bâti existant et sa réhabilitation thermique, malgré qu'il constitue la majorité du parc, ce qui peut bénéficier à la plus grande frange de la population et qui peut constituer le plus grand gisement d'économie d'énergie.

Les principaux textes réglementations relatifs au bâtiment et sa relation à l'énergie et l'environnement sont cités en annexe (01).

II- 4.3 Efficacité énergétique dans le bâtiment : du neuf vers l'existant

L'efficacité énergétique, selon Thierry Salomon dans sa conception de la maison des [Nega]watts⁹⁸, correspond à réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, soit, mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante.

Le rapport final de la « comparaison internationale bâtiment et énergie » initié par PREBAT* note qu'en construction neuve ou en réhabilitation, un bâtiment efficace énergétiquement est avant tout un concept d'ensemble saisissant dans un même mouvement l'architecture, le climat, l'enveloppe et les équipements⁹⁹. L'efficacité énergétique passe également par une vision d'ensemble du processus de construction ou de rénovation : conception, réalisation, maintenance exploitation.

⁹⁷ C. A. Sénit. « L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel : une analyse des politiques dans les PSEM ». in Idées pour le débat. N° 14/2008.

* L'Algérie est signataire de plusieurs accords internationaux relatifs à l'environnement, elle a ratifiée en 1993 la Convention Cadre des Nations Unies pour les Changements Climatiques (CCNUCC), ce qui l'engage à rejoindre le concept de développement durable dans son développement économique et social.

⁹⁸ T. Salomon et al. (2004). Op.Cit. p. 11.

* Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Energie dans le Bâtiment.

⁹⁹ PREBAT, ADEME, PUCA, CSTB. Comparaison internationale bâtiment et énergie. Rapport final. Décembre 2007. p. A19.

Afin d'arriver à une réalisation efficiente, une « triade énergétique » devrait être assurée¹⁰⁰:

- Réduction de la consommation d'énergie : systèmes constructifs, parois opaques, parois transparentes ;
- Utilisation efficace d'énergie fossile : ventilation double flux avec récupération de chaleur, systèmes compacts chauffage ventilation eau chaude, rafraîchissement basse consommation, micro cogénération ;
- Emploi d'énergies renouvelables : photovoltaïque, systèmes solaires combinés chauffage eau chaude, stockage de chaleur, éclairage, micro réseaux de chaleur.

II- 4.3.1 Classification des bâtiments efficaces énergétiquement

Suivant leurs niveaux de performances énergétiques, les bâtiments sont classés en trois familles¹⁰¹ : bâtiments performants, bâtiments très performants et bâtiments zéro énergie ou à énergie positive.

Il existe une multitude d'opérations (programmes de recherche, labels, réalisations), pour chaque famille. Ces opérations sont fréquemment basées sur la définition de concepts de bâtiments qui définissent à la fois un niveau de performance à atteindre et des exemples de solutions permettant d'atteindre ce niveau. Elles partent d'une même analyse du bilan énergétique orientée par la triade : réduire les besoins énergétiques, utiliser des énergies renouvelables, produire le complément d'énergie de façon efficace¹⁰².

Les différences essentielles entre les programmes portent sur :

- le niveau d'ambition visé en matière de performance énergétique : modéré dans certains programmes, élevé ou très élevé dans d'autres,
- le traitement des consommations d'électricité : peu présent dans certains programmes et central dans les programmes intégrant le photovoltaïque,
- une orientation marquée sur le neuf ou une prise en compte des problématiques de réhabilitation,

II- 4.3.1.1 Bâtiments performants « basse énergie »

Les bâtiments performants, souvent appelés bâtiments basse énergie, existent à plusieurs milliers d'exemplaires. Ils se caractérisent principalement par une conception architecturale bioclimatique, une bonne isolation thermique (15 à 20 cm d'isolant), des fenêtres

¹⁰⁰ PREBAT. (2007). p. A20.

¹⁰¹ F. Chlela. Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle. 2008. p. 3.

¹⁰² Ibid. m. p.

performantes, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puits climatique, un système de génération performant (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité à l'air et aux ponts thermiques.

On a également recours à des sources d'énergies renouvelables pour la production d'énergie, comme le solaire, l'air, la géothermie ou le bois. Les opérations les plus connues de ce type de bâtiments sont les labels Suisse MINERGIE et MINERGIE-ECO.

II- 4.3.1.2 Bâtiments très performants « très basse énergie »

Il s'agit en général de bâtiments passifs dont le concept a été défini par le Dr. Wolfgang Feist de l'institut de recherche allemand Passivhaus. Ils sont définis comme étant des bâtiments dans lesquels l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel ni à un système conventionnel de chauffage ou de refroidissement.

Cet objectif peut être atteint grâce à une forte isolation thermique (30 à 40cm), une forte réduction de ponts thermiques et une très bonne étanchéité à l'air. De plus, les déperditions par ventilation sont réduites à travers un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. La ventilation double flux est parfois couplée à une installation de puits climatique afin de préchauffer l'air neuf et de protéger la centrale double flux des risques de givrage.

II- 4.3.1.3 Bâtiments zéro énergie ou à énergie positive

Un bâtiment zéro énergie ou à énergie positive est défini comme étant un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ces bâtiments sont la combinaison de bâtiments basse énergie ou passifs avec des systèmes d'énergies renouvelables tels que les toits solaires photovoltaïques.

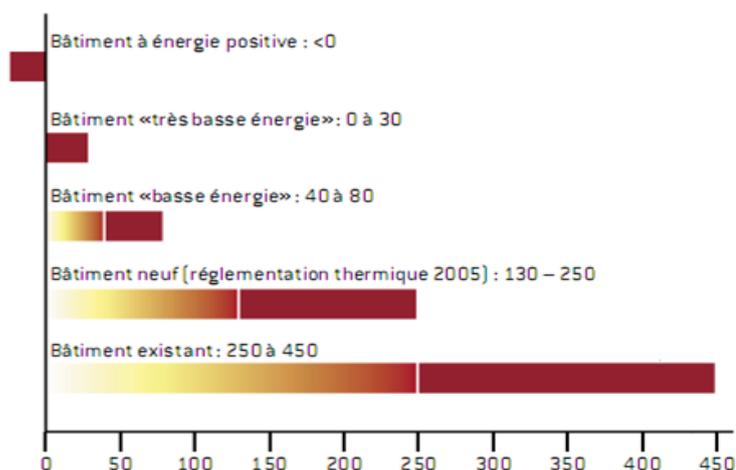


Figure II-22. Fourchettes de consommations en chauffage, eau chaude, et rafraîchissement (voire ventilation) pour un logement résidentiel. Consommation (kWh/m².an) exprimée en énergie primaire*/m² de SHON

Source : Guide des bâtiments économes en énergie. Construction neuve et rénovation

II- 4.3.2 La réhabilitation thermique ou introduction du concept de l'efficacité énergétique dans l'habitat existant

Si l'économie d'énergie dans l'habitat neuf a été pris en charge par différentes mesures (réglementaires et incitatives), la réhabilitation de l'habitat existant n'a pas eu le même sort, mais, ces dernières années la réhabilitation énergétique du parc existant a connu un intérêt particulier et ceci pour les raisons suivantes selon Peter F. Smith ¹⁰³:

- La hausse rapide des prix des énergies fossiles et leur fin proche, pour cela le parc habitat existant représente le plus gros potentiel d'économie d'énergie ;
- Les dangers avérés des changements climatiques et leurs effets dureront encore pendant des siècles;
- La plus value que représente cette réhabilitation en tant que valeur immobilière ;
- L'impact des habitations mal isolées sur la santé des occupants ;
- Le confort thermique que pourra induire la réhabilitation thermique des habitations ;

L'intérêt pour la réhabilitation ou rénovation thermique a poussé des associations, labels ou approches qui prônaient l'économie d'énergie et l'éco-construction dans l'habitat neuf à prendre en charge la partie existante du parc bâti*.

Toutefois, la réhabilitation de l'ancien doit obéir à des conditions ; selon R. Gonzalo, les critères essentiels pour la construction dans l'ancien résident dans sa capacité à être rénové et dans l'intérêt de cette opération¹⁰⁴. On comprend par là l'importance d'un diagnostic préalable de l'état du bâti afin de déterminer la faisabilité d'une réhabilitation ; des points de vue techniques et économiques. Ainsi, outre l'état du bâti, d'autres aspects sont à considérer au moment d'une réhabilitation pour en détenir le bien-fondé:

- Rentabilité par rapport à une construction neuve ;
- Faisabilité fonctionnelle ;
- Considérations liées à la protection du patrimoine ;
- Aspects écologiques et énergétiques.

Dans cette perspective, dans le prochain chapitre, nous allons passer en revue l'état actuel des connaissances dans le domaine de la réhabilitation thermique du bâti existant. Cet état de l'art traitera des labels et approches et des solutions concernant ce type d'intervention. Ce travail

¹⁰³ P. F. Smith, Eco-Refurbishment A guide to saving and producing energy in the home, Ed. Architectural Press, London 2004, p.1.

* Prenant les exemples du label allemand PASSIVHAUS qui a aujourd'hui deux branches le PASSIVHAUS pour le neuf et pour l'existant ou MINERGIE qui est un label suisse de qualité certifiant les bâtiments neufs ou rénovés.

¹⁰⁴ R. Gonzalo et al. (2008). p. 101

nous aidera à tirer le meilleur profit de l'expérience internationale et d'en sortir avec les méthodes qui peuvent le mieux s'adapter au contexte algérien.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de démontrer comment le bâtiment peut, malgré les contradictions et les difficultés apparentes, être en même temps, bénéfique pour le confort de ses occupants et efficace énergétiquement, faudrait-il avant tout comprendre et maîtriser les éléments et paramètres agissants sur ces deux aspects primordiaux pour le bien-être de des utilisateurs.

Dans le contexte actuel, où le développement durable prend une place importante dans toutes les activités humaines, et où il semble être le dernier recours pour installer les mécanismes nécessaires pour la perpétuation – ou même l'amélioration - du niveau de vie et le confort des hommes, la préservation des ressources de la planète et la diminution des émissions des GES, dans ce contexte, la réhabilitation thermique dans le secteur de la construction, et spécialement dans l'habitat, s'avère être comme un des piliers majeurs de ce type de démarche qu'est le développement durable.

Afin de mieux maîtriser la démarche pour la réhabilitation thermique des bâtiments, nous devons passer par les expériences déjà entreprises dans ce domaine, pour en sortir avec les enseignements utiles à notre étude ; c'est ce qu'on verra dans le prochain chapitre.

**Chapitre III- ETAT DE L'ART DE
LA REHABILITATION THERMIQUE
DANS LE BATIMENT**

Introduction

Dans toute démarche scientifique, le recours à l'analyse de l'expérience dans un domaine donné est primordial pour la bonne conduite de l'étude. Dans ce but, un état de l'art sur le domaine de la réhabilitation thermique est établi afin de conduire à un bilan des connaissances pour ce qui concerne les projets réalisés, les techniques utilisées et les relations entre les acteurs.

Il existe une multitude d'opérations (programmes de recherche, labels, réalisations) qui prennent en charge les actions de réhabilitation thermique de l'habitat. Ces opérations sont fréquemment basées sur la définition de concepts de bâtiments. Ces concepts définissent à la fois un niveau de performance à atteindre et des exemples de solutions permettant d'atteindre ce niveau. On a donc systématiquement une approche portant sur ¹⁰⁵:

- l'isolation des parois et la réduction des ponts thermiques, la conception d'une enveloppe bien étanche et le remplacement d'une aération non maîtrisée par un système de ventilation avec récupération de chaleur,
- le confort thermique d'été : traité par des solutions passives qui sont associées dans certains cas, à des systèmes de refroidissement performants,
- le recours à une conception architecturale bioclimatique et à des sources d'énergies renouvelables pour la production d'énergie, comme le solaire, l'air, l'eau, la géothermie et le bois,
- l'utilisation de générateurs d'énergie à haute efficacité et la réduction des pertes de distribution.

Quelques distinctions sont à noter entre les différents programmes et démarches, cela dépendant du niveau d'ambition visé en matière de performance énergétique, de l'orientation marquée sur le neuf ou d'une prise en compte des problématiques de réhabilitation.

III- 1. Etat de l'art en Algérie

L'habitat produit en Algérie pose actuellement de sérieux problèmes en termes de qualité de vie et plus particulièrement de confort thermique, son bilan thermique, que se soit en hiver ou bien en été, étant généralement négatif. Les dernières études, notamment celle de l'APRUE, ont montré que le secteur résidentiel et celui des services en Algérie consomment plus de 40% du total de l'énergie*.

L'Algérie, afin de remédier à ce double problème d'habitat « inconfortable » thermiquement et énergivore, et après avoir réalisé des expérimentations dans le neuf (Village solaire intégré

¹⁰⁵ F. Chlela (2008). Op.cit.

* Voir dans le chapitre II. § 4-2-1 La consommation énergétique par secteur économique.

de Boussaâda et le projet Med-Enec), entreprend d'intervenir sur l'habitat existant, cela à travers plusieurs programmes et projets pilotes, parmi eux le programme ECO-BÂT.

III- 1.1 Programme ECO-BÂT

Le programme ECO-BAT est un projet initié par l'APRUE dans le cadre du PNME* 2007-2011 en collaboration avec les offices de promotion et de gestion immobilière (OPGI)¹⁰⁶. Le programme ECO-BAT contient deux projets pilotes:

1. Projet de réalisation de 600 logements à haute performance énergétique (HPE) sur tout le territoire national.
2. Projet de **rénovation thermique de 100 logements**.

ECO-BAT vise par le lancement de ces deux projets les objectifs suivants ¹⁰⁷:

- L'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation ;
- La mobilisation des acteurs du bâtiment autour de la problématique de l'efficacité énergétique ;
- La réalisation d'une action démonstrative, preuve de la faisabilité des projets à haute performance énergétique en Algérie ;
- Introduire la pratique de la rénovation thermique du parc de logements existants ;
- Créer un marché de rénovation thermique par l'introduction des matériaux adéquats et des corps de métiers appropriés ;
- La provocation d'un effet d'entraînement des pratiques de prise en considération des aspects de maîtrise de l'énergie dans la conception architecturale.

Le programme ECO-BAT fait partie d'un plan d'action relatif au secteur du bâtiment résidentiel qui prévoit les actions exposées dans le tableau suivant :

<i>Axe d'intervention</i>	<i>Taux d'aide (%)</i>	<i>Apport FNME (MDA)</i>	<i>Investissements générés (MDA)</i>	<i>Valorisation à l'export (MDA)</i>	<i>Economie d'énergie (TEP)</i>	<i>Tonnes CO² évitées</i>
Eclairage Performant	100	526	526	1453,4	55900	167700
Froid performant	80	80	100	156,5	6020	18060
Eau chaude solaire	45	20	44	26,83	1032	3095
Logements HPE	80	100	126	134,1	5160	15480
Rénovation thermique	80	16	20	21,24	817	2451
	TOTAL	742	816	1792	68929	206786

Tableau III-1. Plan d'action relatif au secteur du bâtiment résidentiel (Source: APRUE)

* P.N.M.E : Programme National de Maîtrise de l'Énergie.

¹⁰⁶ APRUE. « Programme ECO-BAT, Signature d'une convention entre l'Aprue et 11 OPGI ». in La lettre, Bulletin trimestriel de l'Aprue. N° 15. Juin 2009

¹⁰⁷ www.aprue.org.dz.

III- 1.2 Réhabilitation d'une maison en intégrant le solaire actif et les principes de la bioclimatique à Ghardaïa (2007)

Ce projet a été réalisé par l'équipe bioclimatique de la division solaire thermique & géothermie du Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) en collaboration avec Med-Enec. Le but étant d'œuvrer pour le développement de la bioclimatique et du confort dans le bâtiment notamment par¹⁰⁸ :

- une architecture solaire adéquate,
- l'intégration de systèmes solaires dans le chauffage et le rafraîchissement.



Figure III-1. Ombrage de la façade et isolation thermique de la terrasse

Source : A. Chenak (2008)

Les principales actions réalisées lors de cette opération sont :

- L'isolation thermique de la terrasse ;
- La protection de la façade sud (effet d'ombrage) ;
- Végétalisation de l'environnement immédiat ;
- Intégration des énergies renouvelables (capteurs solaires plans).



Figure III-2. Champs de capteurs solaires plans, végétalisation et protection de la façade

Source : A. Chenak (2008)

¹⁰⁸ A. Chenak. Ghardaia-Réhabilitation d'une maison en intégrant le solaire actif et les principes de la bioclimatique. CDER. Alger. mai 2008.

III- 1.3 Projets de recherches

La réhabilitation thermique des bâtiments en Algérie fait l'objet d'activités scientifiques et techniques dans les universités et centres de recherches nationaux. Un projet de recherche intitulé « Etude de l'influence de la réhabilitation thermique sur l'efficacité énergétique des bâtiments d'habitation en Algérie » a été lancé en avril 2009 au niveau du Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment (C.N.E.R.I.B), il a pour objet de¹⁰⁹ :

- Maitriser les techniques de réhabilitation thermique des immeubles d'habitation existants en Algérie ;
- Améliorer le confort thermique naturel des logements d'habitation, et ainsi, réduire leurs besoins énergétiques en périodes estivale et hivernale ;
- Estimer les besoins énergétiques en été et en hiver en utilisant la procédure de calcul du bilan thermique selon la réglementation thermique algérienne ;
- Déterminer les paramètres qui rentrent en jeu dans l'efficacité énergétique lors d'une réhabilitation thermique ;
- Etudier l'influence de ces paramètres sur l'efficacité énergétique d'un logement ;
- Optimiser ces paramètres pour une meilleure efficacité énergétique.

D'autres chercheurs* se sont intéressés à la réhabilitation thermique de l'habitat ancien lors de la conférence internationale sur le bâtiment durable qui s'est déroulée à Oran en Octobre 2009. L'objectif de cette étude était de présenter les principales causes de dégradations d'origine thermiques qui affecte le bâtiment, et de tirer profit des techniques relatives à la réhabilitation thermique des bâtiments existants, car d'après ces chercheurs, ces vieux bâtis 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.

Cependant, le champ de recherche en Algérie sur le thème de la réhabilitation thermique de l'habitat reste pratiquement vierge, et concède un retard considérable par rapport aux recherches au niveau internationale, l'intérêt étant toujours tourné vers la nouvelle conception.

III- 2. Les réglementations thermiques pour l'habitat existant

Depuis la prise de conscience de l'importance de la réhabilitation thermique de l'habitat existant et l'opportunité qu'il offre dans la course à l'économie d'énergie et la protection de l'environnement, sans oublier le confort thermique des occupants, beaucoup de pays se sont dotés d'une réglementation thermique spécifique au bâti existant.

¹⁰⁹ CNERIB, Bilan d'activités scientifiques et techniques de l'année 2009.

* Mia Meftah et Benmanssour. Département Génie Civil, USTOran, Algérie.

III- 2.1 Bref rappel du contexte réglementaire en Algérie

Dans les années 1990, l'Algérie développe plusieurs dispositifs réglementaires quant à l'efficacité énergétique dans l'habitat. 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. Toutefois, le bâti existant et sa réhabilitation thermique, a été négligé malgré sa part importante dans le parc logements.

III- 2.2 Contexte internationale (Europe)

La directive 2002/91/CE du 16/12/2002 du parlement européen et du conseil sur la performance énergétique des bâtiments rend obligatoire le respect des normes de performance thermique dans l'habitat existant, à l'occasion de travaux de réhabilitation importants*.

L'article 6 de la directive européenne restreint cette disposition aux bâtiments de grande taille : « Les Etats membres prennent les mesures nécessaires pour garantir que, lorsque des bâtiments d'une superficie utile totale supérieure à 1000 m² font l'objet de travaux de rénovation importants, leur performance énergétique soit améliorée de manière à pouvoir satisfaire aux exigences minimales dans la mesure où cela est techniquement, fonctionnellement et économiquement réalisable »¹¹⁰.

La transposition de cette directive dans les réglementations thermiques des pays européens a suivi rapidement, avec plus ou moins d'exigences.

III- 2.2.1 La réglementation thermique en France

En France, Les bâtiments existants, qu'ils soient résidentiels ou tertiaires, sont soumis, comme les neufs, à une réglementation thermique (**RT-EX**). Cette réglementation s'applique à l'occasion de travaux de rénovation, de remplacement ou d'installation de composants, d'ouvrages et d'équipements dans un bâtiment existant. En fonction de la surface, de la date de construction du bâtiment et du montant des coûts des travaux de rénovation thermique, c'est la RT « global » ou la RT « élément par élément » qui s'applique :

- Dans le cas de bâtiments ayant une surface > 1000 m² achevés après 1948 et dont le coût des travaux est > 25 % de la valeur du bâtiment, c'est la « RT globale » qui

* Par travaux importants, la directive entend « lorsque le coût total de la rénovation portant sur l'enveloppe du bâtiment et/ou les installations énergétiques telles que le chauffage, l'approvisionnement en eau chaude, la climatisation, l'aération et l'éclairage est supérieure à 25% de la valeur du bâtiment, à l'exclusion de la valeur du terrain sur lequel le bâtiment est sis, ou lorsqu'une part supérieure à 25% de l'enveloppe du bâtiment fait l'objet de rénovations ».

¹¹⁰ Journal officiel des Communautés européennes, Directive 2002/91/CE du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments, p.L 1/68

s'applique depuis le 1er avril 2008 ; elle impose une performance énergétique d'ensemble.

- Dans tous les autres cas, s'applique la réglementation dite « élément par élément » imposant, depuis le 1er novembre 2007, le respect d'une efficacité énergétique minimale pour les éléments remplacés relatifs aux 8 points suivants : isolation des parois opaques, isolation des parois vitrées, chauffage, eau chaude sanitaire, refroidissement, ventilation mécanique, éclairage en non résidentiel et EnR.

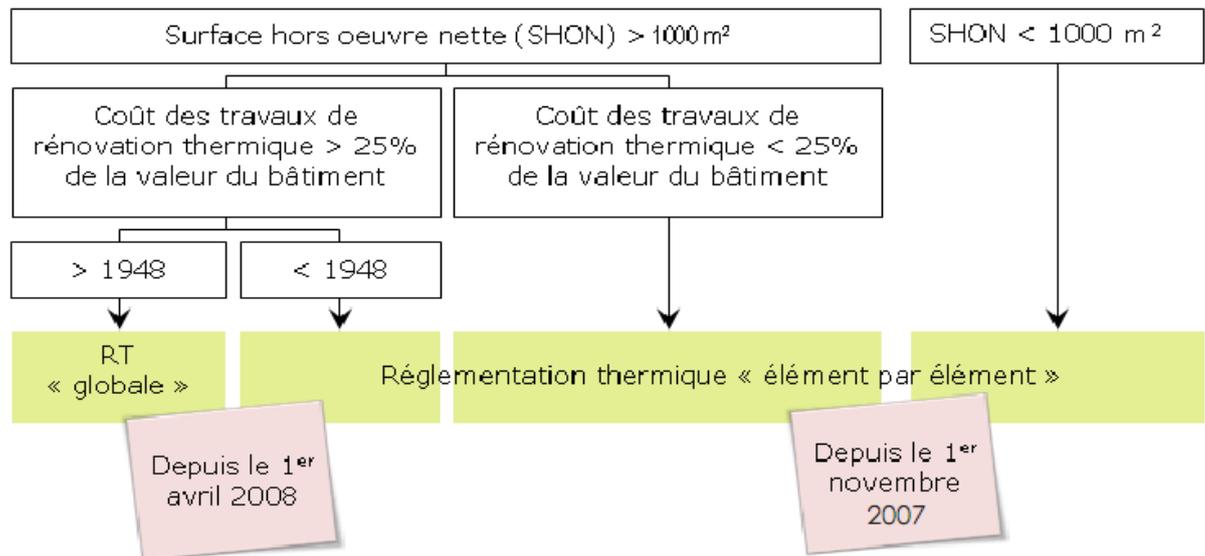


Figure III-3. Réglementation thermique pour l'existant. (Source: CSTB)

III- 2.2.2 La réglementation en Angleterre

La réglementation anglaise impose le respect de normes de performance énergétique à l'occasion de travaux de rénovation, ainsi, le remplacement de fenêtres ou d'équipements de chauffage et de production d'eau chaude est soumis aux mêmes exigences de performance énergétique que pour la construction neuve¹¹¹. Par exemple, les vitrages doivent être à l'isolation renforcée et les seules chaudières à gaz ou au fioul autorisées sont les chaudières à condensation.

III- 2.2.3 La réglementation en Espagne - l'initiative de Barcelone

A Barcelone, un arrêté municipal, promulgué au cours de l'été 1999 et effectif depuis août 2000, a rendu obligatoire l'installation de chauffe-eau solaires dans tout bâtiment faisant l'objet d'une réhabilitation et dont la consommation d'eau chaude sanitaire (ECS) dépasse les 2000 litres/jour¹¹². Cette initiative s'en est suivie par le nouveau Code Technique des

¹¹¹ J. R. Waters, Energy Conservation in Buildings a guide to part L of the building regulations, Ed. Blackwell Publishing, Oxford 2003

¹¹² O. David et A. Fabre. (2007). Op.cit. p. 210

Bâtiments en Espagne, adopté en mars 2006, qui inclut dans sa section thermique solaire une obligation de couvrir 30 à 70% de l'ECS par le biais de l'énergie solaire, applicable aux bâtiments neufs ou en rénovation.

Nous notons ici l'intérêt porté par l'Espagne, à l'énergie solaire et à ses applications dans le bâtiment, vu le gisement important de ce type d'énergie dans les pays du sud européen, chose qui pourrait parfaitement s'appliquer au contexte algérien.

III- 2.2.4 La réglementation en Allemagne

La réglementation allemande impose des mesures de performance thermique des bâtiments existants qui concernent la performance des murs, des fenêtres et de la porte, dès que les travaux touchent plus de 20% de la surface d'une même orientation. Pour ce faire, la réglementation allemande prévoit deux voies de respect des exigences à l'occasion des rénovations :

- Satisfaire à un niveau d'exigence de performance thermique globale du bâtiment en appliquant la règle de consommation des bâtiments neufs majorée de 40%.
- Ou respecter des exigences de performances minimales pour chaque élément.

L'Allemagne va plus loin dans les exigences de performance énergétique de l'habitat existant, puisqu'elle impose une performance énergétique minimale des bâtiments existants et ce en dehors des situations de travaux de rénovation librement décidés par le propriétaire. Cette obligation, en vigueur depuis l'ordonnance sur les économies d'énergie Energieeinsparverordnung (EnEV) de 2002, impose notamment dans les bâtiments existants ¹¹³ :

- Les changements de chaudières de plus de 25 ans ;
- Le calorifugeage des canalisations de chauffage et d'ECS ;
- L'isolation des combles.

III- 3. Programmes et approches internationales de réhabilitation thermique

L'analyse de l'état des connaissances au niveau international, observant des pays dont la prise de conscience du défi est nettement plus ancienne que chez nous où ont été réalisées des centaines, voire des milliers d'opérations de réhabilitation thermique et qui ont mis au point des outils opérationnels, labels, guides techniques, sites internet, formations est particulièrement utile pour notre étude sur l'Algérie, cela afin d'en tirer les enseignements nécessaires pour une adaptation efficace au niveau local.

¹¹³ O. David et A. Fabre. (2007). Op.cit. p. 211

Il faudrait noter que l'état de l'art de la réhabilitation thermique ne peut être établi sans pour autant toucher les opérations réalisées sur le neuf, tellement les approches sont similaires jusqu'à un certain degré.

III- 3.1 L'expérience Allemande

L'Allemagne paraît incontournable dans cette recherche, non seulement pour l'expérience connue du label « Passivhaus », mais aussi pour d'autres programmes comme les « maisons 3 litres » et surtout pour les programmes d'expérimentation dédiés à la réhabilitation thermique des bâtiments existants. L'Allemagne qui a commencé tôt à réaliser des maisons passives se distingue par une diversité d'actions, innovantes sur le plan technique et qui portent à la fois sur le neuf et sur l'existant.

La démarche Passivhaus (maison passive), label initié à la fin des années quatre-vingt par **Wolfgang Feist** * a conduit à la réalisation de 7000 bâtiments en Allemagne, en Autriche et dans une moindre mesure dans d'autres pays. Ces bâtiments se caractérisent par ¹¹⁴ :

- Des besoins de chauffage inférieurs à 15kWh/m².an ;
- Une très faible perméabilité à l'air ;
- Une consommation tous usages en énergie primaire inférieure à 120kWh/m².an.

Un bâtiment **Passivhaus** est la combinaison d'une enveloppe avec une isolation thermique très performante, d'une perméabilité à l'air très faible, de la récupération d'énergie sur la ventilation et de préchauffage d'air neuf (double flux avec récupération, puits climatique) et des sources d'énergies renouvelables.

Orientation	Sud	Solaire passif
Parois opaques	$U \leq 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $\Psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$	
Baies vitrées	$U \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $g \geq 0,5$ environ	
Perméabilité à l'air	Inférieure à 0,6 vol/h sous 50 Pa	
Préchauffage de l'air neuf	Puits climatique	Température de sortie $\geq 5^\circ\text{C}$
Ventilation	Double flux et échangeur	Efficacité $> 80\%$ Ventilation : $< 0,4 \text{ Wh/m}^3$
ECS	Capteurs solaires ou PAC	
Equipements	Equipements efficaces	

Tableau III-2. Solutions techniques préconisées pour un bâtiment « PASSIVHAUS »

En ce qui concerne la réhabilitation thermique, et après une phase où les travaux sur les bâtiments neufs étaient très fortement dominants, on prévoit en Allemagne qu'à l'échéance 2010 il y aura autant de projets en rénovation qu'en neuf.

* Directeur de l'Institut für Passivhaus.

¹¹⁴ CSTB. Comparaison internationale bâtiment et énergie, rapport final. Décembre 2007. p. A-29

Le programme **Niedrigenergiehaus im Bestand** (Efficient Homes ou Habitations Efficaces) vise les gestionnaires de parc de logements existants. Il entame sa troisième phase et a déjà conduit à la rénovation de plus de 2200 logements. L'évolution de la réglementation thermique Allemande est également menée en liaison avec ces programmes de bâtiments basse consommation. Le programme « Niedrigenergiehaus im Bestand » vise ainsi pour l'existant des consommations inférieures de 50% aux limites réglementaires pour le neuf.¹¹⁵

III- 3.2 L'expérience Française

La France comparée à l'Allemagne connaît un retard dans le domaine de la construction basse consommation et de la réhabilitation thermique du parc habitat existant.

La réglementation thermique pour les bâtiments existants est entrée en vigueur, le 1^{er} novembre 2007 (dispositions de l'arrêté du 3 mai 2007). Le texte met en place des exigences d'économie d'énergie dans les bâtiments existants. Comme dans les bâtiments neufs, elles concernent l'isolation, les équipements de chauffage, les systèmes de production d'eau chaude, les énergies renouvelables, la ventilation et l'éclairage¹¹⁶.

LABELS		DEFINITION	INTERET POUR L'HABITANT
Labels spécifiques rénovation	BBC- Effinergie rénovation : (Bâtiment basse consommation)	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation globale < 80 kWh ep/m².an modulable selon la zone climatique. - Production locale d'électricité (photovoltaïque, micro-éolien...) déduite des consommations qu'à partir de 12 kWh ep/m².an - Imperméabilité à l'air < 0,8 m³/h.m² 	<ul style="list-style-type: none"> •Aides financières •A l'abri des hausses de prix à venir de l'énergie
	LRE : Label rénovation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation globale > 210 kWh ep/m².an - Gain énergétique > 50% 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Consommation globale de 210 à 151 kWh ep/m².an 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Consommation globale de 150 à 101 kWh ep/m².an 	
		<ul style="list-style-type: none"> - Consommation globale < 100 kWh ep/m².an 	
RT dans l'existant	<ul style="list-style-type: none"> - Proche de la RT 2005 pour le neuf 		

Tableau III-3. Récapitulatif des labels éco-construction (Réhabilitation).

Source : L. Ranck (2009)

Il est prévu de rénover, d'ici 2050, les 19 millions de logements construits avant 1975, pour qu'ils ne consomment plus que 80 kWh/m²/an d'énergie primaire, au lieu de 330 en moyenne aujourd'hui. Ainsi, lorsqu'un maître d'ouvrage veut rénover sa maison, il doit désormais respecter l'arrêté du 3 mai 2007 qui impose des caractéristiques thermiques minimales.

¹¹⁵ CSTB. (2007). Op.cit. m. p

¹¹⁶ L. Ranck, Maisons écologiques, cas pratiques. Ed. Eyrolles. Paris 2009. p.8

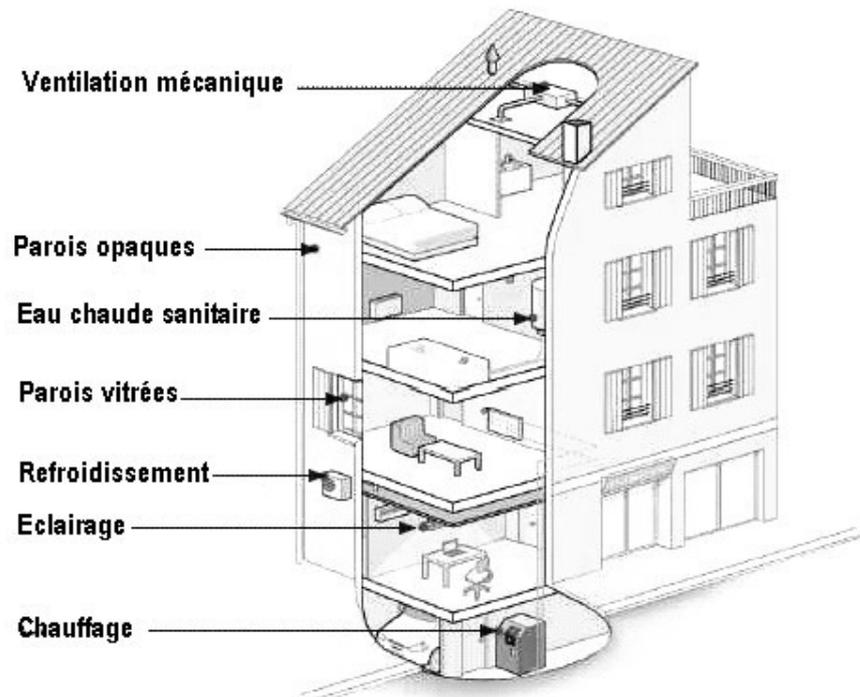


Figure III-4. Les 8 points de la réglementation thermique (élément par élément)

Source : CSTB. (2007)

III- 3.3 L'expérience Suisse

En Suisse, le label MINERGIE constitue la principale approche dans le domaine de l'amélioration des qualités thermiques et énergétiques dans le bâtiment. C'est un label de qualité certifiant des bâtiments neufs ou rénovés offrant un confort au-dessus de la moyenne tout en ayant une très faible consommation d'énergie¹¹⁷. Il définit cinq exigences pour un bâtiment :

- Les exigences primaires requises pour l'enveloppe pour assurer une technique de construction durable ;
- Les valeurs limites MINERGIE à l'indice de dépense d'énergie thermique ;
- Le renouvellement d'air au moyen d'une installation mécanique ;
- Les exigences supplémentaires, en fonction de la catégorie du bâtiment, concernant l'éclairage et la production de froid et de chaleur industriels ;
- L'investissement supplémentaire par rapport aux objets conventionnels comparables peut être de 10% au maximum.

¹¹⁷ www.minergie.ch. Site officiel du label suisse « Minergie »

Catégorie de bâtiments	Indice pondéré de dépense d'énergie (kWh/m ²)	Ventilation mécanique	Exigence primaire sur l'enveloppe
Habitat collectif	≤ 80	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Habitat individuel	≤ 80	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Administration	≤ 70	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Ecoles	≤ 70	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Commerce	≤ 70	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Restauration	≤ 85	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$

Tableau III-4. Les exigences du label MINERGIE pour les bâtiments rénovés
Source : www.minergie.ch

III- 4. Exemples de réalisation

III- 4.1 Rénovation d'une maison d'habitation de 1964 (Suisse)

Il s'agit d'une maison d'habitation urbaine assez récente (1964) comportant trois niveaux sous combles. Les plans ci-dessous représentent la situation transformée. La technique de construction des murs extérieurs est celle des murs creux avec dalles traversantes au balcon et aux corniches.



Figure III-5. Plans, coupe et façades de l'habitation après transformations.

(Source : La rénovation et l'énergie)

Les techniques d'isolation retenues pour les parois extérieures verticales sont :

- pour la façade avant (aspect extérieur à conserver) : isolation par injection d'un isolant dans la coulisse complétée par une isolation par l'intérieur de la dalle traversante de la corniche ;
- pour la façade arrière : il y avait un problème de pont thermique au droit des balcons et de la corniche ; c'est pourquoi, après découpe de la corniche et du balcon, la solution d'une isolation par l'extérieur a été choisie.

<i>Critères de performance</i>		<i>Etat existant</i>	<i>Opérations à envisager</i>
Architecture	Programme	Maison mitoyenne de 1964. Construction destinée au logement et volume sous comble inoccupé	RDC : Aménagement de la buanderie en bureau Grenier : Aménagement de deux chambres et d'une salle de bain.
	Aspects	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toiture : à deux versants en tuiles (volumes simples). - Corniche en béton prolongeant la dalle intérieure. ➤ Façades : - Avant : mur mixte : parement en béton architectonique préfabriqué. - Arrière : mur mixte : parement en briques et linteaux en béton coulé sur place ; balcon en béton. ➤ Menuiseries extérieures : châssis en alu avec simple vitrage. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Volume à conserver ; il faut ajouter des fenêtres de toit pour les chambres, la salle de douche et la cage d'escalier. ➤ Corniche façade avant à conserver ; - Corniche en façade arrière à couper. - Façade avant à conserver et à nettoyer ; - Façade arrière peut être modifiée ; - Balcon à recouper et à remplacer par un balcon en bois. ➤ A remplacer par des châssis en bois avec double vitrage performant
Isolation	Parois	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toiture : non isolé. ➤ Façades : murs creux de 30 cm sans isolation thermique. - Façade avant : ponts thermique à la corniche ; - Façade arrière : ponts thermique à la corniche et au balcon. ➤ Planchers : en béton sans isolation par rapport aux locaux non chauffés. ➤ Cloisons intérieures : en briques, sans isolation. ➤ Menuiseries extérieures : non conforme, châssis sans coupure thermique et simple vitrage. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Isolation entre et sous chevrons + pare vapeur. ➤ Façade avant : isoler la coulisse du mur creux et prévoir des détails à la corniche ; - Façade arrière : isoler par l'extérieur après avoir coupé la corniche et le béton. ➤ Isoler du côté inférieur le plafond du garage ; - Isoler la dalle de sol dans le bureau : surépaisseur avec la nouvelle chape et donc impact sur les niveaux des portes ; - Isoler sur environ 1m les deux faces du plancher des combles coté avant. ➤ Isoler les cloisons séparant un local chauffé d'un local non chauffé. ➤ Nouvelles menuiseries isolantes avec grilles d'aération et nouveaux caissons à volets isolés.

Tableau III-5. Tableau récapitulatif de réhabilitation thermique.

(Source: La rénovation et l'énergie)

Dans la figure suivante, les principes de réhabilitation thermique de l'habitation sont repris selon la position.

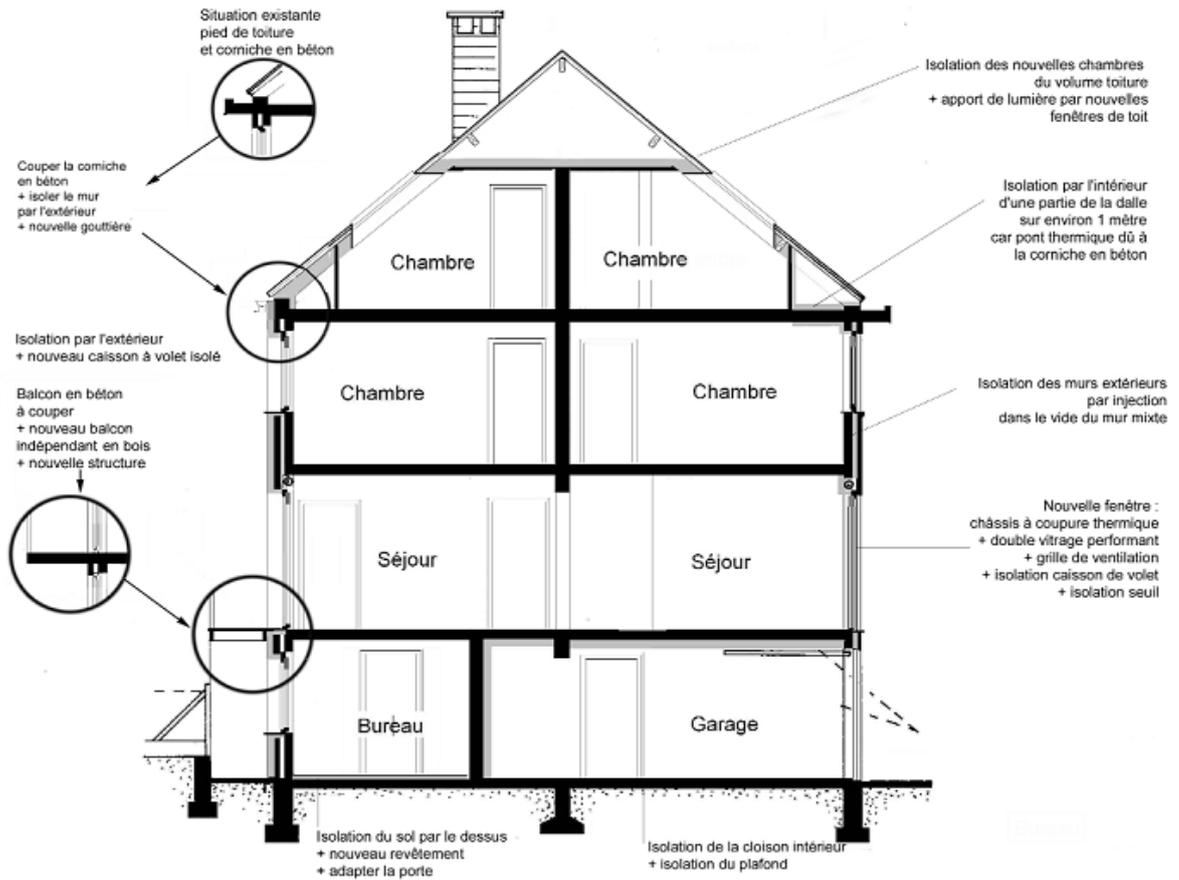


Figure III-6. Coupe reprenant les principes de réhabilitation par position.
(Source: la rénovation et l'énergie)

III- 4.2 Réhabilitation d'un immeuble locatif des années 50 en Suisse¹¹⁸

Le projet consiste en la rénovation d'un immeuble de 08 appartements de 03 pièces, d'une surface habitable totale de 650 m², construit en 1954.

Données initiales :

- Pas d'isolation thermique ;
- Combles froids ;
- Murs en moellons et briques 35-50 cm ;
- Doubles fenêtres à vitrages simples ;
- Importants ponts thermiques (balcons,...) ;
- Radiateurs à vannes manuelles ;
- Aération manuelle par les occupants ;



Figure III-7. Immeuble locatif en Suisse. Etat initial

¹¹⁸ J. L. Juvet. Rénovation MINERGIE d'un petit immeuble locatif des années 50, 2005-2007. Neuchâtel, Suisse.

- Chaudière à mazout P = 67 kW ;
- Citerne enterrée 30.000 litres.

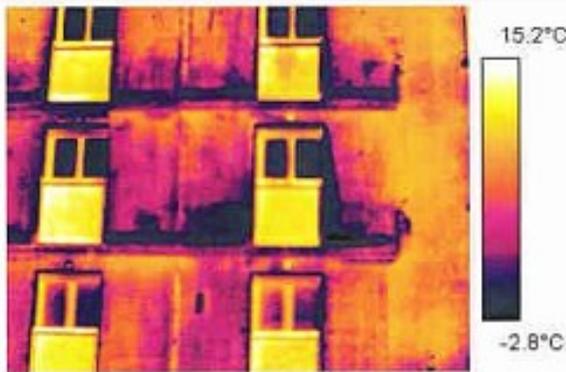


Figure III-8. Thermographie pour déceler les points faibles de l'enveloppe. On remarque en couleur foncée les ponts thermiques dus à la jonction avec les balcons



Figure III-9. Moisissures dus à l'humidité

Après diagnostic, il a été décidé, pour la réhabilitation de cette construction, les opérations suivantes :

- Isolation thermique des façades ;
- Isolation thermique des sous-dalles en contact avec le sous-sol ;
- Isolation thermique sur plancher combles ;
- Le changement des fenêtres ;
- La rénovation du système de ventilation ;
- L'amélioration du système producteur de chaleur.



Figure III-10. Isolation des façades.

La première mesure entreprise, et celle dont on attend les résultats les plus probants, est l'isolation de l'enveloppe. Entre parois opaques et transparentes, les déperditions sont de l'ordre d'environ 60%¹¹⁹.



Figure III-11. Changeement des fenêtres avec cadre PVC. $U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Isolation des embrasures et tablettes.

Le changement des fenêtres permet d'avoir les meilleures performances au niveau des baies, car elle prend en charge, à la fois, les problèmes d'isolation, de ponts thermiques et d'étanchéité.



Figure III-12. Remplacement des balcons.

Les balcons et autres saillies représentent une importante part d'échanges thermiques non maîtrisés. Dissocier les balcons de l'enveloppe du bâtiment est une solution pour supprimer définitivement les ponts thermiques qui en résultent.

¹¹⁹ P. de Haut (2007). Op.cit.

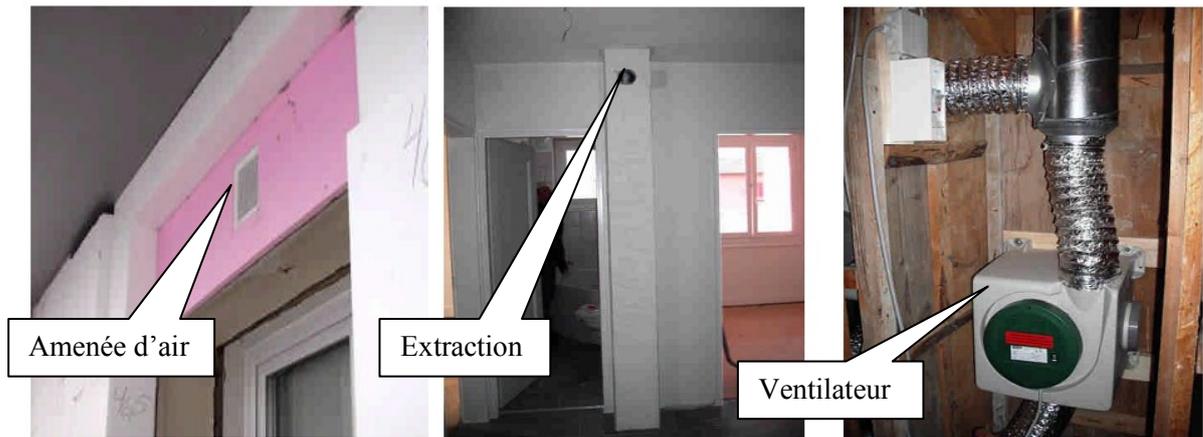


Figure III-13. Ventilation douce (naturelle).

Une ventilation douce a été sélectionnée pour ce projet, car, même si la ventilation est impérative pour maintenir une ambiance saine (évacuer la vapeur d'eau et l'air pollué ou vicié produit par les occupants, la cuisine, les appareils sanitaires et ménagers) et aussi éviter les condensations, les odeurs et les dégradations ; la ventilation peut devenir une réelle source de déperditions ou apports thermiques.



Figure III-14. Isolation sous dalle sous-sol. Caves, corridors, buanderie, local à vélos, chaufferie garages.

Une barrière isolante est réalisée entre les locaux chauffés (logements) et les locaux non chauffés. Posée en sous face du plancher bas, une isolation de 4 à 6 cm de laine de pierre d'un U moyen = 0,46 W/m²K.

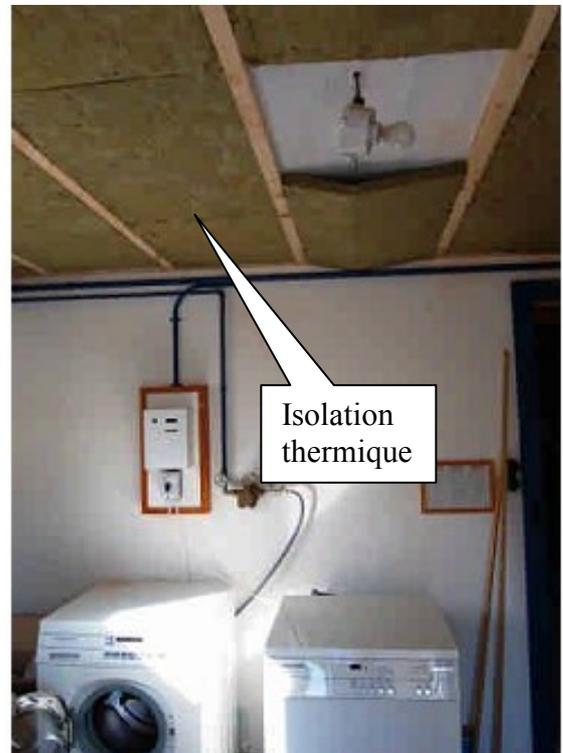




Figure III-15. Remplacement de la chaudière. (Rendement des équipements)

Dans un souci d'efficacité énergétique, les équipements de chauffage (ancienne chaudière à mazout) ont été remplacés par un chauffage aux granulés de bois, plus performant et écologique, utilisant une énergie renouvelable (bois).



Figure III-16. La construction avant et après la réhabilitation thermique.

III- 5. Synthèse des étapes pour une réhabilitation thermique

Après avoir mis en revue les approches, programmes et réglementations internationales prenant en charge la réhabilitation thermique de l'habitat existant et après avoir pris connaissance de quelques exemples de réalisation dans le cadre de cette démarche, nous allons maintenant synthétiser les étapes les plus importantes pour l'accomplissement d'une réhabilitation thermique d'une construction à usage d'habitation. Cette synthèse nous servira comme base pour notre cas pratique que nous comptons entreprendre dans le dernier chapitre de ce travail.

III- 5.1 Diagnostic énergétique de la construction

La première étape à entreprendre dans une démarche scientifique de réhabilitation thermique d'une construction existante est la réalisation d'un état des lieux thermique pour mettre en exergue les points faibles et les défauts dans l'enveloppe et afin d'établir ensuite la stratégie de réhabilitation et les recommandations d'intervention et ceci par élément (murs, toiture, ouverture...etc.), pour décider de la solution finale, que se soit l'amélioration thermique de l'élément ou bien son remplacement.

Une première analyse concernera les consommations énergétiques du bâtiment, le calcul des consommations annuelles d'électricité et de gaz fournira une base de données initiale et permettra de classer cette construction sur l'échelle de bâti économe ou bâti énergivore.

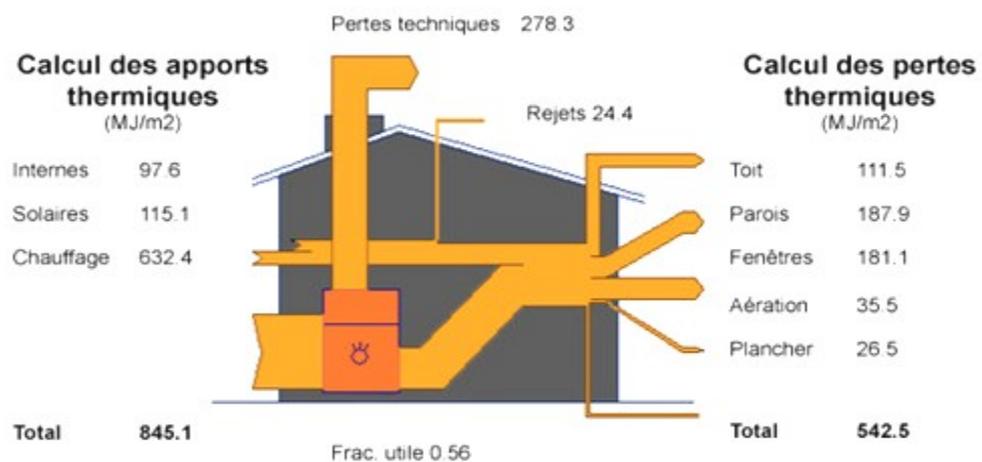


Figure III-17. Exemple d'un bilan thermique.

Viendra ensuite les technologies d'appoint afin d'assister cette démarche, telle que la thermographie* et l'infiltrométrie**, ces techniques permettront de définir avec précision les points faibles dans l'enveloppe dans le but d'une optimisation thermique par élément.

* La thermographie à infrarouge repose sur des techniques de conversion de l'énergie électromagnétique thermique rayonnée par un objet en un signal graphique. Ces signaux sont amplifiés et transmis à une unité de traitement d'image, qui en permet la visualisation en fausses couleurs ou en zones de gris. Ces couleurs représentent les températures de surface des objets étudiés (...) La thermographie à infrarouge permet donc de visualiser en temps réel les températures de surface de l'enveloppe d'un bâtiment. (Source : A. Liébard et A. De Herde, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*).

** Le test d'infiltrométrie permet de mesurer la quantité d'air rentrant dans un bâtiment et où se situent les fuites d'air. Grâce à ce test, on peut connaître la quantité d'air froid qui entre dans l'habitat et aussi connaître les endroits où il y a des fuites d'air pour mieux calfeutrer les trous. Pour effectuer le test, on utilise un infiltromètre, que l'on place à l'entrée du bâtiment. Cet appareil est équipé d'un ventilateur et d'une toile en nylon étanche pour permettre d'étanchéiser la porte d'entrée et ne laisser dépasser que le ventilateur. (Source : www.wikipedia.fr)

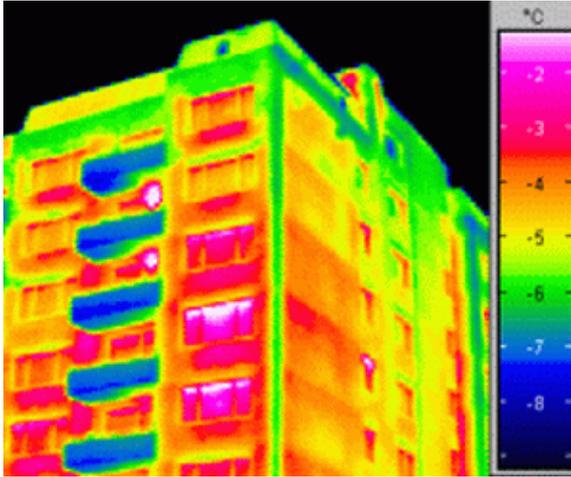


Figure III-18. Image de thermographie d'un immeuble.



Figure III-19. Essai d'infiltrométrie.

Après cela, et en fonction du bilan thermique et des résultats des essais de thermographie et infiltrométrie, une liste de recommandations est alors préparée en vue de l'amélioration thermique du bâtiment.

III- 5.2 Points clés dans une réhabilitation thermique

L'amélioration des performances thermiques des bâtiments existants n'est pas chose facile, la principale difficulté réside dans la grande variété des situations, les solutions se définissent au cas par cas. Toutefois, les principes de base sont les mêmes, seule la technique d'application change.

L'analyse précédente des différents programmes et approches dédiés à la réhabilitation thermique des bâtiments existants au niveau international montre que celle-ci passe par les mêmes principes et solutions : tenir compte de l'environnement, isoler avec soin, capter et stocker les apports solaires, prévoir une ventilation performante et une étanchéité à l'air...etc.

Ses règles de bon sens ont été résumées dans une liste de 8 points par Thierry Salomon et Stéphane Bedel, règles qui peuvent servir pour le neuf et pour la rénovation ¹²⁰:

1. Bien analyser et prendre en compte le terrain, l'environnement proche et le microclimat (soleil, vent, végétation).
2. Concevoir ensuite un dessin général de l'habitation présentant une bonne compacité et répartissant les différentes pièces selon les orientations des façades.
3. Isoler avec soin pour conserver la chaleur l'hiver et éviter qu'elle ne pénètre durant la saison chaude.
4. Capter le soleil pendant la période de chauffage par les vitrages, une véranda ou des murs massifs, tout en se protégeant du rayonnement d'été.

¹²⁰ T. Salomon et S. Bedel (2004). Op.Cit. p. 16

5. Stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et amortir les variations de température grâce à l'inertie thermique.
6. Limiter les infiltrations d'air parasites et prévoir un renouvellement de l'air utilisant au mieux la ventilation naturelle ou une ventilation contrôlée efficace.
7. Laisser largement entrer la lumière du jour pour favoriser l'éclairage naturel, en veillant aux risques d'éblouissement ou de surchauffe.
8. Choisir enfin un appoint de chauffage approprié et peu polluant.

Néanmoins, en règle générale, les premières mesures à prendre sont l'isolation de l'enveloppe du bâtiment, le remplacement des fenêtres et la modernisation du système de chauffage¹²¹.

III- 5.2.1 Analyse du site et du climat

De même que pour une nouvelle réalisation, avant d'entamer la phase projet pour la réhabilitation d'un bâti existant, l'analyse du site est indispensable. D'une manière générale, les conditions climatiques et environnementales d'un lieu se scindent en contraintes dont on veut se protéger et en conditions avantageuses qu'on désire exploiter afin de rencontrer les critères de confort des occupants¹²².

Les facteurs à prendre en considération sont :

- L'ensoleillement (l'orientation du bâtiment) ;
- La température de l'air extérieur ;
- Le vent, le type architectural (urbain isolé, urbain mitoyen, rural, etc.) ;
- Le type fonctionnel avant et après rénovation ;
- Les technologies et les matériaux en présence.

III- 5.2.2 Intégration des concepts de l'architecture bioclimatique

Optimiser les ressources du milieu pour en profiter de façon passive¹²³, ce principe de base de l'architecture bioclimatique est applicable pour la réhabilitation thermique du bâti existant afin d'améliorer son confort thermique et d'économiser une bonne partie de l'énergie consommée dans cet habitat inconfortable et énergivore. Certes, et contrairement au bâti neuf, la réussite de l'adaptation (ou la réadaptation) du bâti existant à son milieu, en lui intégrant les concepts d'une architecture bioclimatique sera proportionnelle et variable selon la situation, mais toujours réalisable.

On compte parmi les éléments de réhabilitation qui reviennent souvent dans ce type de réalisation :

¹²¹ R. Gonzalo et K. J. Habermann. (2008). Op.Cit. p. 103

¹²² Hauglustaine J-M., Baltus C., Simon F., Liesse S., La rénovation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes, UCL- ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2002, p.12.

¹²³ L. Ranck (2009). Op.Cit. p. 6

- La protection solaire en fonction de l'orientation du bâtiment : toiture avancée et protections solaires horizontales du côté sud pour protéger la façade des surchauffes estivales et protection par des volets ou rideaux cotés est et ouest;
- Plantation de végétation et arbres à feuilles caduques coté sud ;

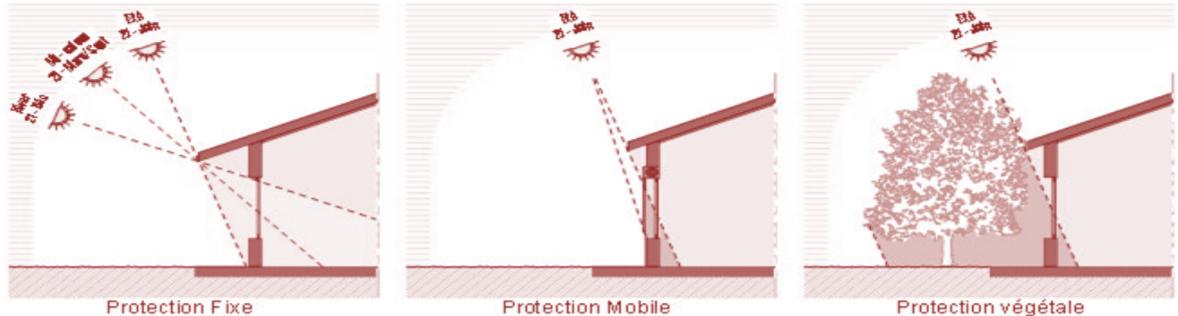


Figure III-20. Ombre de la façade par saison.

- Vérandas et grandes ouvertures coté sud : afin de capter le rayonnement solaire en période de froid ;

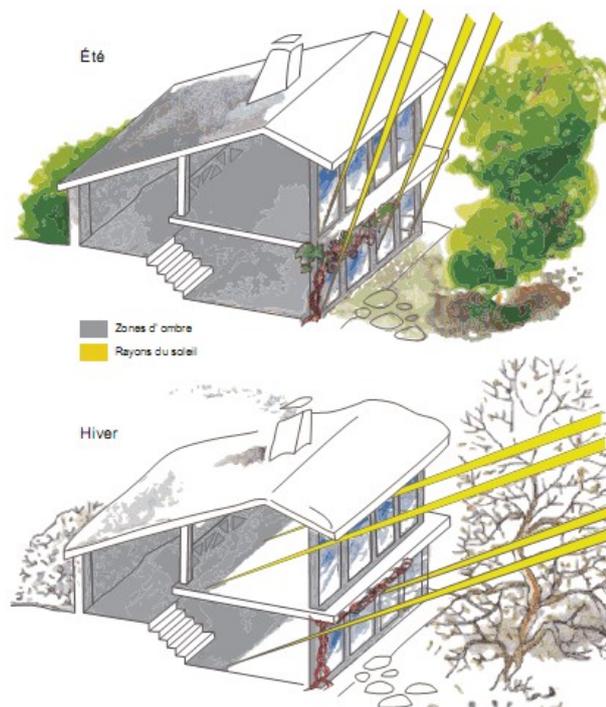


Figure III-21. Mesures bioclimatiques adaptables en réhabilitation.

Source : L. Ranck (2009)

III- 5.2.3 L'isolation thermique de l'enveloppe

La fonction principale de l'enveloppe du bâtiment est de délimiter un espace intérieur confortable, à l'abri de l'environnement extérieur. Pour ce faire, l'enveloppe doit résister à de nombreuses forces mécaniques et environnementales et doit conserver cette résistance tout au long de sa vie¹²⁴. L'isolation thermique de l'enveloppe est la mesure prioritaire et celle qui

¹²⁴ J. M. Hauglustaine & al (2002). Op.Cit. p. 23

revient le plus souvent dans les projets de réhabilitation thermique des bâtiments existants ; son rôle est de minimiser les déperditions thermiques, réduire les coûts du chauffage, conserver les ressources énergétiques, réduire la pollution environnementale et augmenter le confort thermique¹²⁵.

L'isolation thermique s'applique aux différents éléments qui composent l'enveloppe d'une construction : Les murs, le toit, les planchers (parois opaques) et les fenêtres (parois transparentes), éléments qui sont la cause de déperditions et d'apports thermiques et dont la réglementation prévoit une amélioration des performances au même niveau que celle prévue pour les bâtiments neufs.

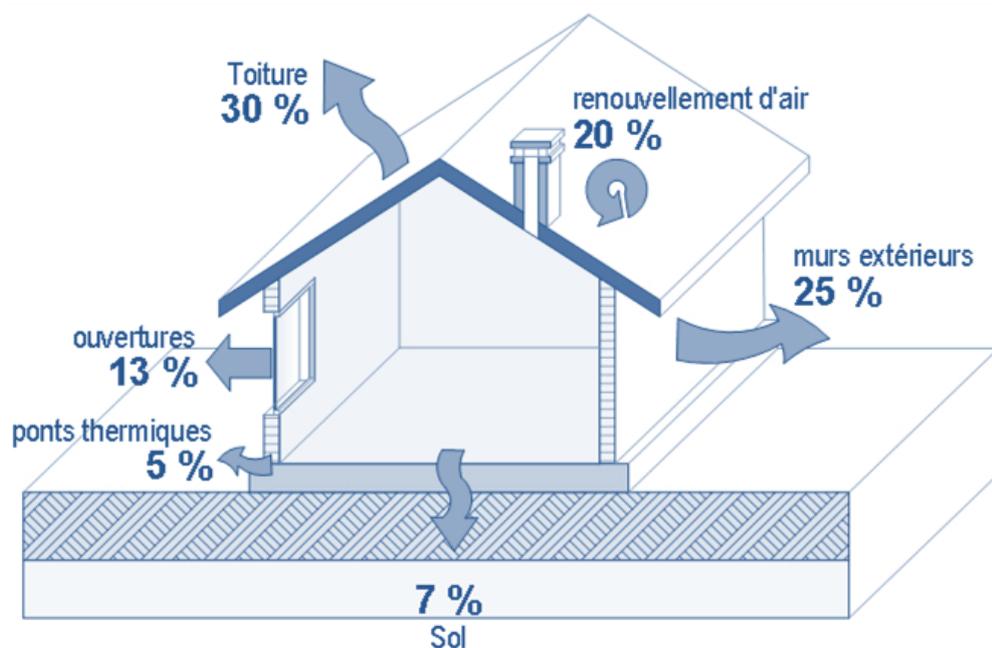


Figure III-22. Déperditions moyennes pour un logement non isolé.

Source: L. Ranck (2009)

Afin que l'isolation thermique ait le rendement attendu, elle doit respecter quelques exigences d'efficacité et de mise en œuvre (voir la Figure III-23):

1. Minimiser les pertes de chaleur, placer un matériau isolant adapté à chaque paroi.
2. Réaliser une couche isolante continue, éviter les ponts thermiques.
3. Empêcher les infiltrations d'eau dans la paroi isolée et permettre le séchage de la paroi.
4. Empêcher les circulations d'air dans, autour et au travers de la couche isolante.
5. En cas de risque de condensation interne, freiner toute migration de la vapeur d'eau dans la paroi isolée.

¹²⁵ C. Gorse and D. Highfield, *Refurbishment and upgrading of buildings - second edition*, Ed Spon press, London 2009, p.55

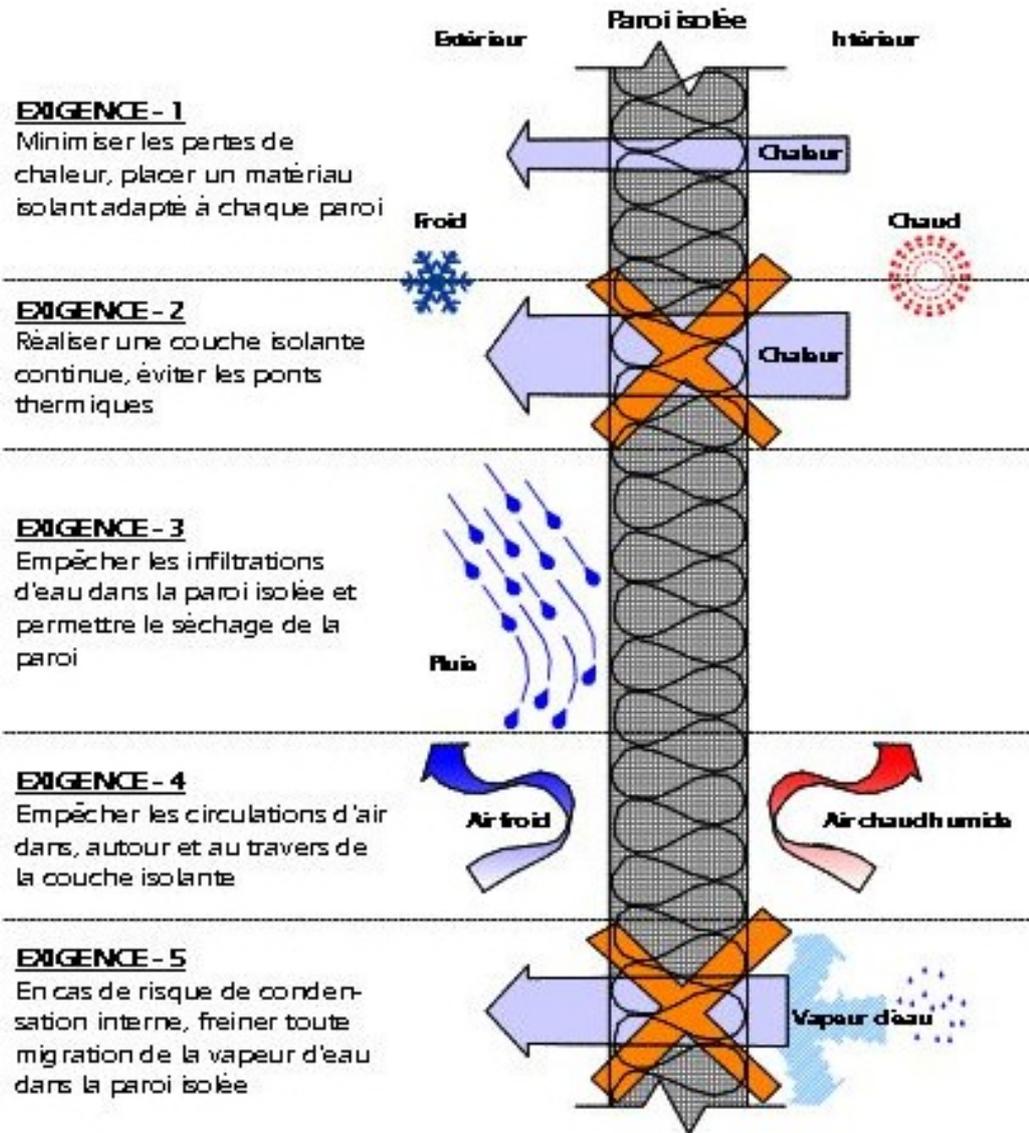


Figure III-23. Exigences d'efficacité et de mise en œuvre pour l'isolation thermique.
(Source : La rénovation et l'énergie)

III- 5.2.4 *Éliminer ou réduire les ponts thermiques*

Les ponts thermiques sont des défauts dans la conception et/ou dans la réalisation de l'enveloppe isolante qui sont responsables de problèmes d'inconfort, de consommations supplémentaires et de dégradations éventuelles dans la construction¹²⁶.

Dans les approches de réhabilitation thermique des constructions, après l'isolation de l'enveloppe, la réduction des ponts thermiques est le point de base suivant, cela vu la part des pertes calorifiques liées à ce phénomène (5% selon le CSTB).

¹²⁶ A. Liébard et A. de Herde (2005). Op.cit. p. 85a

III- 5.2.5 Maitriser l'étanchéité et contrôler ventilation

Par définition, la ventilation est le renouvellement d'air nécessaire aux locaux ou espaces d'un bâtiment par l'amenée d'air extérieur. On distingue deux types de ventilation : la ventilation de base ou hygiénique et la ventilation intensive ou périodique.¹²⁷

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. La ventilation naturelle par la fenêtre entraîne un échange d'air irrégulier et incontrôlé ainsi que d'importantes déperditions thermiques. Les conséquences de la présence de fuites d'air sont, au-delà d'une perte conséquente de chaleur, l'inconfort (courant d'air) et le risque de condensation et de moisissure sur et dans les murs.

Le fonctionnement efficace et économique d'une ventilation suppose une enveloppe avec une imperméabilité à l'air suffisante, Il faut alors veiller à une bonne étanchéité de la construction. D'ailleurs, dans une habitation non isolée, la part de la ventilation dans les déperditions thermiques est pour ainsi dire négligeable ; au fur et à mesure que l'isolation se fait plus poussée, la part des pertes par ventilation augmente.

L'étanchéité à l'air des bâtiments est souvent liée aux ouvertures dans l'enveloppe extérieure, plus précisément les portes et les fenêtres. Une bonne étanchéité pourrait supposer, dans le cadre des réhabilitations thermiques, le remplacement des menuiseries.

Selon le besoin et le degré de confort et d'efficacité recherché, il existe plusieurs types de ventilations possibles : la ventilation naturelle, la ventilation mécanique contrôlée (VMC) ; simples, auto-réglables et hygro-réglables et enfin le plus performant le système double flux.

III- 5.2.6 Améliorer les performances des équipements (systèmes de chauffage et d'eau chaude)

Un autre point qui revient dans les méthodes de réhabilitation thermique concerne l'amélioration de la performance des équipements, notamment les systèmes de chauffages et de production d'eau chaude.

Les systèmes de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire doivent être performants et en adéquation avec les choix de conception de l'enveloppe et du type de ventilation. Aussi ces systèmes doivent avoir un minimum d'impact sur l'environnement, de par leur fonctionnement et leur source d'énergie (préférence des énergies renouvelables).

¹²⁷ F. Simon, J. M. Hauglustaine, C. Baltus et S. Liesse, La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes. UCL – Ulg. Ministère de la Région Wallonne – DGTRE. 2002. p. 5

III- 5.2.7 Recours aux énergies renouvelables

Comme pour le neuf, la réhabilitation thermique des constructions réalisée par les différents labels recommande l'intégration des énergies renouvelables dans les opérations de rénovation. Les postes visés sont essentiellement la production d'électricité, le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

Que se soit le solaire passif par l'orientation des fenêtres et une bonne inertie thermique, les panneaux solaires thermiques (pour l'eau chaude), panneaux solaires photovoltaïques (pour produire de l'électricité) ou encore la biomasse (chauffage au bois). L'utilisation des énergies renouvelables permet d'accroître le confort thermique de la construction tout en réalisant d'importantes économies.

III- 5.2.8 Autres mesures recommandées

D'autres techniques permettant d'améliorer les qualités thermiques des constructions sont recommandées, mais leurs spécificités liées aux techniques de réalisation et aux coûts de revient les rendent plus ou moins utilisées.

Parmi ces techniques on compte l'utilisation de matériaux écologiques aux caractéristiques thermiques recherchées (forte inertie, faible conductivité), les toitures et les murs végétalisés, les puits canadiens, le mur trombe...etc. L'étude du comportement des occupants aussi peut servir selon les chercheurs à améliorer les valeurs thermiques des habitations.

Les opérations de réhabilitation thermique sont aussi l'occasion de cibler d'autres mesures d'amélioration des habitations, tels que la favorisation de l'éclairage naturel, l'efficacité des équipements ménagers, la gestion efficiente de l'eau, des déchets, des eaux pluviales...etc.

Conclusion

L'expérience internationale dans le domaine de la réhabilitation thermique a prouvé qu'il existe de grandes possibilités et un large panel de choix pour l'amélioration des immeubles d'habitation. L'état de l'art de la réhabilitation thermique des constructions nous fait noter l'avancée technique dans ce domaine. Différentes approches sont créées, variées dans leurs méthodes, mais ayant toutes le même but ; celui d'améliorer les qualités thermiques des constructions.

Dans cette variété d'approches, l'adaptabilité de ces techniques et méthodes au contexte local algérien est largement faisable. La réadaptation de l'habitat à son contexte, la réintégration des principes d'une architecture bioclimatique, l'amélioration de ses caractéristiques physico-thermiques ; pourront être les solutions pour la réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie.

Dans ce chapitre, nous avons dressé l'état de l'art des opérations internationales en termes de réglementations, de labels, d'applications et de technologies. Cet état de l'art montre que les démarches entreprises sur la réhabilitation thermique des constructions, reposent sur les mêmes principes, à savoir :

- Diagnostic de l'état physico-thermique des constructions ;
- Valorisation des apports gratuits fournis par une architecture bioclimatique ;
- Amélioration de l'isolation thermique ;
- Réduction des ponts thermique ;
- Bonne étanchéité à l'air ;
- Elimination des déperditions par ventilation ;
- Amélioration des performances des équipements de chauffage et de production d'ECS ;
- Intégration des solutions d'énergies renouvelables.

Le chapitre suivant verra l'analyse en détail de chaque technique et solution prise à part, afin de ressortir avec les enseignements nécessaires à une étude appliquée du domaine de la réhabilitation thermique en Algérie.

**PARTIE -II- IDENTIFICATION DES
SOLUTIONS & SIMULATION D'UN
CAS D'ETUDE**

Chapitre IV- LA REHABILITATION THERMIQUE

**TECHNIQUES, SOLUTIONS & POSSIBILITES
D'ADAPTATION AU CONTEXTE ALGERIEN**

Introduction

La réhabilitation thermique de l'habitat existant s'avère être la meilleure solution pour remédier aux défauts thermiques du parc habitat contemporain et afin de le rendre plus confortable et plus vivable dans des conditions climatiques variables. Nous avons vu l'intérêt que connaît cette opération au niveau internationale de la part des approches et labels spécialisés dans le domaine de la construction, mais en même temps, nous avons noté les difficultés d'intervention et d'application des principes de construction bioclimatique et écologique sur l'habitat existant en comparaison avec l'habitat neuf.

Dans ce chapitre, nous allons mettre en exergue les techniques et solutions utilisées dans le domaine de la réhabilitation thermique et évaluer la possibilité de leur application dans le contexte locale et leur adaptation aux techniques de construction en Algérie.

IV- 1. Techniques et solutions pour la réhabilitation thermique

Nous avons énumérés, après avoir analysé l'état de l'art de la réhabilitation thermique, les différentes mesures à prendre pour l'amélioration des performances thermiques des constructions existantes. L'isolation de l'enveloppe, la réduction des ponts thermiques, la maîtrise de l'étanchéité et le contrôle de la ventilation comptent parmi les points les plus importants, sans oublier le recours aux techniques de l'architecture bioclimatique lorsque cela est possible.

IV- 1.1 Diagnostic de la construction existante

Telle qu'on l'a vu dans le chapitre précédent, dans toute opération de réhabilitation thermique, la première mesure à prendre est le diagnostic de la construction. Cet état des lieux de l'existant a pour but d'étudier la fonctionnalité, l'architecture, la thermique et les éventuelles pathologies du bâtiment¹²⁸. Il permet d'évaluer le confort thermique et les économies d'énergie réalisables selon les interventions sur le bâti et les systèmes.

Il existe différentes méthodes de mesure spécifiquement utiles pour : le contrôle du fonctionnement d'une habitation du point de vue thermique et énergétique ; ou souvent envisagées, voire utilisées pour le diagnostic de défauts de fonctionnement.

IV- 1.1.1 Mesures concernant la consommation d'énergie

La consommation dépend non seulement de la qualité intrinsèque du bâtiment, mais aussi du comportement des habitants (± 50 % par rapport à un comportement moyen)¹²⁹. La mesure de

¹²⁸ www.effilogis.com. Rénovation basse consommation en résidentiel (BBC-Effinergie).

¹²⁹ N. Morel & E. Gnansounou. « Energétique du bâtiment ». Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Septembre 2008. P. 166

la consommation effective permet de détecter des défauts de fonctionnement, et une interprétation subtile permet de placer un diagnostic sur les causes des défauts.

Cette mesure se fait par la simple lecture des factures énergétiques de l'habitation (électricité et gaz). Elle a surtout un but statistique servant en première analyse. La comparaison de cet indice avec les valeurs statistiques connues permet de savoir si le bâtiment est un gros ou un petit consommateur.

IV- 1.1.2 Mesures de la qualité thermique du bâtiment

IV- 1.1.2.1 Thermographie

La thermographie permet, à l'aide d'une thermo-caméra ou caméra infrarouge, de montrer sur un écran une image du rayonnement thermique émis par les surfaces observées dans la bande de 2 à 40 microns de longueur d'onde, donc, dans une certaine mesure, d'en déterminer la température¹³⁰. La thermographie est utilisée dans le bâtiment pour détecter les défauts d'isolation, l'emplacement des conduites de chauffage (notamment de chauffage par le sol) et la détection des fuites.

La thermographie permet non seulement de détecter les défauts d'isolation mais aussi de détecter des zones humides, car l'évaporation de l'eau refroidit ces zones



Figure IV-1. Thermographie de la façade d'un immeuble.
Source : N. Morel & al (2008)

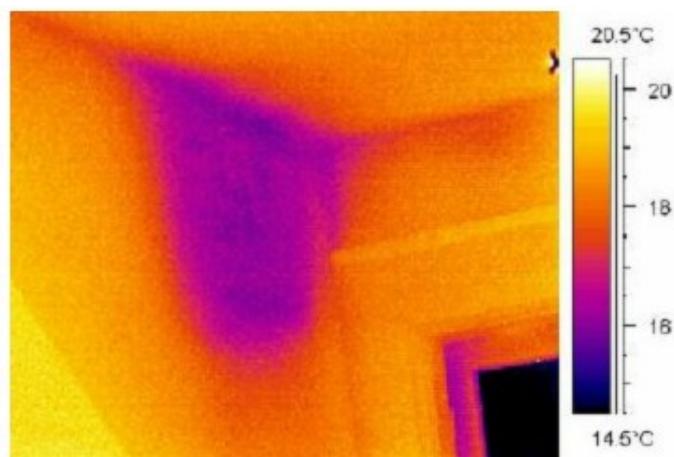


Figure IV-2. Humidité dans un coin de pièce refroidissant la paroi par évaporation.
Source : N. Morel & al (2008)

IV- 1.1.2.2 Mesure de l'isolation thermique

La mesure de l'isolation thermique (représenté par son coefficient de transmission thermique) d'un élément de construction est utile tant pour contrôler l'exécution des travaux que pour le

¹³⁰ N. Morel & al (2008). Op.Cit. p. 169

calcul du bilan thermique du bâtiment. Le coefficient U peut être déterminé de plusieurs manières:

- Si on est sûr que l'exécution et les matériaux d'isolation sont conformes aux plans, le coefficient U s'obtient aisément par calcul.
- La structure réelle de l'élément de construction, à savoir l'épaisseur des différentes couches et les matériaux utilisés pour chaque couche peut être déterminée par un sondage.
- Enfin, on peut mesurer simultanément le flux de chaleur et les températures intérieure et extérieure, et en déduire le coefficient U.

IV- 1.1.2.3 Mesure d'imperméabilité à l'air (infiltrométrie)

Les infiltrations d'air par les parois et les ouvrants sont souvent importantes, même dans la construction neuve. Sous l'effet du vent, l'air peut s'infiltrer par tous les défauts d'étanchéité du bâtiment comme les joints des fenêtres, les portes mais aussi les murs. Au total, ces infiltrations parasites peuvent augmenter la consommation d'énergie de l'ordre de 10 à 15%¹³¹. La maîtrise de l'étanchéité du bâti peut être bénéfique pour le confort de ses occupants et son efficacité énergétique.

La perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment peut être déterminée au moyen du test d'infiltrométrie. La technique consiste à mettre le bâtiment en pression à l'aide d'un ventilateur à débit variable, installé dans une porte ou une fenêtre. On mesure le débit d'air délivré par le ventilateur pour plusieurs différences de pression.

IV- 1.2 L'isolation thermique de l'enveloppe

L'isolation thermique de l'enveloppe est la principale mesure de réhabilitation thermique des bâtiments d'habitation, sa part dans les échanges calorifiques, que se soit pour les gains ou pour les déperditions, est considérable.

L'enveloppe d'un bâtiment est l'ensemble des parois ou parties de parois (verticales, horizontales ou inclinées) séparant le volume

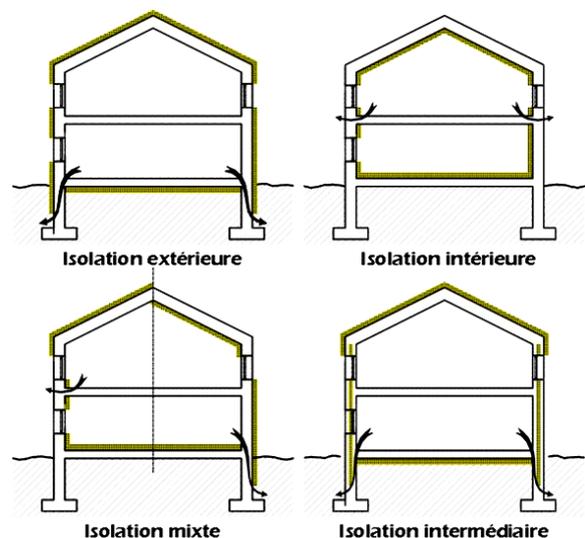


Figure IV-3. Différentes positions de l'isolation thermique.

Source : La rénovation et l'énergie (2002)

¹³¹ T. Salomon & al. (2004). Op.Cit. p. 69

protégé du bâtiment de l'ambiance extérieure, du sol et des espaces voisins qui n'appartiennent pas au volume protégé.

L'isolation thermique de l'enveloppe peut se faire de différentes manières, selon la situation et l'efficacité attendue, elle peut être extérieure, intérieure, mixte ou intermédiaire (par remplissage des murs creux).

IV- 1.2.1 L'isolation des murs extérieurs

Les murs extérieurs (ou façades) d'un bâtiment constituent son enveloppe extérieure verticale. Elles représentent généralement une alternance de parties pleines et d'ouvertures. Ses fonctions sont structurelle, de protection thermique et acoustique et contre les intempéries, et enfin visuelle (aspects et vues)¹³².

L'amélioration ou l'ajout d'isolation thermique aux murs extérieurs est souvent prévue dans les opérations de réhabilitation thermique des bâtiments existants. Cette action est réalisée par l'addition d'une couche de matériau isolant à la face intérieure ou extérieure du mur, ou dans le cas de mur double à lame d'air, par l'injection d'un isolant dans la cavité du mur¹³³.

IV- 1.2.1.1 Isolation thermique par l'extérieur

▪ Principes

L'isolation thermique extérieure consiste à appliquer, sur la face externe d'un mur extérieur, un isolant thermique protégé par un revêtement ayant également une fonction esthétique.

Deux facteurs essentiels peuvent déterminer si l'isolation extérieure est préférable à l'isolation intérieure, l'un consiste en l'apparence des murs extérieurs existants ; par exemple si les murs sont construits avec une maçonnerie apparente ornée de modénatures, les masquer par une isolation extérieure paraît une solution inappropriée. D'un autre côté, si les murs sont appelés à être ravalé, à cause de leur mauvais état, là, l'isolation extérieure est la solution idéale, puisqu'en une seule opération, leur performance thermique, apparence et protection contre les intempéries, peuvent être amélioré significativement¹³⁴.

Selon C. Langlais, le principe de ce système d'isolation présente plusieurs avantages¹³⁵ :

- Il permet d'assurer la continuité de l'isolation et de diminuer ou d'annuler les pertes à travers les ponts thermiques dus à la structure de résistance des bâtiments, aux liaisons façade-plancher ;

¹³² J-M. Hauglustaine & al. La rénovation et l'énergie (2002). Op.cit. p. 37

¹³³ C. Gorse and D. Highfield (2009). Op.cit. p. 60

¹³⁴ Ibid. p. 66

¹³⁵ C. Langlais. Op.cit. p. 2

- Il permet d'augmenter l'inertie thermique du bâtiment d'où une meilleure récupération des apports solaires et une amélioration du confort d'été et d'hiver ;
- Il augmente la durabilité des façades en les protégeant des variations de températures et des effets de l'eau (pluie, gel, condensation, etc.).

L'isolation thermique par l'extérieur présente quelques particularités qu'on résumera dans les points suivants :

- L'apport d'un isolant par l'extérieur modifie en général l'aspect architectural du bâtiment ;
- La mise en œuvre de ce type d'isolation impose que l'isolant soit protégé contre l'eau de pluie ;
- Il y a lieu également d'assurer l'étanchéité à l'air du côté intérieur afin d'éviter les pertes par infiltration d'air ainsi que les risques de condensation interne au sein de la paroi ;
- Il est indispensable de neutraliser les ponts thermiques aux jonctions mur-sol et mur-toiture afin d'éviter la création d'une surface froide et le risque de formation de moisissures qui pourrait en résulter ;
- Si l'espace sous le plancher est en contact direct avec l'extérieur ou sur terre-plein, il convient de neutraliser le pont thermique à la jonction mur-plancher en prolongeant, en plus de l'isolation du plancher, l'isolation placée sur la face extérieure du mur en dessous du niveau du sol ;

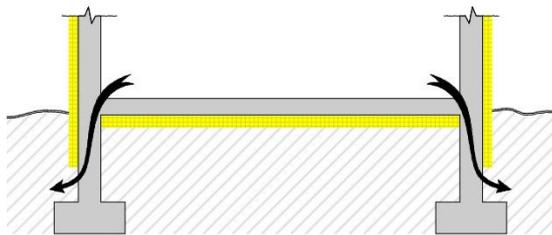


Figure IV-5. Plancher sur terre plein, prolongement de l'isolation extérieure en dessous du niveau du sol.

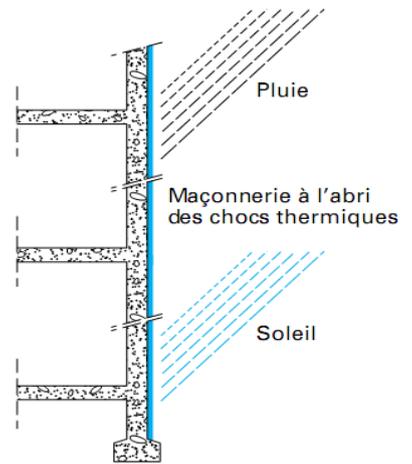


Figure IV-4. Principe d'une isolation par l'extérieur
(Source : C. Langlais)

- L'isolation extérieure permet d'utiliser l'inertie thermique des parois, c'est-à-dire leur capacité à accumuler la chaleur produite par le système de chauffage ou résultant des apports solaires. Les réchauffements et les refroidissements du climat intérieur sont par conséquent moins brutaux. Cependant, cette situation peut se révéler plus défavorable en cas d'occupation espacée de l'habitation (vacances, week-ends) puisque le réchauffement est plus lent ;
- En rénovation, l'isolation par l'extérieur permet de ne pas modifier les conduites et les appareils des installations sanitaires, électriques et de chauffage.

▪ Principaux systèmes

Les principaux systèmes d'isolation thermique par l'extérieur sont les suivants :

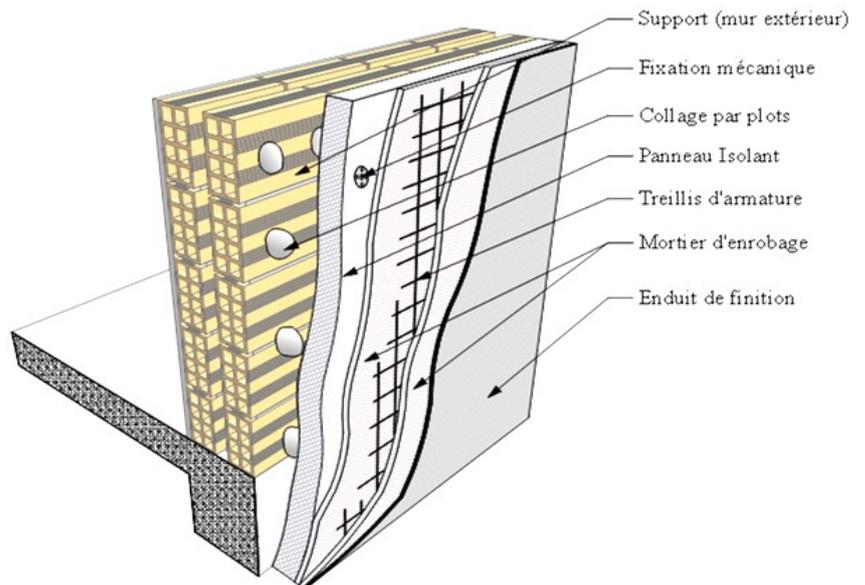
a) Panneaux d'isolation recouverts d'un enduit

Ce système comprend :

- des panneaux isolants (ex : polystyrène, de laine minérale, de verre cellulaire ou de polyuréthane) collés et/ou fixés mécaniquement au support ;
- un enduit de finition armé d'un treillis, synthétique ou métallique. Dans certains cas, ce treillis est partiellement incorporé dans l'isolant.

Figure IV-6. Système d'isolation recouvert d'un enduit

(Source : auteur)



Les détails d'exécution doivent être particulièrement soignés :

- sur les pourtours (rives supérieures et latérales, pied de mur, au droit des fenêtres et des portes, etc.), il faut empêcher toute pénétration de l'eau entre l'isolation et le mur plein ;
- autour des baies, l'isolation thermique doit être prolongée jusqu'à la menuiserie afin de supprimer les ponts thermiques. Les joints entre la fenêtre et l'enduit doivent être élastiques ; il faut faire attention à l'impact de l'isolation sur la dimension jour des baies ;
- l'espace sous le seuil doit être isolé thermiquement. Pour cela, il faut démonter le seuil existant, déposer une couche d'isolant (isolant incompressible) remplissant complètement l'espace prévu entre le mur et le nouveau seuil, poser ensuite le nouveau seuil en garantissant l'écoulement des eaux évacuées par le châssis (voir schéma ci-contre).

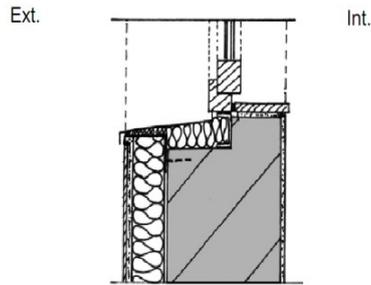


Figure IV-7. Isolation autour des baies. Un soin particulier doit être porté aux liaisons murs/baies



Figure IV-8. Isolation taillée autour d'une fenêtre et d'une ventilation et ajustée à l'angle du bâtiment.

Source : C. Grose (2009)

b) Panneaux d'isolation protégés par un bardage rapporté

Ce système comprend :

- une ossature en bois rapportée et fixée au support ancien (parfois en deux couches croisées) ; Les éléments de structure bois doivent être traités contre les attaques par les champignons et les insectes.
- un isolant thermique inséré entre ou sous les éléments de l'ossature ;
- une lame d'air, ventilée afin d'évacuer la condensation se formant au dos du bardage;
- un bardage constituant la « peau extérieure » (ardoises, lamelles métalliques ou plastiques, revêtements en bois, en zinc, en inox, etc.) fixé à l'ossature.

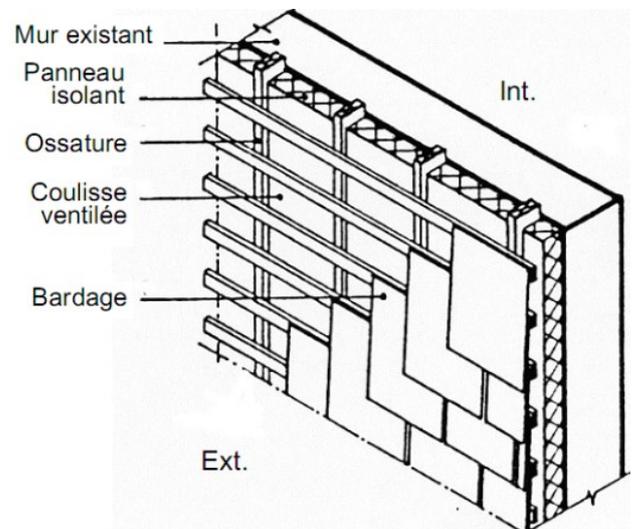


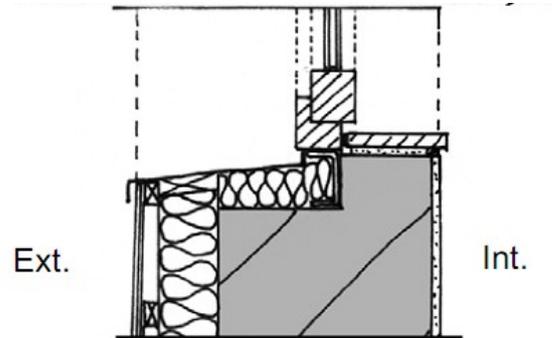
Figure IV-9. Panneau d'isolation protégé par un bardage

Des dispositions particulières doivent être prises en considération lors de l'isolation autour des baies :

- Pour le retour de l'isolation au linteau, l'isolant est posé entre des lattes fixées au linteau et recouvert d'une finition (feuille métallique, par exemple). Les retours aux piédroits de baie sont réalisés d'une manière similaire.
- Pour le retour de l'isolation au seuil de fenêtre, l'isolant est placé dans l'espace disponible, après démontage du seuil d'origine comme décrit dans le système précédent.

Figure IV-10. Détail de l'isolation autour des baies.

(Source : la rénovation et l'énergie)



c) Isolation par panneaux composites (Vêtture)

Une vêtture est constituée d'un isolant et d'un parement de dimensions similaires, posés en une seule fois sur le mur, en général, par fixation mécanique. Le parement manufacturé peut être en aluminium, en acier, en PVC, en mortier de résine armé de fibre de verre, ou chargé en granulats de pierre, de plaquettes de terre cuite ou de pierre¹³⁶.



Figure IV-11. Pose d'un parement isolant lors de travaux de réhabilitation d'un immeuble à Hofheim en Allemagne.

(Source : www.iwu.de)

▪ Avantages et inconvénients

Les principaux avantages et inconvénients de ce type d'isolation thermique par l'extérieur sont repris dans le tableau suivant :

¹³⁶ ADEME, CSTB. « Isolation thermique. Performances énergétiques des éléments opaques et transparents ». Guide technique. Pr 18

<i>Avantages</i>	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elle permet de supprimer les ponts thermiques locaux, notamment au droit des murs de refend, des dalles de béton ancrées dans le mur, des linteaux monolithes. ▪ Elle protège le mur du gel et des écarts de température trop importants pouvant favoriser l'apparition de fissures. ▪ Elle assure une protection contre la pénétration de la pluie battante. ▪ Elle améliore l'aspect extérieur en cas de revêtement abîmé. ▪ Elle fait bénéficier le climat intérieur, de la capacité d'accumulation des parois lourdes (inertie thermique). ▪ Elle permet de conserver toutes les finitions intérieures. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elle modifie entièrement l'aspect extérieur du bâtiment ; il y a donc lieu de vérifier l'intégration de la future façade dans son environnement architectural. Ces travaux nécessitent donc l'octroi d'un permis d'urbanisme. ▪ Pour être efficace, plus aucun pont thermique ne peut exister : les retours de baies doivent être isolés, les seuils en pierres doivent être remplacés par des seuils légers sous lesquels un isolant est appliqué, etc. ▪ Etant donné la surépaisseur du système, des problèmes d'alignement doivent être résolus, notamment au droit des gouttières, des descentes d'eau, des raccords avec les propriétés voisines ou publiques, etc. ▪ Ces travaux nécessitent un savoir-faire particulier et doivent être confiés à des entreprises spécialisées, surtout dans le cas des systèmes à enduits.

Tableau IV-1. Principaux avantages et inconvénients de l'isolation thermique par l'extérieur

IV- 1.2.1.2 Isolation thermique par l'intérieur

▪ Principes

L'isolation thermique intérieure consiste à appliquer, sur la face interne d'un mur extérieur, un isolant thermique protégé par une finition. L'isolation thermique par l'intérieur présente quelques particularités sur les plans spatiaux et techniques qu'on résumera dans les points suivants :

- Les travaux d'isolation thermique par l'intérieur risquent de perturber la vie des occupants, et les dimensions (surface, hauteur) des locaux isolés sont réduites ;
- Un bâtiment isolé par l'intérieur perd une grande partie de son inertie thermique ; cela a pour conséquence d'atténuer fortement le rôle de régulation thermique des parois. Ainsi, un local est rapidement chauffé mais il se refroidit tout aussi vite. Ces variations rapides de température nuisent au confort thermique mais ce système peut devenir avantageux lorsque le bâtiment est occupé durant de courtes périodes.

- L'isolation des murs par l'intérieur exige de prendre certaines précautions lors de la mise en œuvre afin d'éviter les problèmes de condensation interne, notamment :
 - fermer toutes les ouvertures qui permettraient à l'air intérieur de circuler derrière la couche isolante ;
 - prévoir une finition intérieure étanche à l'air sur toute la surface ;
 - poser, le cas échéant, un pare-vapeur avec raccords rendus étanches.
- Il est indispensable de neutraliser les ponts thermiques aux jonctions mur-sol, mur-toiture et mur-mur de refend afin d'éviter la création d'une surface froide et le risque de formation de moisissures qui pourrait en résulter.

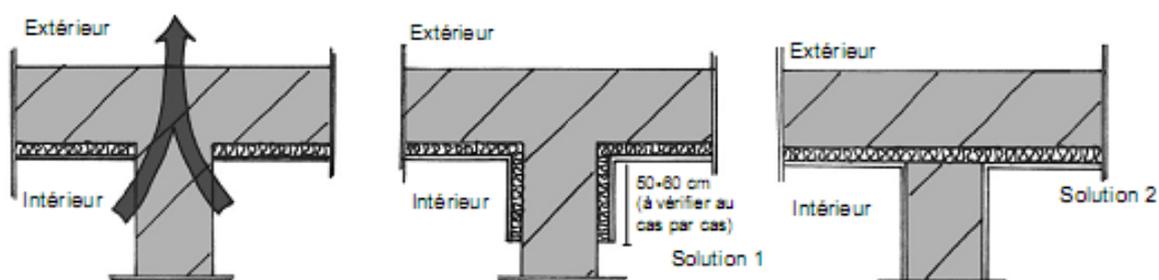


Figure IV-12. Isolation intérieure et ponts thermiques : solutions
(Source : La rénovation et l'énergie)

Comme pour l'isolation par l'extérieur, un soin particulier doit être porté à la continuité de l'isolation, notamment autour des baies, afin de réduire les effets de ponts thermiques.

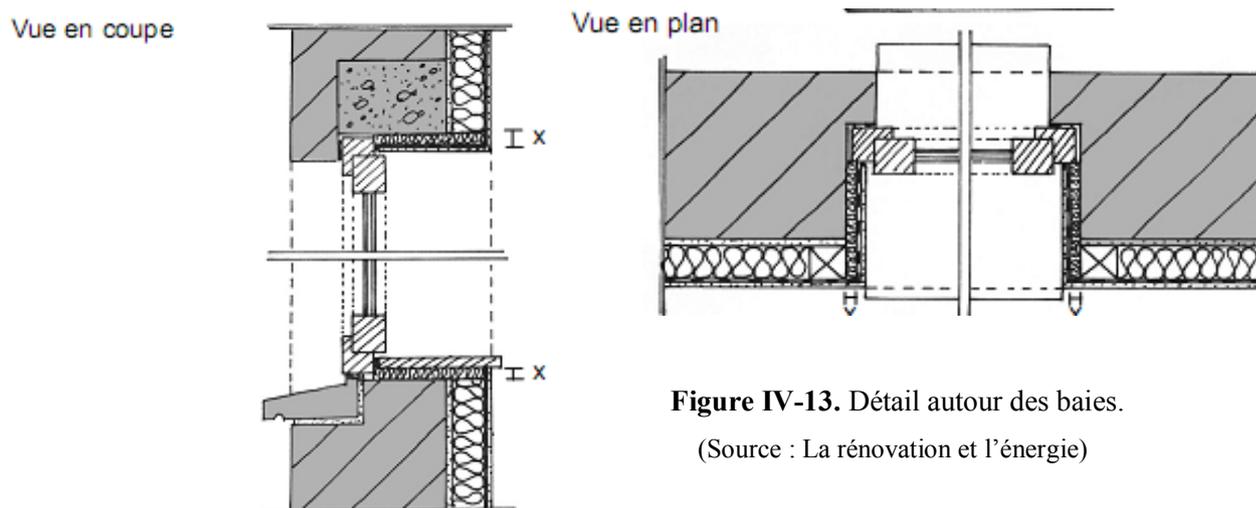


Figure IV-13. Détail autour des baies.
(Source : La rénovation et l'énergie)

Dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, les panneaux isolants sont soit collés ou fixés mécaniquement au support (mur extérieur), ou dans d'autres cas fixés sur une ossature en bois (elle-même fixée au mur). Plusieurs systèmes peuvent être utilisés pour ce type d'isolation.

▪ Principaux systèmes

a) Panneaux d'isolation recouverts par un enduit

Ce système comprend :

- des panneaux d'isolation collés au mur, éventuellement fixés mécaniquement. Les panneaux doivent être suffisamment étanche à la vapeur d'eau (Polystyrène, verre cellulaire) ;
- un enduit de plafonnage appliqué sur les panneaux, moyennant l'interposition éventuelle d'une armature.

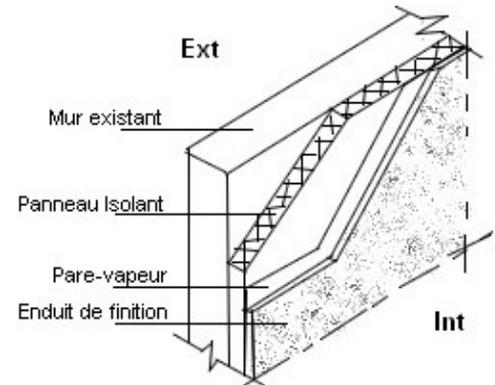


Figure IV-14. Panneau d'isolation recouvert par un enduit

b) Isolation protégée par une contre-cloison

Dans ce cas, n'importe quel isolant en rouleaux ou en plaques peut être utilisé, celui-ci est fixé soit par collage soit mécaniquement au support existant, ensuite, une contre-cloison vient le couvrir pour préparer la finition du mur intérieur. La contre-cloison est généralement en briques creuses ou pleines (ép.5cm), ou en carreaux de plâtre.

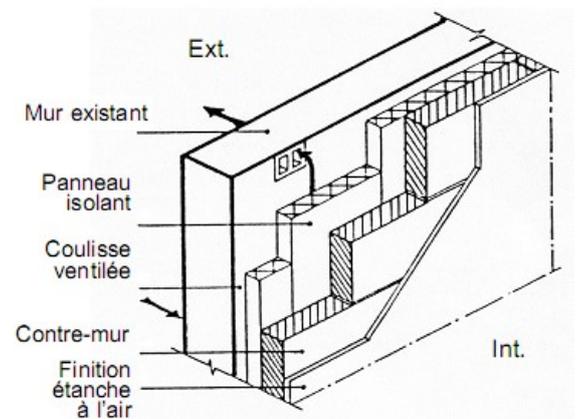


Figure IV-15. Isolation protégée par une contre-cloison

c) Isolation par complexe de doublage intérieur

Un complexe de doublage est composé de l'isolant, de la couche de finition (ex. plâtre) et d'un pare-vapeur incorporé. Les joints entre panneaux sont soigneusement traités. Ce système permet éventuellement de créer une lame d'air derrière le panneau ventilée vers l'extérieur.

Les principaux avantages et inconvénients de l'isolation thermique par l'intérieur sont repris dans le tableau suivant :

▪ Avantages & inconvénients

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le coût de l'isolation par l'intérieur est généralement moindre qu'un traitement par l'extérieur. ▪ L'aspect extérieur du bâtiment est maintenu. ▪ La perte de l'inertie thermique des parois ainsi isolées induit un temps plus court de réchauffement et de refroidissement des locaux. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le mur ainsi isolé est plus sujet à des écarts de température entre le jour et la nuit, ainsi qu'entre l'été et l'hiver. Ceci, combiné avec l'action du gel, favorise l'apparition de fissures par lesquelles la pluie battante peut pénétrer d'autant plus facilement. ▪ L'inertie thermique du mur existant n'est plus utilisable pour améliorer le confort intérieur. ▪ Il n'est pas toujours possible d'éviter les ponts thermiques, en particulier au droit des appuis des planchers, de la liaison avec les murs de refend, ainsi qu'au droit des pieds de mur. Il y a un risque de condensation à ces endroits. ▪ Le volume des locaux est légèrement diminué, les finitions intérieures existantes doivent être remplacées et les installations électriques et de chauffage doivent être complètement revus. ▪ Difficultés d'application autour des fenêtres et des portes

Tableau IV-2. Principaux avantages et inconvénients de l'isolation thermique par l'intérieur

Selon R. Gonzalo¹³⁷, Une isolation intérieure exerce à l'inverse d'une isolation extérieure une influence négative sur la masse d'inertie et le confort intérieur. En raison des problèmes constructifs qu'elle entraîne (mauvaise régulation hygrométrique, point de rosée), on ne l'envisage que lorsqu'une isolation par l'extérieur nuirait à l'esthétique d'un bâtiment (par exemple pour des maçonneries apparentes, une façade avec éléments de modénature ou bien pour la protection du patrimoine). Pour éviter les ponts thermiques, les liaisons entre les murs intérieurs et les planchers doivent être étudiées avec attention. Il est indispensable de prévoir un pare-vapeur sans le moindre interstice. Si cela n'est pas réalisable, on se tournera vers des systèmes isolants qui empêchent la pénétration de vapeur d'eau.

¹³⁷ R. Gonzalo et K. J. Habermann, (2008). Op.cit. p. 105

IV- 1.2.1.3 Isolation thermique intermédiaire

▪ Principes

Cette technique s'adresse principalement aux constructions avec un mur creux ne comportant pas d'isolant dans la coulisse ventilée, qui est le cas de la plupart des constructions contemporaines en Algérie. Cette technique comporte quelques particularités tels que :

- Cette technique ne permet pas de corriger les effets des ponts thermiques assez nombreux dans les constructions contemporaines.
- Avant d'entamer les travaux, un examen préalable de la coulisse est indispensable pour vérifier l'état et la qualité du creux. On vérifiera ainsi l'absence de gravats, déchets et autres matériaux dans la coulisse.
- Le matériau isolant utilisé dans ce cas ne doit pas être capillaire ni hydrophile (il ne peut absorber ni retenir l'eau) ; doit être suffisamment perméable à la vapeur d'eau et doit avoir une consistance suffisante pour ne pas s'affaisser.
- Les problèmes d'humidité ascensionnelle doivent être préalablement résolus, la faculté d'assèchement du mur étant amoindrie par le remplissage du creux.

L'isolation par remplissage s'effectue soit par injection, soit par remplissage au moyen de matériaux isolants en vrac.

▪ Principaux systèmes

a) Remplissage par insufflation des isolants en vrac

Cette technique consiste à introduire, dans la coulisse, des matériaux isolants sous forme de granules, comme par exemple, des perles de polystyrène expansé (insufflées en même temps qu'une colle) ou de la laine minérale (de roche ou de verre) en flocons.

Le principal avantage de ce système est que le produit isolant est mis en place à l'état sec. Par contre, ces isolants en vrac présentent l'inconvénient de se tasser avec le temps, et le contrôle du remplissage est difficile à réaliser.

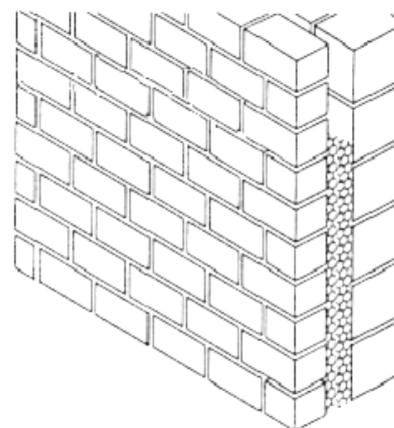


Figure IV-16. Remplissage par insufflation des isolants en vrac

b) Remplissage par injection d'isolants sous forme de mousse

Les vides sont remplis par l'injection simultanée des composants d'une mousse d'urée-formaldéhyde au travers de petits orifices percés dans le mur extérieur.

Le principal avantage de ce système est que l'isolation thermique s'adapte aux interstices de forme irrégulière.

Par contre, la mise en place ne peut se faire qu'après avoir évalué les effets secondaires de l'injection par la mousse et le contrôle du remplissage est assez difficile à réaliser.

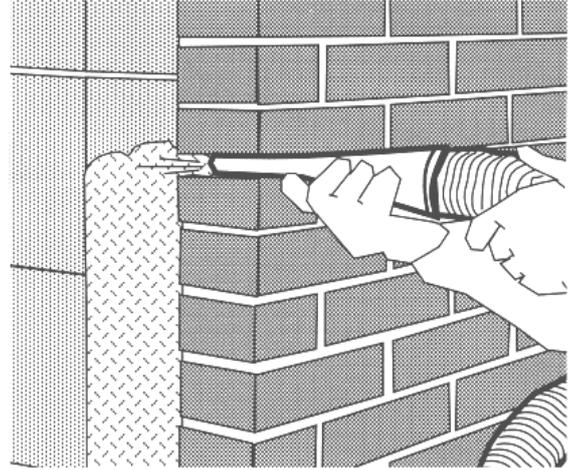


Figure IV-17. Remplissage par injection d'isolants sous forme de mousse

▪ Avantages & inconvénients

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pour les murs creux, composés de deux murs séparés par une couche d'air, cette technique est plus simple et entraîne des frais moins importants qu'une isolation extérieure ou intérieure. ▪ Cette technique présente l'intérêt de ne modifier ni l'aspect extérieur du bâtiment, ni les finitions intérieures. ▪ Cette méthode s'applique sans perturber les occupants. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ce type d'isolation ne permet pas de corriger les effets des ponts thermiques ▪ Le remplissage de la coulisse modifie le comportement du mur de parement qui devient plus froid en hiver ▪ Un examen préalable de la coulisse est indispensable avant de commencer les travaux. ▪ La faculté d'assèchement du mur est amoindrie par le remplissage du creux.

Tableau IV-3. Avantages & inconvénients d'une isolation thermique intermédiaire

IV- 1.2.2 Isolation thermique des toitures

La part des échanges thermiques (gains et déperditions) par la toiture est le plus important parmi les éléments qui composent l'enveloppe d'une construction (environ 30% selon l'ADEME). Pour cette raison, les spécialistes estiment que l'isolation des toitures est la plus rentable en termes de confort thermique et d'économies d'énergie.

Guy Loison dit à ce sujet¹³⁸ que la maison et son système de chauffage se comportent comme une vulgaire cheminée ou une montgolfière : la chaleur monte, si rien ne l'arrête, elle s'échappe par le toit. L'isolation de celui-ci est une intervention à réaliser en priorité.

Le choix parmi la grande diversité de matériaux isolants dépend de la nature de la toiture, son architecture et du coefficient de résistance thermique recherché.

IV- 1.2.2.1 Isolation thermique des toitures inclinées

Les toitures inclinées sont réhabilitées thermiquement en intégrant une couche d'isolation, soit au niveau du plancher, ou sous les chevrons. Cette disposition dépend du fait que l'espace sous toiture est utilisé ou non (chauffé ou non chauffé).

IV- 1.2.2.1.1 Les combles perdus (greniers)

Les combles perdus (greniers) sont des parties non habitables situées sous les toitures inclinées. Ils ne sont pas chauffés et doivent être séparés du logement chauffé par une barrière isolante.

Si le comble n'est pas habitable, l'isolant peut être directement posé sur le plancher ; entre ou par-dessus les chevrons. C'est, en général, une solution très économique¹³⁹. Cet isolant pouvant être :

- les laines minérales (de verre ou de roche) en rouleaux ou en panneaux ;
- des billes de polystyrène, la laine minérale en vrac ;
- les isolants en panneaux (polystyrène expansé, polystyrène extrudé, polyuréthane).

Il existe plusieurs manières pour isoler le plancher du comble non habitable.

- L'isolant sous forme de rouleaux ou de panneaux peut être disposé entre les solives en une ou deux couches.
- L'isolant en vrac (billes de polystyrène, vermiculite, laine de roche...) est disperser (ou soufflée à l'aide d'un appareillage approprié) au dessus du plancher.

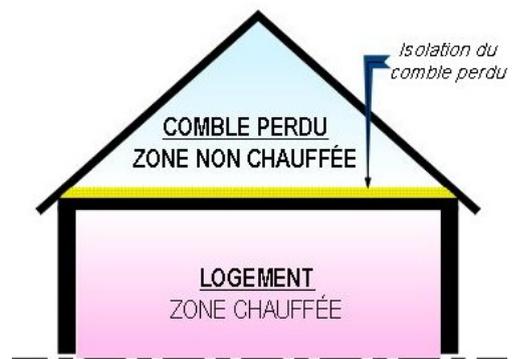


Figure IV-18. Isolation des combles perdus

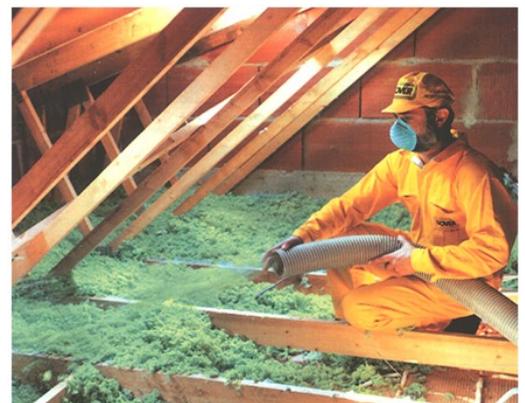


Figure IV-19. Laine minérale soufflée.
(Source : C. Langlais)

¹³⁸ G. Loison, L'isolation thermique, Ed. Flammarion, Paris 2000, p.41

¹³⁹ Ministère de l'équipement, Direction de la Construction, Guide pratique pour l'amélioration des logements existants, Ed. Du moniteur, Paris 1977, p.220

- Un isolant composite (ex. isolant + plâtre cartonné) est placé en dessous des solives pour former le plafond.

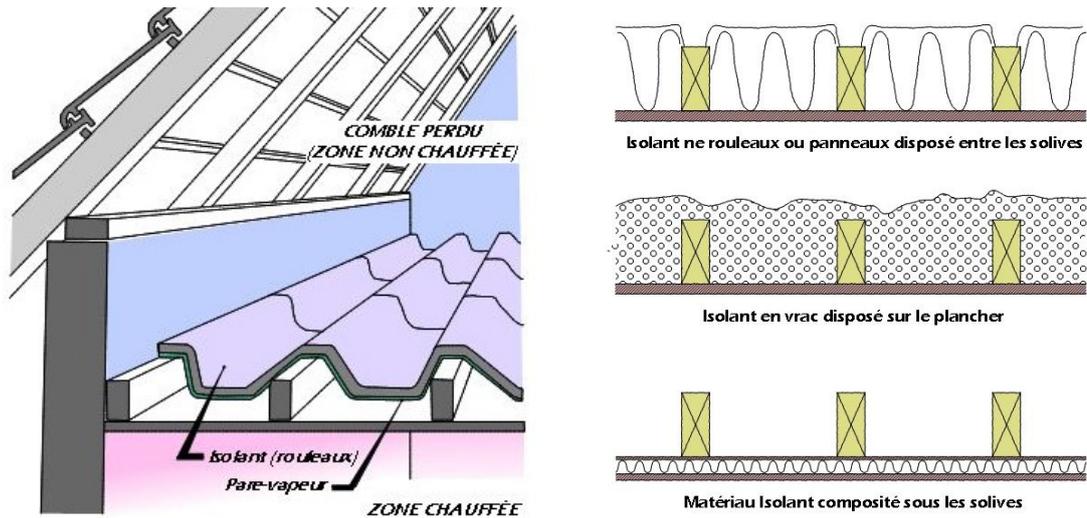


Figure IV-20. Différentes forme d'isolation du comble perdu. (Source : auteur)

IV- 1.2.2.1.2 Les combles habitables

Les combles habitables sont des parties utilisées de la construction situées sous la toiture. Leur utilisation requiert qu'ils aient le confort thermique nécessaire.

Les isolants utilisés dans ce cas sont les isolants rigides et semi-rigides tels que les panneaux de polystyrènes ou polyuréthanes ou les panneaux de fibre de verre ou laine de roche ou encore des isolants composites¹⁴⁰.

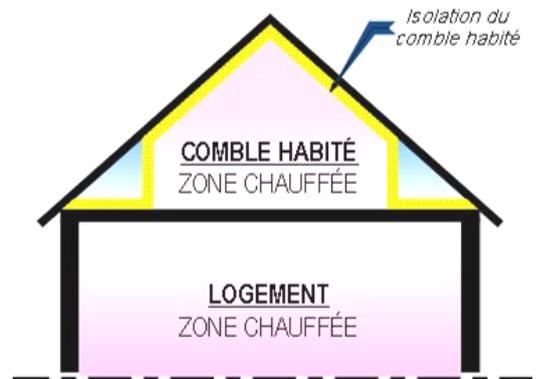


Figure IV-21. Isolation des combles habitables

Il existe plusieurs manières pour isoler la sous face de la toiture d'un comble habitable.

- L'isolant sous forme de rouleaux ou de panneaux peut être disposé entre les chevrons et retenus par des panneaux de plâtre.
- L'isolant composite est fixé mécaniquement sous les chevrons.

Afin d'éviter les désordres liés à l'humidité et à la condensation de l'eau, quelques dispositions sont toutefois à prendre lors de ce type d'isolation¹⁴¹ :

- Ménager entre l'isolant et le dessous du matériau de couverture (tuiles, ardoises...) un espace d'au moins 3cm pour assurer la ventilation de sa sous face.

¹⁴⁰ Guide pratique pour l'amélioration des logements existants. (1977). Op.cit.

¹⁴¹ ADEME, L'isolation thermique.

- L'isolant doit être pourvu d'un pare-vapeur, côté intérieur de la maison, ou être étanche à la vapeur d'eau afin de ne pas se charger d'humidité au contact de l'air chaud.

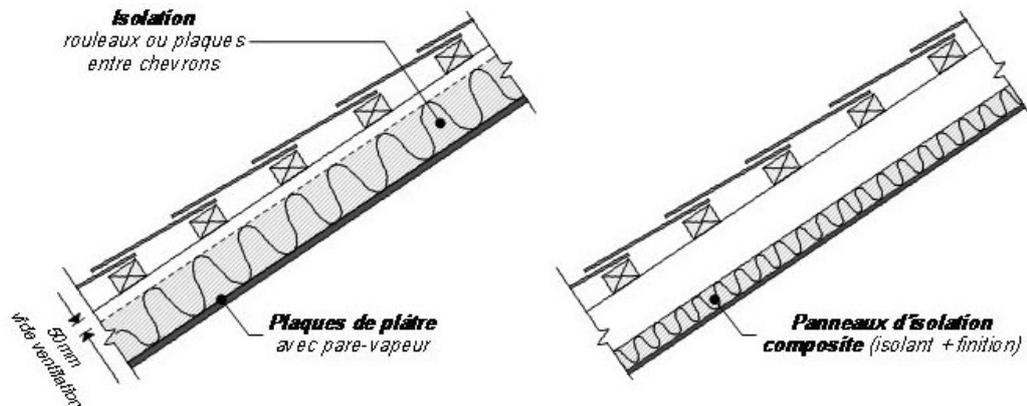


Figure IV-22. Isolation entre et sous chevrons. (Source : auteur)

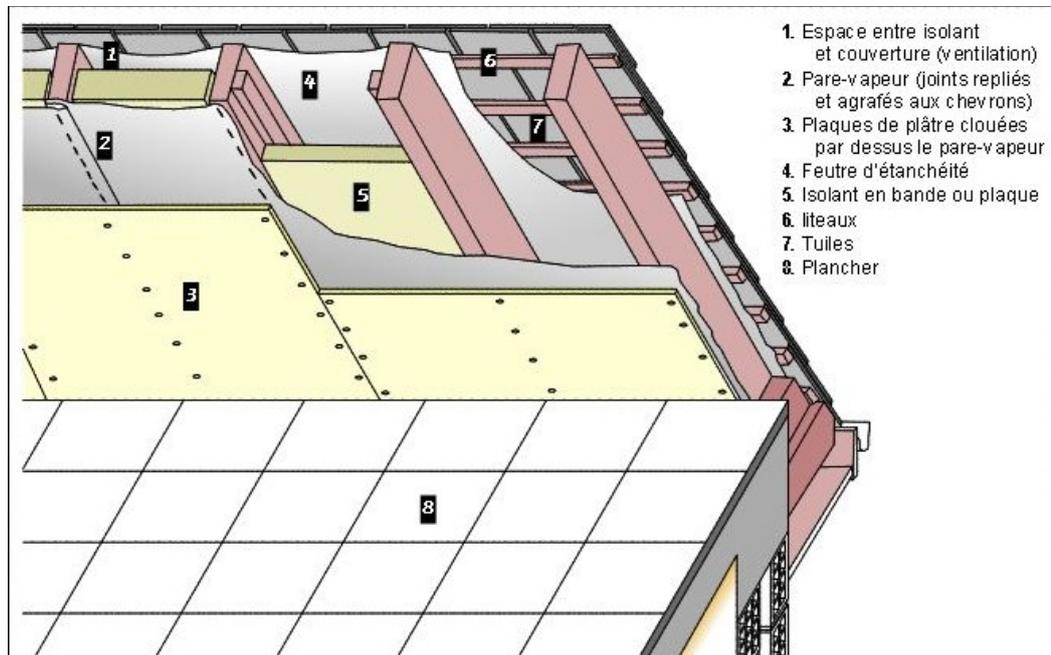


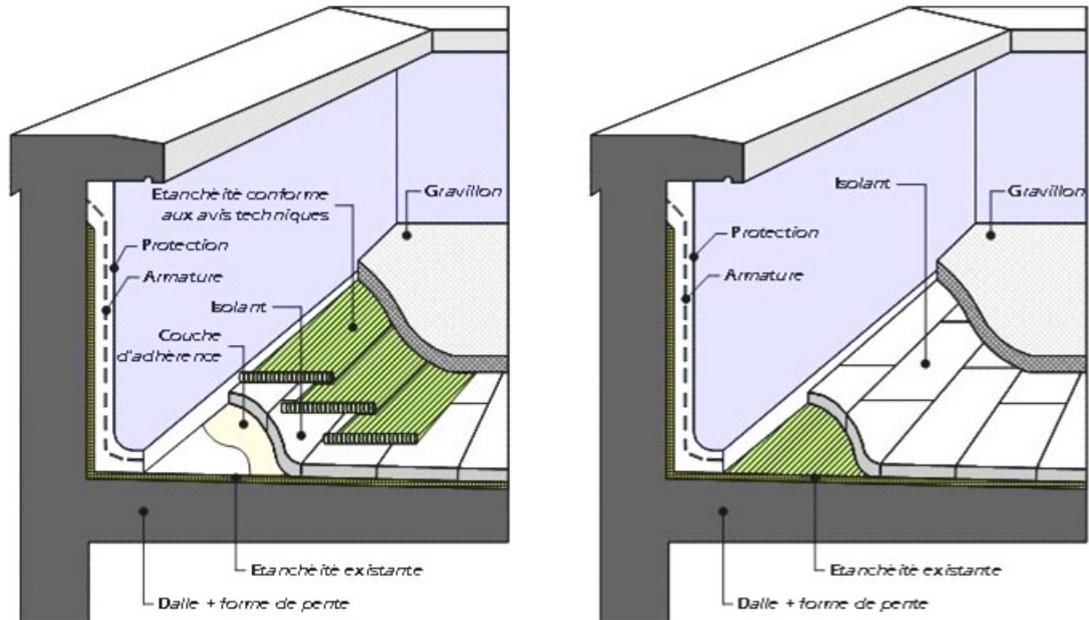
Figure IV-23. Isolation des combles habitables. (Source : auteur)

IV- 1.2.2.2 Isolation thermique des toitures-terrasses

Il y a deux positions possibles pour l'isolation des toitures-terrasses :

- Par l'intérieur, en sous face de la dalle porteuse. Cette disposition est, en général, à rejeter car les chocs thermiques dans la terrasse sont augmentés et une telle disposition risque d'entraîner des désordres graves dans la construction : fissures dans les acrotères, au sommet des murs, au niveau des chaînages, etc. Aussi, cette disposition diminuerait de la hauteur habitable des constructions, ce qui n'est pas toujours admissible.

- Par l'extérieur, ce qui conduit la plupart du temps à refaire l'étanchéité en disposant des isolants en dessous de celle-ci. Quand l'étanchéité existante est en bon état, on peut se contenter, après enlèvement de la protection lourde, de disposer un lit continu de panneaux isolants en mousse rigide sur l'étanchéité puis de protéger ces panneaux et de les lester par une protection lourde améliorée : c'est ce qu'on appelle la **toiture inversée**¹⁴².



Isolation sous étanchéité (toit ordinaire)

Isolation sur étanchéité (toit inversé)

Figure IV-24. Isolation d'une toiture terrasse. (Source : auteur)

L'isolation sous étanchéité pose des problèmes de poinçonnement et de mouvements de l'isolation au niveau des joints entre plaques d'isolant. Par contre le principe de la toiture inversée (isolation sur étanchéité) est plus pratique. Les panneaux d'isolant sont placés en indépendance totale sur l'étanchéité et lestés par une protection lourde (gravillons, dalle ...etc.). Les panneaux protègent l'étanchéité contre les chocs thermiques et contre les poinçonnements.

IV- 1.2.3 Isolation thermique des planchers bas

Le plancher bas d'une habitation peut se trouver, par rapport à l'environnement extérieur, dans diverses situations :

1. Au dessus d'un passage ouvert ;
2. Au dessus d'un vide sanitaire ou d'un sous-sol ;
3. Sur un terre-plein.

¹⁴² Guide pratique pour l'amélioration des logements existants (1977). Op.cit. p. 219

On regroupera les deux premières situations pour leur similarité du point de vue thermique (planchers sur zone non chauffée accessible par le bas).

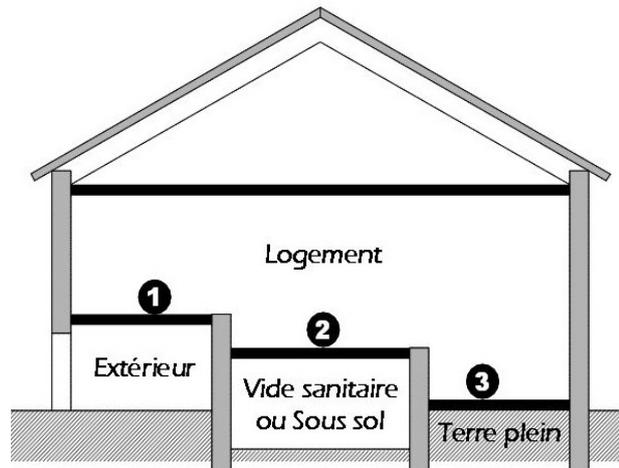


Figure IV-25. Positions du plancher bas

IV- 1.2.3.1 Planchers sur locaux non chauffés ou sur passages

L'isolation peut se faire des deux cotés du plancher

L'isolation par chape flottante ne peut être envisagée qu'en cas de restauration lourde, on doit donc se contenter le plus souvent d'un renforcement en sous face de la dalle¹⁴³.

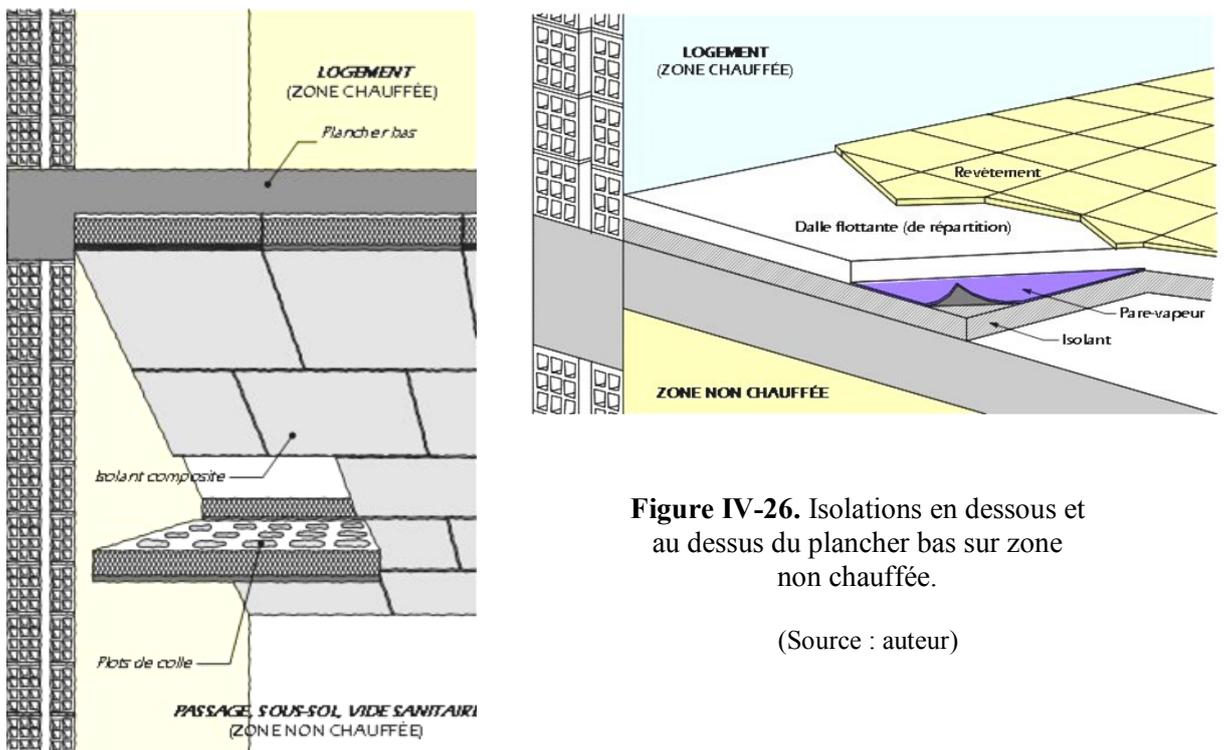


Figure IV-26. Isolations en dessous et au dessus du plancher bas sur zone non chauffée.

(Source : auteur)

¹⁴³ Guide pratique pour l'amélioration des logements existants. (1977). Op.cit. p. 63.

IV- 1.2.3.2 Planchers sur terre-plein

Deux cas de figure peuvent être envisagés pour l'isolation des planchers sur terre plein :

- L'isolant est placé sous la dalle flottante ;
- Le second procédé consiste à poser l'isolant sur la dalle, puis à disposer un lit de colle pour appliquer le carrelage de finition directement.

Les deux procédés nécessitent les dispositions de choisir un isolant résistant à l'humidité et capable de supporter sans se déformer le poids de la dalle flottante et autres surcharges.

On notera que le premier procédé (sous la dalle) a le désavantage de nécessiter des travaux lourds, puisqu'il requiert le remplacement du dallage et du revêtement. Par contre, dans le second procédé (sur la dalle), on peut garder le plancher existant. D'autres inconvénients existent tels que la diminution de la hauteur des locaux et le réaménagement des portes.

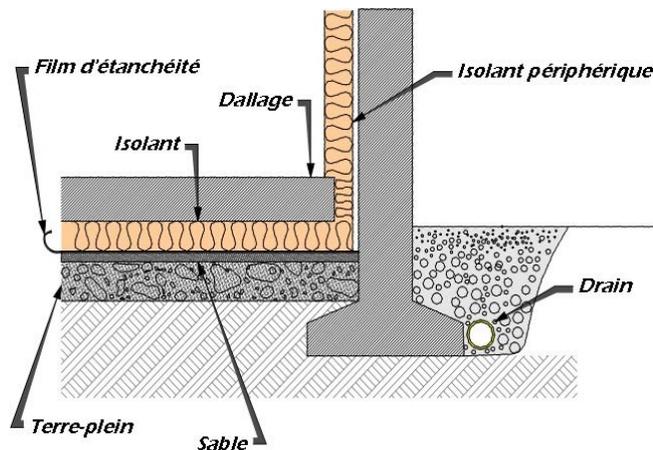


Figure IV-27. Isolation d'un plancher sur terre-plein (sous le dallage)
(Source : auteur)

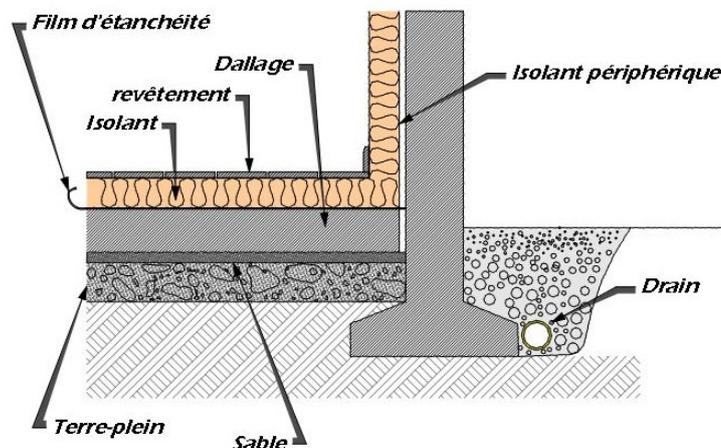


Figure IV-28. Isolation d'un plancher sur terre-plein (au dessus du dallage)
(Source : auteur)

CRITERES	ISOLATION EXTERIEURE		ISOLATION INTERIEURE		ISOLATION INTERMEDIAIRE (PAR REMPLISSAGE DU MUR CREUX)	
<input checked="" type="checkbox"/> Critère Positif						
<input checked="" type="checkbox"/> Critère Négatif						
INERTIE THERMIQUE	L'intérieur bénéficie de la capacité d'accumulation de chaleur des parois lourdes	<input checked="" type="checkbox"/>	L'inertie thermique du mur existant n'est plus utilisable pour améliorer le confort intérieur	<input checked="" type="checkbox"/>	L'intérieur bénéficie de la capacité d'accumulation de chaleur des parois lourdes	<input checked="" type="checkbox"/>
PONTS THERMIQUE	Suppression des ponts thermiques (sauf vers les fondations)	<input checked="" type="checkbox"/>	Ponts thermiques difficiles à éviter	<input checked="" type="checkbox"/>	Cette solution ne permet pas de corriger les défauts ponts thermiques	<input checked="" type="checkbox"/>
PROTECTION CONTRE LA PLUIE BATTANTE	Le nouveau parement assure une bonne protection contre la pluie battante	<input checked="" type="checkbox"/>	Les problèmes de pénétration de pluie battante doivent être résolus sous peine de détériorer l'isolant	<input checked="" type="checkbox"/>	Les pénétrations de pluie doivent être évacuées par drainage de la coulisse ou par séchage du parement	<input checked="" type="checkbox"/>
PROTECTION CONTRE LES ECARTS DE TEMPERATURE ET LE GEL	L'isolation extérieure protège le mur du gel et des écarts de température trop importants	<input checked="" type="checkbox"/>	Le mur est sujet à des écarts de température augmentant le risque d'apparition de fissures	<input checked="" type="checkbox"/>	Le mur de parement est sujet à des écarts de température augmentant le risque d'apparition de fissures	<input checked="" type="checkbox"/>
SECHAGE DU MUR EXTERIEUR	La température du mur reste constante tout au long de l'année et de plus le mur est protégé des pluies	<input checked="" type="checkbox"/>	Le mur devient plus froid en hiver ; son séchage est moins rapide et l'humidité extérieure pénètre plus profondément	<input checked="" type="checkbox"/>	Le mur de parement devient plus froid en hiver ; son séchage devient moins rapide et il est donc plus humide	<input checked="" type="checkbox"/>
HUMIDITE	La vapeur d'eau doit pouvoir migrer de l'intérieur vers l'extérieur au travers du revêtement extérieur	<input checked="" type="checkbox"/>	Il y a risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant ; il faut prévoir un pare-vapeur efficace	<input checked="" type="checkbox"/>	L'humidité ascensionnelle doit être traitée ; il faut aussi une protection supplémentaire au droit des ponts thermiques	<input checked="" type="checkbox"/>
DEGRADATION DU PAREMENT EXTERIEUR	Cette solution implique un nouveau parement extérieur	<input checked="" type="checkbox"/>	Le séchage du mur extérieur étant moins rapide, le parement extérieur devient plus humide et peut se dégrader	<input checked="" type="checkbox"/>	Le parement extérieur devient plus humide et il peut se dégrader ; si l'isolant injecté gonfle, le parement peut éclater	<input checked="" type="checkbox"/>
MODIFICATION DE L'ASPECT EXTERIEUR	L'aspect extérieur étant modifié cette solution nécessite un permis d'urbanisme	<input checked="" type="checkbox"/>	L'aspect extérieur du bâtiment est conservé	<input checked="" type="checkbox"/>	L'aspect extérieur du bâtiment est conservé	<input checked="" type="checkbox"/>
MODIFICATION DES FINITIONS INTERIEURES	Les finitions intérieures ne sont pas modifiées	<input checked="" type="checkbox"/>	De nouvelles finitions intérieures doivent être appliquées	<input checked="" type="checkbox"/>	Les finitions intérieures ne sont pas modifiées	<input checked="" type="checkbox"/>
MODIFICATION DU VOLUME DES LOCAUX	Les volumes des locaux restent inchangés	<input checked="" type="checkbox"/>	Les volumes des locaux sont diminués	<input checked="" type="checkbox"/>	Les volumes des locaux restent inchangés	<input checked="" type="checkbox"/>
COUT	Solution assez coûteuse qui nécessite un savoir-faire	<input checked="" type="checkbox"/>	Solution plus simple et qui entraîne des frais moins importants que l'isolation par l'extérieur	<input checked="" type="checkbox"/>	Solution plus simple et qui entraîne des frais moins importants que les autres solutions	<input checked="" type="checkbox"/>

Tableau IV-4. Tableau comparatif reprenant les différentes façons d'isoler l'enveloppe d'un bâtiment et leurs caractéristiques. (source : auteur)

IV- 1.2.4 Isolation des parois transparentes

Les parois transparentes représente une part importante des échanges thermiques entre l'intérieur d'une construction et son environnement extérieur, les déperditions thermiques, selon l'ADEME, peuvent aller jusqu'à 13% des déperditions totales d'une construction.

Trois paramètres affectent la performance thermique d'une paroi vitrée¹⁴⁴ : la nature de la menuiserie, les performances du vitrage et la qualité de la mise en œuvre de la fenêtre.

Les menuiseries extérieures posent deux problèmes, celui de l'isolation des parties transparentes et celui de l'étanchéité à l'air de la menuiserie. L'amélioration de l'isolation thermique du vitrage repose sur le pouvoir isolant d'une lame d'air prise entre deux vitres. Pour réaliser un tel système d'isolation lors d'une réhabilitation thermique, on pourra soit utiliser des **doubles vitrages isolants** fabriqués industriellement, soit des **survitrages** qui consistent à appliquer une seconde vitre sur la face intérieure du châssis, soit enfin les **doubles fenêtres** ¹⁴⁵.

L'amélioration des performances thermiques des menuiseries est liée à leur étanchéité à l'air, ce qui permet de minimiser les courants d'air dans le logement. Mais cela n'implique pas la suppression totale de la ventilation, qui dans ce cas là doit être contrôlée, pour s'assurer que le renouvellement d'air du logement demeure suffisant au regard des règles d'hygiène.

IV- 1.2.4.1 Techniques de réhabilitation des fenêtres

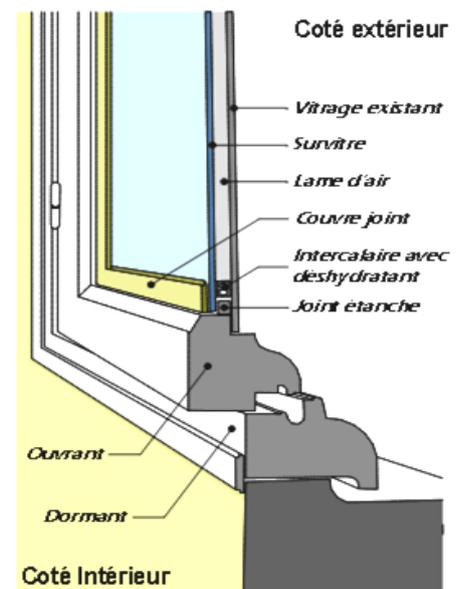
Dans la réhabilitation thermique de l'existant, plusieurs techniques existent pour améliorer la qualité thermique des menuiseries :

IV- 1.2.4.1.1 Le survitrage

Il s'agit de poser sur la fenêtre existante une vitre rapportée à l'aide de profilés spécifiques. Cette opération permet d'améliorer les capacités isolantes des fenêtres par la création d'une lame d'air statique derrière la fenêtre existante. Le survitrage peut être fixe, démontable ou ouvrant.

Figure IV-29. Survitrage fixé sur vitrage existant.

(Source : auteur)



¹⁴⁴ ADEME. Améliorer le confort de votre maison, l'isolation thermique. Mars 2008

¹⁴⁵ Guide pratique pour l'amélioration des logements existants. (1977). Op.cit. p. 221

L'avantage de cette solution consiste en sa simplicité et son faible coût, cependant, l'inconvénient est que le vitrage rapporté peut alourdir l'ouvrant, pour cela il faut que la structure de la fenêtre existante soit à même de supporter cette surcharge, aussi le survitrage n'est pas totalement étanche, donc sensible au développement de condensation et à l'encrassement des vitres¹⁴⁶.

IV- 1.2.4.1.2 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 fabriqués en usine, rempli d'air sec ou de gaz neutre, parfaitement étanche. Ils sont munis de profilés permettant de les fixer dans les feuillures existantes¹⁴⁷.

Cette technique, comme la précédente a le désavantage de surcharger la fenêtre existante, et peut provoquer son affaissement.

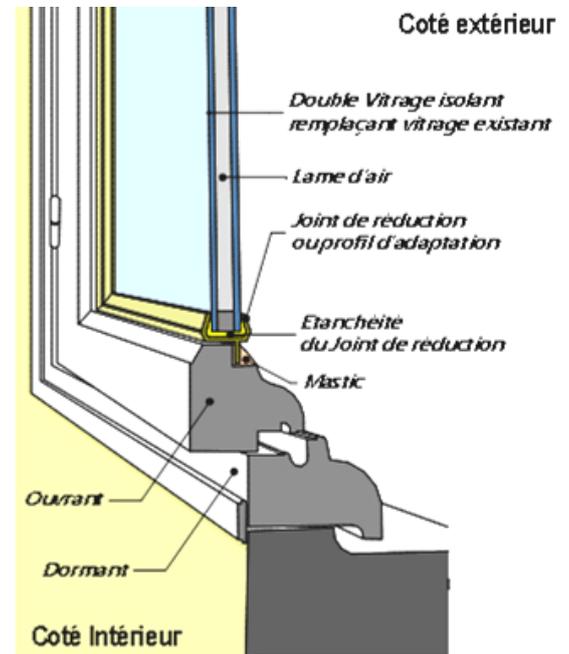


Figure IV-30. Double vitrage de rénovation.
(Source : auteur)

IV- 1.2.4.1.3 Changement de fenêtre

Si l'état de la fenêtre ne permet qu'elle soit réhabilitée thermiquement (elle ferme mal, elle est pourrie ou colonisée...), celle-ci doit être remplacée. Deux possibilités peuvent survenir, le changement de la fenêtre avec conservation du dormant existant, ou le remplacement total de l'ancienne fenêtre.

Le dormant existant peut être conservé, s'il est en bon état, dans ce cas, l'opération se fait en mettant en œuvre, par recouvrement sur ce dormant, une nouvelle fenêtre complète (dormant + ouvrant). Cette technique a l'avantage d'être rapide et sans dommage pour l'environnement immédiat de la baie (enduit, papier peint ...) ¹⁴⁸.

¹⁴⁶ ADEME (2008). Op.cit. p. 26

¹⁴⁷ Ibid. m. p

¹⁴⁸ Ibid. p. 27

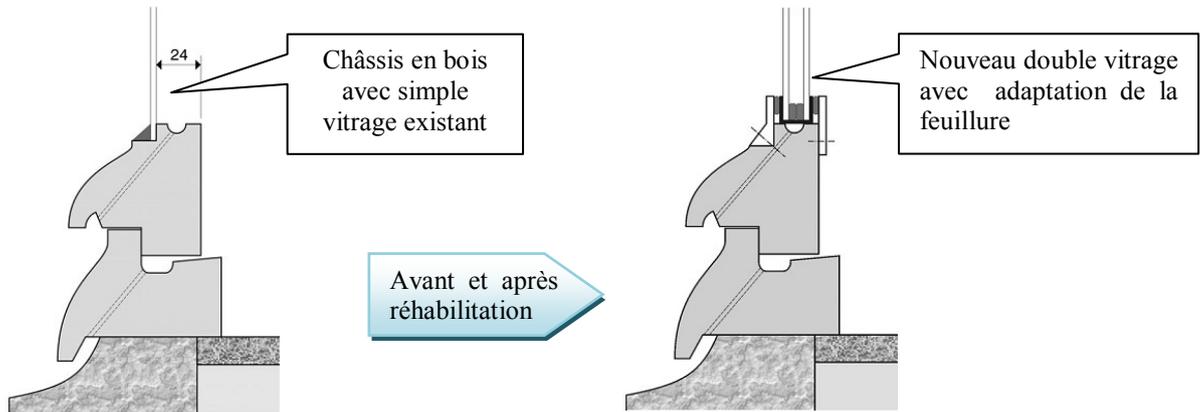


Figure IV-31. Transformation d'une fenêtre par remplacement du vitrage en place par un vitrage thermiquement plus performant.

(Source : La rénovation et l'énergie)

Néanmoins, si le dormant existant est en mauvais état, le remplacement totale de la fenêtre est à prévoir. Dans ce cas, l'opération devient plus lourde et nécessitera des travaux de finitions intérieures aux alentours des baies.

En termes de qualité thermique et d'étanchéité à l'air, cette dernière option (changement de fenêtre) permet d'avoir les meilleurs résultats, toutefois, son coût élevé reste un son point négatif. Les performances énergétiques de certains systèmes de vitrages sont résumées dans le tableau suivant ¹⁴⁹:

<i>Type de vitrage</i>	<i>Composition [mm]</i>	<i>Valeur U centrale [W/m²K]</i>	<i>Facteur solaire absolu</i>	<i>Facteur lumineux absolu</i>
<i>Vitrage simple</i>	4	5,80	0,85	0,90
	6	5,73	0,83	0,88
<i>Double vitrage avec lame d'air</i>	4+12+4	2,88	0,76	0,81
<i>Double vitrage, couche basse émissivité, lame d'air</i>	6+12+6	1,75	0,60	0,74
<i>Double vitrage, couche basse émissivité, argon</i>	6+15+6	1,32	0,61	0,74
<i>Triple vitrage, lame d'air</i>	4+6+4+6+4	2,29	0,67	0,73

Tableau IV-5. Performances énergétiques de divers systèmes de vitrages

¹⁴⁹ F. Simon & al. La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes. UCL- ULg, Ministère de la Région Wallonne – DGTRE. 2002. p. 43

IV- 1.3 Mesures de conceptions bioclimatiques

Toute réalisation architecturale concrétise un microcosme en rapport plus ou moins étroit avec l'environnement auquel il appartient. Le but de la conception, de la rénovation et de la construction d'un bâtiment est de réaliser ce microcosme en concordance optimale avec son environnement et de donner ainsi au climat une juste place parmi les dimensions fondamentales de toute intervention de l'architecte sur l'environnement. L'architecture ainsi définie inclut le climat et la dynamique qu'il implique: c'est l'architecture bioclimatique¹⁵⁰.

Issues d'une tradition constructive, les principes bioclimatiques sont fondés sur un choix judicieux de la forme du bâtiment, de son implantation, de la disposition des espaces et de l'orientation en fonction des particularités du site : climat, vents dominants, qualité du sol, topographie, ensoleillement et vues¹⁵¹.

La réhabilitation thermique de l'habitat peut être réalisée en grande partie par le biais de concepts de l'architecture bioclimatique, l'adaptation des logements à ces principes, même si cela paraît plus difficile que pour une réalisation nouvelle, ne sont toutefois pas impossible. Il s'agit pour nous d'optimiser, par ces biais, la construction aux atouts du climat et, inversement, de la protéger de ces contraintes. Pour arriver à ce dessein, nous allons mettre la lumière sur les différents concepts de l'architecture bioclimatique qui peuvent être utile dans toute opération de réhabilitation thermique.

IV- 1.3.1 La situation géographique

L'architecture bioclimatique c'est construire en fonction du lieu, du climat et de l'usage. Ainsi la situation géographique d'une construction fait partie des paramètres qui influencent directement le degré de confort thermique de ses occupants, cela en raison de son incidence sur le rapport au soleil, aux vents dominants et sa situation dans son contexte environnemental (naturel ou bâti).

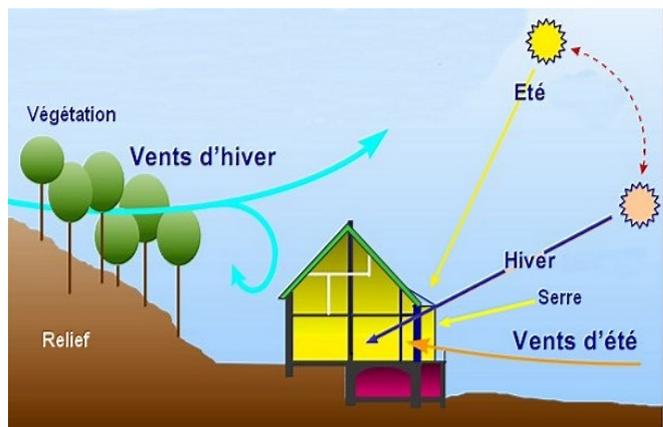


Figure IV-32. L'implantation tient compte du relief, des vents locaux, de l'ensoleillement...etc.

Source : A. De Herde & A. Liébard (2005)

La situation géographique d'une construction sous-entend deux éléments qui influenceront ses performances thermiques : sa localisation (climat et environnement), et son orientation.

¹⁵⁰ A. De Herde, A. Evrard. « Béton et utilisation rationnelle de l'énergie ». Bulletin publié par : FEBELCEM - Fédération de l'Industrie Cimentière Belge. 2005. p.4

¹⁵¹ D. Gauzin-Müller. L'architecture écologique. Ed. Du Moniteur. Paris 2001. p.92

IV- 1.3.1.1 La localisation

La localisation dans le site est un préalable de l'intégration de la composante énergétique dans la maîtrise des ambiances architecturales, pour qui, réussir une insertion du bâtiment, revient à exploiter le potentiel du site et procéder à l'analyse de l'interaction du projet avec les éléments caractéristiques de ce dernier, comme le relief, le contexte urbain, le type de terrain, la végétation et enfin le vent¹⁵².

Effectivement, chaque site est spécifique, et le bâtiment à réhabiliter devrait prendre en considération ces spécificités et ces différences afin de répondre au mieux aux attentes des occupants. La diversité des contraintes propres à chaque site renvoi vers des solutions personnalisées pour chaque cas. Ainsi, la connaissance préalable des éléments du climat (température, ensoleillement, humidité, vents...) et de l'environnement physique de la construction, permet de composer avec ses éléments et de profiter de leurs atouts et de se protéger de leurs contraintes, afin de proposer les solutions les plus opportunes pour une meilleure réhabilitation.

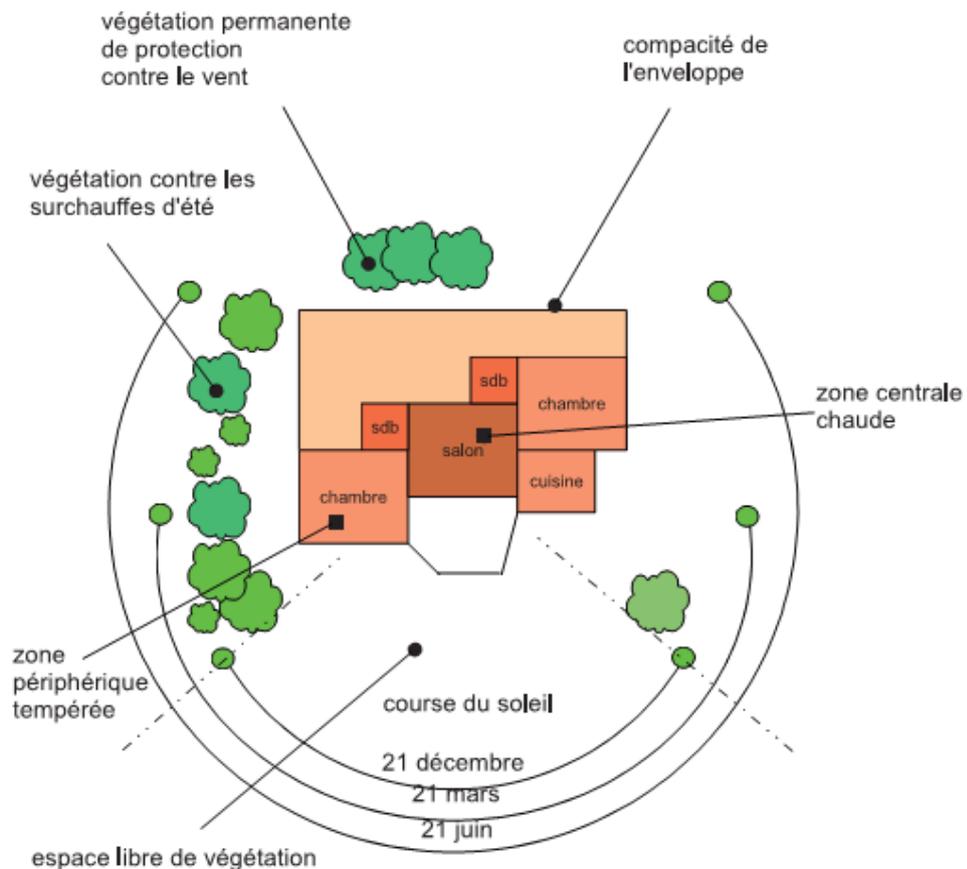


Figure IV-33. Stratégie d'orientation en fonction du lieu.

Source : Brigitte Vu. (2008)

¹⁵² P. Fernandez. « Stratégies d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture. ». Thèse de doctorat, Ecoles des mines de Paris. 1996. p.98

Dans cette optique, David Wright ¹⁵³ a rassemblé les aspects importants de l'environnement qu'il faudrait, selon son point de vue, intégrer dans tout processus de conception (ou de réhabilitation) de maisons bioclimatique. Ils sont résumés dans le tableau suivant (Tableau IV- 6):

Environnement	Climat	Autres
<ul style="list-style-type: none"> - Type de région - Nature du sol - Végétation - Profil du terrain - Matériaux - Alimentation en eau - Latitude - Vue - Bruit 	<ul style="list-style-type: none"> - Température - Type de temps - Luminosité - Précipitations - Humidité - Mouvements d'air 	<ul style="list-style-type: none"> - Traditions régionales d'aménagement - Egouts - Eau, Gaz, Electricité - Exposition par rapport au soleil - Protections - Pente

Tableau IV-6. Elément d'analyse pour la localisation d'un bâtiment bioclimatique

Quant à E. Mazria, il intégra dans ses recherches sur l'architecture solaire ¹⁵⁴, la notion de diagramme solaire en tant qu'outil d'aide à la localisation d'une construction. Cet outil donne les indications pratiques sur l'exposition des espaces du bâtiment et le calcul de l'irradiation, et donne la possibilité d'une meilleure gestion des rayonnements solaires (voir figure IVV-34), tel que la recherche des masques solaires.

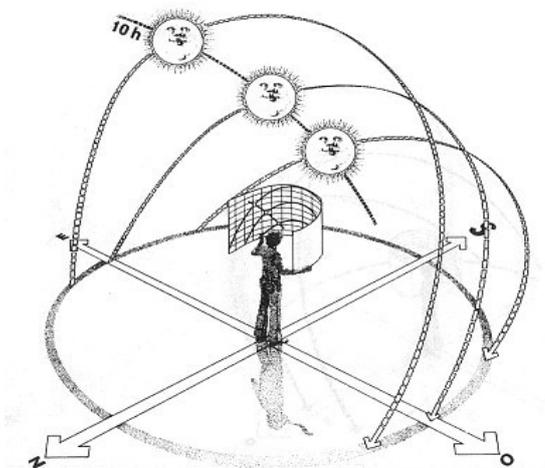


Figure IV-34. Gestion des rayonnement du soleil.

Source : E. Mazria. El libro de la energia solar pasiva

IV- 1.3.1.2 L'orientation

La notion de l'orientation est parmi les plus influentes sur les ambiances intérieures d'un bâtiment. B. Givoni, dans son ouvrage « l'homme, l'architecture et le climat », la met au centre d'intérêt des conditions de confort d'une construction. Il définit l'orientation d'une pièce étant la direction vers laquelle est dirigée sa façade extérieure ¹⁵⁵. En ce qui concerne l'orientation d'un bâtiment, c'est la direction vers laquelle sont tournées ses façades, c'est-à-dire, la direction perpendiculaire à l'axe des blocs.

¹⁵³ D. Wright. Manuel d'architecture naturelle. Traduction française et adaptation de P. Bazan. Ed. Parenthèses. Paris 2005. p. 219

¹⁵⁴ E. Mazria. Le guide de la maison solaire. Ed. Parenthèses. Paris 2005. p. 63

¹⁵⁵ B. Givoni. (1978). Op.cit. p. 229

Givoni précise l'orientation des bâtiments affecte l'ambiance intérieure de deux manières, par la régulation de l'influence de deux facteurs climatiques distincts :

- Le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et pièces orientées selon différentes directions ;
- Les problèmes de ventilation en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation de la construction.

A ce sujet J. L. Izard signale que les orientations sont choisies à partir de l'utilisation que l'on désire, ainsi, les parois exposées aux vents porteurs de pluie, de sable ou autre doivent être spécialement protégées, alors que celles exposées aux vents doux peuvent être modérément ouvertes pour pouvoir utiliser l'évaporation comme moyen de rafraîchissement.

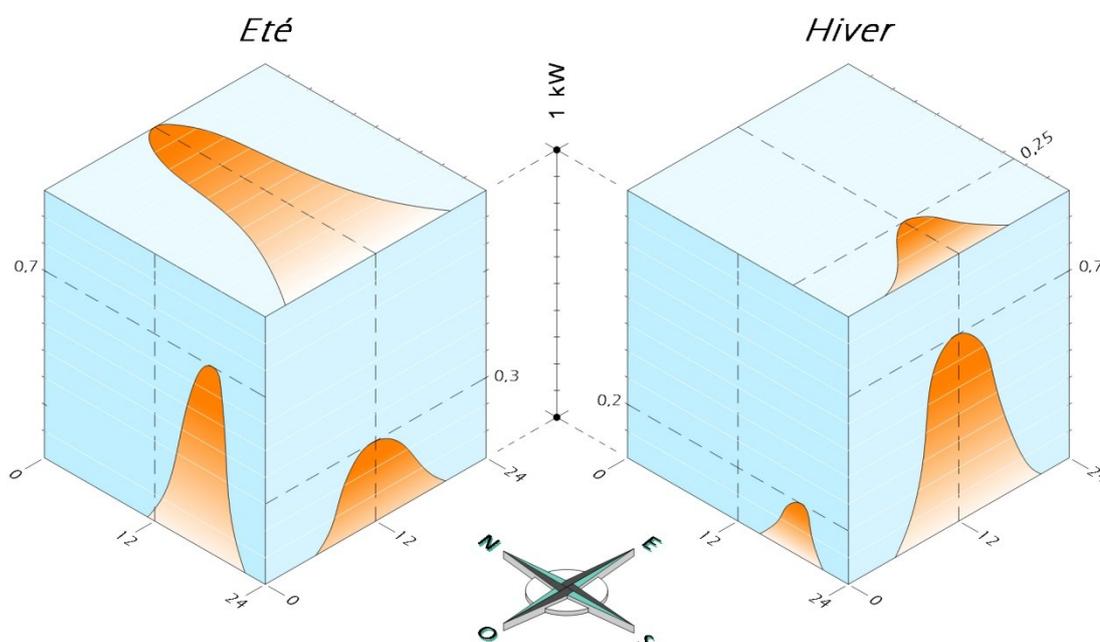


Figure IV-35. Répartition des puissances reçues du soleil sur les façades.

Source : J. L. Izard (1979)

Sur le plan énergétique, l'orientation d'un bâtiment en fonction de la course du soleil permet d'optimiser l'utilisation passive du soleil l'hiver et de la limiter l'été¹⁵⁶. L'orientation des parois d'une construction par rapport au rayonnement solaire détermine la quantité d'énergie reçue par ces parois (voir figure IV-36). Ainsi, la maîtrise de cet aspect permettrait de gérer cette ressource qu'est l'énergie solaire de façon à en profiter et de s'en protéger au mieux.

¹⁵⁶ B. Vu. Le guide de l'habitat passif. Ed. Eyrolles. Paris 2008. p.35

Angle d'incidence (degré)	Rayonnement intercepté (%)
0	100,0
5	99,6
10	98,5
15	96,5
20	94,0
25	90,6
30	86,6
35	81,9
40	76,6
45	70,7
50	64,3
55	57,4
60	50,0
65	42,3
70	34,2
75	25,8
80	17,4
85	8,7
90	0,0

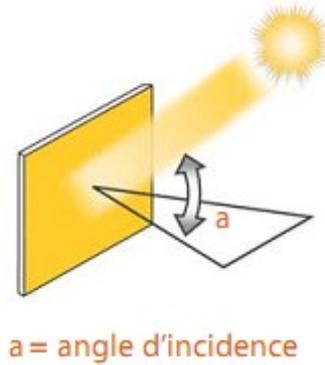


Tableau IV-7. Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence.

Source : "Concevoir avec le climat, la maison individuelle" UCL – Architecture et climat - 1998

On notera à cet effet, l'importance de l'orientation des parois transparentes (vitrages) dans le comportement thermique des bâtiments, ceci est dû spécialement du fait que ces parties de l'enveloppe participent activement dans les échanges thermiques entre les environnements intérieurs et extérieurs des bâtiments (apports et déperditions thermiques). Des recherches sur l'habitat en Algérie¹⁵⁷ ont démontré l'influence de l'orientation des vitrages dans les apports thermiques. L'étude a constaté la diminution annuelle des besoins en chauffage, lorsqu'on passe d'une orientation nord à une orientation sud, ils passent de 66% pour une orientation nord à 34% pour une orientation sud. Par ailleurs, il faut éviter de trop réduire la surface des fenêtres au nord (problème de surconsommation en éclairage artificiel), et il ne faut pas surdimensionner les fenêtres orientées ouest (risque de surchauffe)¹⁵⁸.

IV- 1.3.2 L'organisation intérieure

Lors d'une réhabilitation thermique d'une habitation existante, une première piste de progrès peut consister à revoir le zonage thermique des différents espaces du ou des bâtiments. L'étude des données climatiques (ensoleillement et vents dominants notamment) sera à prendre en compte pour déterminer ensuite les orientations, les types d'implantations, la disposition des locaux¹⁵⁹.

¹⁵⁷ M. Annabi, A. Mokhtari et T.A. Hafrad. « Estimation des performances énergétiques du bâtiment dans le contexte maghrébin ». in revue des énergies renouvelables. Vol.9. N°2. Alger 2006

¹⁵⁸ A. De Herde & A. Liébard. (2005), Op.cit. p. 85a

¹⁵⁹ Manuel de gestion environnementale et sociale. « Réhabilitation énergétique des bâtiments ». Fiche MTD04. Provence - Alpes - Côte d'Azur, France. p. 5

Ainsi ; La réhabilitation thermique de l'habitat peut impliquer – lorsque cela est possible – un réaménagement ou redistribution des activités et espaces intérieurs de manière à ce qu'ils correspondent au mieux à une stratégie d'architecture qui tient compte du lieu d'implantation ; ainsi, les espaces intérieurs seront réorganisés en fonction de l'usage, de manière à ce que l'ambiance thermique corresponde aux activités et aux heures d'utilisation¹⁶⁰.

L'orientation sud est génératrice de chaleur et de lumière, les espaces orientés vers cette direction seront les pièces de vie consacrées aux activités de jour : salon, salle à manger, cuisine, bureau. Ces pièces doivent posséder de grandes ouvertures vitrées vers le sud pour mieux capter le rayonnement solaire. Une attention particulière devra être portée vis-à-vis des apports solaires. L'intégration de protections solaires est indispensable.

Les espaces situés au nord seront plutôt des espaces « tampons », c'est-à-dire les moins utilisés mais jouant un rôle protecteur vis-à-vis du froid. A l'est et au sud-est, les chambres profitent du soleil levant, source d'éblouissement lumineux. A l'ouest et au sud-ouest, elles bénéficient du soleil couchant, mais elles subissent des surchauffes difficiles à contrôler en fin de journée.

Le zonage thermique des habitations permet de répondre à des demandes d'ambiances thermiques différentes, de mieux adapter et réguler les apports de chaleur selon la vocation et les activités abritées par chaque type d'espace.

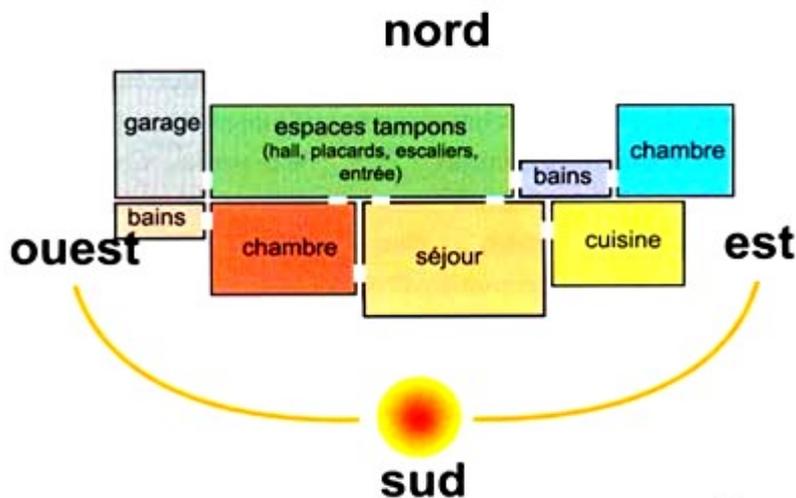


Figure IV-36. Organisation des espaces par rapport à l'orientation.

Source : E. Mazria. (2006)

¹⁶⁰ J. P. Oliva & S. Courgey. (2006). Op.cit.

IV- 1.3.3 Les protections solaires

A. De Herde (2005) définit la protection solaire comme tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface qu'on souhaite ne pas voir ensoleillée¹⁶¹. Les protections solaires ont pour but de réduire les surchauffes dues au rayonnement solaire, améliorer l'isolation en augmentant le pouvoir isolant des fenêtres et contrôler l'éblouissement lumineux¹⁶².

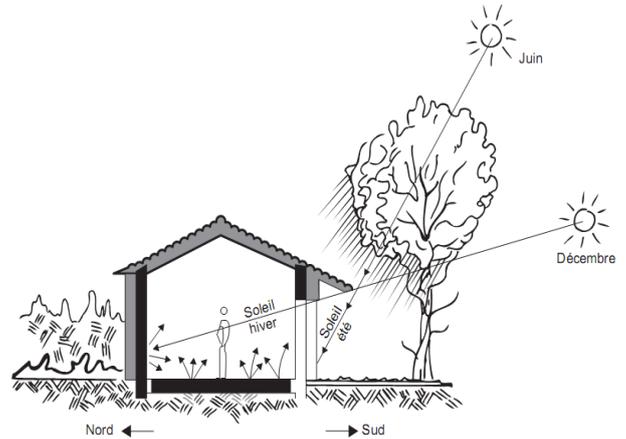


Figure IV-37. Protections solaires, saisons et orientations.

En réhabilitation ; les protections solaires peuvent s'intégrer structurellement à l'architecture (porches, vérandas, brise-soleil, débord de toiture), ou s'appliquer à l'enveloppe (stores, persiennes, volets). Elles peuvent également être fixes ou mobiles, intérieures ou extérieures, verticales ou horizontales. Enfin, les protections peuvent être liées à l'environnement, la végétation, le relief ou même les bâtiments voisins sont des éléments susceptibles de constituer des masques importants aux rayons du soleil.

Des études dans ce domaine¹⁶³ indiquent que les apports dus à l'ensoleillement des vitrages sont de loin les plus importants, ils peuvent représenter 50 à 80% des charges totales des locaux climatisés. L'obtention du confort en climatisation passive ou active dépend des protections solaires, de leur gestion et de type des fenêtres.

Les premiers travaux sur le développement de méthodes simples de conception en vue du contrôle solaire ont eu pour auteurs les frères Olgyay à l'université Princeton. Ceux-ci ont fait remarquer qu'il y avait seulement deux types fondamentaux de contrôles solaires :

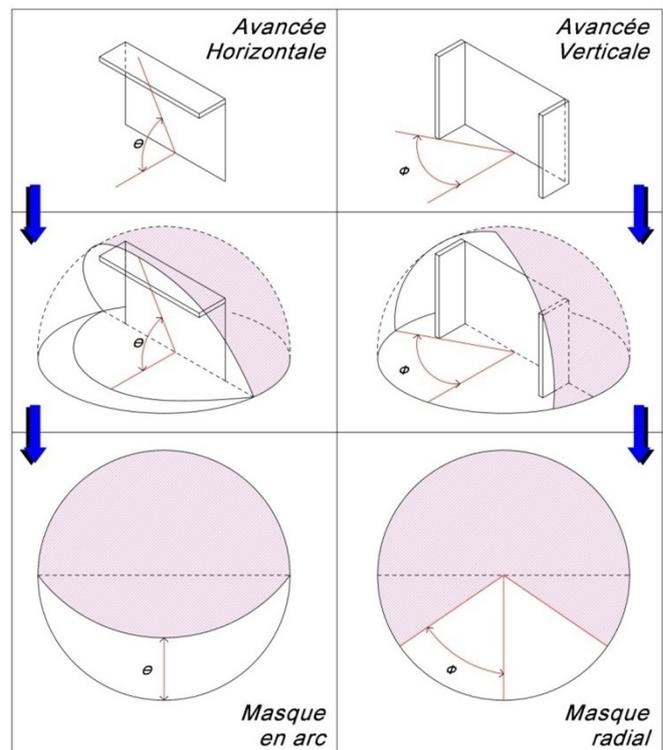


Figure IV-38. Effets des protections verticales et horizontales sur les baies.

¹⁶¹ A. De Herde & A. Liébard. (2005). Op.cit. p. 69a

¹⁶² F. Simon & al. La fenêtre et la gestion de l'énergie. (2002). Op.cit. p. 48

¹⁶³ C. Bougriou et al. (2000). Op.cit.

les éléments d'occultation verticaux appelés « saillies », et les éléments horizontaux appelés « projections »¹⁶⁴. Les effets que chacun exerce sur les fenêtres est représenté (voir Figure VI-38) sous forme de masques d'occultations.

Un abaque de masques peut être utilisé en superposition avec le diagramme solaire pour toute latitude et peut être tourné dans n'importe quelle direction.

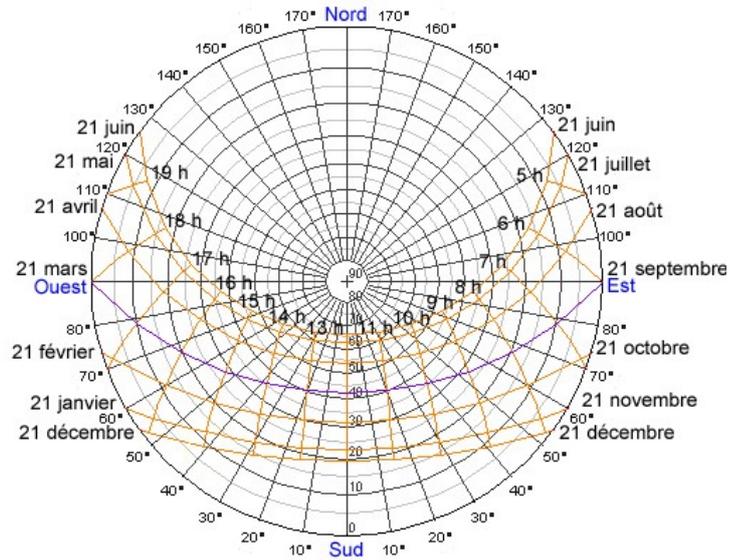


Figure IV-39. L'abaque formé par des horizontales est destiné à être superposé au diagramme solaire.

Une étude expérimentale sur l'étude de sensibilité de paramètres des bâtiments climatisés en Algérie¹⁶⁵ a eu comme conclusion que la mise en place d'une protection solaire pour chaque baie est indispensable dans toutes les régions du territoire. Il faut savoir que certains logements construits sur des programmes publics sont livrés sans protections solaires (persiennes, stores déroulant) faute de moyens financiers.

▪ Façade sud

La façade sud est celle qui capte le plus de rayon solaire dans l'année, elle perçoit le rayonnement solaire lorsque le soleil est le plus haut dans le ciel. Paradoxalement, ce n'est pas la façade captant le plus de rayon en été, les rayons étant moins inclinés par rapport à la façade, l'absorption est moindre que sur les façades est et ouest, c'est également cette particularité qui fera de la façade sud la plus aisée à protéger du rayonnement estival¹⁶⁶.

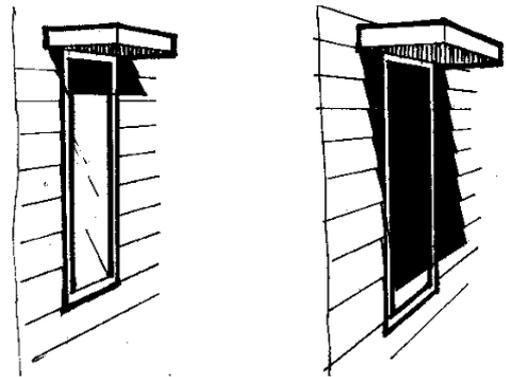


Figure IV-40. Ombrage d'une protection horizontale en hiver et en été

Pour cette orientation, les protections solaires horizontales sont les plus efficaces, notamment celles intégrées à l'architecture, telles que les auvents, les débords de toitures, les encorbellements ou retraits de façades, les balcons... etc.

¹⁶⁴ B. Givoni. (1978). Op.cit. p. 219

¹⁶⁵ M.H.A.B. Larbi Youcef, F. Boukadoum, S. Larbi youcef, E. Fleury et A. Bolher. «Etude de Sensibilité de Paramètres des Bâtiments Climatisés en Algérie ». in revue des énergies renouvelables. Alger 2001.

¹⁶⁶ D. Carbiener. L'habitat durable, construire et rénover écologique et économique. Ed. Edisud. Paris 2008. p.51

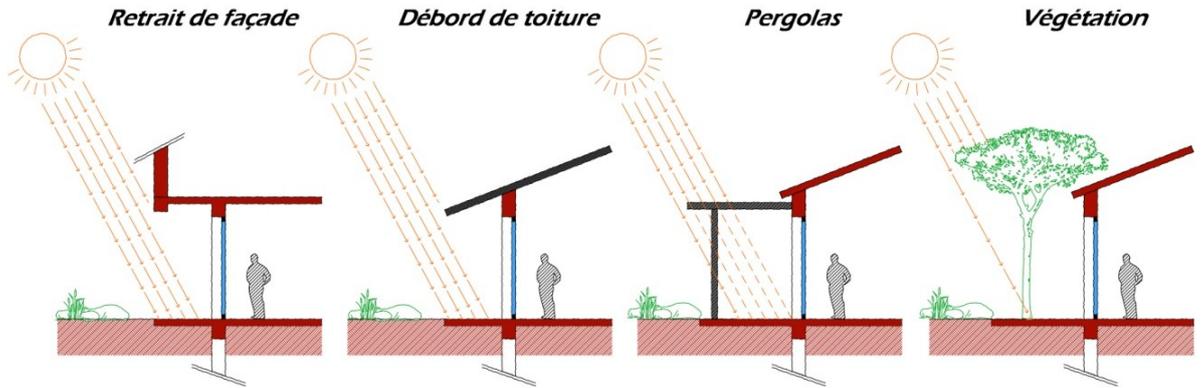


Figure IV-41. Dispositifs d'occultation du soleil sur la façade sud.

Source : Didier Carbiener (2008)

▪ Façades est et ouest

Les façades orientées est et ouest sont particulières. Au soleil couchant et levant, en toute saison, le soleil a une inclinaison importante, il se présente avec un rayonnement fortement incliné contre les façades, accroissant leur facilité de traverser les ouvertures vitrées et réchauffer les façades.

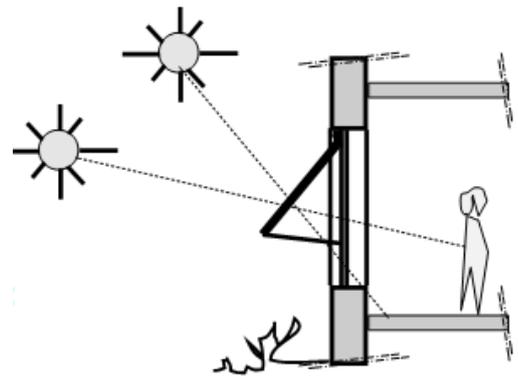


Figure IV-42. Protection contre les rayons est et ouest.
(Ex. Stores à l'italienne)

Les dispositifs de protections solaires estivaux installés sur la façade sud ne peuvent pas jouer le même rôle avec les mêmes caractéristiques sur les façades est et ouest, car en orientation est et ouest les rayons solaires ne sont pas au dessus de l'habitation mais face à elle. Pour ces orientations, les protections mobiles telles que les stores, les volets roulants, les ailerons ou autres éléments verticaux sont plus efficaces dans la protection des façades¹⁶⁷.

IV- 1.3.4 La végétation comme moyen de réhabilitation thermique

Outre le fait que la végétation constitue un élément de composition urbaine, il peut se transformer en une véritable solution technique de correction thermique du milieu bâti et l'intérieur des habitations. Il peut former de par ses caractéristiques un isolant supplémentaire pour l'enveloppe des constructions et participer ainsi à leur réhabilitation thermique. Pour ce faire, la couche végétale peut se placer soit en toiture soit sur les murs.

¹⁶⁷ B. Givoni. (1978). Op.cit. p. 222

IV- 1.3.4.1 Toiture végétalisée

La toiture représente de loin l'opportunité la plus significative pour réhabiliter thermiquement une construction, en plus, la toiture végétalisée participe à l'amélioration de l'environnement urbain et beaucoup de possibilités sont présentes que se soit pour les toitures plates ou inclinées.



Figure IV-43. Exemple de toiture végétalisée. Source: www.maizerohuit.com

Faisant parti de l'enveloppe du bâtiment, la toiture végétalisée influence les échanges thermiques des espaces qu'elle couvre. Contrairement aux autres éléments de la construction, la couche de la toiture végétalisée (terre et végétation) constitue un système vivant qui interagit avec le bâtiment et avec l'environnement de différentes manières. Les avantages les plus importants des toitures végétalisées peuvent être résumés comme suit¹⁶⁸ :

- Confort thermique et bien-être des occupants ;
- Economies d'énergie pour le chauffage et la climatisation, L'été, les toits verts procurent de la fraîcheur grâce au phénomène d'évapotranspiration et l'hiver, l'isolation supplémentaire fournie par le substrat réduit les besoins en chauffage. ;
- Réduction des effets du phénomène de l'îlot de chaleur urbain ;
- Absorption du CO₂ et des polluants ainsi que la poussière ;
- Atténuation des chutes des eaux pluviales ;
- Création de nouveaux espaces de vie attractifs (jardins pour les habitants des immeubles) ;
- Fourniture d'habitat pour les espèces animales ;
- Remplacement de la végétation perdue lors des extensions urbaines ;
- Réduction des nuisances sonores urbaines ;
- Avantages sociaux et psychologiques.
- La contribution au côté esthétique des constructions par leur amélioration visuelle;

¹⁶⁸ M. Santamouris, *Advances in Building Energy Research*, Volume 3, Ed Earthscan, Londres 2009, p.274

Ainsi, on note parmi les avantages précités que la toiture végétalisée peut améliorer l'isolation thermique de la toiture, et cela parfois jusqu'à 10%¹⁶⁹ et Kaiser¹⁷⁰ a démontré qu'en été, la température d'une chambre sous une toiture de type standard arrivait à 30°C, alors que sous une toiture végétalisée elle ne dépassait pas 26°C.

D'un autre côté, les toitures végétalisées comptent quelques inconvénients, on note le cout initial relativement élevé et la surcharge supplémentaire que doit supporter le bâtiment.

Les toits verts sont un prolongement du système de toiture, qui peut être conçu pour supporter divers types de végétation. Les toitures-jardins sont généralement composées d'une **membrane**, qui assure **l'étanchéité** et qui contient des **agents anti-racines**, d'une **couche de drainage** (qui comprend parfois des réservoirs d'eau intégrés) pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales, d'un **filtre géotextile**, d'un **substrat de culture**, et bien sûr, de **plantes**. Il existe deux types de toiture-jardin: la toiture à végétation extensive (végétation légère) et la toiture à végétation intensive (végétation lourde).

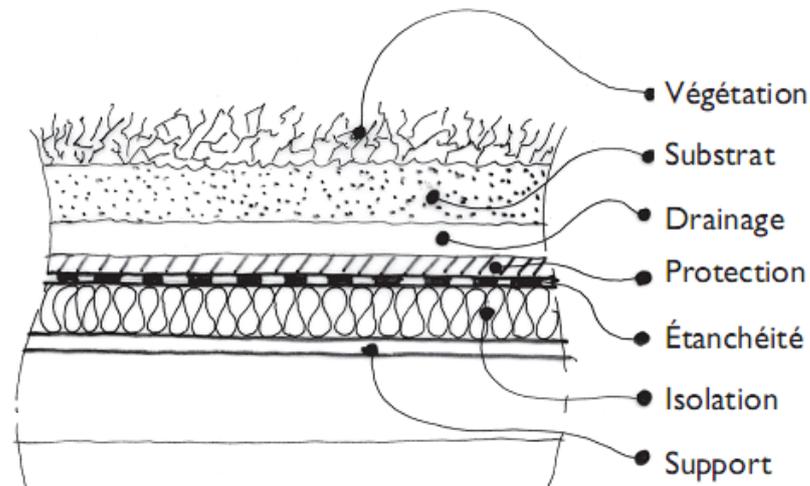


Figure IV-44. Composition d'une toiture végétalisée (source : A. Andréassian 2005)

On n'omettra pas de souligner que l'intégration de la végétation à la toiture n'est pas chose nouvelle, puisque de nombreuses architectures vernaculaires utilisaient déjà cette technique pour se protéger des variations climatiques.

IV- 1.3.4.2 Mur végétal

La végétalisation des murs peut présenter plusieurs avantages :

- La contribution au côté esthétique des constructions ;
- La participation au rafraîchissement des constructions en été et à leur isolation en hiver ;

¹⁶⁹ J. Johnston et J. Newton, Building green a guide to using plants on roofs walls and pavements, Ed London ecology unit, Londres 1993, p.50.

¹⁷⁰ H. Kaiser. An attempt at low cost roof planting, Ed Garten unt landscap, 1981, p.30.

- Le feuillage des plantes grimpantes procure une large surface capable de filtrer la poussière et autres polluants ;
- La végétation peut aussi réduire les nuisances sonores ;
- Par les processus de transpiration et d'évaporation les plantes créent un microclimat agréable et confortable ;

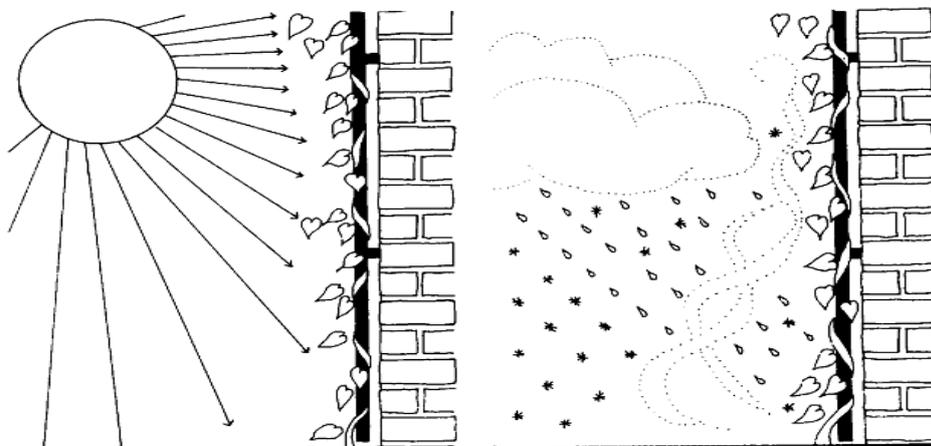


Figure IV-45. La végétation protège le mur de l'ensoleillement, la pluie et la neige et absorbe les polluants de l'air.

IV- 1.4 Ventilation et réhabilitation thermique

Le but de la ventilation est de procurer un microclimat acceptable dans l'espace ventilé. Dans ce contexte, le microclimat fait référence à l'environnement thermique et à la qualité de l'air. Ces deux facteurs devraient être pris en considération lors de la conception d'un système de ventilation d'un bâtiment, pour leur importance fondamentale dans le confort et le bien-être des occupants et même pour la performance des équipements dans ces espaces¹⁷¹.

L'importance de la ventilation et son rôle dans le confort thermique des occupants s'amplifie après une réhabilitation thermique de l'enveloppe (isolation et faible étanchéité à l'air) afin d'assurer une qualité de l'air dans les logements sans voir sa contribution aux déperditions augmenter. R. Gonzalo (2008) explique sur ce point que la rénovation thermique d'une enveloppe permet une réduction des déperditions thermiques par transmission ; le traitement des déperditions thermiques par la ventilation joue alors un rôle essentiel¹⁷².

Selon C. Ghiaus (2005), de récentes études on démontrées qu'à l'intérieur des bâtiments naturellement ventilés, les occupants s'adaptent plus facilement au climat intérieur, admettant des écarts de températures plus larges¹⁷³.

¹⁷¹ H. Awbi. Ventilation of buildings. 2nd Edition. Ed. SponPress. London 2003. p.1

¹⁷² R. Gonzalo et K. J. Habermann. (2008). Op.cit. p. 105

¹⁷³ C. Ghiaus and F. Allard. Natural ventilation in the urban environment. Ed.Earthscan. London 2005. P.20

IV- 1.4.1 Types de ventilations

Selon le besoin et le degré d'efficacité recherché, il existe plusieurs types de ventilations possibles. Le type d'installation de ventilation est choisi en fonction des contraintes imposées par le type de bâtiment, le climat, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure et l'environnement :

IV- 1.4.1.1 La ventilation naturelle

Elle consiste à simplement créer des courants d'air dans le logement par le biais d'orifices d'entrée d'air en partie basse des murs des pièces principales et des bouches de sortie en partie haute des pièces humides. Selon P. de Haut¹⁷⁴, dans ce dispositif, le débit est très mal contrôlé car il dépend du vent, des conditions climatiques, de la saison et peut conduire à une sous-ventilation ou au contraire à une surventilation occasionnant des besoins inutiles en chauffage.

Dans la ventilation naturelle, l'air se déplace grâce aux différences de pression qui existent entre les façades du bâtiment et grâce à la différence de masse volumique de l'air en fonction de sa température.

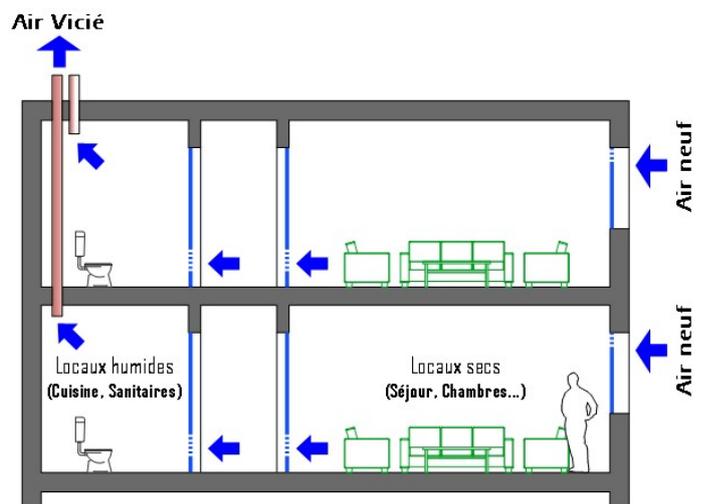


Figure IV-46. Principe de la ventilation naturelle
(Source : auteur)

Des **amenées d'air** (grilles et vasistas réglables) doivent être disposées en façade pour les locaux dits "secs" (chambres, séjours,...) ; des **ouvertures de transfert** (détalonnage des portes ou grilles) permettent le passage de l'air vers les locaux dits "humides" (sanitaires, cuisine,...). Dans ces derniers, l'air est évacué grâce à des **conduits verticaux** débouchant en toiture (voir figure IV-46).

On peut obtenir une plus grande force motrice pour la ventilation naturelle, dans le cas de l'effet thermosiphon, en ayant la plus grande hauteur possible et la plus importante possible différence de température concernée. Dans le cas de l'effet du vent en sachant utiliser au mieux les surpressions et dépression qu'il crée et même les provoquer par des artifices architecturaux¹⁷⁵.

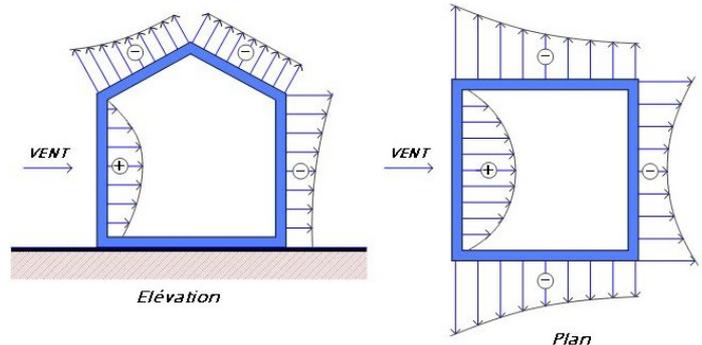
¹⁷⁴ De Haut P. (2007). Op.cit. p. 105

¹⁷⁵ R. Bensalem. « Le vent et l'architecture ». Cours de post graduation (2006/2007) au département d'architecture de l'UMMTO, Tizi Ouzou, Algérie.

Les phénomènes physiques d'écoulement d'air et la position des ouvertures en façade influent largement sur ce type de ventilation. Ainsi, au niveau de l'organisation des locaux, une double orientation des espaces accentue la ventilation, alors que le cloisonnement ou la mono-orientation ou même une double orientation contigüe la freine.

Figure IV-47. Ecoulement d'air autour d'un bâtiment.

Source: H. Awbi. (2003)



▪ **Avantages & inconvénients**

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Silencieuse, excepté dans le cas de vents violents ; ▪ Sans consommation d'énergie ; ▪ Système simple et maintenance facile ; ▪ Investissement peu onéreux. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dépend de la force des vents, capacité de ventilation suffisante non garantie ; ▪ Efficacité énergétique basse, impossibilité de récupérer la chaleur ; ▪ Risque de sensation de froid près des fenêtres ; ▪ Risque de propager l'humidité et les odeurs ; ▪ Risque de diffusion de nuisances sonores de l'extérieur ; ▪ Les conduits de ventilation demande de prévoir des espaces supplémentaires ; ▪ N'est pas indiquée pour les immeubles hauts

Tableau IV-8. Avantages et inconvénients de la ventilation naturelle. (Source: auteur)

Stratégies de ventilation naturelle

• **Ventilation par une seule façade**

C'est le mode de ventilation naturelle le plus simple, il consiste en l'aération d'un espace sur une seule façade, permettant à l'air extérieur d'accéder et à l'air intérieur de sortir par la même ouverture, ou par une autre ouverture située sur le même mur de façade.

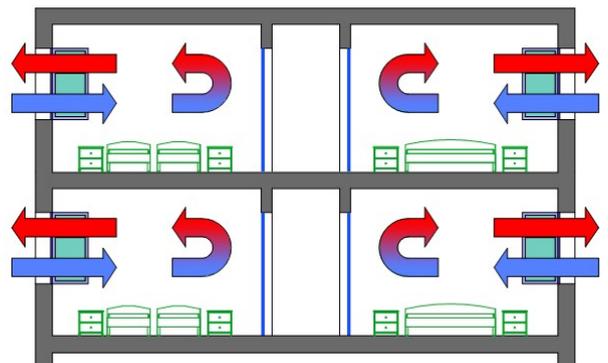


Figure IV-48. Ventilation unilatérale

- **Ventilation traversante (deux façades) :** ce type intervient lorsque l'air entre dans le local par une ou plusieurs ouvertures sur une façade et que l'air intérieur sort par une ou plusieurs ouvertures sur une autre façade du local ou du bâtiment. Le flux d'air dans ce cas est essentiellement dû à la pression du vent.

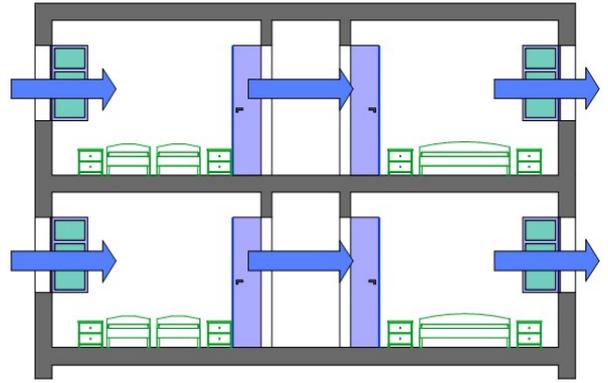


Figure IV-49. Ventilation traversante

- **Ventilation par tirage d'air (effet de thermosiphon) :** lorsque le bâtiment requiert un taux de ventilation plus élevé que celui procuré par les stratégies précitées, il faudrait passer au système de ventilation par effet de thermosiphon. Ce procédé dépend de la hauteur de la « cheminée » et de la différence de température.

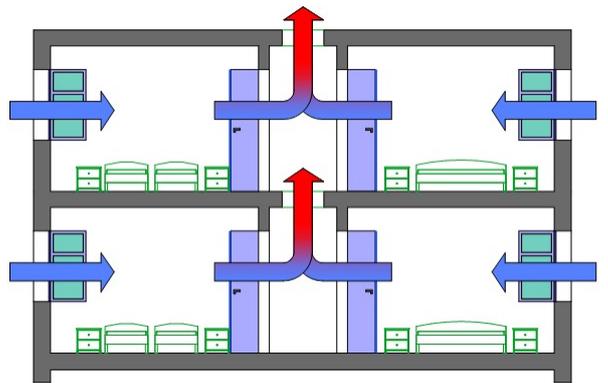


Figure IV-50. Ventilation par effet de cheminée

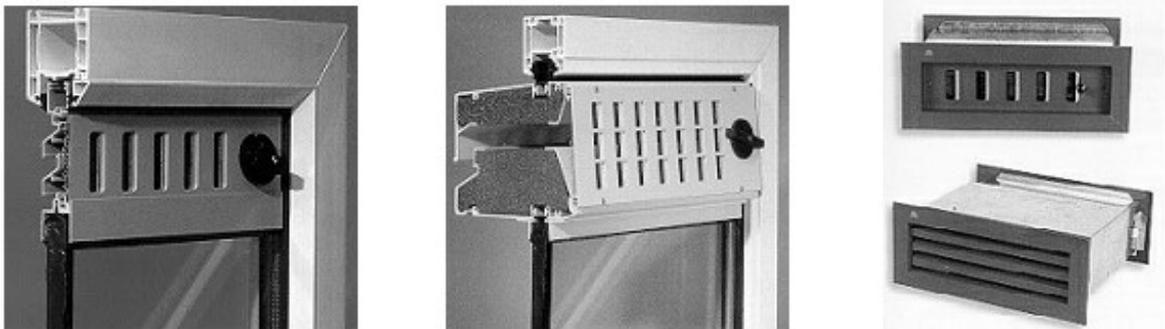


Figure IV-51. Grilles intégrées aux cadres des ouvertures, et grilles à insérer dans les murs.

IV- 1.4.1.2 La ventilation mécanique contrôlée (VMC)

Ce type de ventilation est devenu le complément indispensable dans le cadre d'une réhabilitation thermique performante. La plupart des labels et approches spécialisées dans la réhabilitation thermique le recommande. Il existe plusieurs types de VMC : **simples**, **auto-réglables**, **hygro-réglables** et enfin le plus performant le système **double flux** qui permet notamment d'empêcher les déperditions de chaleur dues à l'aération.

Elle est constituée d'un caisson de ventilation placé dans une pièce de service (garage, combles...) et de bouches d'aération placées dans les pièces humides (cuisine, salle de bain, buanderie...), le tout étant relié par des gaines. Les bouches placées dans les pièces humides sont chargées d'extraire l'air vicié. L'air « frais » provient des aérations réalisées dans les montants de fenêtres ou dans les murs des pièces de vie.

Même si elle est considérée efficace, une VMC mal conçue peut entraîner des conséquences graves sur son efficacité vis-à-vis de l'élimination de l'humidité du logement, mais également sur les problèmes acoustiques qu'elle peut causer¹⁷⁶.

IV- 1.4.1.2.1 VMC simple flux

C'est le système le plus simple et le plus fréquemment employé dans l'habitat individuel : des entrées d'air sont placées dans les pièces à vivre (chambres, salon, etc.), généralement au niveau des fenêtres. Les bouches d'extraction d'air sont placées au niveau des pièces humides (salle de bain, cuisine, buanderie) et reliées par un réseau de gaines à un groupe d'extraction motorisé¹⁷⁷.

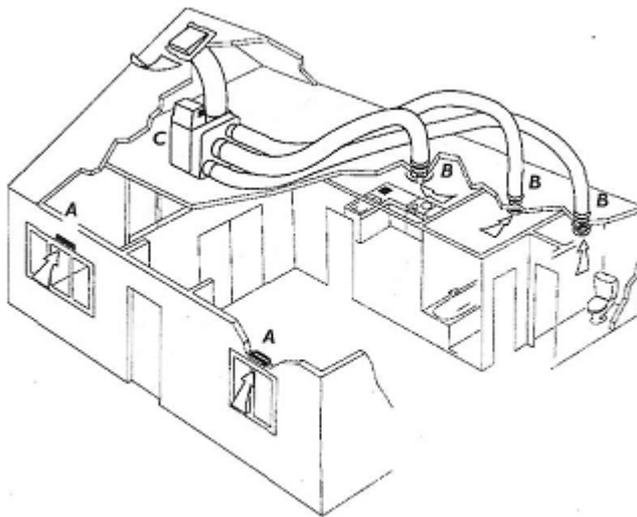


Figure IV-52. Principe d'une ventilation simple flux et bouches hygro-régulables.

Source : T. Salomon (2004)

- A. Entrées d'air autorégulables
- B. Bouches d'extraction hygro-régulables
- C. Ventilateur d'extraction

L'air extérieur « neuf » s'introduit dans les pièces sèches (par dépression), puis circule vers les pièces humides et est aspiré par les bouches d'extraction. Pour que le passage de l'air puisse se faire même portes fermées, il convient de raboter le dessous des portes intérieures pour laisser un espace d'environ 1 cm.

¹⁷⁶ B. Domblides. Appareils à gaz, Conduits de fumée. Ventilation. In Techniques de l'ingénieur. n°C 3 860. p. 9

¹⁷⁷ B. Vu. Construire ou rénover en respectant la HQE. Ed Eyrolles. Paris 2007. p. 84

IV- 1.4.1.2.2 VMC double flux

Son principe est de réchauffer l'air neuf introduit dans le logement en récupérant la chaleur de l'air évacué¹⁷⁸. Ce système est utilisé pour une efficacité énergétique performante.

L'air froid entrant est alors réchauffé dans un échangeur par l'air chaud sortant puis est soufflé dans les pièces principales et enfin évacué depuis les pièces de service. Cette technique est largement utilisée dans les pays de l'Europe du Nord dans les constructions récentes¹⁷⁹. Elle présente cependant quelques inconvénients : elle exige une excellente étanchéité à l'air du bâtiment, des ventilateurs à faible consommation, un entretien régulier et son coût reste onéreux.

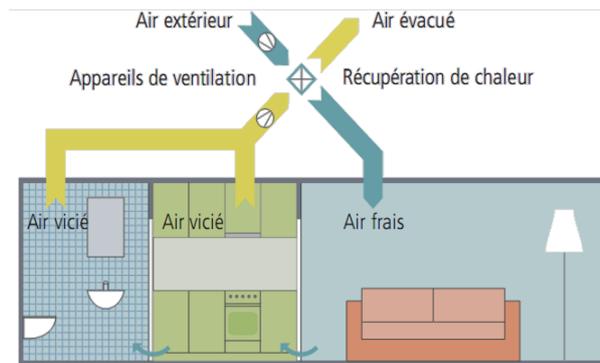


Figure IV-53. Principe de la ventilation double flux.

Source: Office fédéral de l'énergie (Suisse énergie).

IV- 1.5 Couleurs des revêtements extérieurs (la chromatique)

Les couleurs ont des coefficients d'absorption du rayonnement solaire différents, elles peuvent donc faire partie des protections solaires¹⁸⁰. Les couleurs absorbantes sont à éviter dans la mesure où elles participent à l'échauffement de l'air ambiant tout en créant un effet de radiateur pour l'utilisateur qui passe à proximité. Pour l'été, le choix des couleurs claires s'impose, sans pour autant engendrer des conditions d'éblouissement. Les surfaces claires emmagasinent moins de chaleur ; l'échauffement de l'air ambiant est réduit et elles rayonnent moins sur les usagers.

Un revêtement de couleur sombre favorise l'absorption du rayonnement solaire, une couleur claire réfléchira les rayons solaires les empêchant d'entrer dans le bâtiment. Des murs sombres peuvent sembler bénéfiques pour l'hiver, mais ils seront très pénalisants en saison chaude. Si l'on se rappelle le principe suivant lequel on doit pouvoir contrôler l'admission du rayonnement solaire dans le logement, on comprend très vite que le bon choix est celui d'un

¹⁷⁸ P. de Haut. (2007). Op.cit. p. 96

¹⁷⁹ T. Salomon (2004). Op.cit. p. 71

¹⁸⁰ ADEME. Intégration des problématiques de confort d'été dans des opérations de réhabilitation.

revêtement extérieur blanc pour les murs¹⁸¹. C'est d'ailleurs le choix de l'architecture traditionnelle dans tout le bassin méditerranéen.

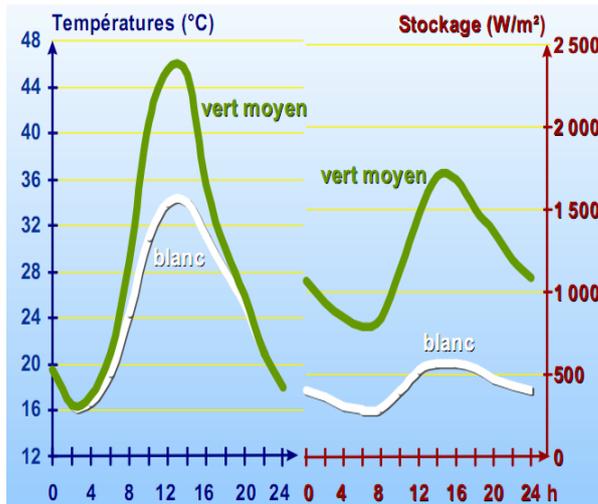


Figure IV-54. Variation sur 24h du stockage de l'apport solaire et des températures de surface selon la couleur des parois.

Source A.de Herde & al (2005)

- La figure montre d'une part l'évolution de la température en fonction de la couleur de l'enduit (blanc et vert) sur la face externe d'une paroi en béton léger couverte d'un enduit de ciment, orientée au sud. La différence de température atteint 13°C à midi.
- Le 2^e graphe (à droite) montre la variation de stockage de l'apport solaire au cours du mois de mars, dans un plancher lourd située au droit d'une baie orientée sud.

- Coefficient d'absorption solaire du blanc : 0,2.
- Coefficient d'absorption solaire du vert moyen : 0,7.

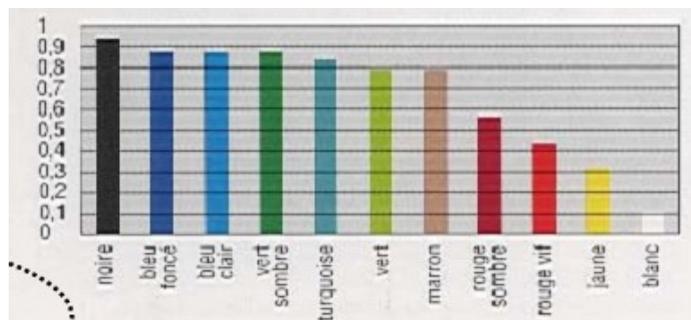


Figure IV-55. Valeur du coefficient d'absorption pour les laques cellulosiques

IV- 2. Adaptation des techniques de réhabilitation au contexte algérien

Le but de cette étude est la recherche de moyens et techniques pour la réhabilitation thermique de l'habitat algérien contemporain ; de ce fait, afin de compléter l'analyse des systèmes de réhabilitations thermique, nous devons étudier la possibilité de leur adaptation au contexte algérien.

IV- 2.1 L'isolation des murs

Tel qu'on l'a déjà vu dans le premier chapitre, la technique de construction des murs dans l'habitat en Algérie est celle des murs à double paroi en brique creuse, associée aux voiles de contreventement, lorsque la hauteur le nécessite.

Parmi les techniques d'isolation des murs extérieurs, nous estimons que celles qui s'adaptent le mieux sont : l'isolation extérieure, pour ses performances en termes d'élimination des ponts

¹⁸¹ Agence Nationale Maitrise Energie (A.N.M.E). Tunisie. « Guide pratique de conception de logements économes en énergies ».

thermiques et de mise en valeur de l'inertie du bâtiment, et l'isolation intermédiaire, celle-ci pour les avantages qu'elle présente en termes de simplicité d'exécution et pour son coût réduit de réalisation. Aussi les deux techniques sont intéressantes dans la mesure où elles ne perturbent pas l'occupation des locaux et ne touchent pas les finitions intérieures.

IV- 2.2 L'isolation des toitures

En ce qui concerne l'isolation des toitures, et sous réserve d'une bonne exécution, toutes les techniques citées sont adaptables aux constructions algériennes et ne présentent pas de difficultés de réalisation.

Toutefois, rappelons que pour les toitures-terrasses, la disposition par l'intérieur, en sous face de la dalle porteuse est à rejeter pour les désordres qu'elle peut entraîner: fissures dans les acrotères, au sommet des murs, au niveau des chaînages.

IV- 2.3 L'isolation des planchers bas

Pour l'isolation des planchers bas sur espace non chauffé, la meilleure mesure est celle de l'isolation par l'extérieur (en sous face des planchers), car elle présente le moins de désordre possible tout en ayant une meilleure amélioration thermique.

Cependant, dans le cas de l'isolation des planchers sur terre-plein, l'isolation en sous face entraîne des travaux lourds, de ce fait, on préférera l'isolation par l'intérieur à condition que la hauteur des locaux le permettent.

IV- 2.4 La réhabilitation des fenêtres et les protections solaires

Les techniques de réhabilitation des fenêtres sont disponibles sur le plan local, le choix sera conditionné par l'état des fenêtres existantes et la performance souhaitée. Aussi, l'association des ouvertures à des protections solaires adéquates (selon l'orientation du bâtiment) augmentera la performance thermique de l'ensemble.

IV- 2.5 La ventilation

Le choix du système de ventilation adapté à la réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie se fera en rapport du niveau de performance thermique convoité. Toutefois, une ventilation naturelle associée à une bonne gestion des occupants pourra suffire à atteindre un niveau de confort acceptable.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en détail les différentes mesures utilisées dans la réhabilitation thermique des bâtiments. Nous avons noté, que pour chaque mesure, plusieurs variantes de solutions techniques existent, ayant, chacune d'elles, des avantages et des inconvénients liés à différents aspects :

- Niveau de performance visé;
- Faisabilité et complexité de mise en œuvre ;
- Aspects économiques et financiers ;
- Modification de l'architecture des lieux (façades, surfaces, ouvertures...etc.) ;
- Aspects générant ou pas d'autres nuisances ;
- Perturbations de l'occupation des locaux.

Aussi, nous avons démontré que de simples mesures d'adaptation des constructions à leur environnement, par l'application des concepts de l'architecture bioclimatique, pouvait améliorer de manière significative le rendement thermique en matière de confort des occupants et d'économies d'énergie.

L'intégration de concepts de l'architecture bioclimatique en rénovation, même si cela paraît tardif (construction déjà achevée), est toujours réalisable. L'adaptation de l'existant à son contexte climatique et environnemental pour se protéger du climat et profiter des ressources naturelles, peut se faire en adoptant les stratégies d'été et d'hiver, en valorisant :

- L'utilisation des protections solaires ;
- La ventilation et ses différentes stratégies et techniques ;
- L'usage des couleurs claires qui évitent l'absorption de chaleur ;
- Le réaménagement des espaces selon l'usage (lorsque cela est possible).

Afin d'expérimenter l'efficacité des mesures de réhabilitation précitées et de vérifier notre hypothèse de départ qui stipulait que l'amélioration de quelques caractéristiques thermiques des constructions peut élever le niveau de confort thermique dans l'habitat contemporain en Algérie, le chapitre qui suit fera l'objet d'une simulation par outil informatique d'un cas d'étude sur plusieurs zones climatiques.

**Chapitre V- ETUDE PAR SIMULATION
DE L'EFFET DE LA REHABILITATION
THERMIQUE SUR LE CONFORT
THERMIQUE DE L'HABITAT
CONTEMPORAIN EN ALGERIE**

V- 1. L'outil informatique et la thermique du bâtiment

Avec l'évolution technologique durant les dernières décennies dans tous les domaines, le secteur du bâtiment s'est vu assistée par l'outil informatique et les logiciels de simulation dynamique afin d'optimiser les résultats escomptés dans tous ses aspects et parmi eux le domaine de la thermique.

Ces outils permettent d'estimer à l'avance les consommations énergétiques et d'évaluer le degré de confort d'un bâtiment (neuf ou en réhabilitation) à partir de caractéristiques théoriques liées à sa géométrie, ses matériaux, son implantation et le climat local. Ce type de calcul permet de déterminer l'impact relatif : des gains solaires (selon la surface de vitrages et leur orientation), de l'isolation (en faisant varier le paramètre de l'épaisseur), ainsi que d'autres variables potentielles telles que la ventilation, l'hygrothermie...etc.

Grâce à cela, le concepteur doit également pouvoir déterminer les charges dues aux systèmes installés, notamment celles du chauffage et de la climatisation, et essayer d'optimiser le rendement de ses systèmes et de minimiser les dépenses énergétiques.

Par le terme logiciel de simulation du comportement dynamique des bâtiments, on entend un programme qui calcule, pour certains intervalles de temps, toutes les grandeurs déterminantes du bilan énergétique¹⁸².

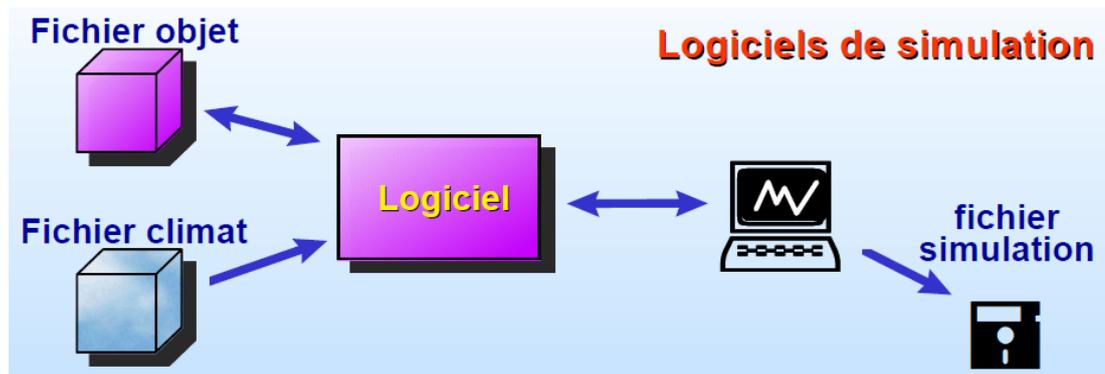


Figure V-1. Mode de fonctionnement des logiciels de simulation

Source : A. de Herde & al (2005)

V- 2. Simulation thermique de l'habitat contemporain

Dans cette partie de notre travail, on procédera à l'analyse d'une habitation de type contemporain sur le plan thermique, prise dans des régions climatiques différentes, afin d'évaluer son degré de confort. Le but étant de faire ressortir les points forts ainsi que les défaillances de ce modèle de construction et essayer ensuite de rechercher les solutions à

¹⁸² Alain Liébard et André de Herde, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques – concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Ed. Observ'ER, Paris 2005, p.81a

travers l'amélioration de son enveloppe. L'analyse se fait en simulant le confort par le programme TRNSYS.

V- 2.1 Présentation du programme de simulation thermique TRNSYS

TRNSYS (a TRaNsient SYstem Simulation program with a modular structure) est un programme informatique de simulation d'échanges thermiques en régime transitoire. Il a vu le jour au mois de Mars 1975 dans les laboratoires de la Solar Energy Laboratory (SEL) à l'université du Wisconsin à Madison aux Etats Unis.

Le programme est écrit à la base en Fortran. Les dernières versions de TRNSYS ont fourni des interfaces intelligentes, notamment IISIBAT (développée au CSTB) rendant son utilisation plus à la portée des architectes.

TRNSYS est un environnement de simulation complet et extensible pour la simulation transitoire des systèmes, tels que les bâtiments multizones. Il est utilisé dans le monde entier par des ingénieurs et des chercheurs afin de valider de nouveaux concepts énergétiques, allant du simple système de chauffe eau domestique jusqu'au design et la simulation de bâtiments entiers avec leurs équipements, leurs stratégies de contrôle, le comportement de leurs occupants, les systèmes d'énergies renouvelables ...etc¹⁸³.

Des composants utilitaires permettent de coupler la simulation avec le comportement énergétique du bâtiment et de son équipement, de sa situation géographique (zone climatique), des matériaux de construction qui le composent, de l'architecture, du concept énergétique choisi, etc., et de générer les fichiers de résultats souhaités.

TRNSYS est composé de plusieurs sous programmes; TRNSYS simulation Studio (le moteur de simulation), TRNDll.dll et son exécutable TRNExe.exe, TRNBuild.exe (l'interface visuelle d'entrée de données du bâtiment), et TRNSED (éditeur de programmes).

V- 2.2 Fonctionnement pratique du programme

Le programme nécessite pour son fonctionnement la création de deux (02) sous programmes¹⁸⁴ :

- A. Un fichier .BUI (Trnsys Building Description File), à partir du sous programme TRNBuild, qui contient en fait la partie description géométrique et constructive du prototype (propriétés des matériaux, épaisseurs, hauteurs) et le zonage thermique du bâtiment.

¹⁸³ Klein, et. al., TRNSYS – A Transient System Simulation Program User Manual, The Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin – Madison, 2005.

¹⁸⁴ Ibid.

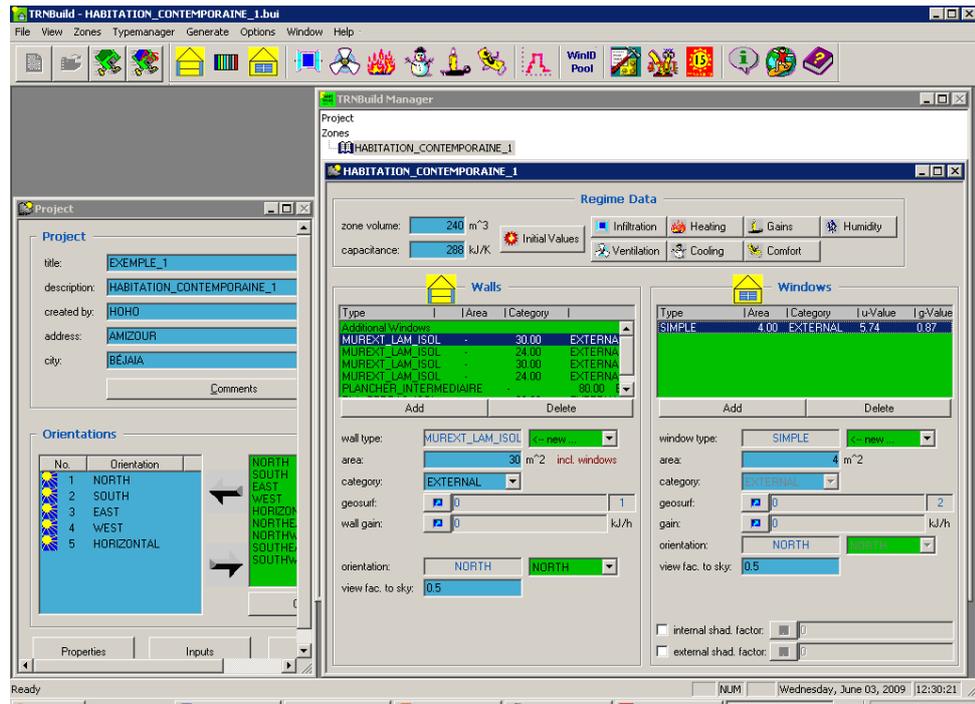


Figure V-2. Description du bâtiment dans TRNBuild

B. Un fichier .TPF (Trnsys Project File), à partir du sous programme IISIBAT. Ce fichier est en fait le panneau d'assemblage des composants du prototype. Il contient des éléments, disponibles dans la bibliothèque du programme (TYPES). Dans ce programme il est possible, d'introduire par les types, les données météorologiques du site, les orientations, le descriptif du bâtiment...etc.

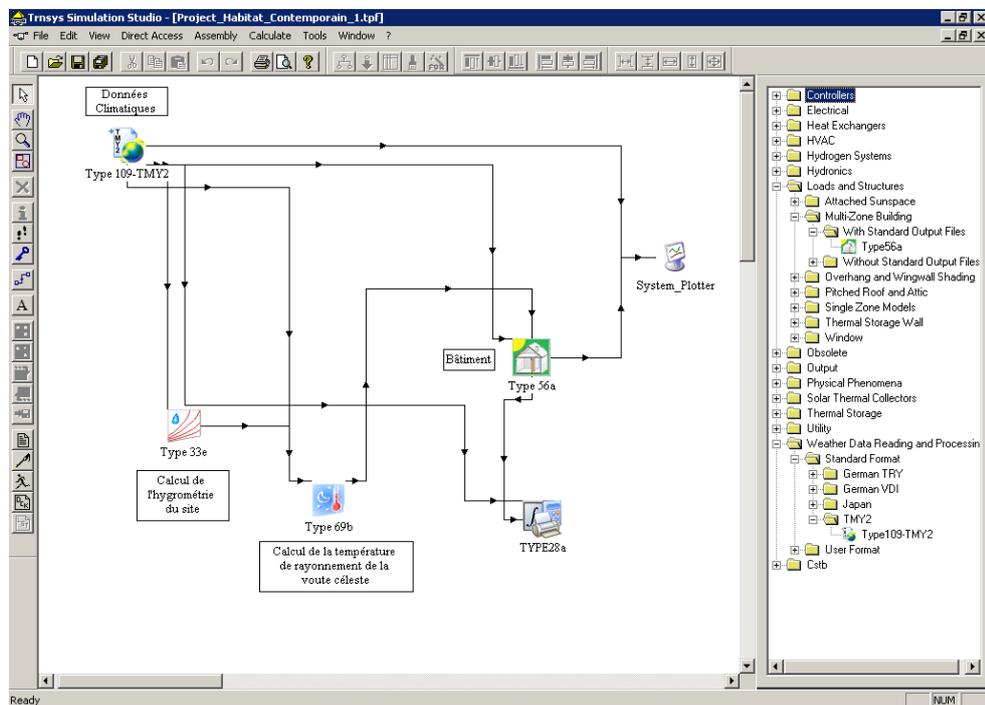
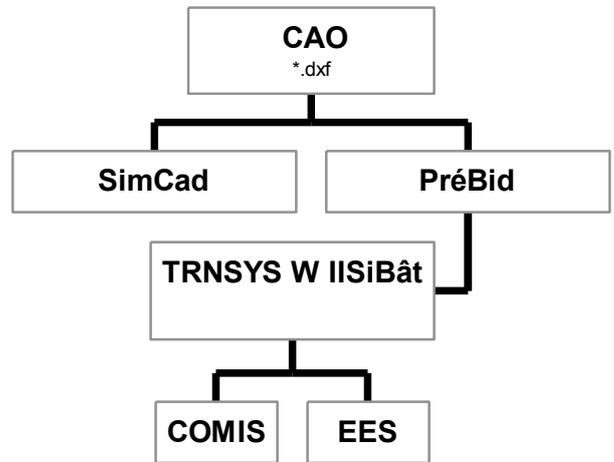


Figure V-3. Edition du modèle et du projet dans Trnsys Simulation Studio

A partir de ces deux fichiers on arrive à mettre les résultats de la simulation en forme de graphiques et de fichiers texte. Dans les dernières versions, le programme SimCad a été introduit permettant de récupérer des documents graphiques de CAO tel que les fichiers .dxf d'Autocad et de les enregistrer en tant que données géométriques du projet (fichier TRNBuild).

Figure V-4.
Schéma de fonctionnement de TRNSYS
Source : Ould Henia (2003)



Les différentes parties de TNRSYS peuvent être résumées dans le tableau suivant :

<i>MODULE</i>	<i>DESCRIPTION</i>
Création du modèle géométrique et paramétrage	TRNBuild : Sous programme de TRNSYS qui permet de saisir l'entité géométrique avec toutes ses interactions et ses systèmes. SimCad : Application de type CAO qui peut assister l'utilisateur pour exporter ces données vers le TRNBuild après les avoir reçues en DXF.
Visualisation du problème	Panneaux d'assemblage: un ensemble d'outils d'aide à la préparation et au déroulement de la simulation (bouton, menu, fonction d'accès)
Bibliothèque	Les types existants au niveau de TRNSYS et bibliothèques des matériaux du TRNBuild. Un ensemble de travaux et de projets modèles archivés, ayant une facilité d'accès et de mise à jour.
Les connexions entre entités (type)	Connexions des entrées sorties et vérifications : afin de faire transiter les données entre les types, il existe l'outil connexion qui permet de connecter et de vérifier en même temps les compatibilités des connexions (unités).
Evaluation des performances	Visualisation des résultats souhaités : une fois tous les types sont mis en place et connectés, et la simulation exécutée, les résultats sont obtenus sous forme de graphes ou de tableurs.

Tableau V-1. Tableau récapitulatif programmes TRNSYS
Source : Ould Henia (2003)

V- 3. Caractéristiques climatiques de l'Algérie

D'une superficie de 2.381.741 km², elle est comprise entre les latitudes 18° et 38° Nord, et entre 9° de longitude Ouest, et 12° de longitude Est, le méridien international 0° Greenwich passant près de Mostaganem. L'Algérie présente une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en trois grandes catégories :

- Le Tell : climat tempéré humide de type méditerranéen
- Les Hautes Pleines : climat de type continental
- Le Sahara : climat aride et sec.

L'Algérie maghrébine (au Nord) appartient à la zone bioclimatique méditerranéenne et est exposée aux variations du front polaire (masse d'air froid en hiver et influence de l'air saharien en été) ce qui explique l'aridité estivale en opposition à une saison fraîche relativement pluvieuse. Le relief contribuant au tracé de la carte climatique, l'Algérie septentrionale, région d'altitude, connaît des hivers relativement froids contrastant violemment avec des étés torrides. En outre, disposé parallèlement à la côte, l'Atlas Tellien interpose un écran entre la mer et les régions intérieures et donne lieu à un certain cloisonnement climatique, le climat méditerranéen ne caractérisant que la bande littorale, tandis que l'influence saharienne se manifeste plus intensément au sud de ce massif¹⁸⁵.

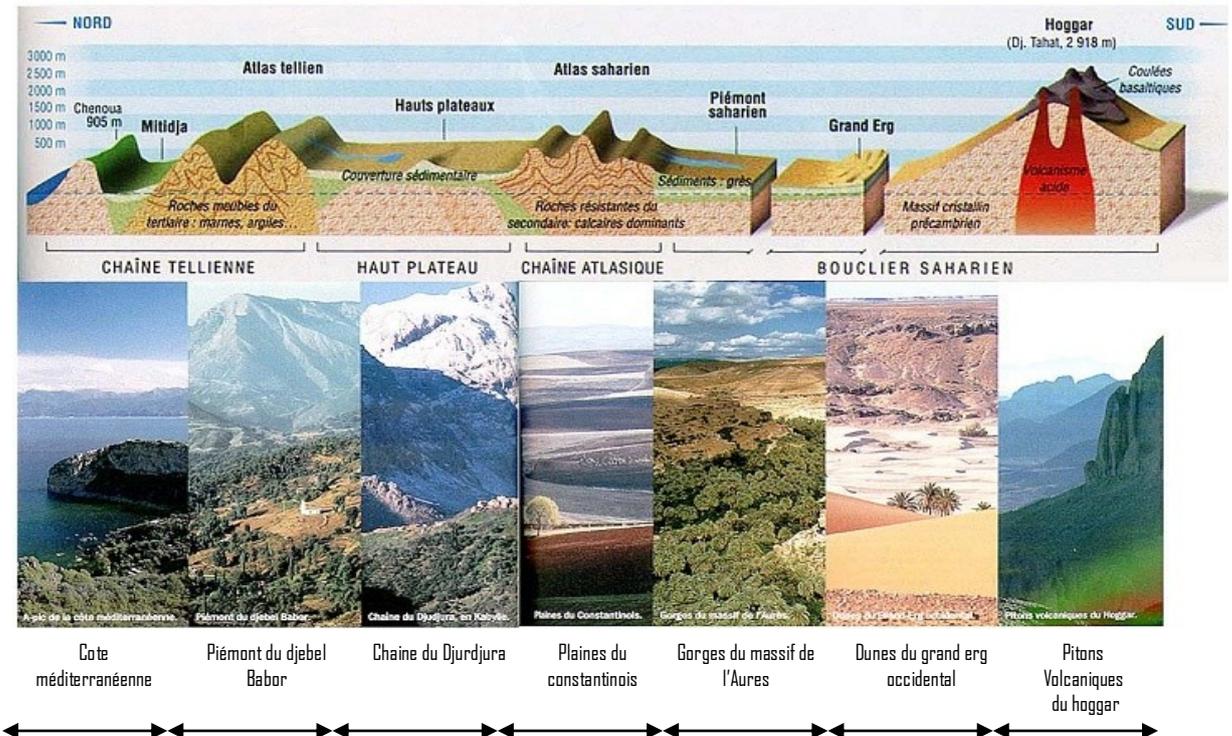


Figure V-5. Coupe transversale Nord-Sud du relief. (Source : Revue GEO)

¹⁸⁵ A. Mokhtari & al. (2008). Op.cit. p. 310

V- 3.1 Zones climatiques

La classification la plus récente prenant en compte des données météorologiques représentatives des 10 dernières années permet de définir avec plus de précision les différentes zones climatiques¹⁸⁶. Leur délimitation a été faite sur la base du calcul des degrés jours (Différence entre température extérieure moyenne et température intérieure de base de confort cumulée sur l'année). L'élaboration des zones climatiques s'est faite par la détermination d'une température de base, 16°C pour l'hiver et 25°C pour l'été¹⁸⁷.

V- 3.1.1 Zones climatiques d'hiver

H1, H2 et H3 définissent trois zones climatiques :

- La zone H1 subit l'influence de la **mer** (littoral);
- La zone H2 subit l'influence de l'**altitude** (hauts plateaux);
- La zone H3 subit l'influence de la **latitude** (sahara).

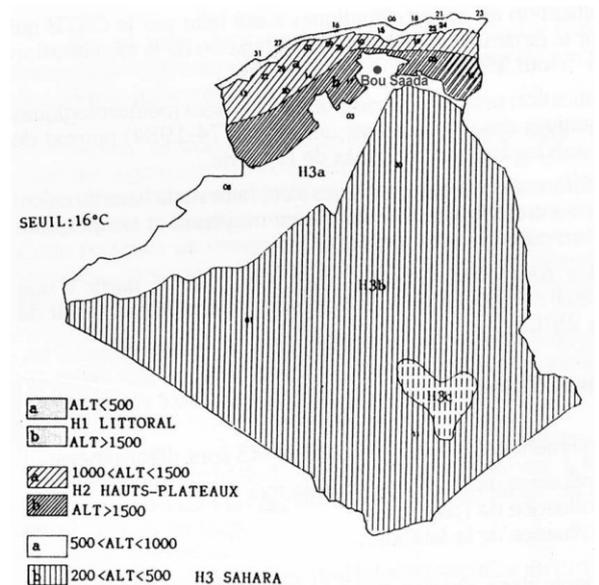


Figure V-6. Zones climatiques d'hiver.

Source A. Ould Henia (2003)

En faisant intervenir l'altitude comme facteur supplémentaire par rapport à chaque zone, il en découle les sous-zones suivantes :

S-Zone	Situation géographique	Caractéristiques
H1a	Littoral-mer (Alt. < à 500 m)	hivers doux avec des amplitudes faibles
H1b	Arrière littoral-montagne (Alt. > à 500 m)	hivers plus froids et plus longs
H2a	Atlas tellien-montagne (1000 m < Alt. < 1500 m)	hivers froids et écart de température diurne important
H2b	Atlas Saharien-montagne (Alt. > à 1500 m)	hivers encore plus froids que la zone H2a
H3a	Pré-Sahara (500 m < Alt. < 1000 m)	hivers très froids la nuit par rapport au jour, ce qui rend les écarts de température très importants
H3b	Sahara (200 m < Alt. < 500 m)	hivers moins froids que la zone H3a, avec des écarts de température diurnes
H3c	Hoggar (Alt. > à 500 m)	hivers très froids analogues à la zone H3a mais qui persistent même durant la journée

Tableau V-2. Caractéristiques des zones climatiques d'hiver en Algérie.

¹⁸⁶ Ministère de l'Habitat. Recommandations architecturales. ENAG/Editions. 1993.

¹⁸⁷ Amina Ould Henia. « Choix climatiques et construction en zones arides et semi arides, la maison à cour de Bousaada ». Thèse de doctorat. EPFL, Lausanne. 2003. p. 36.

V- 3.1.2 Zones climatiques d'été

Elles sont représentées par E1, E2, E3, E4, et E5.

- La zone E1 subit l'influence de la **mer** (littoral);
- La zone E2 subit l'influence de l'**altitude** (hauts plateaux);
- La zone E3, E4 et E5 subissent l'influence de la **latitude** (sahara).

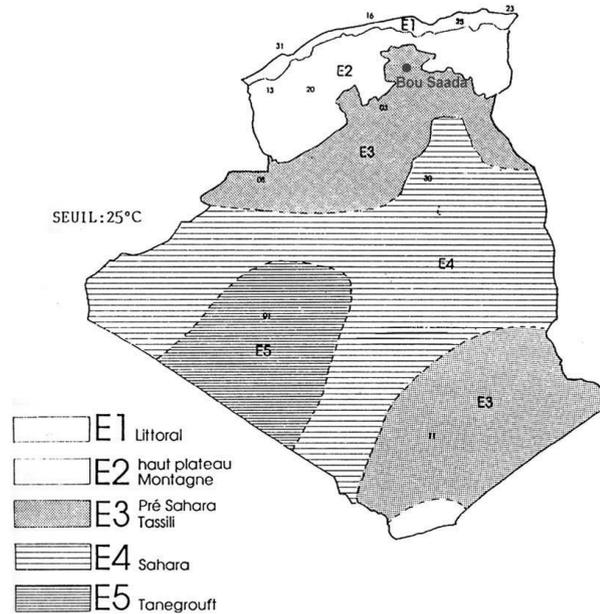


Figure V-7 . Zones climatiques d'été en Algérie.

Source A. Ould Henia (2003)

S-Zone	Situation géographique	Caractéristiques
zone E1	(littoral)	Etés chauds et humides. écart des températures diurnes faible.
zone E2	(H. plateaux et montagne)	Etés plus chauds et moins humides avec des écarts de température diurne importants.
zone E3	(Pré-Sahara et Tassili)	Etés très chauds et très secs, mais moins pénibles qu'en zone E4.
zone E4	(Sahara)	Etés plus chauds et plus secs qu'en zone E3.
zone E5	(Tanezrouft)	La zone la plus chaude de l'Algérie.

Tableau V-3. Caractéristiques des zones climatiques d'été en Algérie.

V- 3.2 Présentation des zones d'études

Le choix des zones d'études s'est fait principalement par rapport aux données climatiques disponibles sur l'outil de simulation (TRNSYS). Les stations météorologiques sont : Dar El Beida, Béchar et Tamanrasset. Ce choix à l'avantage de représenter deux grandes zones géographiques (le littoral et le Sahara), un autre avantage réside dans le fait que ces zones

représentent la partie la plus peuplée (Dar El Beida - littoral) et la partie dont le climat est le plus rude (Béchar et Tamanrasset – Sahara).

Station (ville)	Zones climatiques	Caractéristiques
Dar El Beida (Littoral)	Hiver (zone H1a)	doux avec des amplitudes faibles
	Eté (zone E1)	chauds et humides. écart des températures diurnes faible.
Béchar (Pré-Sahara)	Hiver (zone H3a)	très froids la nuit par rapport au jour, ce qui rend les écarts de température très importants.
	Eté (zone E3)	très chauds et très secs
Tamanrasset (Pré-Sahara)	Hiver (zone H3b)	hivers moins froids que la zone H3a, avec des écarts de température diurnes
	Eté (zone E3)	très chauds et très secs

Tableau V-4. Caractéristiques climatiques des zones d'études.

V- 3.2.1 Dar-El-Beida, analyse des données climatiques*

V- 3.2.1.1 Situation

Dar-El-Beida, ville du nord à environ 20km d'Alger, se trouve à la latitude 36,43° N longitude 03,15° E, à une altitude de 25 m¹⁸⁸. Suivant la classification précédente, le site se situe dans les zones climatiques H1a d'hiver et E1 d'été.

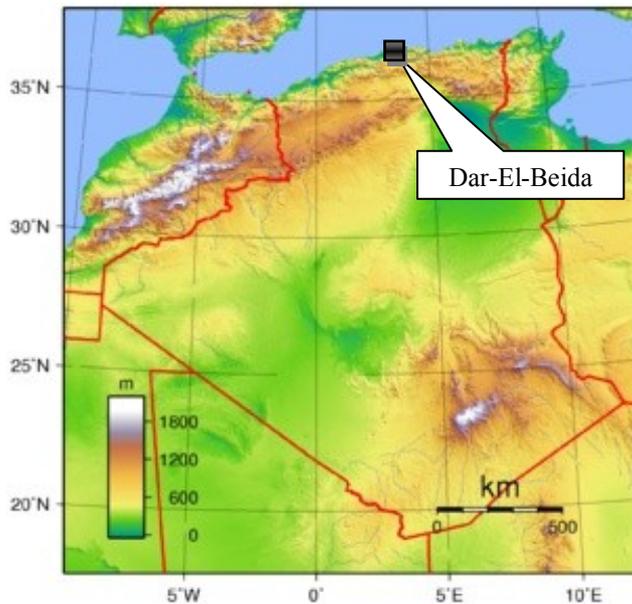


Figure V-8. Situation de la ville de Dar-El-Beida.

* Les données climatiques utilisées sont issues des fichiers climatiques du logiciel de simulation TRNSYS. Ces chiffres représentent la moyenne sur dix années consécutives de données.

¹⁸⁸ M. Capderou. Atlas solaire de l'Algérie. Tome 3. Ed. OPU. Alger. 1986. p. 63.

V- 3.2.1.2 Températures d'air

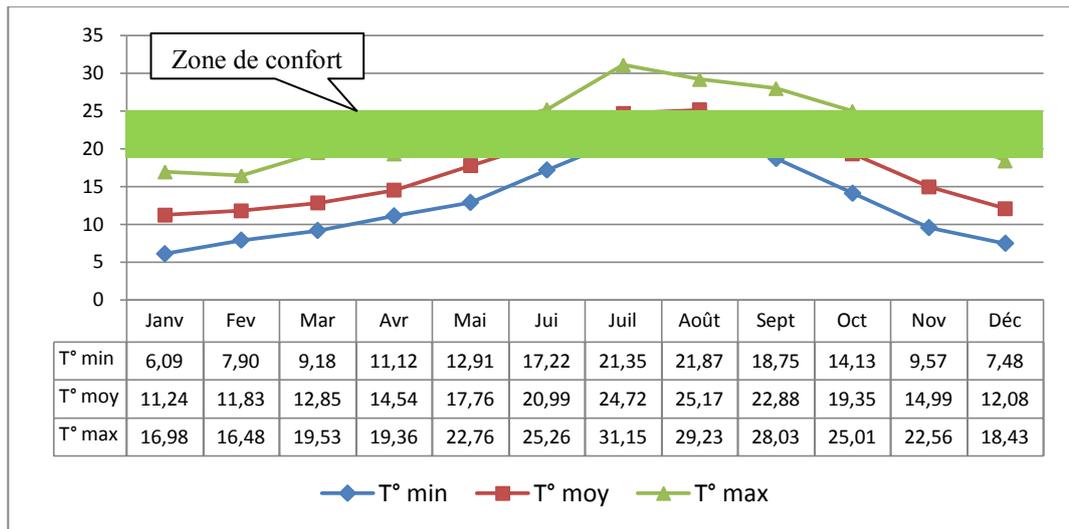


Figure V-9. Dar-El-Beida : Températures moyennes mensuelles. Source : TRNSYS

D'après le graphique représentant les températures mensuelles (figure V-9), on constate que la problématique de confort d'hiver se pose plus que celle de confort d'été, la période d'inconfort étant beaucoup plus longue en hiver qu'en été.

V- 3.2.1.3 Humidité relative

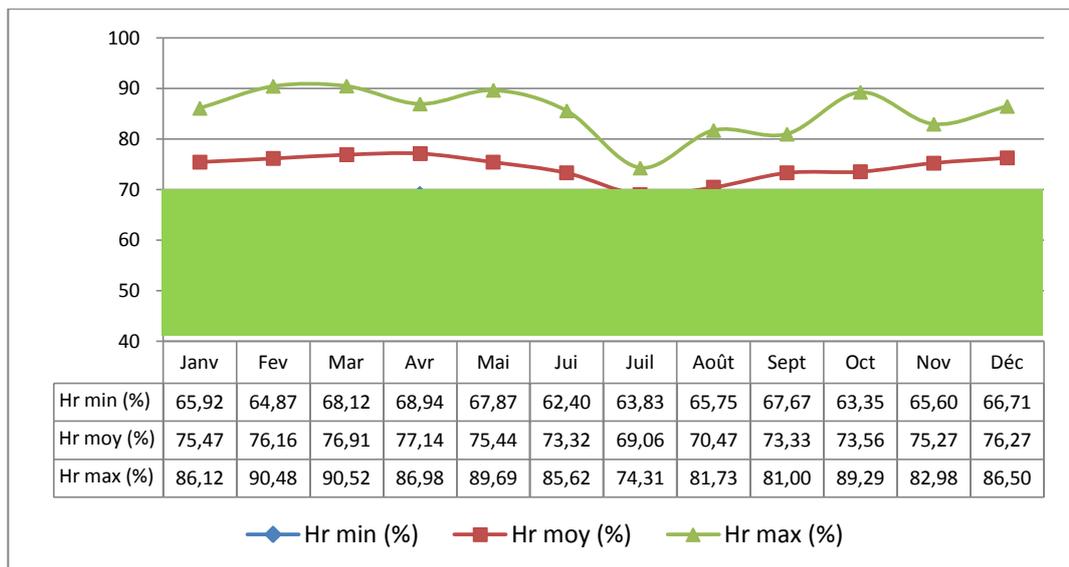


Figure V-10. Dar-El-Beida : Humidités moyennes mensuelles. Source : TRNSYS

D'après le graphique représentant les données liées à l'humidité relative, on constate que ces valeurs sont élevées durant toute l'année. Cette situation engendre un inconfort qu'il faudrait prévenir par le moyen de la ventilation.

V- 3.2.2 Béchar, analyse des données climatiques

V- 3.2.2.1 Situation

La ville de Béchar est une ville du sud-ouest du pays, à environ 800 km d'Alger, elle se trouve à la latitude 31,38° N longitude 2,15 W et à une altitude de 550 m¹⁸⁹. Suivant la classification précédente, le site se situe dans les zones climatiques H3a d'hiver et E3 d'été.

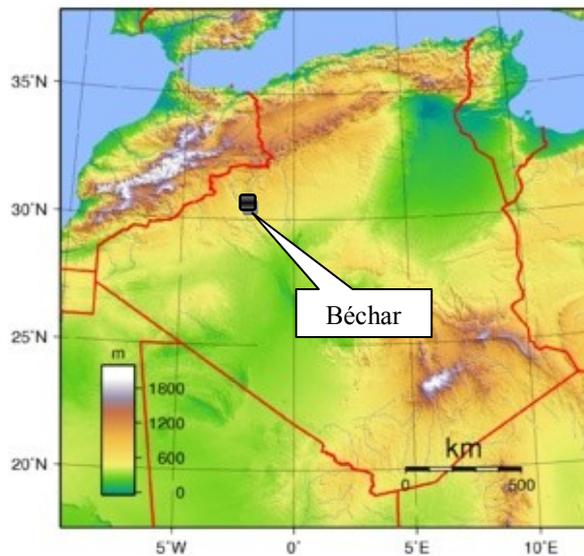


Figure V-11. Situation de la ville de Béchar.

V- 3.2.2.2 Températures d'air

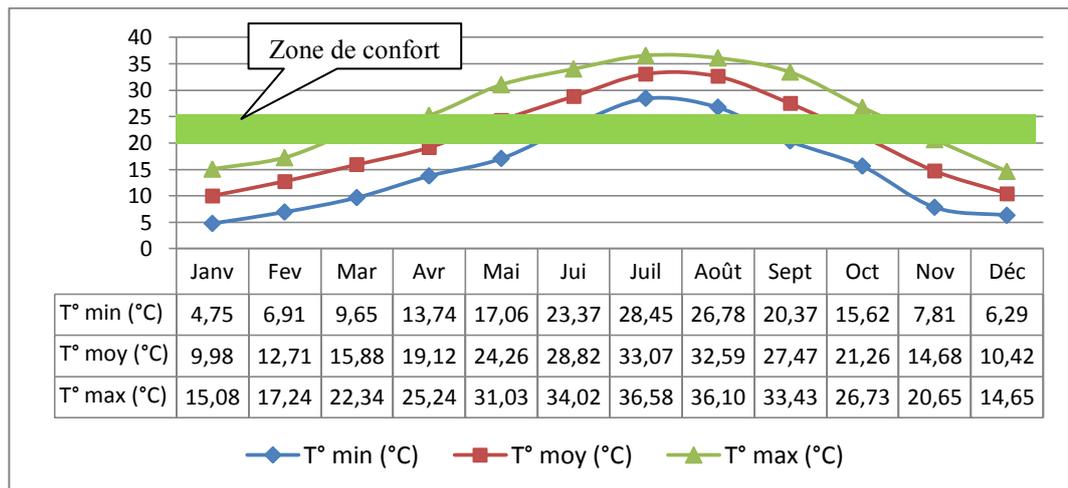


Figure V-12. Béchar : Températures moyennes mensuelles.

Source : TRNSYS

L'analyse de la distribution annuelle des températures moyennes indique que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort. Mise à part une partie des mois de mars, avril, octobre et novembre, les autres périodes de l'année nécessitent l'intervention d'appareils de chauffage ou de climatisation pour atteindre les températures de confort.

¹⁸⁹ M. Capderou (1986). Opcit. p. 92

V- 3.2.2.3 Humidité relative

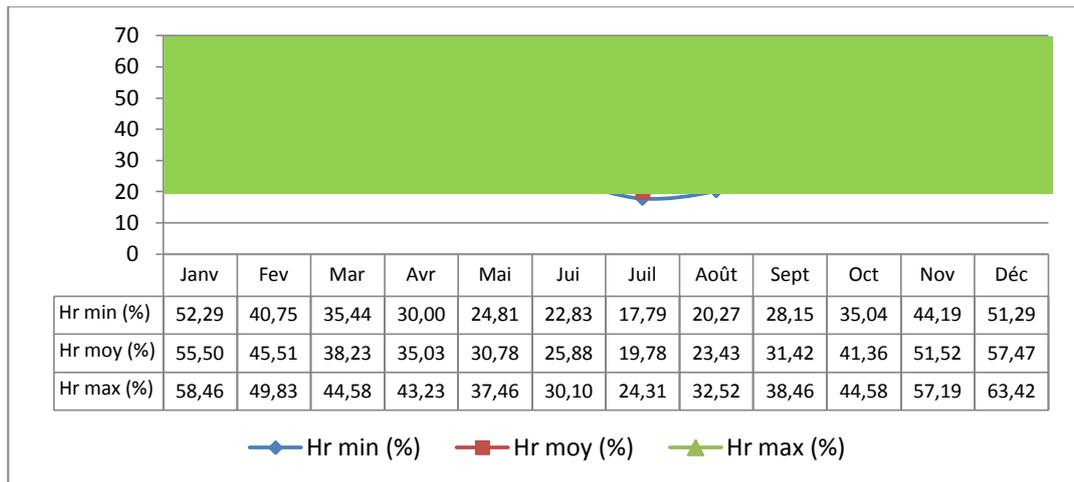


Figure V-13. Béchar : Humidités moyennes mensuelles.
Source : TRNSYS

La figure V-13, représentant les valeurs mensuelles de l'humidité relative dans la ville de Béchar, montre que celle-ci sont moyennes en période de froid et faibles en période chaude. Cette situation indique que l'humidité à Béchar n'influence pas fortement le confort thermique d'hiver, mais le faible taux d'humidité en été (mois de Juin, Juillet et Août) handicape l'utilisation des techniques de ventilation, donc on a souvent recours à l'utilisation des systèmes mécaniques de refroidissement.

V- 3.2.3 Tamanrasset, analyse des données climatiques

V- 3.2.3.1 Situation

Tamanrasset, ville du sud à environ 2000 km d'Alger, se trouve à la latitude 22,47° N longitude 05,31° E¹⁹⁰, à une altitude d'environ 1400 m. Suivant la classification précédente, le site se situe dans les zones climatiques H3b d'hiver et E3 d'été.

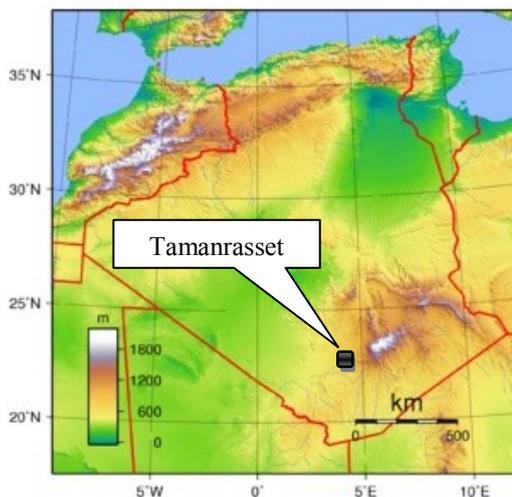


Figure V-14. Situation de la ville de Tamanrasset.

¹⁹⁰ M. Capderou (1986). Opcit. p. 163

V- 3.2.3.2 Températures d'air

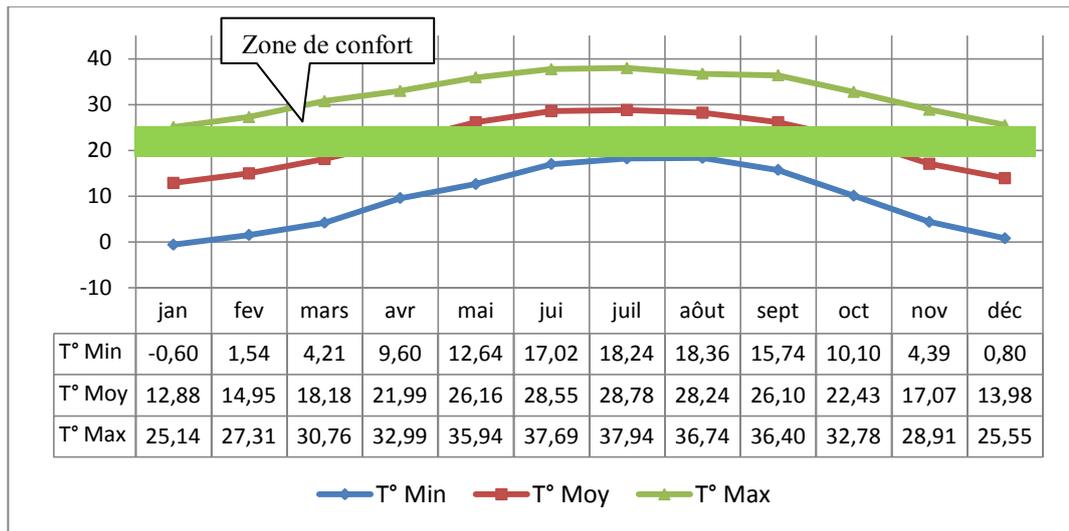


Figure V-15. Tamanrasset : Températures moyennes mensuelles.
Source : TRNSYS

Bien qu'étant situé en plein Sahara, le climat de Tamanrasset est modifié par son altitude et bénéficie donc de températures moins élevées que les régions voisines¹⁹¹. Les températures d'hiver sont voisines de celles du reste du Sahara, alors que les maxima d'été sont inférieurs (environ 38°C). D'après le graphe représentant les températures mensuelles moyennes (figureV-15), on remarque que mise à part la période allant du mois de mars au mois de mai et celle du mois de septembre au mois de novembre (environ 04 mois), le reste de l'année est situé hors zone de confort thermique.

V- 3.2.3.3 Humidité relative

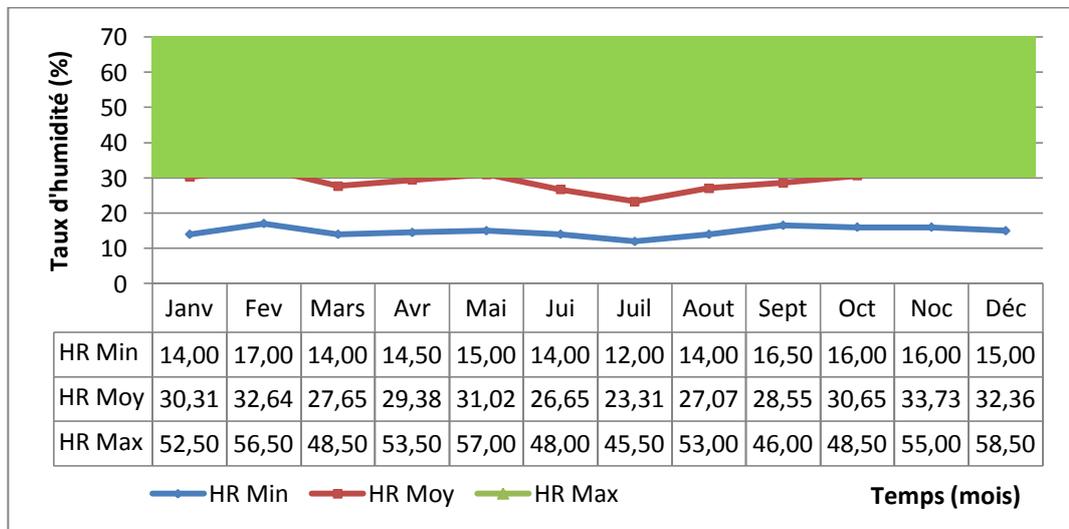


Figure V-16. Tamanrasset : Humidités moyennes mensuelles.
Source : TRNSYS

¹⁹¹ N. Fezzioui & al. Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien. in Revue des énergies renouvelables Vol. 11 N°1. Alger 2008. p. 26

D'après le graphique représentant les données moyennes de l'humidité relative, on constate que ces valeurs tournent autour des valeurs minimums de confort (autour de 30%) durant toute l'année. Cette situation est synonyme de temps sec qui tend à handicaper le rafraîchissement par ventilation en période de chaleur.

V- 4. Simulation thermique du cas de base

Pour notre simulation, nous avons choisi de modéliser un local simple représentatif de la construction typique de l'habitat contemporain en Algérie. Concernant les matériaux constitutifs de son enveloppe, nous opterons pour les matériaux les plus répandus et utilisés majoritairement sur tout le territoire national.

V- 4.1 Description du bâtiment cas de base

Le bâtiment simulé est une monozone de 16 m^2 de surface habitable ($4 \times 4 \text{ m}$) et de 3 m de hauteur, construit sur terre plein avec une fenêtre sur la façade sud de dimensions $1,2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$. Les murs extérieurs sont des parois doubles en brique creuse (10 cm) avec une lame d'air (5 cm) avec enduit en plâtre sur la surface intérieure et enduit mortier sur la surface extérieure. La lame d'air est de $0.044 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ de résistance. La toiture est un plancher avec entrevous (20 cm), avec enduit plâtre à l'intérieur et une forme de pente en gros béton (5 cm) à l'extérieur. Le vitrage est de type simple d'une épaisseur de 4 mm et d'un coefficient de conductivité de $5.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ et un facteur solaire $K = 0.85$. Pour les 4 murs et le toit, le coefficient d'absorption (intérieur et extérieur) = 0.7 , et les coefficients de convection intérieur et extérieur sont $11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ et $64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ respectivement. Aucun espace ne bénéficie de la ventilation transversale puisqu'il n'y a qu'une seule ouverture.

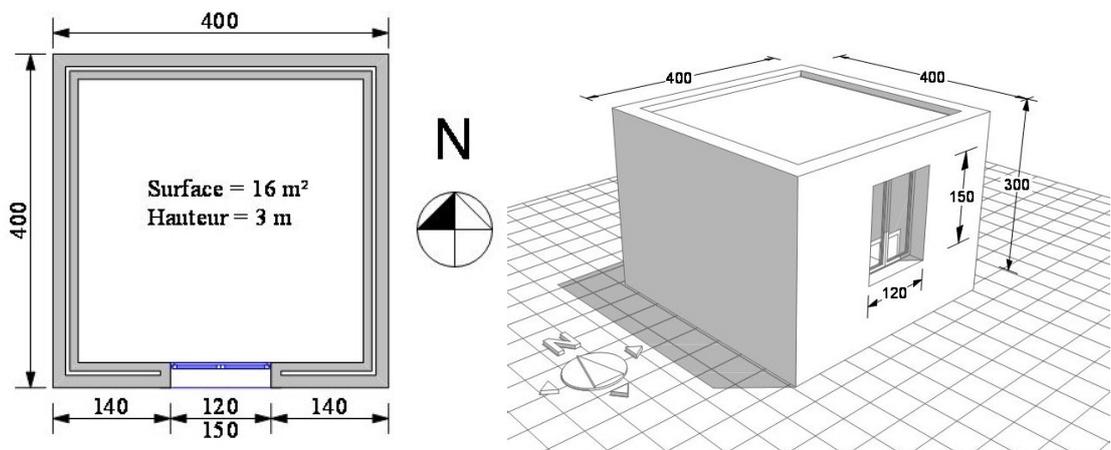


Figure V-17. Plan et 3D du bâtiment cas de base. (Source : auteur)

V- 4.2 Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du cas de base

Dans notre analyse de l'habitat contemporain en Algérie (voir chapitre I), nous avons décrit la constitution des parois les plus répandues de ce type de constructions, et nous avons noté

qu'elle était pratiquement identique dans toutes les régions du pays, sans prendre en considération les différences climatiques dans laquelle était implantée la construction. La configuration type des éléments de l'enveloppe est la suivante :

A. Murs extérieurs

<i>Matériau</i>	<i>Conductivité thermique (W/m.°C)</i>	<i>Masse volumique (kg/m³)</i>	<i>Capacité thermique (J/kg.°C)</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>
Enduit Int Plâtre	0,35	750	936	2
Brique creuse	0,48	900	936	10
Lame d'air	Résistance thermique 0,16			5
Brique creuse	0,48	900	936	10
Enduit Ext mortier de ciment	1,4	2200	1080	2

Tableau V-5. Composition des murs extérieurs

B. Couverture (toiture terrasse)

<i>Matériau</i>	<i>Conductivité thermique (W/m.°C)</i>	<i>Masse volumique (kg/m³)</i>	<i>Capacité thermique (J/kg.°C)</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>
Enduit Int Plâtre	0,35	750	936	2
Plancher avec entrevous en béton courant +	1,45	1450	1080	20
Forme de pente en gros béton	1,4	2200	1080	5

Tableau V-6. Composition du plancher terrasse

C. Plancher au sol

<i>Matériau</i>	<i>Conductivité thermique (W/m.°C)</i>	<i>Masse volumique (kg/m³)</i>	<i>Capacité thermique (J/kg.°C)</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>
Béton	1,75	2500	1080	10
Chape de mortier de ciment	1,4	2200	1080	3
Carrelage (Granito)	2,1	2200	936	3

Tableau V-7. Composition du plancher au sol.

V- 4.3 Présentation des résultats de la simulation

Dans cette partie de notre travail, on va procéder à l'analyse du local de base, représentant l'habitation de type contemporain, sur le plan thermique, prise dans les trois régions climatiques citées, afin d'évaluer son degré de confort thermique. Le tableau suivant résume la composition des éléments de l'enveloppe et la valeur du coefficient de conductivité thermique de chaque élément.

<i>Paroi</i>	<i>Matériaux (de l'intérieur vers l'extérieur)</i>	<i>Epaisseur totale (cm)</i>	<i>U (W/m².C)</i>
Murs	Mortier plâtre (2cm), brique creuse (10cm), lame d'air (5cm), brique creuse (10cm), mortier ciment (2cm)	29	1,225
Toiture	Mortier plâtre (2cm), planchers à entrevous (20cm), forme de pente en gros béton (5cm)	27	2,495
Plancher au sol	Carrelage granito (3cm), mortier de ciment (5cm), Béton plein (10cm)	17,5	3,640
Baie	Vitrage simple.	0,4	5,740

Tableau V-8. Composition des différents éléments de l'enveloppe du local de base

V- 4.3.1 Evolution des températures moyennes mensuelles

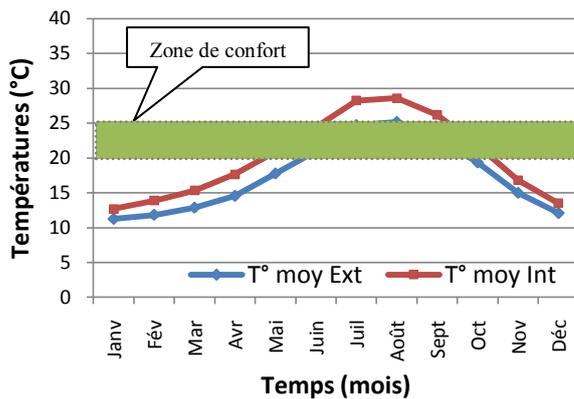


Figure V-18. Evolution des températures moyennes mensuelles au cours de l'année à Dar-El-Beida

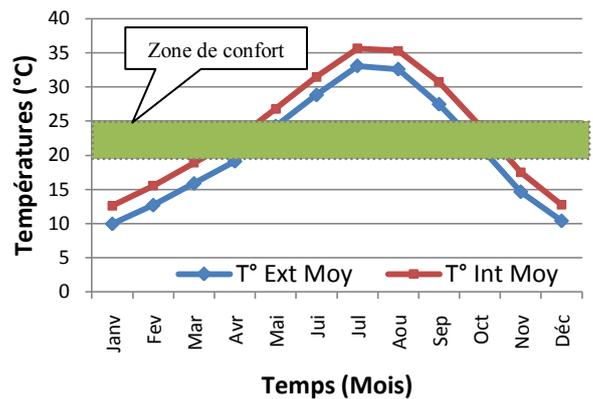


Figure V-19. Evolution des températures moyennes mensuelles au cours de l'année à Béchar

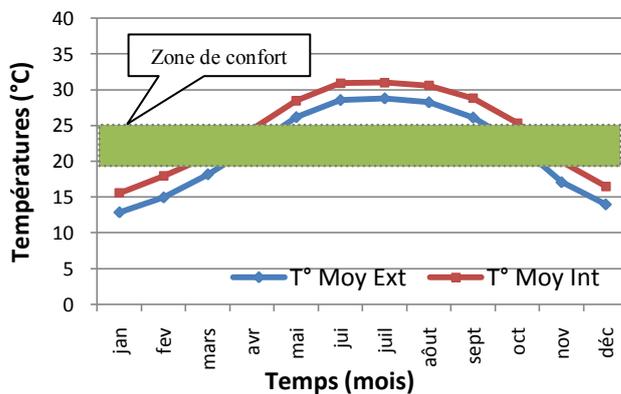


Figure V-20. Evolution des températures moyennes mensuelles au cours de l'année à Tamanrasset

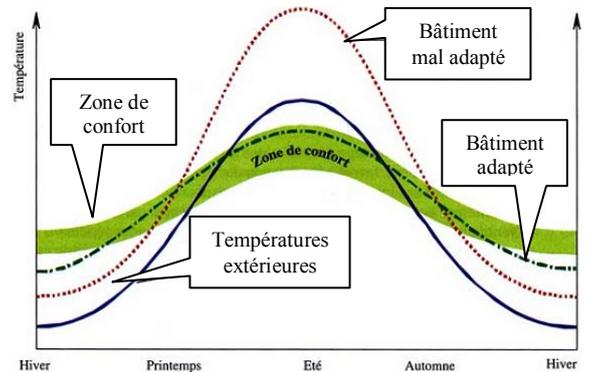


Figure V-21. Comparaison entre les évolutions de température au cours de l'année d'un bâtiment mal adapté au climat et un bâtiment climatique par rapport à la zone de confort. Source www.terre-crue.fr

Les Figures V-18, V-19 et V-20 indiquent l'évolution des températures moyennes (intérieures et extérieures) mensuelles au cours de l'année dans les villes de Dar-El-Beida, Béchar et Tamanrasset. Nous notons que durant toute l'année, les températures moyennes à l'intérieur des locaux situés dans les trois zones climatiques, sont plus élevées qu'à l'extérieur. Cette

situation est synonyme d'inefficacité et d'incapacité de l'enveloppe des constructions contemporaines à réduire les fluctuations des températures extérieures, ce qui implique une absence de confort thermique.

Si on compare ces graphes à la figure V-21 représentant l'évolution des températures au cours de l'année d'un bâtiment mal adapté au climat et d'un bâtiment adapté, nous concluons que notre construction est inadaptée au climat de sa région d'implantation.

Nous allons vérifier cette hypothèse en examinant l'évolution des températures dans notre construction plus en détail, pour chaque zone climatique, dans les périodes d'hiver et d'été.

V- 4.3.2 Station météorologique de Dar-El-Beida

V- 4.3.2.1 Hiver (résultats des simulations)

Pour la période hivernale, nous avons choisi le mois de janvier comme mois de référence. Nous allons étudier l'évolution quotidienne des températures horaires, puis on va voir de plus près l'évolution de ces températures sur une période de trois jours.

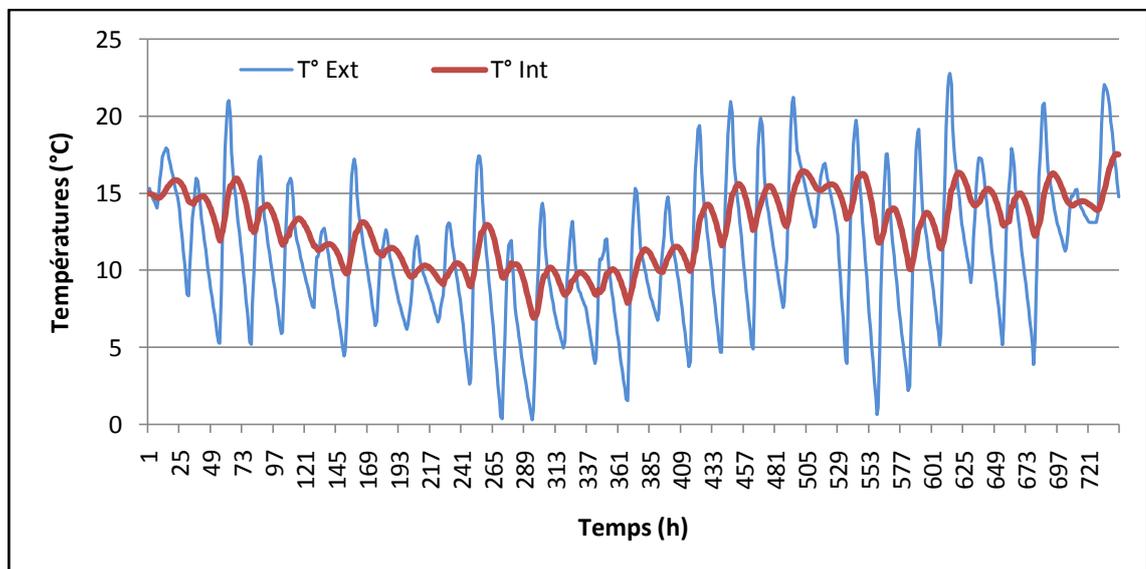


Figure V-22. Evolution quotidienne des températures (mois de janvier)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée</i>	<i>Heure</i>	<i>T° int corresp</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Diff</i>
T° Ext Min	0,29	13	07h	7,10	/	6,81
T° Int Min	6,91	13	08h	/	0,88	6,02
Ecart Max 1	Int > Ext	26	14h	14,06	22,56	8,50
Ecart Max 2	Int < Ext	24	07h	12,16	0,63	11,53

Durant le mois de janvier, on note une température extérieure minimale de **0,29°C** (journée du 13 à 07h), à l'intérieur du local la température est de **07,10°C**, soit une différence d'environ **07°C** de plus qu'à l'extérieur. La température intérieure minimale est de **06,91°C** (journée du 13 à 08h), tandis qu'à l'extérieur la température est d'environ **1°C**, la différence enregistrée est d'environ **06°C**. Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre **08,50°C** (Extérieur plus chaud - journée du 26 à 14h) à **11,53°C** (intérieur plus chaud – journée du 24 à 07h).

On notera que les températures intérieures enregistrées durant le mois de janvier, représentant la période de froid, sont toujours en deçà des limites inférieures des températures de confort d'hiver (19°C).

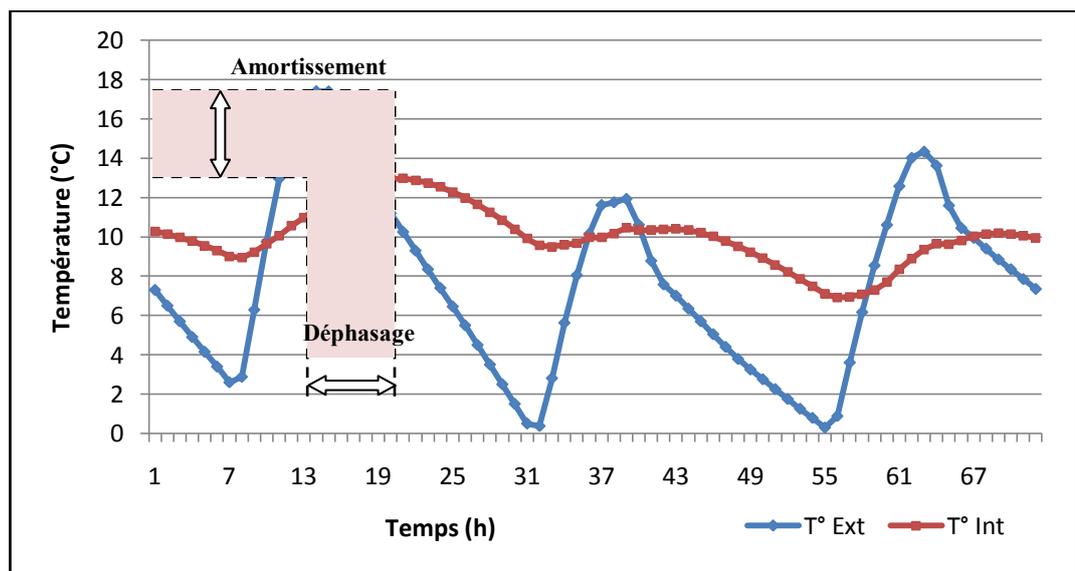


Figure V-23. Evolution horaire des températures (11, 12 & 13 janvier)

▪ Analyse des résultats

La lecture des graphes (période hiver) montre que la température extérieure présente de fortes amplitudes pouvant aller jusqu'à environ 18°C. La température intérieure, bien qu'elle présente une amplitude moindre que pour l'extérieur (environ 5°C), mais celle-ci n'offre pas la stabilité requise pour une sensation de confort des occupants. Les températures intérieures varient fortement et au même rythme que les températures extérieures, l'amplitude des températures intérieures du local suit celle des températures extérieures avec un léger déphasage. Le local n'arrive pas à emmagasiner assez de chaleur pour la restituer dans les heures froides.

V- 4.3.2.2 Eté (résultats des simulations)

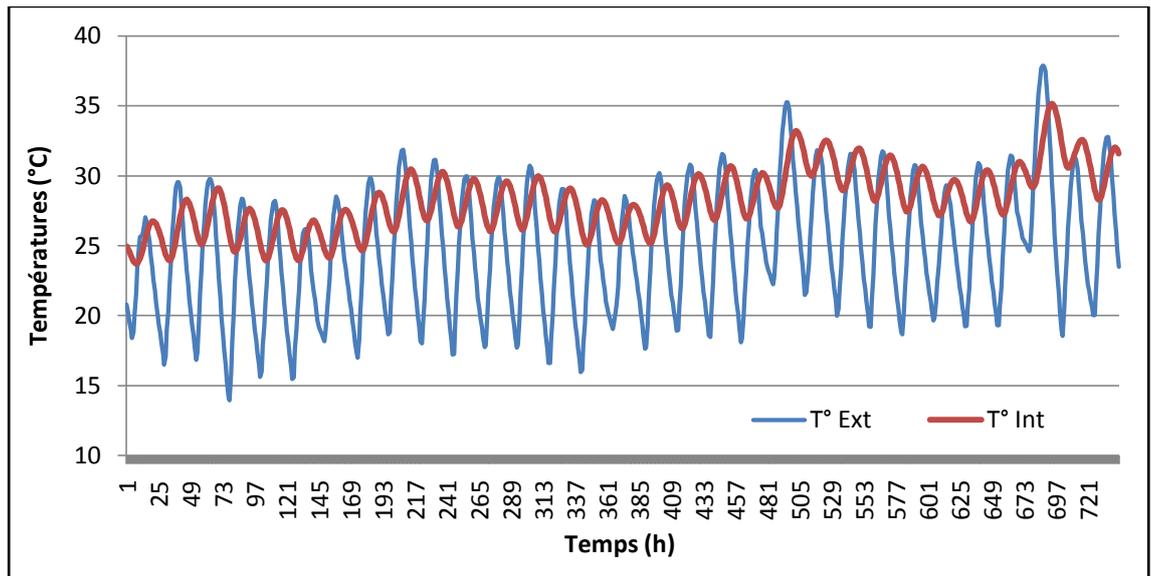


Figure V-24. Evolution quotidiennes des températures (mois de juillet)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée</i>	<i>Heure</i>	<i>T° int corresp</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Diff</i>
T° Ext Max	37,88	29	15h	32,61	/	5,27
T° Int Max	35,32	13	08h	/	29,51	5,81
Ecart Max 1	Int > Ext	30	5h	32,67	18,95	13,72
Ecart Max 2	Int < Ext	29	14h	31,99	37,70	5,71

Concernant le mois de référence pour la période chaude (mois de juillet), on note une température extérieure maximale de **37,88°C** (journée du 29 à 15h), à l'intérieur du local la température est de **32,61°C**, soit une différence d'environ **5°C** de moins que l'extérieur. La température intérieure maximale est de **35,32°C** (journée du 29 à 22h), tandis qu'à l'extérieur la température est de **29,51°C** (effet de surchauffe), la différence enregistrée est de **5,81°C**. Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre **5,71°C** (Extérieur plus chaud - journée du 29 à 14h) à **13,72°C** (intérieur plus chaud – journée du 30 à 05h).

Les températures enregistrées dans le local sont majoritairement au dessus des températures de confort (25°C), de jour comme de nuit.

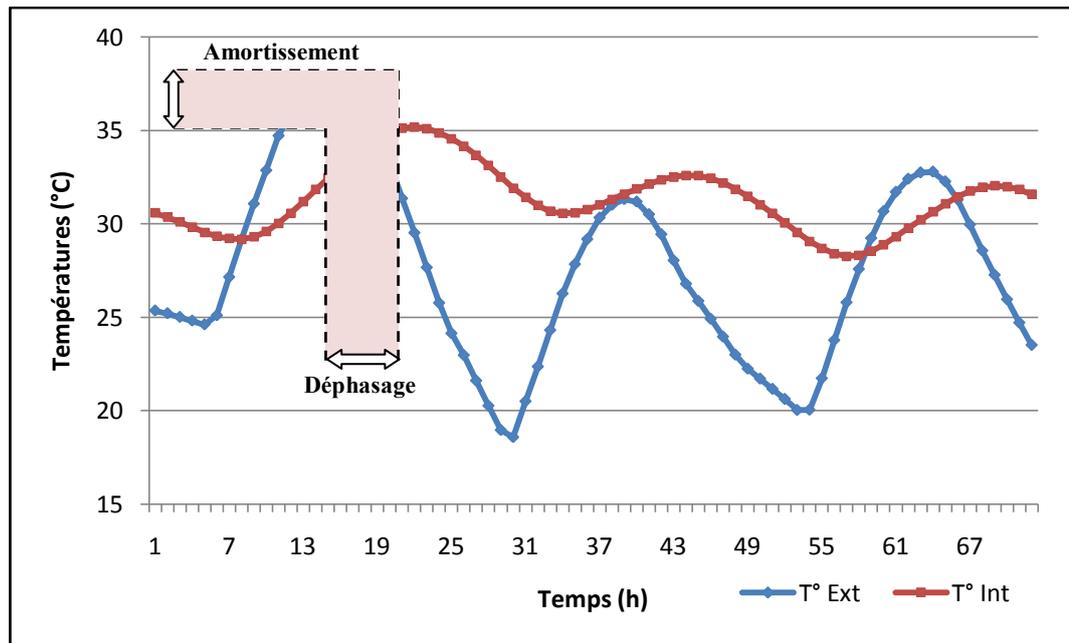


Figure V-25. Evolution horaire des températures (29, 30 & 31 juillet)

▪ Analyse des résultats

De même que pour la période hivernale, la période estivale enregistre des températures extérieures qui présentent de fortes amplitudes pouvant aller jusqu'à environ 18°C. La température intérieure présente une amplitude d'environ 6°C. Mais celle-ci n'offre pas la stabilité requise pour une sensation de confort des occupants. L'amplitude des températures intérieures du local suit celle des températures extérieures avec un léger déphasage et un amortissement insuffisant et quelquefois inexistant. Aussitôt qu'il fait chaud dehors, il fait chaud dedans. Après plusieurs jours de forte chaleur, la température intérieure monte vite, car la chaleur emmagasinée dans l'enveloppe n'arrive pas à être évacuée.

V- 4.3.3 Station météorologique de Béchar

V- 4.3.3.1 Hiver (résultats des simulations)

Nous allons étudier l'évolution quotidienne des températures horaires durant le mois de janvier, puis on va voir de plus près l'évolution de ces températures sur une période de trois jours.

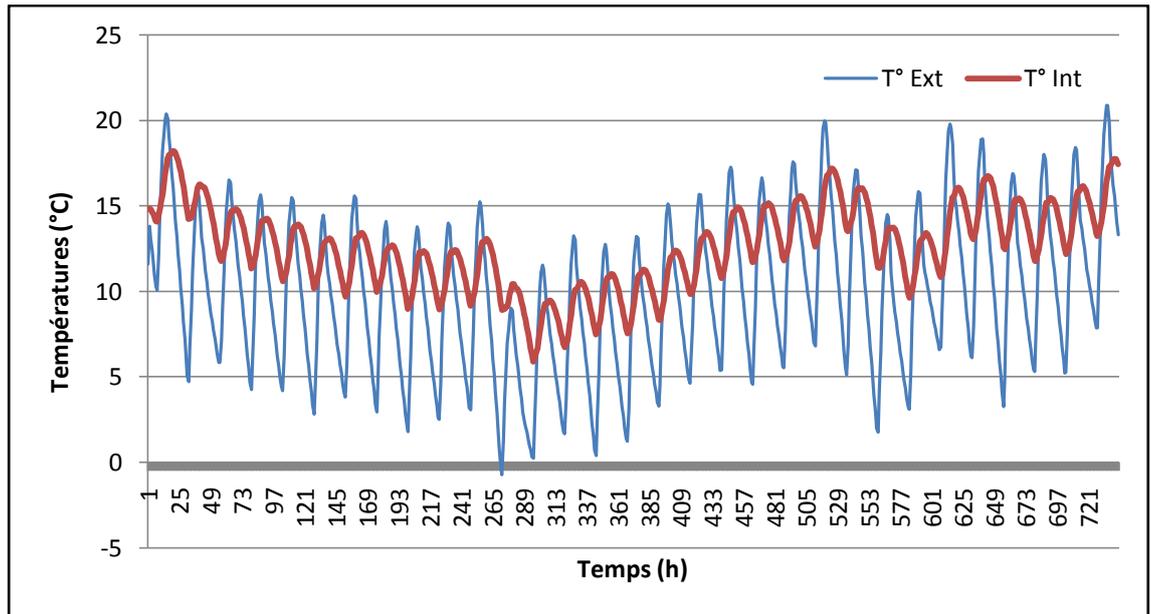


Figure V-26. Evolution quotidiennes des températures (mois de janvier)

▪ **Lecture des résultats**

		<i>Journée</i>	<i>Heure</i>	<i>T° int corresp</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Diff</i>
T° Ext Min	-0,73	12	8h	8,89	/	9,61
T° Int Min	5,90	13	08h	/	0,24	5,66
Ecart Max 1	Int > Ext	24	7h	11,78	1,99	9,79
Ecart Max 2	Int < Ext	26	14h	13,90	19,39	5,51

Pour la période hivernale, on note une température extérieure minimale d'environ -1°C (journée du 12 à 08h), à l'intérieur du local la température est de $8,89^{\circ}\text{C}$, soit une différence d'environ 10°C de plus qu'à l'extérieur. La température intérieure minimale est de $05,90^{\circ}\text{C}$ (journée du 13 à 08h), tandis qu'à l'extérieur la température est de 0°C , la différence enregistrée est d'environ 06°C . Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre $5,5^{\circ}\text{C}$ (Extérieur plus chaud - journée du 26 à 14h) à $09,79^{\circ}\text{C}$ (intérieur plus chaud – journée du 24 à 07h).

On notera que les températures intérieures enregistrées durant le mois de janvier, représentant la période de froid, sont toujours en deçà des limites inférieures des températures de confort d'hiver (19°C).

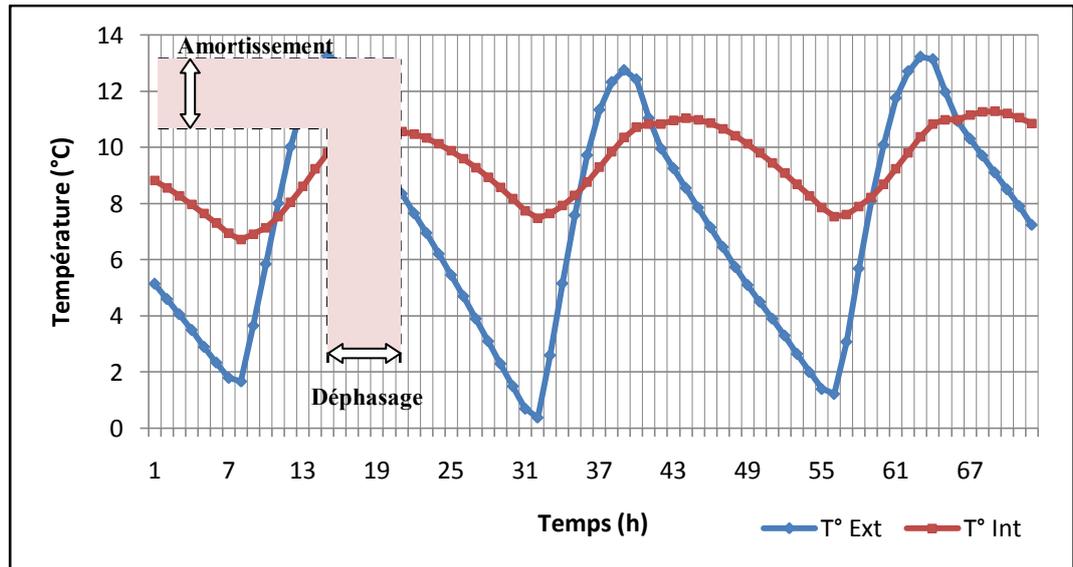


Figure V-27. Evolution horaire des températures (du 14 au 16 janvier)

▪ Analyse des résultats

La lecture des graphes (période hiver) montre que la température extérieure présente de fortes amplitudes pouvant aller jusqu'à environ 16°C. La température intérieure, bien qu'elle présente une amplitude moindre que pour l'extérieur (environ 5°C), mais celle-ci n'offre pas la stabilité requise pour une sensation de confort des occupants. Les températures intérieures varient fortement et au même rythme que les températures extérieures, l'amplitude des températures intérieures du local suit celle des températures extérieures avec un léger déphasage et un amortissement des températures insuffisant (environ 2°C).

V- 4.3.3.2 Eté (résultats des simulations)

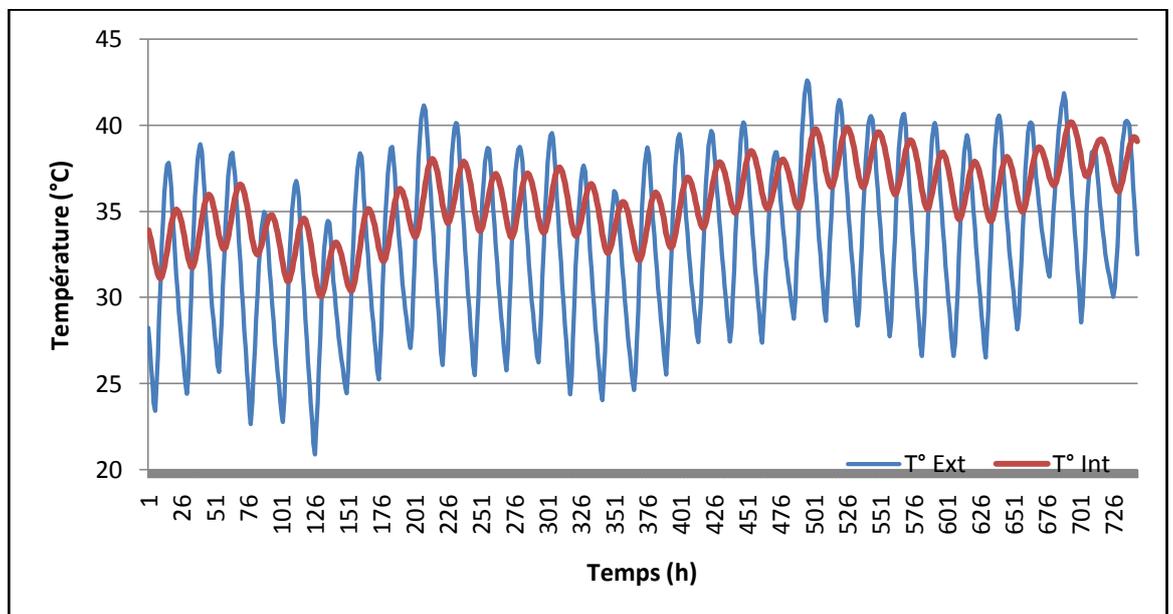


Figure V-28. Evolution quotidiennes des températures (mois de juillet)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée</i>	<i>Heure</i>	<i>T° int corresp</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Diff</i>
T° Ext Max	42,60	21	16h	37,69	/	4,91
T° Int Max	40,19	29	22h	/	37,05	3,14
Ecart Max 1	Int > Ext	4	6h	33,62	22,64	10,98
Ecart Max 2	Int < Ext	7	15h	38,10	32,43	5,67

Concernant la période chaude (mois de juillet), on note une température extérieure maximale de 42,6°C (journée du 21 à 16h), à l'intérieur du local la température est de 37,69°C, soit une différence d'environ 5°C de moins que l'extérieur. La température intérieure maximale est de 40,19°C (journée du 29 à 22h), tandis qu'à l'extérieur la température est de 37,05°C (effet de surchauffe), la différence enregistrée est de 3,14°C. Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre 5,67°C (Extérieur plus chaud - journée du 07 à 15h) à 10,98°C (intérieur plus chaud – journée du 04 à 06h).

On notera que les températures intérieures enregistrées durant le mois de juillet, représentant la période chaude, sont toujours au dessus des limites supérieures des températures de confort d'été (25°C).

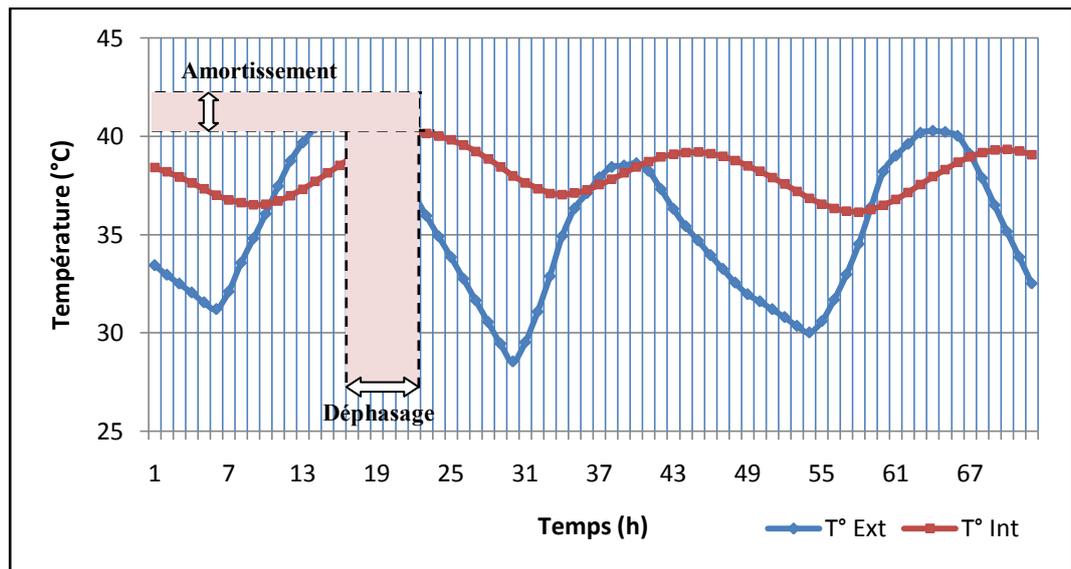


Figure V-29. Evolution horaire des températures (du 29 au 31 juillet)

▪ Analyse des résultats

De même que pour la période hivernale, la période estivale enregistre des températures extérieures qui présentent de fortes amplitudes pouvant aller jusqu'à environ 15°C. La température intérieure présente une amplitude d'environ 4°C. Mais celle-ci n'offre pas la stabilité requise pour une sensation de confort des occupants. L'amplitude des températures

intérieures du local suit celle des températures extérieures avec un léger déphasage et un amortissement insuffisant et quelquefois inexistant. Aussitôt qu'il fait chaud dehors, il fait chaud dedans. Après plusieurs jours de forte chaleur, la température intérieure monte vite, car la chaleur emmagasinée dans l'enveloppe n'arrive pas à être évacuée.

V- 4.3.4 Station météorologique de Tamanrasset

V- 4.3.4.1 Hiver (résultats des simulations)

Pour la période hivernale, nous avons pris le mois de janvier comme période de référence. Nous allons étudier l'évolution quotidienne des températures horaires, puis on va voir de plus près l'évolution de ces températures sur une période de trois jours.

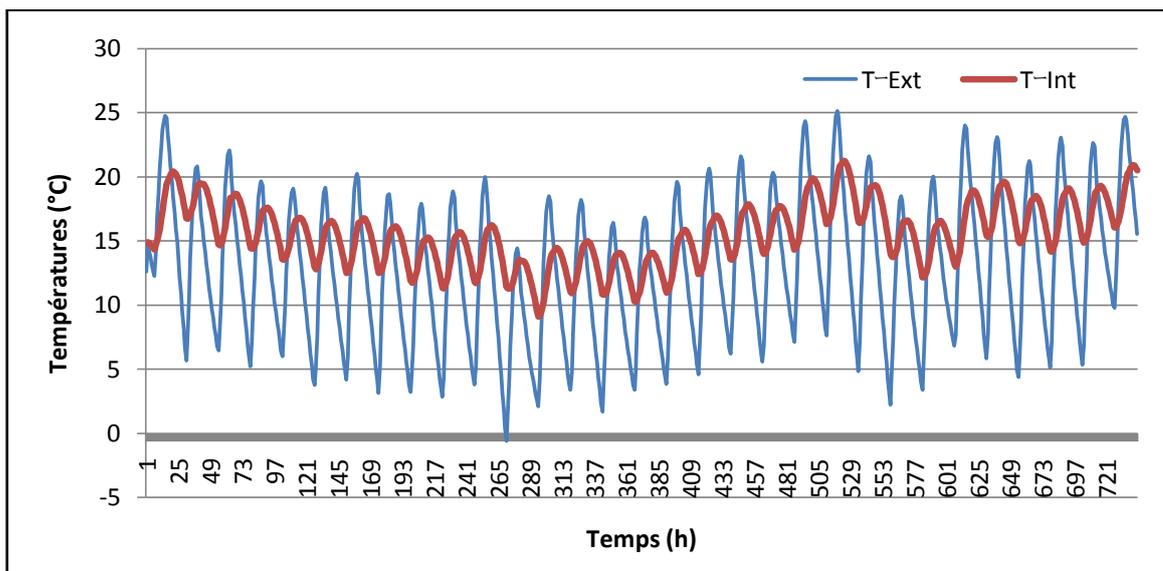


Figure V-30. Evolution quotidiennes des températures (mois de janvier)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée</i>	<i>Heure</i>	<i>T° int corresp</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Diff</i>
T° Ext Min	-0,60	12	07h	11,43	/	12,03
T° Int Min	9,09	13	07h	/	2,08	7,01
Ecart Max 1	Int > Ext	26	14h	16,28	23,45	7,17
Ecart Max 2	Int < Ext	12	07h	11,43	-0,60	12,03

Pour la période hivernale, on a pris comme référence le mois de janvier. On note une température extérieure minimale de **-0,60°C** (journée du 12 à 07h), à l'intérieur du local la température est de **11,43°C**, soit une différence d'environ **12°C** de plus qu'à l'extérieur. La température intérieure minimale est de **09,09°C** (journée du 13 à 07h), tandis qu'à l'extérieur la température est de **2°C**, la différence enregistrée est d'environ **07°C**. Les écarts maximums

entre les deux ambiances varie entre $7,17^{\circ}\text{C}$ (Extérieur plus chaud - journée du 26 à 14h) à $12,03^{\circ}\text{C}$ (intérieur plus chaud – journée du 12 à 07h).

On notera que les températures intérieures enregistrées durant le mois de janvier, représentant la période de froid, sont majoritairement en deçà des limites inférieures des températures de confort d'hiver (19°C).

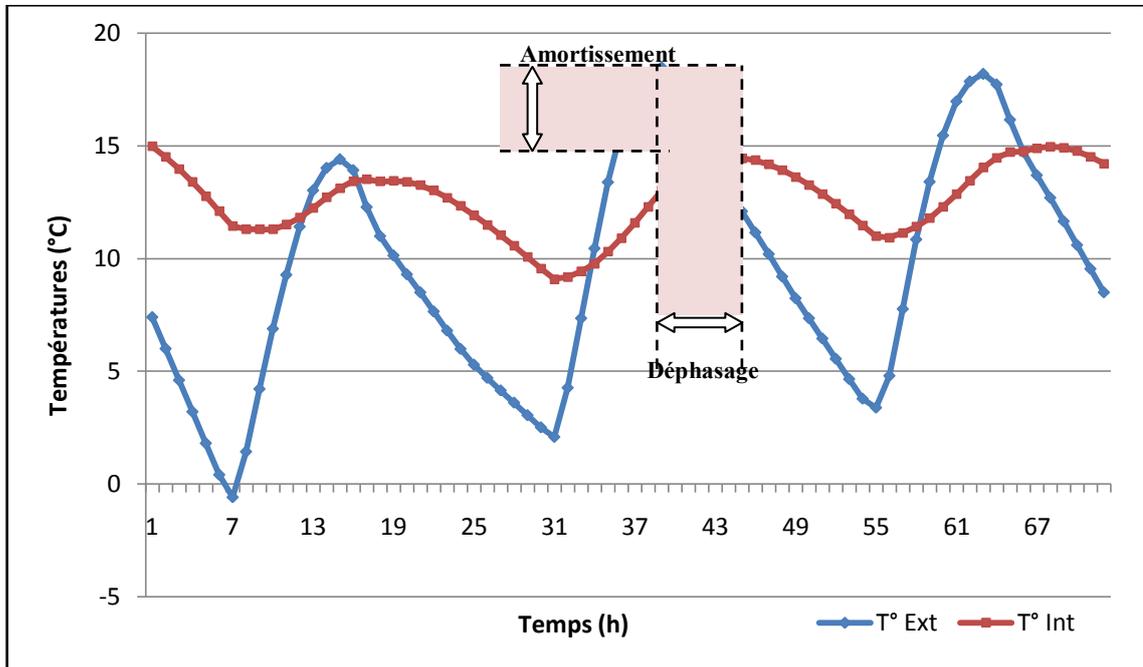


Figure V-31. Evolution horaires des températures (du 14 au 16 janvier)

▪ Analyse des résultats

La lecture des graphes (période hiver) montre que la température extérieure présente de fortes amplitudes pouvant aller jusqu'à environ 16°C . La température intérieure, bien qu'elle présente une amplitude moindre que pour l'extérieur (environ 5°C), mais celle-ci n'offre pas la stabilité requise pour une sensation de confort des occupants. Les températures intérieures varient fortement et au même rythme que les températures extérieures, l'amplitude des températures intérieures du local suit celle des températures extérieures avec un léger déphasage.

V- 4.3.4.2 Eté (résultats des simulations)

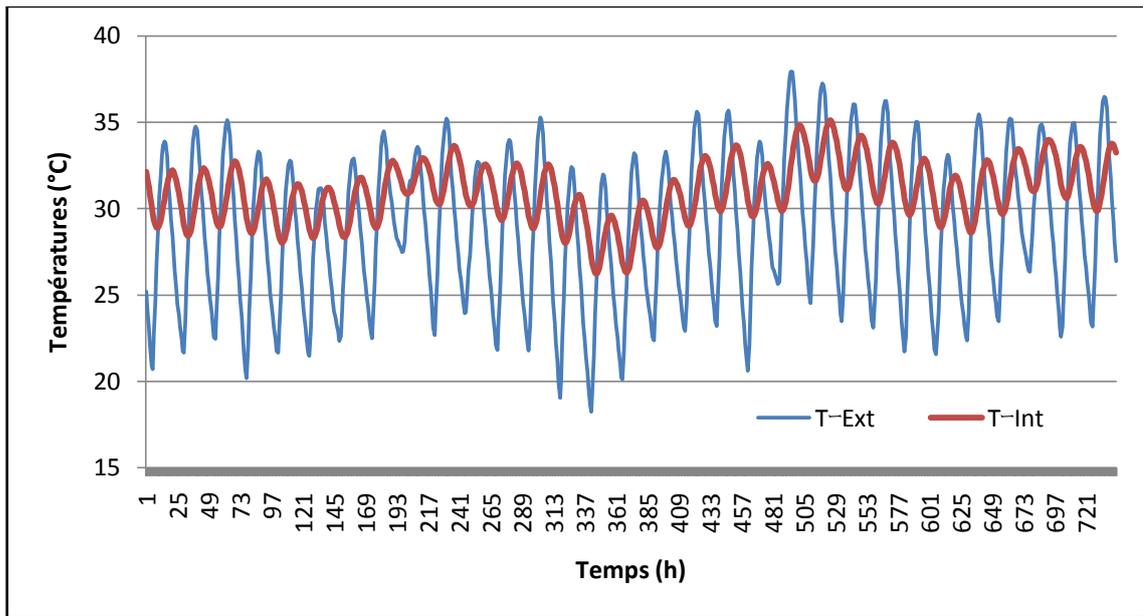


Figure V-32. Evolution quotidiennes des températures (mois de juillet)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée</i>	<i>Heure</i>	<i>T° int corresp</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Diff</i>
T° Ext Max	37,94	21	15h	32,48	/	5,46
T° Int Max	35,13	22	21h	/	31,85	3,28
Ecart Max 1	Int < Ext	21	14h	31,90	37,61	5,71
Ecart Max 2	Int > Ext	14	06h	29,11	19,03	10,07

Concernant le mois de juillet, on note une température extérieure maximale de **37,94°C** (journée du 21 à 15h), à l'intérieur du local la température est de 32,48°C, soit une différence d'environ **5°C** de moins que l'extérieur. La température intérieure maximale est de **35,13°C** (journée du 22 à 21h), tandis qu'à l'extérieur la température est de 31,85°C (effet de surchauffe), la différence enregistrée est de 3,28°C. Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre **5,71°C** (Extérieur plus chaud - journée du 21 à 14h) à **10,07°C** (intérieur plus chaud – journée du 14 à 06h).

Les températures intérieures enregistrées durant le mois de juillet, représentant la période chaude, sont constamment au dessus des limites supérieures des températures de confort d'été (25°C).

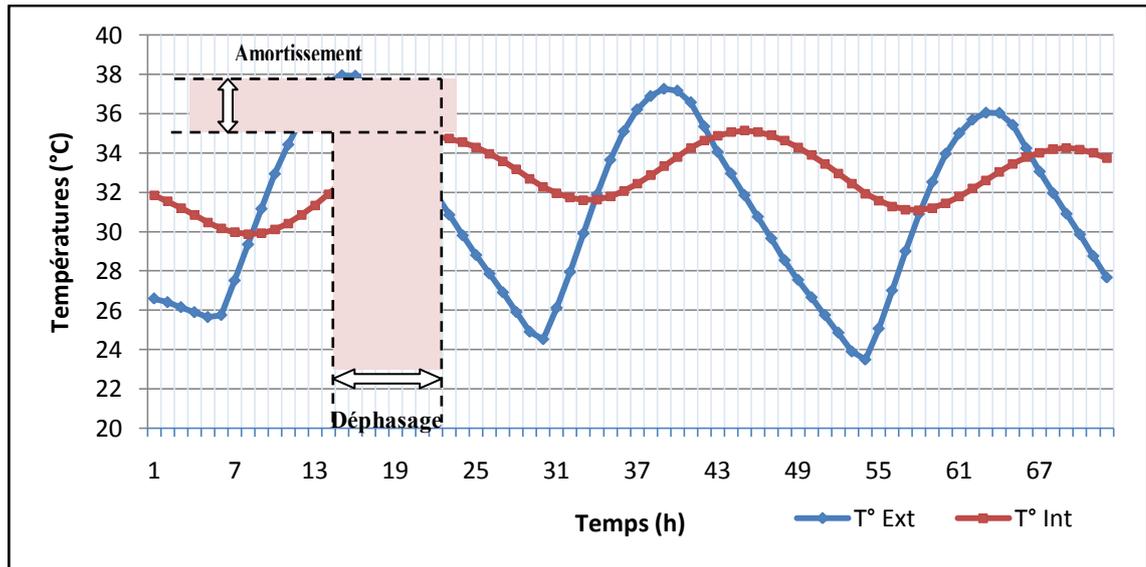


Figure V-33. Evolution horaires des températures (du 21 au 23 juillet)

▪ Analyse des résultats

De même que pour la période hivernale, la période estivale enregistre des températures extérieures qui présentent de fortes amplitudes pouvant aller jusqu'à environ 13°C. La température intérieure présente une amplitude d'environ 5°C. Celle-ci n'offre pas la stabilité requise pour une sensation de confort des occupants. L'amplitude des températures intérieures du local suit celle des températures extérieures avec un léger déphasage et un amortissement insuffisant, aussitôt qu'il fait chaud dehors, il fait chaud dedans.

V- 5. Amélioration de l'isolation thermique du local contemporain

Après la lecture et l'analyse des résultats de la simulation thermique sur un local dont le mode constructif correspond à la construction contemporaine en Algérie, nous avons remarqué que cette configuration présente des défaillances du point de vue thermique qui induisent un inconfort des occupants, cela dans trois des zones climatiques étudiées. Afin de remédier à cette situation, nous allons procéder à une proposition de correction par isolation thermique de l'enveloppe, qui est la mesure la plus courante dans ce genre de cas (voir chapitre III). Le tableau suivant donne la composition des éléments de l'enveloppe isolée et la valeur du coefficient de conductivité thermique de chaque élément.

<i>Paroi</i>	<i>Matériaux (de l'intérieur vers l'extérieur)</i>	<i>Ep. totale (cm)</i>	<i>U (sans isol.) (W/m². °K)</i>	<i>U (avec isol.) (W/m². °K)</i>
Murs	Mortier plâtre (2cm), brique creuse (10cm), PSE (5cm) , brique creuse (10cm), mortier ciment (2cm)	29	1,225	0,524
Toiture	Mortier plâtre (2cm), planchers à entrevous (20cm), PSE (10cm) ,	27	2,495	0,345

	forme de pente en gros béton (5cm)			
Plancher au sol	Carrelage granito (3cm), mortier de ciment (5cm), Béton plein (10cm)	17,5	3,640	Non isolé
Baie	Vitrage double .	0,4	5,740	2,95

Tableau V-9. Composition de l'enveloppe isolée

V- 5.1 Températures moyennes annuelles

Les figures suivantes (V-34, V-35 et V-36) représentent l'évolution des températures moyennes (intérieures et extérieures) mensuelles sur une année dans les villes de Dar-El-Beida, Béchar et Tamanrasset. La comparaison entre les courbes du local non isolé et du local isolé par rapport aux températures extérieures nous indique une amélioration relative réalisée après isolation thermique de l'enveloppe.

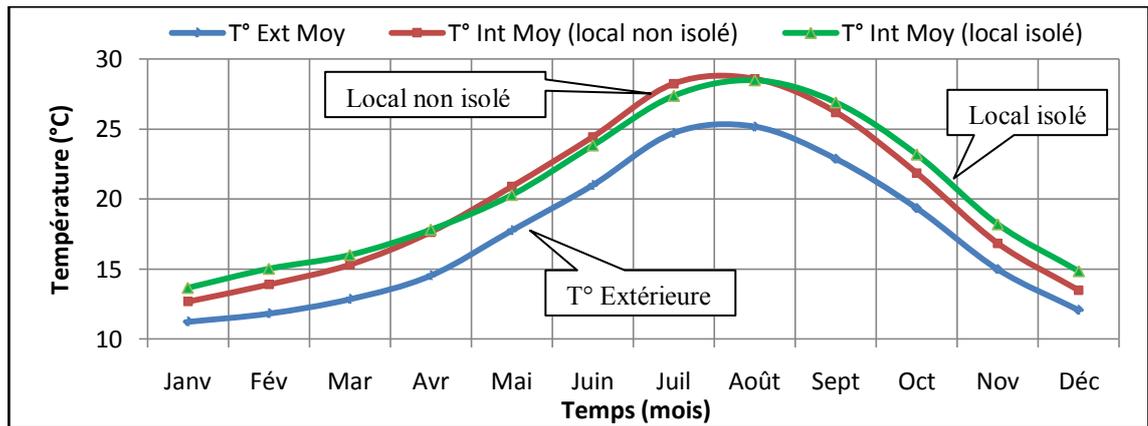


Figure V-34. Comparaison de l'évolution des températures moyennes mensuelles à Dar-El-Beida entre le local non isolé et le local isolé par rapport aux températures extérieures

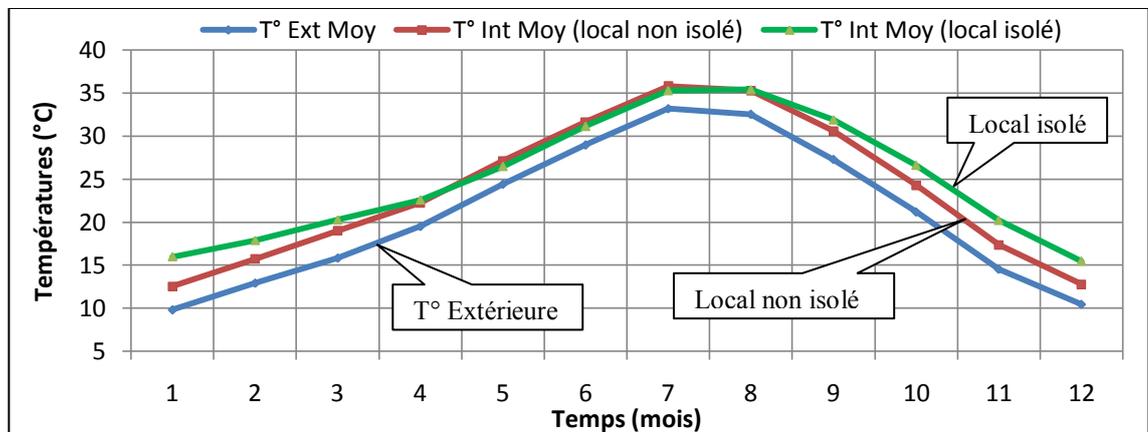


Figure V-35. Comparaison de l'évolution des températures moyennes mensuelles à Béchar entre le local non isolé et le local isolé par rapport aux températures extérieures

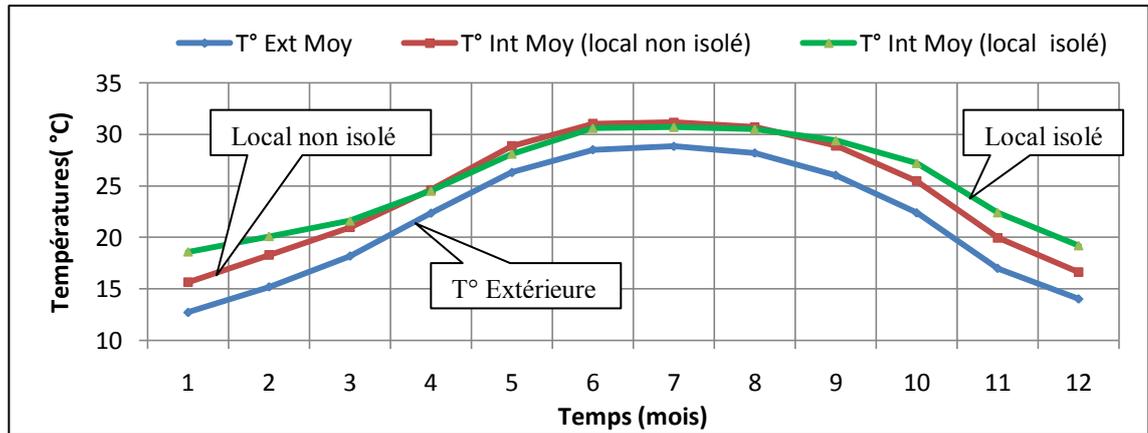


Figure V-36. Comparaison de l'évolution des températures moyennes mensuelles à Tamanrasset entre le local non isolé et le local isolé par rapport aux températures extérieures

Même si les températures moyennes à l'intérieur du local isolé restent plus élevées qu'à l'extérieur, mais on note tout de même que pendant la période de froid (de janvier à avril et de septembre à décembre) les températures du local isolé sont plus élevées que celle du local non isolé. Egalement pour la période de chaleur (avril à septembre), les températures du local isolé ont baissé par rapport au local non isolé. Une exception est faite pour la fin de période chaude, où la température du local isolé est légèrement supérieure à celle du local non isolé, ce qui se traduit par une accumulation de chaleur durant la période de chaleur avec un défaut d'évacuation thermique.

Nous allons maintenant voir de plus près l'effet de l'isolation thermique sur le comportement thermique du local, cela en période de froid et en période de chaleur séparément.

V- 5.2 Station météorologique de Dar-El-Beida

V- 5.2.1 Hiver (Résultats des simulations)

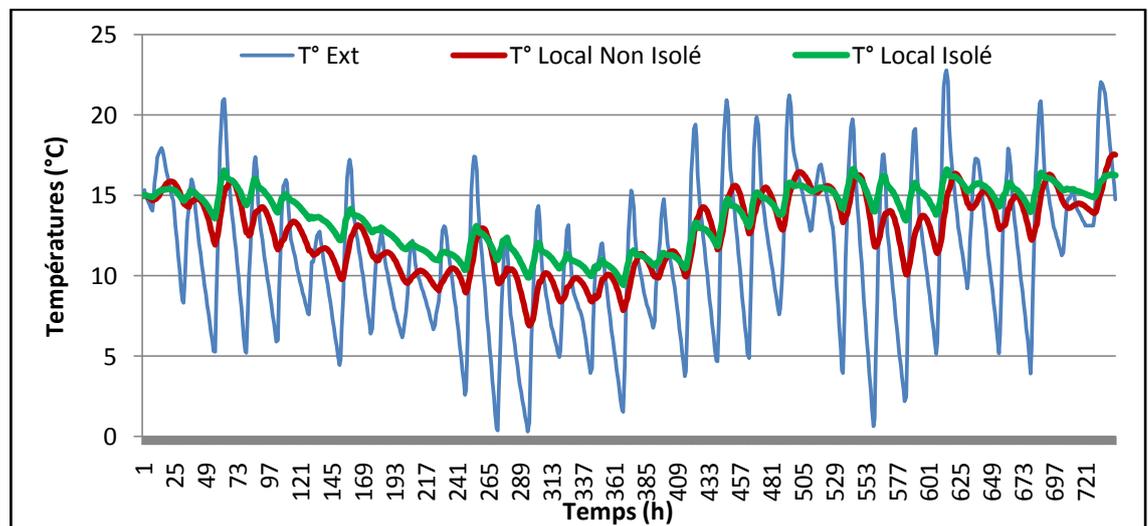


Figure V-37. Evolution quotidienne des températures (mois de janvier)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée & heure</i>	<i>T° int local isolé</i>	<i>T° int local N/isolé</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Amélioration isol – N/isol</i>
T° Ext Min	0,29	13 à 07h	9,89	7,10	/	2,79
T° Int Min	9,43	16 à 08h	/	7,86	1,52	1,57
Ecart Max 1 (Lcl-Isolé < Ext)	6,27	21 à 15h	16,28	14,06	22,56	2,23
Ecart Max 2 (Lcl-Isolé > Ext)	13,39	12 à 07h	14,02	12,16	0,63	1,86

Pour le mois de janvier (période de froid), la température extérieure minimale de **0°C** (journée du 13 à 07h), à l'intérieur du local isolé, la température est de **9,89°C** (**7,10°C** pour le local avant isolation), soit une différence d'environ **10°C** de plus qu'à l'extérieur et une amélioration de **3°C** par rapport à la situation précédente (local sans isolation). La température intérieure minimale est de **9,43°C** (**7,86°C** pour le local avant isolation) (journée du 15 à 07h), tandis qu'à l'extérieur la température est d'environ **1,5°C**, la différence enregistrée est d'environ **7,9°C**, soit une amélioration de **1,57°C**. Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre **6,27°C** (Extérieur plus chaud - journée du 26 à 14h) à **13,39°C** (intérieur plus chaud – journée du 24 à 07h).

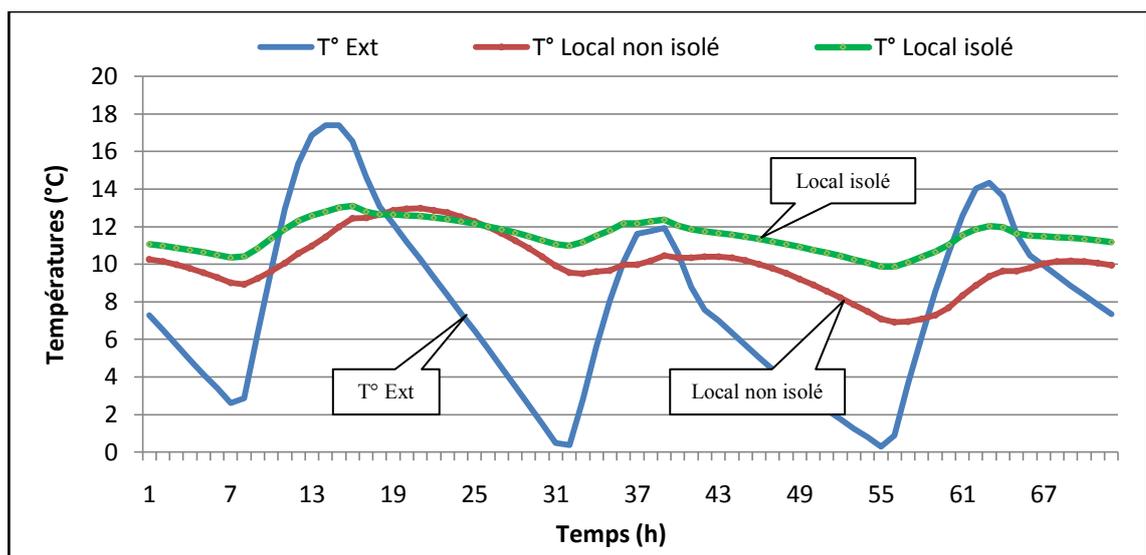


Figure V-38. Evolution horaires des températures (11, 12 & 13 janvier)
(Comparaison avant et après isolation)

▪ Analyse des résultats

En regardant bien la figure V-36 qui représente une comparaison de l'évolution des températures entre un local type contemporain et le même local avec isolation de l'enveloppe,

les journées du 11, 12 & 13 janvier, une remarque vient s'imposer : la courbe du local avec isolation a une allure beaucoup plus aplatie que celle du local sans isolation, ce qui signifie que la température à l'intérieur des bâtiments isolés varie très peu (amplitude légère) et donc est plus stable malgré les fluctuations enregistrées à l'extérieur. Aussi on notera que cette température est constamment plus élevée que la température extérieure (contrairement au local non isolé), ou apparaît l'efficacité de l'isolation thermique.

Même si les températures enregistrées dans le cas du local isolé sont toujours en deçà des températures de confort (19°C), mais l'intérêt c'est de noter l'amélioration par rapport au local non isolé (environ 02°C). Cette nette amélioration contribuera à baisser la facture énergétique liée au chauffage.

V- 5.2.2 Eté (Résultats des simulations)

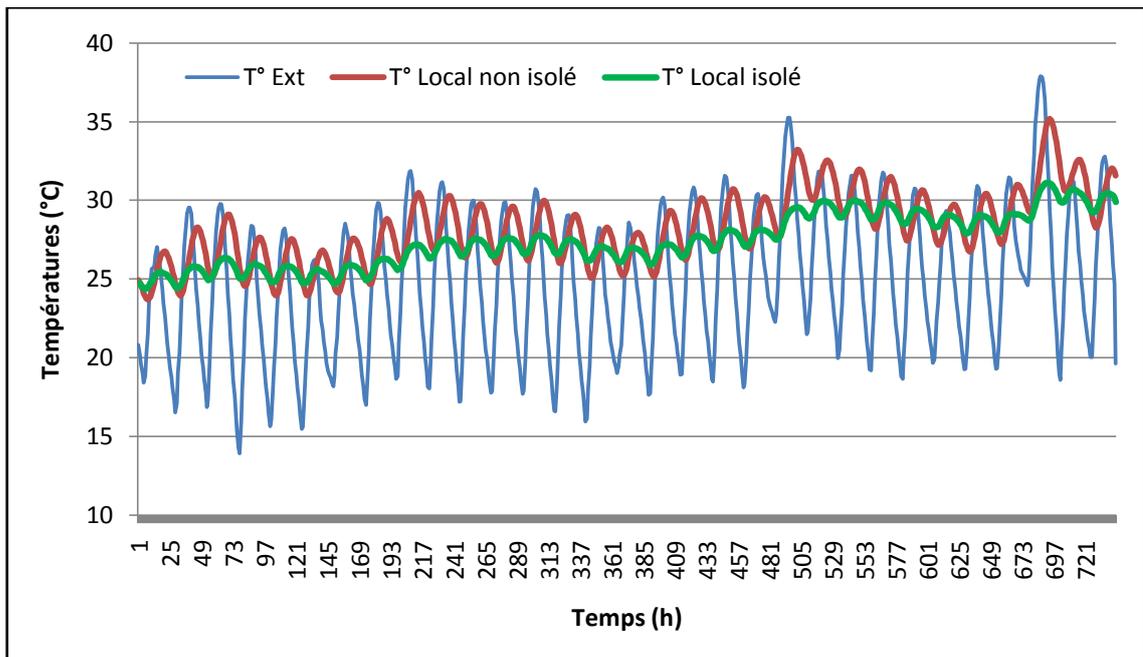


Figure V-39. Evolution quotidiennes des températures (mois de juillet)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée & heure</i>	<i>T° int local isolé</i>	<i>T° int local N/isolé</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Amélioration isol – N/ isol</i>
T° Ext Max	37,88	29 à 15h	30,69	36,61	/	1,92
T° Int Max	31,12	16 à 08h	/	35,26	31,35	4,15
Ecart Max 1 (Lcl-Isolé < Ext)	7,19	29 à 15h	30,69	36,61	37,88	1,92
Ecart Max 2 (Lcl-Isolé > Ext)	11,35	30 à 06h	29,92	32,07	18,56	2,15

Concernant le mois de juillet, On note une température extérieure maximale de **37,88°C** (journée du 29 à 15h), à l'intérieur du local isolé, la température est de **30,69°C** (**32,61°C** pour le local avant isolation), soit une différence d'environ **7°C** de moins qu'à l'extérieur et une amélioration d'environ **2°C** par rapport à la situation précédente (local sans isolation). La température intérieure maximale est de **31,12°C** (**35,26°C** pour le local sans isolation) (journée du 31 à 19h), tandis qu'à l'extérieur la température est d'environ **31,35°C**, la différence enregistrée est de **0,23°C**, soit une amélioration de plus de **4°C**. Les écarts maximums entre les deux ambiances (Ext & Int) varie entre **7°C** (Extérieur plus chaud - journée du 29 à 15h) à **11,35°C** (intérieur plus chaud – journée du 30 à 06h).

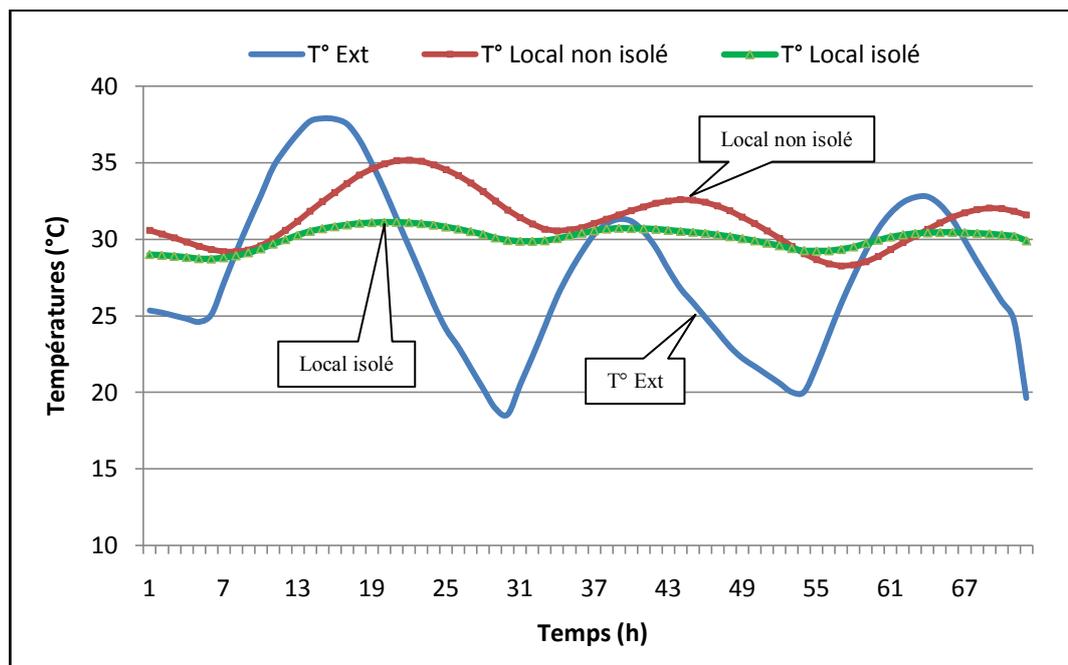


Figure V-40. Evolution horaire des températures (29, 30 & 31 juillet)
(Comparaison avant et après isolation)

▪ Analyse des résultats

En regardant bien la figure V-38, qui représente une comparaison de l'évolution des températures entre un local type contemporain et le même local avec isolation de l'enveloppe, les journées du 29, 30 & 31 juillet, les courbes nous révèlent que : la variations de températures du local avec isolation est très légère (max = 01,46°C), sa courbe a une allure beaucoup plus aplatie que celle du local sans isolation, ce qui signifie que la température à l'intérieur des bâtiments isolés varie très peu et donc est plus stable malgré les fluctuations enregistrées à l'extérieur. Aussi on peut noter que cette température, dans les moments les plus chauds de la journée, est constamment moins élevée que la température extérieure (ce qui n'est pas le cas du local non isolé), d'où l'importance de l'isolation thermique.

La même observation que pour la période hivernale revient : les températures enregistrées dans le cas du local isolé sont toujours supérieures aux températures de confort (25°C), mais l'intérêt c'est de noter l'amélioration par rapport au local non isolé (plus de 02°C). Cette nette amélioration contribuera fortement à baisser la facture énergétique liée à la climatisation.

V- 5.3 Station météorologique de Béchar

V- 5.3.1 Hiver (Résultats des simulations)

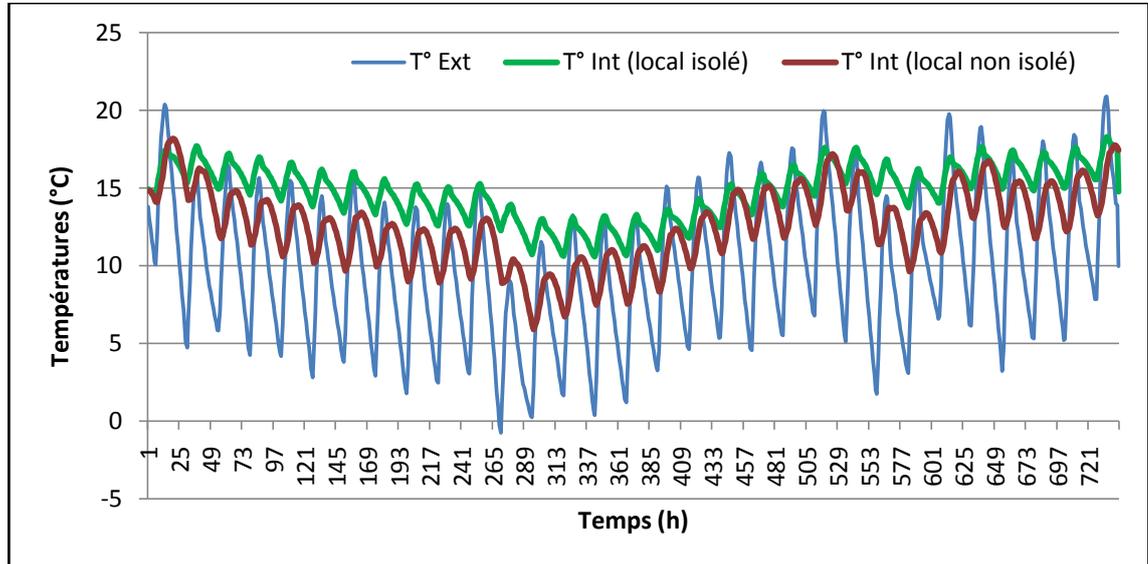


Figure V-41. Evolution quotidiennes des températures (mois de janvier)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée & heure</i>	<i>T° int local isolé</i>	<i>T° int local N/isolé</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Amélioration isol – N/ isol</i>
T° Ext Min	-0,73	12 à 07h	12,27	9,39	/	2,88
T° Int Min	10,60	17 à 07h	/	7,75	0,39	2,85
Ecart Max 1 (Lcl-Isolé > Ext)	12,99	12 à 7h	12,27	9,39	-0,73	2,88
Ecart Max 2 (Lcl-Isolé < Ext)	2,95	26 à 14h	16,82	13,90	19,77	2,92

Pour le mois de janvier représentant la période de froid, On note une température extérieure minimale de $-0,73^{\circ}\text{C}$ (journée du 12 à 07h), à l'intérieur du local isolé, la température est de $12,27^{\circ}\text{C}$ ($9,39^{\circ}\text{C}$ pour le local avant isolation), soit une différence de plus de 13°C de plus qu'à l'extérieur et une amélioration d'environ 3°C par rapport à la situation précédente (local sans isolation). La température intérieure minimale est de $10,60^{\circ}\text{C}$ ($7,75^{\circ}\text{C}$ pour le local avant isolation) (journée du 17 à 07h), tandis qu'à l'extérieur la température est d'environ 0°C , la

différence enregistrée est d'environ 10°C , soit une amélioration de $2,85^{\circ}\text{C}$. Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre 03°C (Extérieur plus chaud - journée du 26 à 14h) à 13°C (intérieur plus chaud – journée du 12 à 07h).

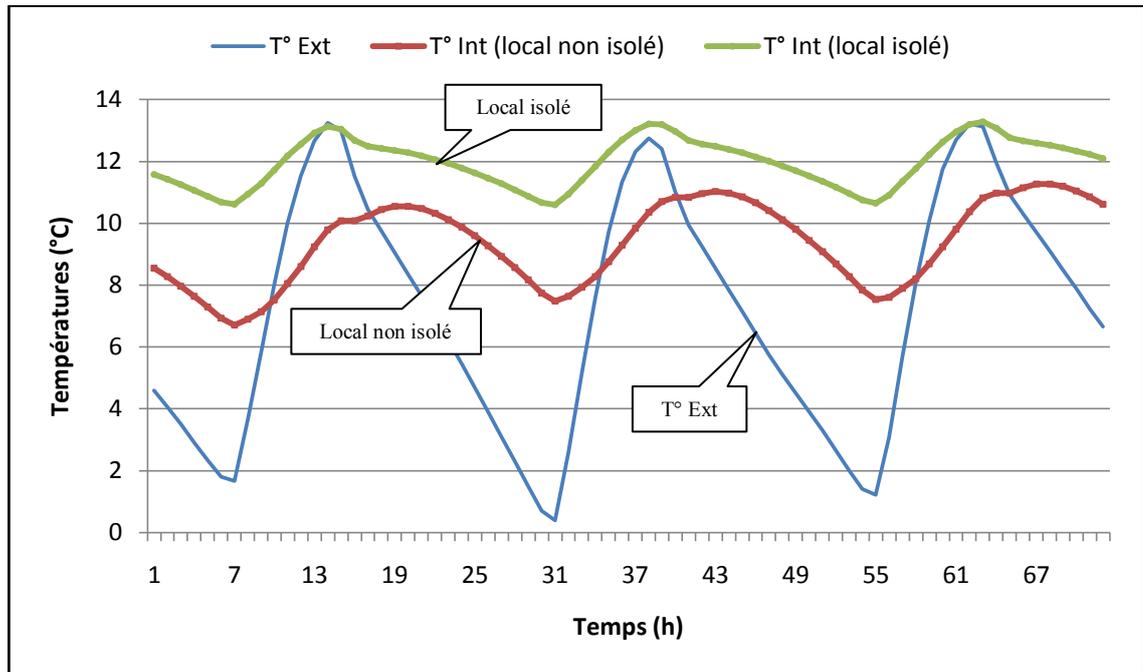


Figure V-42. Evolution horaires des températures (14, 15 & 16 janvier)
(Comparaison entre le local avant et après isolation)

▪ Analyse des résultats

En regardant bien la figure V-40 qui représente une comparaison de l'évolution des températures entre un local type contemporain et le même local avec isolation de l'enveloppe, les journées du 14, 15 & 16 janvier, on remarque que la courbe du local avec isolation a une allure beaucoup plus aplatie que celle du local sans isolation, ce qui signifie que la température à l'intérieur des bâtiments isolés varie peu et donc est plus stable malgré les fluctuations enregistrées à l'extérieur. Aussi on notera que cette température est constamment plus élevée que la température extérieure (contrairement au local non isolé), ou apparait l'efficacité de l'isolation thermique.

Même si les températures enregistrées dans le cas du local isolé sont toujours en deçà des températures de confort (19°C), mais l'intérêt c'est de noter l'amélioration par rapport au local non isolé (environ 04°C). Cette nette amélioration contribuera fortement à baisser la facture énergétique liée au chauffage.

V- 5.3.2 Eté (Résultats des simulations)

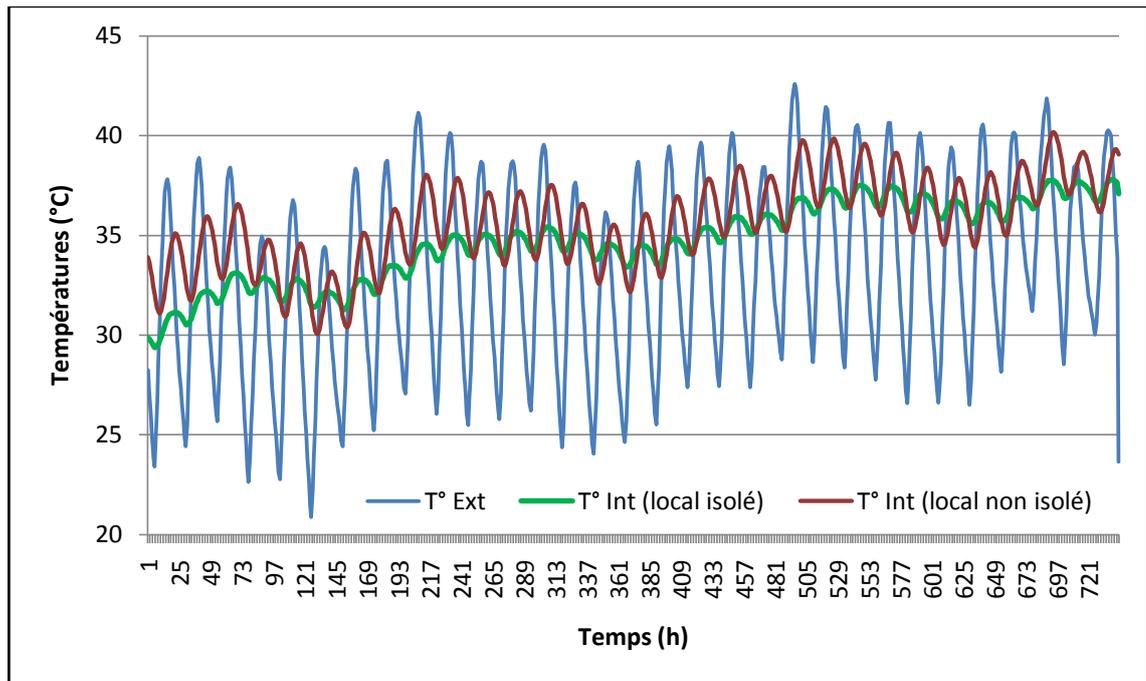


Figure V-43. Evolution quotidiennes des températures (mois de juillet)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée & heure</i>	<i>T° int local isolé</i>	<i>T° int local N/isolé</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Amélioration isol – N/ isol</i>
T° Ext Max	42,60	21 à 16h	36,62	37,69	/	1,07
T° Int Max	37,80	31 à 19h	/	38,96	39,09	1,16
Ecart Max 1 (Lcl-Isolé > Ext)	10,60	6 à 6h	37,09	39,07	23,65	1,98
Ecart Max 2 (Lcl-Isolé < Ext)	5,98	21 à 16h	36,62	37,69	42,60	1,07

Concernant le mois le plus chaud (mois de juillet), On note une température extérieure maximale de **42,6°C** (journée du 21 à 16h), à l'intérieur du local isolé, la température est de **36,62°C** (**37,69°C** pour le local avant isolation), soit une différence d'environ **6°C** de moins qu'à l'extérieur et une amélioration de plus de **1°C** par rapport à la situation précédente (local sans isolation). La température intérieure maximale est de **37,80°C** (**38,96°C** pour le local sans isolation) (journée du 31 à 19h), tandis qu'à l'extérieur la température est d'environ **39,09°C**, la différence enregistrée est de **1,3°C**, soit une amélioration de **1,16°C**. Les écarts maximums entre les deux ambiances (Ext & Int) varie entre **06°C** (Extérieur plus chaud - journée du 21 à 16h) à **10,6°C** (intérieur plus chaud – journée du 06 à 06h).

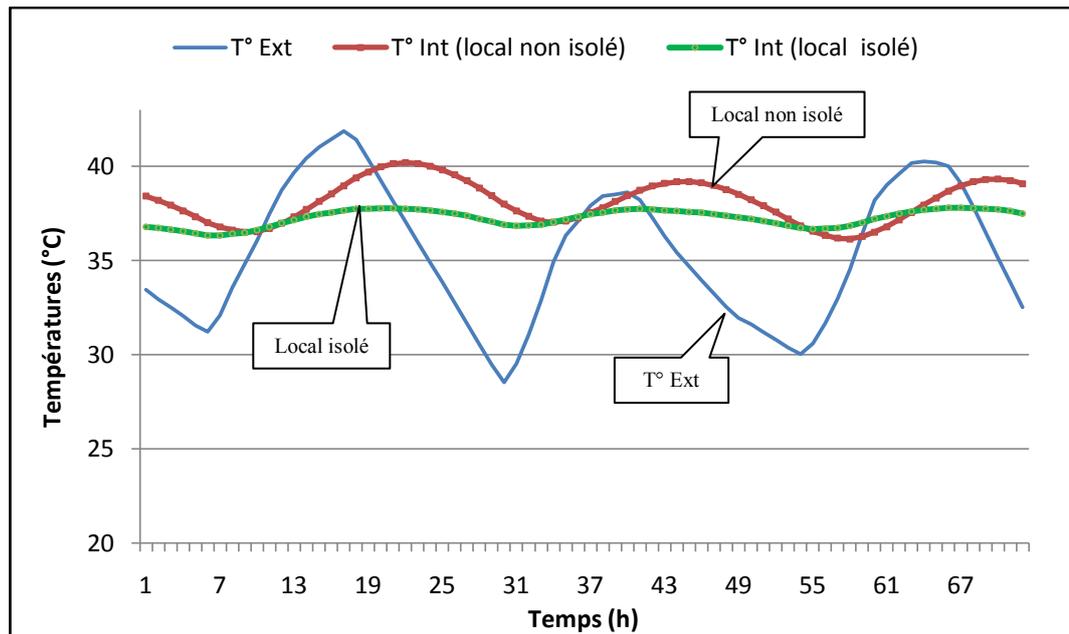


Figure V-44. Evolution horaire des températures (29, 30 & 31 juillet)
(Comparaison entre le local avant et après isolation)

▪ Analyse des résultats

En regardant bien la figure V-42, qui représente une comparaison de l'évolution des températures entre un local type contemporain et le même local avec isolation de l'enveloppe, les journées du 29, 30 & 31 juillet, les courbes nous révèlent que : la variations de températures du local avec isolation est très légère (max = 01,46°C), sa courbe a une allure plus aplatie que celle du local sans isolation, ce qui signifie que la température à l'intérieur des bâtiments isolés varie peu et donc est plus stable malgré les fluctuations enregistrées à l'extérieur. Aussi on peut noter que cette température, dans les moments les plus chauds de la journée, est constamment moins élevée que la température extérieure, avec une différence qui arrive à 04,22°C (ce qui n'est pas le cas du local non isolé), d'ou l'importance de l'isolation thermique.

La même observation que pour la période hivernale revient : les températures enregistrées dans le cas du local isolé sont toujours en supérieures aux températures de confort (25°C), mais l'intérêt c'est de noter l'amélioration par rapport au local non isolé qui arrive à 3°C. Cette nette amélioration contribuera fortement à baisser la facture énergétique liée à la climatisation.

V- 5.4 Station météorologique de Tamanrasset

V- 5.4.1 Hiver (Résultats des simulations)

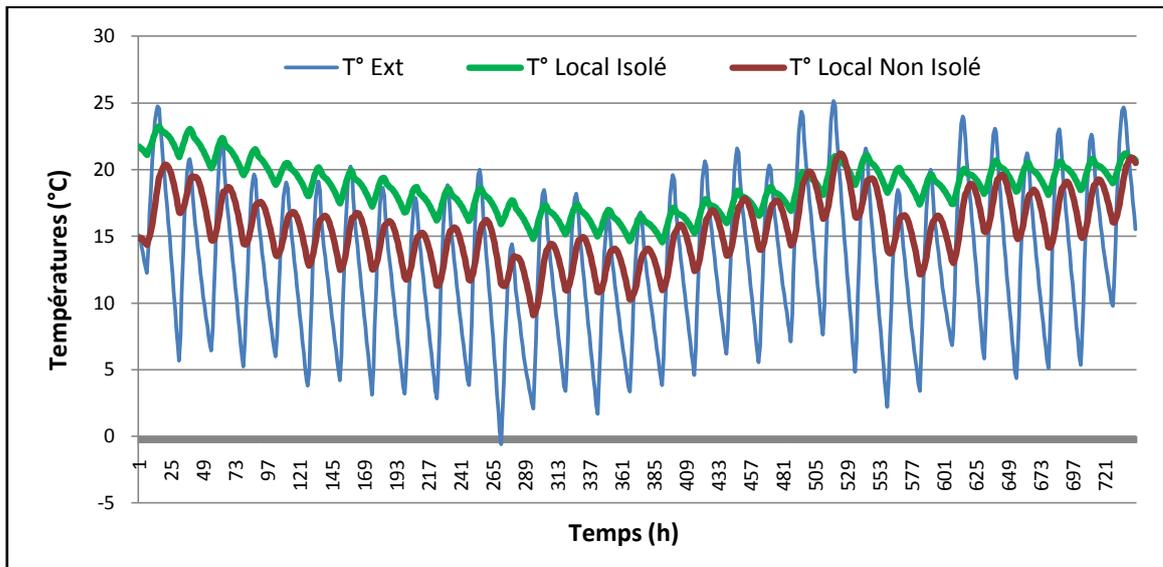


Figure V-45. Evolution quotidiennes des températures (mois de janvier)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée & heure</i>	<i>T° int local isolé</i>	<i>T° int local N/isolé</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Amélioration isol – N/isol</i>
T° Ext Min	- 0,60	12 à 07h	15,94	11,43	/	4,51
T° Int Min	14,56	17 à 07h	/	10,94	3,84	3,62
Ecart Max 1 (Lcl-Isolé < Ext)	4,59	21 à 15h	19,76	18,30	24,35	1,46
Ecart Max 2 (Lcl-Isolé > Ext)	16,51	12 à 07h	15,92	11,43	-0,60	4,49

Pour le mois de janvier (période de froid), On note une température extérieure minimale de **-0,6°C** (journée du 12 à 07h), à l'intérieur du local isolé, la température est de **15,94°C** (**11,43°C** pour le local avant isolation), soit une différence de plus de **16°C** de plus qu'à l'extérieur et une amélioration de plus de **4,51°C** par rapport à la situation précédente (local sans isolation). La température intérieure minimale est de **14,56°C** (**10,94°C** pour le local avant isolation) (journée du 17 à 07h), tandis qu'à l'extérieur la température est de **3,84°C**, la différence enregistrée est d'environ **10,5°C**, soit une amélioration de **3,62°C**. Les écarts maximums entre les deux ambiances varie entre **4,59°C** (Extérieur plus chaud - journée du 21 à 15h) à **16,51°C** (intérieur plus chaud – journée du 12 à 07h).

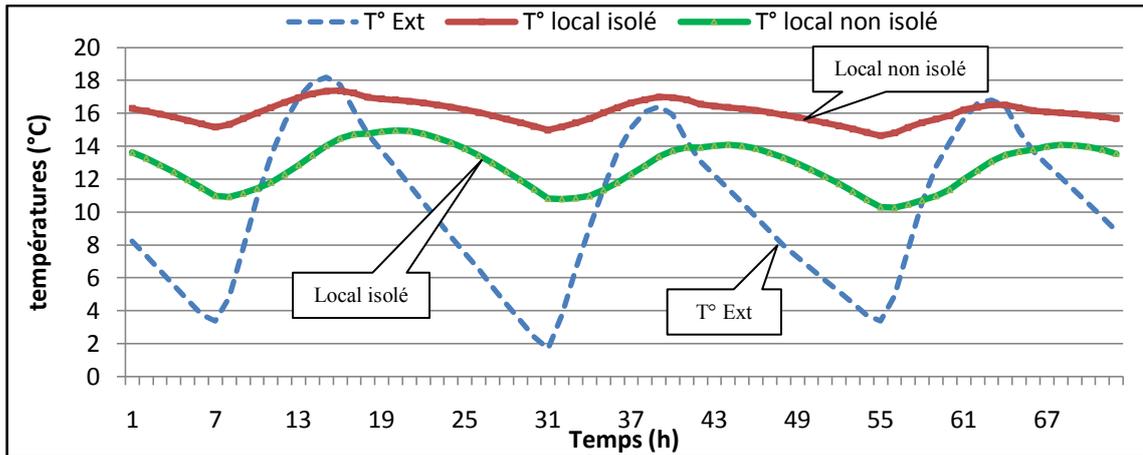


Figure V-46. Evolution horaires des températures (14, 15 & 16 janvier)
(Comparaison entre le local avant et après isolation)

▪ Analyse des résultats

En regardant bien la figure V-44 qui représente une comparaison de l'évolution des températures entre un local type contemporain et le même local avec isolation de l'enveloppe, les journées du 14, 15 & 16 janvier, nous remarquons que la courbe du local avec isolation a une allure beaucoup plus aplatie que celle du local sans isolation, ce qui signifie que la température à l'intérieur des bâtiments isolés varie très peu (amplitude légère) et donc est plus stable malgré les fluctuations enregistrées à l'extérieur. Aussi on notera que cette température est constamment plus élevée ou égale à la température extérieure max (contrairement au local non isolé), d'où apparaît l'efficacité de l'isolation thermique.

Même si les températures enregistrées dans le cas du local isolé sont toujours en deçà des températures de confort (19°C), mais l'intérêt c'est de noter l'amélioration par rapport au local non isolé (environ 04°C). Cette nette amélioration contribuera fortement à baisser la facture énergétique liée au chauffage.

V- 5.4.2 Eté (Résultats des simulations)

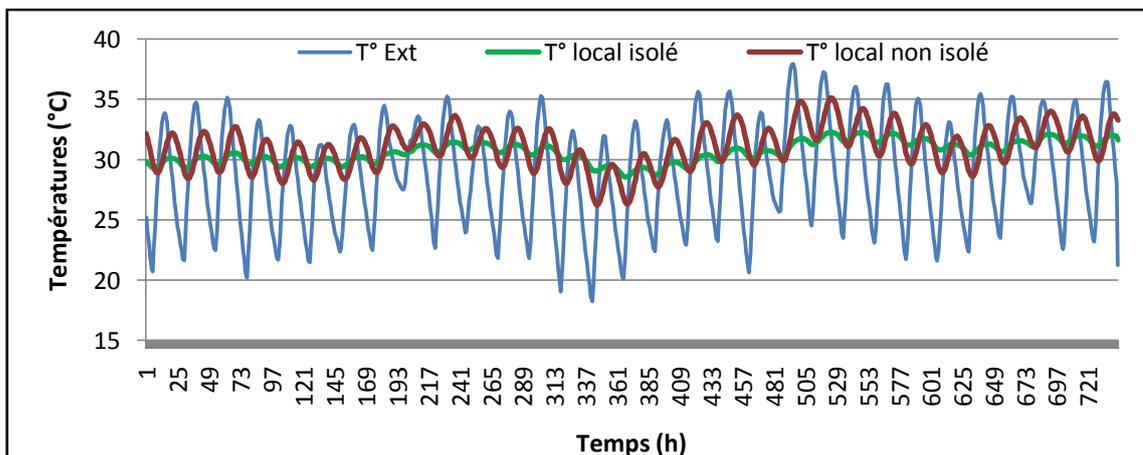


Figure V-47. Evolution quotidiennes des températures (mois de juillet)

▪ Lecture des résultats

		<i>Journée & heure</i>	<i>T° int local isolé</i>	<i>T° int local N/isolé</i>	<i>T° ext corresp</i>	<i>Amélioration isol – N/isol</i>
T° Ext Max	37,94	21 à 15h	31,28	32,48	/	1,20
T° Int Max	32,26	22 à 21h	/	35,13	31,85	2,87
Ecart Max 1 (Lcl-Isolé < Ext)	6,66	21 à 15h	31,28	32,48	37,94	1,20
Ecart Max 2 (Lcl-Isolé > Ext)	11,03	14 à 06h	30,06	29,11	19,03	-0,95

Concernant le mois de juillet, On note une température extérieure maximale de **37,94°C** (journée du 21 à 15h), à l'intérieur du local isolé, la température est de **31,28°C** (**32,48°C** pour le local avant isolation), soit une différence d'environ **6°C** de moins qu'à l'extérieur et une amélioration de plus de **1°C** par rapport à la situation précédente (local sans isolation). La température intérieure maximale est de **32,26°C** (**35,13°C** pour le local sans isolation) (journée du 22 à 21h), tandis qu'à l'extérieur la température est d'environ 31,85°C, la différence enregistrée est de **1,6°C**, soit une amélioration d'environ **3°C**. Les écarts maximums entre les deux ambiances (Ext & Int) varie entre **07°C** (Extérieur plus chaud - journée du 21 à 15h) à **11°C** (intérieur plus chaud – journée du 14 à 06h).

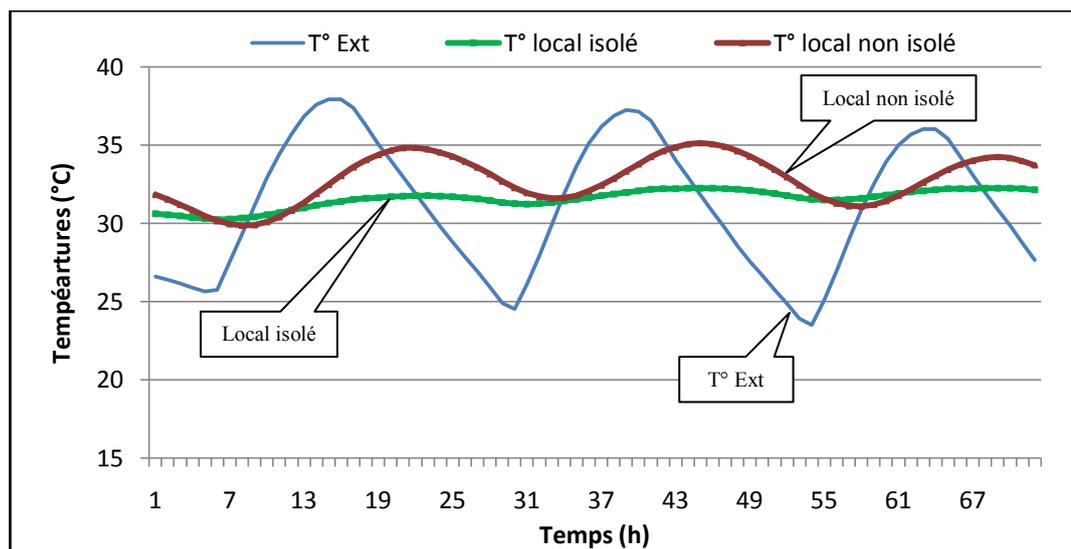


Figure V-48. Evolution horaire des températures (21, 22 & 23 juillet)
(Comparaison entre le local avant et après isolation)

▪ Analyse des résultats

En regardant bien la figure V-46, qui représente une comparaison de l'évolution des températures entre un local type contemporain et le même local avec isolation de l'enveloppe, les journées du 21, 22 & 23 juillet, les courbes nous révèlent que : la variations de

températures du local avec isolation est très légère (max = 01,5°C), sa courbe a une allure beaucoup plus aplatie que celle du local sans isolation, ce qui signifie que la température à l'intérieur des bâtiments isolés varie très peu (amplitude légère) et donc est plus stable malgré les fluctuations enregistrées à l'extérieur. Aussi on peut noter que cette température, dans les moments les plus chauds de la journée, est constamment moins élevée que la température extérieure, avec une différence qui arrive à 06°C (ce qui n'est pas le cas du local non isolé), d'où l'importance de l'isolation thermique.

La même observation que pour la période hivernale revient : les températures enregistrées dans le cas du local isolé sont toujours supérieures aux températures de confort (25°C), mais l'intérêt c'est de noter l'amélioration par rapport au local non isolé (environ 3°C). Cette nette amélioration contribuera fortement à baisser la facture énergétique liée à la climatisation.

V- 5.5 Influence de l'isolation thermique élément par éléments

L'isolation de l'enveloppe extérieure a permis, tel qu'on l'a vu, d'améliorer thermiquement les performances du local étudié, mais la question qui se pose est : quelle part a chacun des éléments qui composent l'enveloppe pris à part (toit, murs, fenêtre) dans cette amélioration.

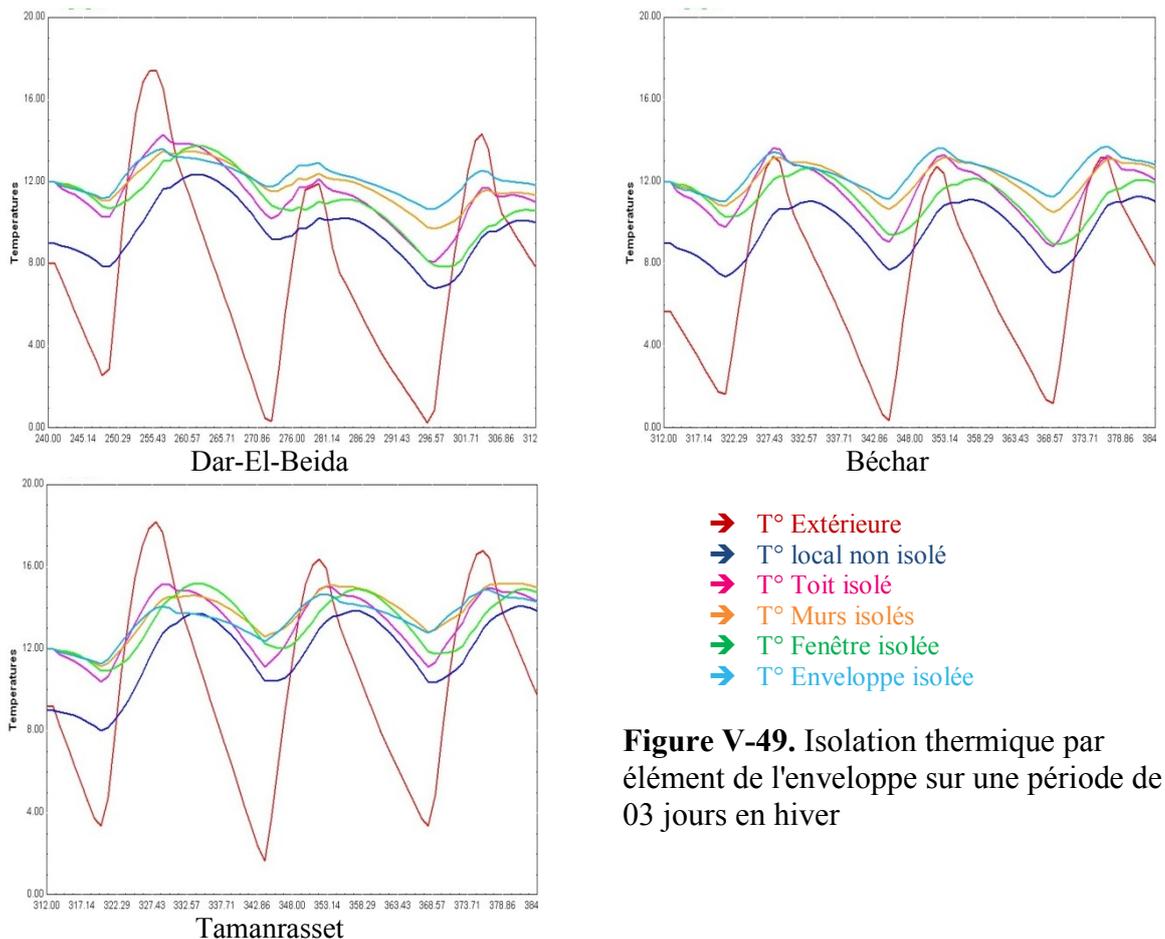


Figure V-49. Isolation thermique par élément de l'enveloppe sur une période de 03 jours en hiver

En hiver, le rayonnement solaire est à sa plus basse inclinaison, de ce fait, les murs sont les parties de l'enveloppe les plus exposées. Associées à une isolation thermique, les murs

acquiert davantage d'inertie et profite au mieux des rayonnements et de la chaleur du jour pour la restituer des heures plus tard. Cette logique est traduite dans les graphes précédents où on note que l'isolation des murs est la mesure la plus efficace en période de froid suivie par l'isolation du toit (mesure qui empêche la chaleur intérieure du local de s'échapper).

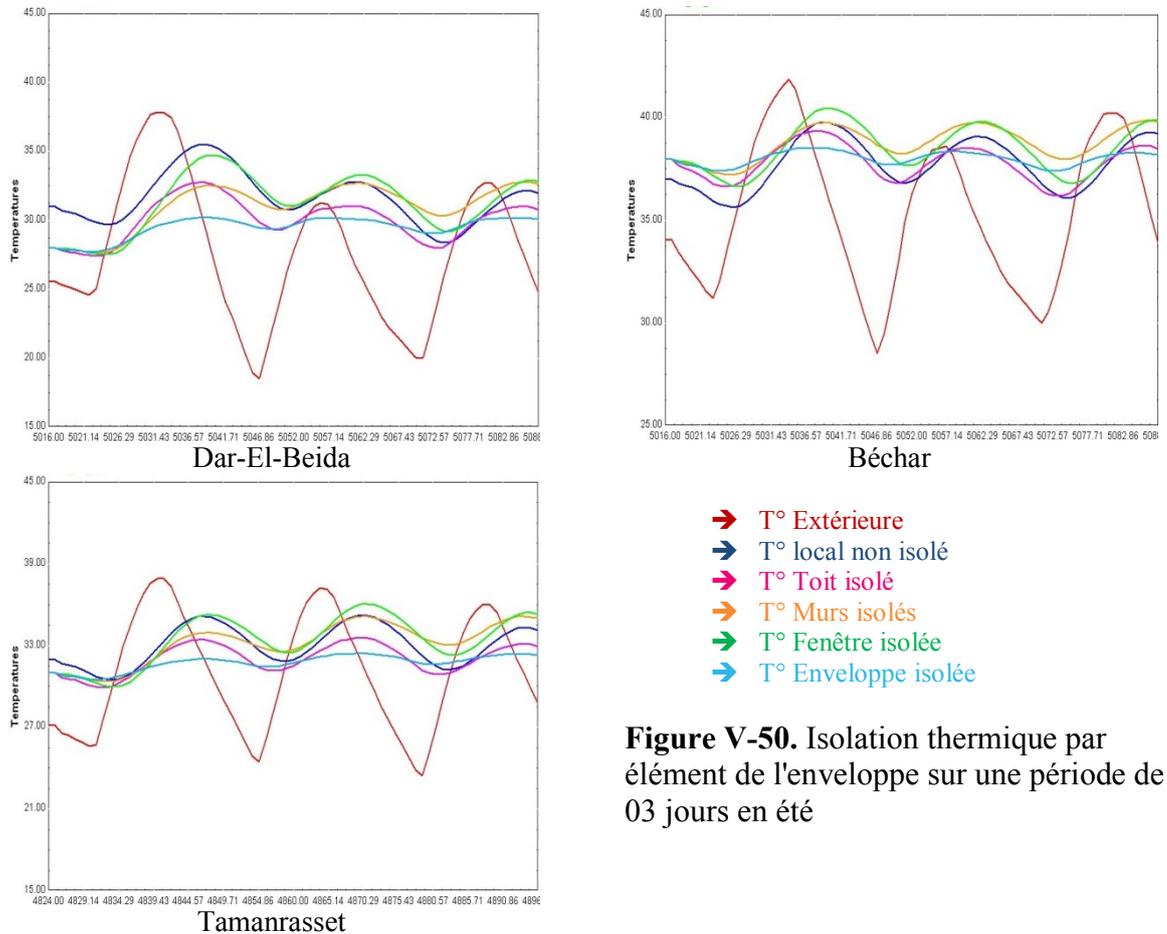


Figure V-50. Isolation thermique par élément de l'enveloppe sur une période de 03 jours en été

En période de chaleur, nous constatons que la mesure d'isolation la plus efficace serait l'isolation du toit. Quoi de plus normale, puisqu'en cette période le toit est la partie qui reçoit le plus de rayonnements solaires. L'isolation des autres parties (prises chacune à part) n'influence que peu les températures intérieures du local.

Conclusion

Le but d'une réhabilitation thermique est de permettre, en même temps, d'accroître le confort thermique des occupants et de réduire les consommations d'énergie liées au chauffage et à la climatisation des habitations. Dans ce chapitre on a essayé de vérifier cette hypothèse par simulation thermique d'un local type représentant l'habitat contemporain en Algérie, sur trois zones climatiques différentes, à l'aide du logiciel TRNSYS.

Nous avons remarqué, à partir des résultats de la simulation sur le local de base (état initial sans amélioration), que dans les trois villes (Dar-El-Beida, Béchar et Tamanrasset) on note

l'absence de confort thermique dans ce genre de constructions, cela a été révélé par les courbes de températures intérieures et extérieures qui indiquent qu'en hiver comme en été, la variation des températures intérieures suit celle de l'extérieur avec une amplitude élevée. Cette situation est due à l'absence d'une barrière thermique efficace (isolant thermique) qui puisse réguler et équilibrer les déperditions et apports thermiques en hiver et en été.

Afin de corriger cette situation, la réhabilitation thermique du local par l'amélioration de l'isolation thermique de son enveloppe (parties opaques et transparentes) a été proposée. Après simulation du local type avec cette nouvelle configuration, on a noté une nette amélioration des performances thermiques du local dans les trois zones climatiques. Amélioration révélée par le lissage des courbes de températures (amplitude des variations de températures diminuée) et le décalage de celles-ci (dans le bon sens) par rapport aux températures extérieures (plus fraîche en été et plus chaude en hiver).

Cette amélioration de l'ambiance intérieure est due à l'isolation thermique et grâce aussi à l'inertie thermique qui a un rôle très important, elle assure l'équilibre hygrométrique durant la période estivale, elle permet de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes, et durant la période d'hiver, elle évite les chutes trop brutales de la température et met bien en évidence la gestion optimale des apports de chaleur.

Cependant, cette amélioration n'a pas suffi pour arriver aux températures de confort (en été comme en hiver). Un net progrès a été ressenti, qui jouera beaucoup dans la réduction de la facture énergétique de l'habitat.

Toutefois, d'autres mesures d'intervention reste à expérimenter, telles que la protection solaire, l'amélioration du système et de la stratégie de ventilation...etc. des mesures qui pourront perfectionner la réhabilitation pour arriver à un confort thermique acceptable avec un minimum de dépenses énergétiques.

Enfin, et afin d'affiner notre étude, nous avons analysé la part de chaque élément de l'enveloppe isolée dans l'amélioration du comportement thermique du local. Là, nous avons constaté qu'en hiver, l'isolation des murs étaient la mesure la plus efficace, suivie de l'isolation du toit ; tandis qu'en été, l'isolation du toit était la mesure la plus appropriée.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans la thématique de l'adaptation de l'habitat contemporain en Algérie aux principes d'une l'architecture durable ; architecture qui répond au mieux à des besoins bien identifiés de ses utilisateurs, qui s'avère économique pour sa construction et son exploitation, enfin qui conduit au plus faible impact environnemental possible. En effet, au moment où le concept de développement durable prend une dimension universelle, le secteur du bâtiment et l'habitat en particulier se trouve être au centre d'enjeux majeurs où il doit concilier trois mondes différents : celui de l'économie, celui de l'écologie et celui du social.

Le rôle de l'habitat est de produire un espace bâti adapté à son usage et en alliance avec son environnement et ses spécificités socio-économiques, cependant, la réalité est tout autre aujourd'hui en Algérie ; les constructions existantes ne répondent ni aux critères de confort thermique ni aux exigences d'économie d'énergie, source de pollution et de réchauffement climatique. Cette situation, comme on l'a expliqué dans le chapitre consacré à l'habitat en Algérie, est issue de la crise du logement et de la « fièvre » de construction qui s'en est suivie, où une forte demande en logements a fait que la quantité prenne le dessus sur la qualité. Aussi, l'importation et la standardisation de modèles d'habitat et de modes de construction étrangers a fait que l'architecture s'éloigne et se détache de son milieu (chapitre I).

Devant ce fait établi, la réponse à cette problématique, hypothèse qu'on a soulevée, peut se concrétiser par la prise en charge du parc habitat contemporain par le biais d'une réhabilitation thermique, qui serait l'option la plus pertinente pour améliorer les conditions de confort et un choix idéal dans la course à l'économie d'énergie et la réduction des GES.

Aussi, la réhabilitation des logements existants constitue un enjeu majeur, dans la mesure où les logements neufs, même s'ils sont produits dans les normes d'efficacité thermique, ne représentent quantitativement qu'une partie négligeable en rapport au parc existant.

La réhabilitation thermique passe essentiellement par une parfaite connaissance de son environnement et des caractéristiques thermo-physiques du bâti (chapitre II) ; pour atteindre un confort thermique, en jouant sur des paramètres essentiels comme la température, l'humidité, les mouvements de l'air.

L'intérêt grandissant des nations développées pour la réhabilitation thermique est un indice d'efficacité et d'importance de ce type de démarche. La mise en revue du bilan des connaissances dans ce domaine (chapitre III) nous a éclairé sur les différentes approches de réhabilitation et les solutions et techniques adoptées, qui dans la majorité des cas, jouent sur l'ajustement des paramètres de confort par l'isolation de l'enveloppe, la réduction des ponts

thermiques, la maîtrise de l'étanchéité, le perfectionnement de la ventilation, la protection solaire ainsi que d'autres solutions issues de stratégies de l'architecture bioclimatique.

Dans cette recherche, et après avoir mis en évidence les aspects qui ont un impact négatif sur l'adaptation climatique de l'habitat contemporain, nous avons exploité les données de synthèse de l'expérience dans le domaine de réhabilitation thermique pour ressortir les mesures pouvant être envisagées afin d'optimiser les performances thermiques de l'habitat contemporain en Algérie (chapitre IV). Nous avons aussi évalué et fixé les techniques de réhabilitation adaptées à la construction contemporaine en Algérie. Ainsi, à la problématique « Est-il possible d'améliorer les qualités thermiques de l'habitat contemporain existant afin qu'il soit confortable thermiquement, efficace énergétiquement et qu'il ait le minimum d'impact sur l'environnement ? » nous pouvant répondre à travers cette recherche qu'il est tout à fait possible de prendre en charge ce type d'habitat afin de rehausser ses qualités thermiques.

L'analyse des résultats de simulation thermique sur une construction type de l'habitat contemporain en Algérie a démontré l'inefficacité de ce modèle de construction à protéger ses occupants des variations climatiques de l'ambiance extérieure, ceci dans différentes zones climatiques (Dar-El-Beida, Béchar et Tamanrasset). Cette défaillance est due essentiellement à la négligence des spécificités climatiques des régions d'implantations dans la conception de ces constructions. Par la suite nous avons démontré que par une simple et seule mesure de réhabilitation (isolation thermique), une amélioration du comportement thermique des constructions a été ressenti, et même si cette amélioration n'a pas suffi à hausser le niveau de confort aux limites du confortable, mais chose est sûre, la facture énergétique connaîtra une baisse sensible.

Toutefois, d'autres mesures de réhabilitation thermique reste à tester, telles que la protection solaire, l'amélioration du système et de la stratégie de ventilation...etc. des mesures qui pourront perfectionner la réhabilitation pour arriver à un confort thermique acceptable avec un minimum de dépenses énergétiques. Ces expérimentations pourront faire l'objet de recherches futures, le champ d'investigation étant très vaste et encore vierge. Les résultats présentés dans ce travail démontrent que l'utilisation des moyens scientifiques et technologiques comme la simulation numérique thermique sont adaptés à l'établissement d'outils d'aide à la conception architecturale et constructive. Ils permettent également de tester de nouvelles propositions d'éléments constructifs (nouveaux matériaux, tester l'isolation, favoriser l'inertie...etc.).

Nous avons soulevé lors de cette recherche l'absence d'environnement normatif pour la détermination des performances thermiques de l'habitat existant, contrairement à la nouvelle construction, situation qui peut à long terme constituer un lourd fardeau pour la facture énergétique des ménages et les ressources en énergie du pays. Une réglementation thermique

pour l'habitat existant associée à des mesures incitatives aura sûrement des effets à moyen et long terme qui feront valoir les arguments suivants :

- amélioration du confort des utilisateurs ;
- préservation des ressources énergétiques conventionnelles ;
- réduction des coûts des investissements énergétiques, notamment en matière de chauffage et de climatisation ;
- réduction de l'impact des énergies fossiles sur l'environnement.

Enfin, aucun pays conscient de son avenir et de son développement ne peut se permettre des négligences dans ce domaine qu'est la réhabilitation thermique de l'habitat existant. Il faut dès à présent mettre en place une stratégie permettant d'initier des programmes, des actions dans les domaines de la thermique du bâtiment et la maîtrise de l'énergie, orientés vers tous les utilisateurs. La sensibilisation, l'information, la mise en place d'une réglementation efficace et incitative doivent être les outils pour assurer un développement durable en harmonie avec l'environnement.

Listes des figures et tableaux

Liste des figures

Chapitre Introductif

Figure 1. Structure du mémoire.	7
--------------------------------------	---

Chapitre I

Figure I-1. Ksar des Aurès.	12
Figure I-2. El Atteuf, vallée du Mزاب.	13
Figure I-3. L'aménagement du front de mer d'Alger.	14
Figure I-4. Ensemble urbain à Sétif.	15
Figure I-5. Maison individuelle à Ouargla.	20
Figure I-6. Immeubles collectifs.	20
Figure I-7. Lotissement à Bejaïa.	23
Figure I-8. Habitat collectif promotionnel à Béjaia.	23
Figure I-9. Type de conception d'habitation individuelle.	24
Figure I-10. Projets de logements sociaux dans la région de Tamanrasset.	25
Figure I-11. Structure type poteaux poutres voiles en béton armé.	26
Figure I-12. Habitations collective & individuelle en Structure poteaux-poutres-voiles 26	26
Figure I-13. Projet de logements à Tamanrasset.	27
Figure I-14. Composition des murs extérieurs.	27
Figure I-15. Photo du site Mekadem-Aek à HassiMessaoud.	28
Figure I-16. Eléments constitutifs d'une fenêtre.	29
Figure I-17. Coupe sur un plancher terrasse.	29
Figure I-18. Habitat à toiture en pente à Alger.	30
Figure I-19. Plancher en béton armé avec poutrelles et hourdis (plancher à corps creux) 31	31
Figure I-20. Plancher en béton armé, dit « à dalle pleine ».	31
Figure I-21. Trois configurations des planchers bas.	32
Figure I-22. Positions des principaux ponts thermiques.	33

Chapitre II

Figure II-1. Les trois piliers du développement durable et leurs interactions.	39
Figure II-2. Paramètres liés au confort thermique.	43
Figure II-3. Modes d'échanges thermiques.	44
Figure II-4. Répartition modale des échanges de chaleur.	45
Figure II-5. Température de confort.	47
Figure II-6. La température de confort dépend de la température de l'air et de la température des parois.	47
Figure II-7. Relations entre les paramètres de confort et les modes d'échange de chaleur 48	48
Figure II-8. Le métabolisme humain.	49
Figure II-9. Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme. ... 51	51
Figure II-10. Diagramme psychométrique 52	52
Figure II-11. Stratégie du froid 53	53
Figure II-12. Stratégie du chaud 53	53
Figure II-13. Déperditions thermiques par éléments.	54
Figure II-14. Isolants fibreux.	55
Figure II-15. Polystyrène extrudé en panneau.	56
Figure II-16. Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires.	58
Figure II-17. Réserves prouvées d'énergie dans le monde.	61

Figure II-18. Les proportions de l'utilisation de combustibles fossiles dans les pays développés.	62
Figure II-19. Les impacts environnementaux des bâtiments	62
Figure II-20. Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en 2005	63
Figure II-21. L'évolution de la consommation du secteur résidentiel.....	64
Figure II-22. Fourchettes de consommations en chauffage, eau chaude, et rafraîchissement pour un logement résidentiel.....	67

Chapitre III

Figure III-1. Ombrage de la façade et isolation thermique de la terrasse	73
Figure III-2. Champs de capteurs solaires plans, végétalisation et protection de la façade	73
Figure III-3. Réglementation thermique pour l'existant.....	76
Figure III-4. Les 8 points de la réglementation thermique (élément par élément)	80
Figure III-5. Plans, coupe et façades de l'habitation après transformations	81
Figure III-6. Coupe reprenant les principes de réhabilitation par position	83
Figure III-7. Immeuble locatif en Suisse. Etat initial	83
Figure III-8. Thermographie pour déceler les points faibles de l'enveloppe.	84
Figure III-9. Moisissures dus à l'humidité	84
Figure III-10. Isolation des façades.	84
Figure III-11. Changement des fenêtres avec cadre PVC. $U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	85
Figure III-12. . Remplacement des balcons.	85
Figure III-13. Ventilation douce (naturelle).	86
Figure III-14. Isolation sous dalle sous-sol.	86
Figure III-15. Remplacement de la chaudière. (Rendement des équipements)	87
Figure III-16. La construction avant et après la réhabilitation thermique.	87
Figure III-17. Exemple d'un bilan thermique.....	88
Figure III-18. Image de thermographie d'un immeuble.....	89
Figure III-19. Essai d'infiltrométrie.	89
Figure III-20. Ombrage de la façade par saison.....	91
Figure III-21. Mesures bioclimatiques adaptables en réhabilitation.....	91
Figure III-22. Déperditions moyennes pour un logement non isolé.....	92
Figure III-23. Exigences d'efficacité et de mise en œuvre pour l'isolation thermique.....	93

Chapitre IV

Figure IV-1. Thermographie de la façade d'un immeuble.....	100
Figure IV-2. Humidité dans un coin de pièce refroidissant la paroi par évaporation.....	100
Figure IV-3. Différentes positions de l'isolation thermique.....	101
Figure IV-4. Principe d'une isolation par l'extérieur.....	103
Figure IV-5. Plancher sur terre plein, prolongement de l'isolation extérieure en dessous du niveau du sol.....	103
Figure IV-6. Système d'isolation recouvert d'un enduit.....	104
Figure IV-7. Isolation autour des baies.	105
Figure IV-8. Isolation taillée autour d'une fenêtre et d'une ventilation et ajustée à l'angle du bâtiment.	105
Figure IV-9. Panneau d'isolation protégé par un bardage	105
Figure IV-10. Détail de l'isolation autour des baies.....	106
Figure IV-11. Pose d'un parement isolant lors de travaux de réhabilitation.....	106
Figure IV-12. Isolation intérieure et ponts thermiques : solutions	108
Figure IV-13. Détail autour des baies.....	108

Figure IV-14. Panneau d'isolation recouvert par un enduit.....	109
Figure IV-15. Isolation protégée par une contre-cloison.....	109
Figure IV-16. Remplissage par insufflation des isolants en vrac.....	111
Figure IV-17. Remplissage par injection d'isolants sous forme de mousse.....	112
Figure IV-18. Isolation des combles perdus.....	113
Figure IV-19. Laine minérale soufflée.....	113
Figure IV-20. Différentes forme d'isolation du comble perdu.....	114
Figure IV-21. Isolation des combles habitables.....	114
Figure IV-22. Isolation entre et sous chevrons.....	115
Figure IV-23. Isolation des combles habitables.....	115
Figure IV-24. Isolation d'une toiture terrasse.....	116
Figure IV-25. Positions du plancher bas.....	117
Figure IV-26. Isolations en dessous et au dessus du plancher bas sur zone non chauffée.....	117
Figure IV-27. Isolation d'un plancher sur terre-plein (sous le dallage).....	118
Figure IV-28. Isolation d'un plancher sur terre-plein (au dessus du dallage).....	118
Figure IV-29. Survitrage fixé sur vitrage existant.....	120
Figure IV-30. Double vitrage de rénovation.....	121
Figure IV-31. Transformation d'une fenêtre par remplacement du vitrage.....	122
Figure IV-32. L'implantation tient compte du relief, des vents locaux, de l'ensoleillement.....	123
Figure IV-33. Stratégie d'orientation en fonction du lieu.....	124
Figure IV-34. Gestion des rayonnement du soleil.....	125
Figure IV-35. Répartition des puissances reçues du soleil sur les façades.....	126
Figure IV-36. Organisation des espaces par rapport à l'orientation.....	128
Figure IV-37. Protections solaires, saisons et orientations.....	129
Figure IV-38. Effets des protections verticales et horizontales sur les baies.....	129
Figure IV-39. L'abaque solaire.....	130
Figure IV-40. Ombrage d'une protection horizontale en hiver et en été.....	130
Figure IV-41. Dispositifs d'occultation du soleil sur la façade sud.....	131
Figure IV-42. Protection contre les rayons est et ouest.....	131
Figure IV-43. Exemple de toiture végétalisée.....	132
Figure IV-44. Composition d'une toiture végétalisée.....	133
Figure IV-45. La végétation protège le mur de l'ensoleillement, la pluie et la neige.....	134
Figure IV-46. Principe de la ventilation naturelle.....	135
Figure IV-47. Ecoulement d'air autour d'un bâtiment.....	136
Figure IV-48. Ventilation unilatérale.....	136
Figure IV-49. Ventilation traversante.....	137
Figure IV-50. Ventilation par effet de cheminée.....	137
Figure IV-51. Grilles intégrées aux cadres des ouvertures, et à insérer dans les murs.....	137
Figure IV-52. Principe d'une ventilation simple flux et bouches hygro-réglables.....	138
Figure IV-53. Principe de la ventilation double flux.....	139
Figure IV-54. Variation du stockage de l'apport solaire selon la couleur des parois.....	140
Figure IV-55. Valeur du coefficient d'absorption pour les laques cellulosiques.....	140

Chapitre V

Figure V-1. Mode de fonctionnement des logiciels de simulation.....	144
Figure V-2. Description du bâtiment dans TRNBuild.....	146
Figure V-3. Edition du modèle et du projet dans Trnsys Simulation Studio.....	146
Figure V-4. Schéma de fonctionnement de TRNSYS.....	147
Figure V-5. Coupe transversale Nord-Sud du relief.....	148
Figure V-6. Zones climatiques d'hiver.....	149

Figure V-7 . Zones climatiques d'été en Algérie.	150
Figure V-8. Situation de la ville de Dar-El-Beida.	151
Figure V-9. Dar-El-Beida : Températures moyennes mensuelles.	152
Figure V-10. Dar-El-Beida : Humidités moyennes mensuelles.	152
Figure V-11. Situation de la ville de Béchar.	153
Figure V-12. Béchar : Températures moyennes mensuelles.	153
Figure V-13. Béchar : Humidités moyennes mensuelles.	154
Figure V-14. Situation de la ville de Tamanrasset.	154
Figure V-15. Tamanrasset: Températures moyennes mensuelles.	155
Figure V-16. Tamanrasset: Humidités moyennes mensuelles.	155
Figure V-17. Plan et 3D du bâtiment cas de base.	156
Figure V-18. Evolution des températures moyennes mensuelles à Dar-El-Beida.	158
Figure V-19. Evolution des températures moyennes mensuelles à Béchar.	158
Figure V-20. Evolution des températures moyennes mensuelles à Tamanrasset.	158
Figure V-21. Comparaison entre les évolutions de température au cours de l'année d'un bâtiment mal adapté au climat et un bâtiment climatique par rapport à la zone de confort. ...	158
Figure V-22. Evolution quotidiennes des températures D-E-B (mois de janvier).	159
Figure V-23. Evolution horaires des températures D-E-B (du 11, 12 et 13 janvier).	160
Figure V-24. Evolution quotidiennes des températures D-E-B (mois de juillet).	161
Figure V-25. Evolution horaires des températures D-E-B (du 29, 30 et 31 juillet).	162
Figure V-26. Evolution quotidiennes des températures Béchar (mois de janvier).	163
Figure V-27. Evolution horaires des températures Béchar (du 14 au 16 janvier).	164
Figure V-28. Evolution quotidiennes des températures Béchar (mois de juillet).	164
Figure V-29. Evolution horaires des températures Béchar (du 29 au 31 juillet).	165
Figure V-30. Evolution quotidiennes des températures Tamarasset (mois de janvier).	166
Figure V-31. Evolution horaires des températures Tamarasset (du 14 au 16 janvier).	167
Figure V-32. Evolution quotidiennes des températures Tamarasset (mois de juillet).	168
Figure V-33. Evolution horaires des températures Tamarasset (du 21 au 23 juillet).	169
Figure V-34. Comparaison entre les évolutions de température mensuelles à D-E-B entre le local non isolé et le local isolé par rapport aux températures extérieures.	170
Figure V-35. Comparaison entre les évolutions de température mensuelles à Béchar entre le local non isolé et le local isolé par rapport aux températures extérieures.	170
Figure V-36. Comparaison entre les évolutions de température mensuelles à Tamanrasset entre le local non isolé et le local isolé par rapport aux températures extérieures.	171
Figure V-37. Evolution quotidiennes des températures D-E-B (mois de janvier).	171
Figure V-38. Evolution horaires des températures D-E-B (11, 12 & 13 janvier).	172
Figure V-39. Evolution quotidiennes des températures D-E-B (mois de juillet).	173
Figure V-40. Evolution horaires des températures D-E-B (29, 30 & 31 juillet).	174
Figure V-41. Evolution quotidiennes des températures Béchar (mois de janvier).	175
Figure V-42. Evolution horaires des températures Béchar (14, 15 & 16 janvier).	176
Figure V-43. Evolution quotidiennes des températures Béchar (mois de juillet).	177
Figure V-44. Evolution horaires des températures Béchar (29, 30 & 31 juillet).	178
Figure V-45. Evolution quotidiennes des températures Tamarasset (mois de janvier).	179
Figure V-46. Evolution horaires des températures Tamarasset (14, 15 & 16 janvier).	180
Figure V-47. Evolution quotidiennes des températures Tamarasset (mois de juillet).	180
Figure V-48. Evolution horaires des températures Tamarasset (29, 30 & 31 juillet).	181
Figure V-49. Influence de l'isolation thermique par élément de l'enveloppe (hiver).	182
Figure V-50. Influence de l'isolation thermique par élément de l'enveloppe (été).	183

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1. Caractéristiques des principaux types d'habitat en Algérie.....	17
Tableau I-2. Répartition des logements occupés selon le type de construction (RGPH 2008)	20
Tableau I-3. Evolution de la population algérienne selon la répartition.....	21
Tableau I-4. Caractéristiques générales de l'habitat dans les périmètres urbain et rural.....	21
Tableau I-5. Répartition des logements selon zone d'implantation (RGPH 2008).....	22
Tableau I-6. Répartition des logements selon le nombre de pièces. (RGPH 2008).....	22

Chapitre II

Tableau II-1. La puissance thermique dégagée en fonction de l'activité humaine.....	50
Tableau II-2. Echelles des sensations thermiques.....	52
Tableau II-3. Caractéristiques Isole-R selon l'ACERMI.....	55
Tableau II-4. Répartition de la consommation Finale 2005 par secteur et par type d'énergie.	63
Tableau II-5. Bilan des émissions des GES par secteur. (Source : APRUE 2007).....	64

Chapitre III

Tableau III-1. Plan d'action relatif au secteur du bâtiment résidentiel (Source: APRUE).....	72
Tableau III-2. Solutions techniques préconisées pour un bâtiment « PASSIVHAUS ».....	78
Tableau III-3. Récapitulatif des labels éco-construction (Réhabilitation).....	79
Tableau III-4. Les exigences du label MINERGIE pour les bâtiments rénovés.....	81
Tableau III-5. Tableau récapitulatif de réhabilitation thermique.....	82

Chapitre IV

Tableau IV-1. Principaux avantages et inconvénients de l'isolation thermique par l'extérieur.....	107
Tableau IV-2. Principaux avantages et inconvénients de l'isolation thermique par l'intérieur.....	110
Tableau IV-3. Avantages & inconvénients d'une isolation thermique intermédiaire.....	112
Tableau IV-4. Tableau comparatif reprenant les différentes façons d'isoler l'enveloppe d'un bâtiment et leurs caractéristiques. (source : auteur).....	119
Tableau IV-5. Performances énergétiques de divers systèmes de vitrages.....	122
Tableau IV-6. Elément d'analyse pour la localisation d'un bâtiment bioclimatique.....	125
Tableau IV-7. Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence.	127
Tableau IV-8. Avantages et inconvénients de la ventilation naturelle.....	136

Chapitre V

Tableau V-1: Tableau récapitulatif programmes TRNSYS.....	147
Tableau V-2. Caractéristiques des zones climatiques d'hiver en Algérie.....	149
Tableau V-3. Caractéristiques des zones climatiques d'été en Algérie.....	150
Tableau V-4. Caractéristiques climatiques des zones d'études.....	151
Tableau V-5. Composition des murs extérieurs.....	157
Tableau V-6. Composition du plancher terrasse.....	157
Tableau V-7. Composition du plancher au sol.....	157
Tableau V-8. Composition des différents éléments de l'enveloppe du local de base.....	158
Tableau V-9. Composition de l'enveloppe isolée.....	170

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Ouvrages, ouvrages collectifs, publications, thèses, guides et actes de séminaires.

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et Centre Scientifique des Techniques du bâtiment (CSTB).

- « Isolation thermique. Performances énergétiques des éléments opaques et transparents ». Guide technique.

ADEME

- Améliorer le confort de votre maison, l'isolation thermique. Mars 2008.
- Améliorer le confort de votre maison, Le confort thermique, guide, Août 2007.

Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE)

- « Un plan d'action ambitieux pour les années 2005 – 2006 ». in Revue La lettre de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, n°08, mai 2005.
- « Consommation énergétique finale de l'Algérie, Chiffres clés Année 2005 ». Edition.2007.
- « Programme ECO-BAT, Signature d'une convention entre l'Aprue et 11 OPGI ». in La lettre, Bulletin trimestriel de l'Aprue. N° 15. Juin 2009.

Agence National pour l'Amélioration de l'Habitat (ANAH)

- Fiche technique « confort thermique ». Paris, mars 2004.

Agence Nationale Maitrise Energie (A.N.M.E).

- Tunisie. « Guide pratique de conception de logements économes en énergies ».

Annabi, M. Mokhtari, A. et Hafrad, T. A.

- « Estimation des performances énergétiques du bâtiment dans le contexte maghrébin ». in revue des énergies renouvelables. Vol.9. N°2. Alger 2006

Awbi, H.

- Ventilation of buildings. 2nd Edition. Ed. SponPress. London 2003.

Azzag, E. B.

- « Habiter mieux, habiter autrement ». in Vies de villes. n°02, printemps 2005.

Batirénover

- Guide pratique de la rénovation thermique. 2e partie. Avril 2009

Bellin, P. G.

- L'habitat bio-économique. Ed. Eyrolles. Pris 2008.

Benmessaoud, S.

- « Prospection pour l'introduction de la construction en matériaux locaux dans le secteur du logement à Tamanrasset ». Mémoire DSA, Architecture de terre. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture, Grenoble. 2006.

Bensalem, R.

- « Le vent et l'architecture ». Cours de post graduation (2006/2007) au département d'architecture de l'UMMTO, Tizi Ouzou, Algérie.

Benyoucef, B.

- « La crise de mutation de la ville algérienne et ses enjeux (cas d'Alger) ». in Ali Hadjiedj, Claude Chaline, Jocelyne Dubois-Maury. Alger, les nouveaux défis de l'urbanisation. Ed. L'Harmattan, Paris, 2003.

Bonhomme, A.

- Isolation thermique des bâtiments. 4e édition mise à jour et augmentée. Ed. Du Moniteur, Paris 1979.

Boughaba, S.

- « L'architecture de la ville comme lieu de l'affrontement et du dialogue culturel ». Thèse de Doctorat. EHESS. Paris. 1999.

Bougriou, C. Hazem, A. et Kaouha, K.

- « Protections Solaires des Fenêtres ». in revue des énergies renouvelables. Vol. 3. Alger 2000.

Bouhaba, M.

- Le logement et la construction dans la stratégie algérienne de développement. in P. R. Baduel. Habitat, Etat, Société au Maghreb. Ed. CNRS Editions. Paris 2002.

Brodhag, C. et al.

- Dictionnaire du développement durable. Ed. AFNOR. Saint-Denis-La Plaine. 2004.

Brunel, S.

- Le développement durable. Ed. Que sais-je ? 2^{ème} Edition mise à jour. Paris 2007.

Candas, V.

- « Confort thermique ». in Techniques de l'ingénieur. Traité génie énergétique. BE 9 085.

Cao, M. L.

- Les vrais enjeux d'un projet de construction durable. Ed. L'harmattan. Paris 2009.

Capderou, M.

- Atlas solaire de l'Algérie. Tome 3. Ed. OPU. Alger. 1986.

Carassus, J.

- « Changement climatique, énergie et bâtiment: La nouvelle donne ». Séminaire IHEDATE (Institut des Hautes Etudes de Développement et d'Aménagement des Territoires Européens). Paris. 2008.

Carbiener, D.

- L'habitat durable, construire et rénover écologique et économique. Ed. Edisud. Paris 2008.

Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment. (CNERIB)

- Bilan d'activités scientifiques et techniques de l'année 2009.

Chenak, A.

- Ghardaia-Réhabilitation d'une maison en intégrant le solaire actif et les principes de la bioclimatique. CDER. Alger. mai 2008.

Cherqui, F. & al.

- « Elaboration d'une méthodologie d'aménagement durable d'un quartier ». Annales du bâtiment et travaux publics n°1. France 2004.

Chlela, F.

- Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle. 2008.

Côte, M.

- « L'habitat rural en Algérie, Formes et mutations ». in P. R. Baduel. Habitat, Etat, Société au Maghreb. Ed. CNRS Editions. Paris 2002.

Couasnet, Y.

- Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction, 2^e Ed Le moniteur, Paris 2007.

Dahli, M. et Toubal, R.

- « Elaboration d'un matériau isolant à base de déchets grignon/cellulose ». in Revue francophone d'écologie industrielle - N° 56 - 4^e trimestre 2009.

David, O. et Fabre, A.

- Les économies d'énergies dans l'habitat existant une opportunité si difficile à saisir. Ed. Ecole des mines. Paris 2007.

De Haut, P.

- Chauffage, isolation et ventilation écologique. Ed. Eyrolles. Paris 2007.

De Herde, A. et Evrard, A.

- « Béton et utilisation rationnelle de l'énergie ». Bulletin publié par : FEBELCEM - Fédération de l'Industrie Cimentière Belge. 2005.

Degiovani, A.

- « Diffusivité et méthode flash ». in revue générale de thermique n° 185. France 1977.

Deluz, J.

- « Les grands types d'habitat en Algérie ». Polycopié. Ecole d'Architecture et d'Urbanisme. Alger. 1980.

Domblides, B.

- Appareils à gaz, Conduits de fumée. Ventilation. In Techniques de l'ingénieur. n°C 3 860.

Fernandez, P.

- « Stratégies d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture. ». Thèse de doctorat, Ecoles des mines de Paris. 1996.

Fezzioui, N & al.

- « Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien ». in Revue des énergies renouvelables Vol. 11 N°1. Alger 2008.

Frenot, M. et Sawaya, N.

- L'isolation thermique, le répertoire des solutions pratiques pour l'habitat existant. Ed. Edisud. Aix en Provence, France 1979.

Gauzin-Müller, D.

- L'architecture écologique. Ed. Du Moniteur. Paris 2001.

Gay, J. B.

- « Définition et principes de la construction durable ». Conférence-débat « Le développement durable, matière à construction ». Genève, mars 2008.

Ghiaus, C. and Allard, F.

- Natural ventilation in the urban environment. Ed. Earthscan. London 2005.

Givoni, B.

- L'homme l'architecture et le climat. Ed. Du Moniteur, Paris 1978.

Gonzalo, R. et Habermann, K. J.

- Architecture et efficacité énergétique. Ed. Birkhauser. Berlin 2008.

Gorse, C. and Highfield, D.

- Refurbishment and upgrading of buildings. second edition. Ed Spon press. London 2009.

Hafiane, A.

- « Les projets d'urbanisme récents en Algérie ». 43rd ISOCARP Congress. 2007.

Hauglustaine, J-M. Baltus, C. Simon, F. et Liesse, S.

- La rénovation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes. UCL- ULg. Ministère de la Région Wallonne – DGTRE. 2002.

Heschong, L.

- Architecture et volupté thermique. Éd. Parenthèses. Paris 1992.

Hyde, R.

- Bioclimatic housing, innovative designs for warm climates. Ed. Earthscan, 2008.

Izard, J. L.

- Architecture d'été – construire pour le confort d'été. Ed. Edisud. Paris 1993.

Jadoul, F.

- La Terre est notre maison, Construire, rénover, habiter en respectant l'Homme et l'environnement. Ed. Luc Pire, Bruxelles 2002.

Jenning, B. H. et Givoni, B.

- «Environmental reactions in the 80° - 105° F zone ». in ASHVE Journal. 1959.

Johnston, J. et Newton, J.

- Building green a guide to using plants on roofs walls and pavements, Ed London ecology unit, Londres 1993

Juvet, J. L.

- Rénovation MINERGIE d'un petit immeuble locatif des années 50, 2005-2007. Neuchâtel, Suisse.

Kaiser, H.

- An attempt at low cost roof planting. Ed Garten und landschaft, 1981.

Klein, et al.

- TRNSYS – A Transient System Simulation Program User Manual, The Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin – Madison, 2005.

Langlais, C. et Klarsfeld, S.

- « Isolation thermique à température ambiante. Propriétés » Techniques de l'ingénieur. Document n° C 3 371. France.

Larbi Youcef, M.H.A.B, Boukadoum, F. Larbi youcef, S. Fleury, E. et Bolher, A.

- « Etude de Sensibilité de Paramètres des Bâtiments Climatés en Algérie ». in revue des énergies renouvelables. Alger 2001.

Lassure, C.

- « L'architecture vernaculaire ». Extrait d'un article publié dans le supplément N°3. 1983.

Lazzeri, Y.

- Le développement durable du concept à la mesure. Ed. L'harmattan. Paris 2008.

Liébard, A. et De Herde, A.

- Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Ed. Le Moniteur. Paris 2005.

Loison, G.

L'isolation thermique. Ed. Flammarion. Paris 2000.

Magestour

- Manuel de gestion environnementale et sociale. « Réhabilitation énergétique des bâtiments ». Fiche MTD04. Provence - Alpes - Côte d'Azur, France. p. 5

Malchaire, J. B.

- « Les échanges thermiques ». in Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, du bureau international du travail. Edition établie sous la direction de J. Magger Stellman, Publiée par International Labour Organisation. Genève, Suisse 2000.

Mazria, E.

- Le guide de la maison solaire. Ed. Parenthèses. Paris 2005.

Medjelakh, D. et Abdou, S.

- « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment ». in Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°3.

Alger 2008.

Ministère de l'équipement, Direction de la Construction (France)

- Guide pratique pour l'amélioration des logements existants. Ed. Du moniteur, Paris 1977.
- Amélioration thermique de l'habitat existant, Installations de chauffage et isolation des bâtiments. Ed. Du moniteur. Paris 1977.

Mokhtari A. et al.

- « Architecture et confort thermique dans les zones arides, application au cas de la ville de Béchar ». in Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2. 2008.

Morel, N. & Gnansounou, E.

- « Energétique du bâtiment ». Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Septembre 2008.

Moujalled, B.

- « Modélisation dynamique du confort thermique ». Thèse de doctorat présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon (France). Janvier 2007.

Olgyay, V.

- Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press. USA 1963.

Oliva, J.P. et Courgey, S.

- La conception bioclimatique des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation. Ed. Terre vivante. Paris 2006.

Ougouadfel, H.

- « Modernité et tradition : Eléments de réflexion sur la crise identitaire ». in revue d'architecture et d'urbanisme. n°1. octobre 1993.

Ould Henia, A.

- « Choix climatiques et construction en zones arides et semi arides, la maison à cour de Bousaada ». Thèse de doctorat. EPFL, Lausanne. 2003.

Pandolf, K. B.

- « Time course of heat acclimatation and its decay ». in International journal of medicine n°157-16. London 1998.

Petruccioli, A.

- « Alger 1830-1930, Pour une Lecture typologique des immeubles d'habitation »

PREBAT, ADEME, PUCA, CSTB.

- Comparaison internationale bâtiment et énergie. Rapport final. Décembre 2007.

Ranck, L.

- Maisons écologiques, cas pratiques. Ed. Eyrolles. Paris 2009.

Roaf, S. et al.

- Adapting buildings and cities for climate change. 2nd Ed Elsevier. Oxford 2009.

Rousseaux, J.

- Habiter demain, la domotique, intelligence et communication. Ed. EGT / Nathan. 1989

Sakharov, A.

- Discours prononcé à la séance d'attribution du Prix Nobel de la Paix, 1975.

Salomon, T. et Aubert, C.

- Fraicheur sans clim. Ed. Terre vivante. Paris 2005.

Salomon, T. et Bedel, S.

- La maison des [nega]watts, Le guide malin de l'énergie chez soi. Ed. Terre vivante. Mens 2004.

Santamouris, M.

- Advances in Building Energy Research. Volume 3. Ed Earthscan. Londres 2009.

Sénit, C. A.

- « L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel : une analyse des politiques dans les PSEM ». in Idées pour le débat. N° 14/2008.

Sid, B.

- L'habitat en Algérie : Stratégies d'acteurs et logiques industrielles. Office des publications universitaires. Alger 1986.
- L'industrie du bâtiment dans la politique industrielle de l'Algérie. in P. R. Baduel. Habitat, Etat, Société au Maghreb. Ed. CNRS Editions. Paris 2002.

Sidler, O.

- Rénovation à basse consommation d'énergie des logements en France. Projet «RENAISSANCE» Programme européen CONCERTO. Août 2007.

Simon, F. Hauglustaine, J. M. Baltus, C. et Liesse, S.

- La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes. UCL – ULg. Ministère de la Région Wallonne – DGTRE. 2002.
- La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes. UCL-ULg. Ministère de la Région Wallonne – DGTRE. 2002.

Smith, P. F.

- Eco-Refurbishment A guide to saving and producing energy in the home. Ed. Architectural Press. London 2004.

Thellier, F.

- « Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat. Une approche de l'étude du confort ». Etude réalisée à l'université Paul Sabatier de Toulouse, France 1989.

Valcea, E. D.

- Isolation thermique des constructions en Algérie. Ed. Entreprise nationale du livre. Alger 1986.

Van Duysen, J.C.& Jumel, S.

- Le développement durable. Ed. L'harmattan. Paris 2008.

Vitruve.

- De Architectura. Texte latin. Ed. Bès. Mouzeuil-Saint-Martin 2004. Traduction française par CH. L. Maufra. Paris 1847.

Vu, B.

- Le guide de l'habitat passif. Ed. Eyrolles. Paris 2008.

Vu, B.

- Construire ou rénover en respectant la HQE. Ed Eyrolles. Paris 2007.

Waters, J. R.

- Energy Conservation in Buildings a guide to part L of the building regulations. Ed. Blackwell Publishing. Oxford 2003.

Wright, D.

- Manuel d'architecture naturelle. Traduction française et adaptation de P. Bazan. Ed. Parenthèses. Paris 2005.

Sites internet

<http://fr.wikipedia.org/>

<http://www.aprue.org.dz>

- Site officiel de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.

<http://www.ffmpeg.com>

<http://www.epfl.ch/enerbat>

<http://www.insee.fr>.

- Site officiel de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. France.

<http://www.larousse.fr/>

<http://www.manicore.com>

<http://www.minergie.ch>.

- Site officiel du label suisse « Minergie »

<http://www.ons.dz>

- Site officiel de l'Office Nationale des Statistiques.

ANNEXES

ANNEXE 1

PRINCIPAUX TEXTES REGLEMENTAIRES RELATIFS AU BATIMENT, L'ENERGIE ET L'ENVIRONNEMENT

- **Loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement** qui a pour objet la mise en œuvre d'une politique nationale de protection de l'environnement tendant à:
 - la protection, la restructuration et la valorisation des ressources naturelles,
 - la prévention et la lutte contre toute forme de pollution et nuisance,
 - l'amélioration du cadre et de la qualité de la vie.

- **Loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.** Cette loi a pour objet de définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie.
 - La maîtrise de l'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement.
 - L'utilisation rationnelle de l'énergie couvre l'action d'optimisation de la consommation d'énergie aux différents niveaux de la production d'énergie, de la transformation d'énergie et de la consommation finale dans les secteurs de l'industrie, des transports, du tertiaire et du domestique,.
 - Le développement des énergies renouvelables, vise l'introduction et la promotion des filières de transformation des énergies renouvelables exploitables, notamment l'énergie solaire, la géothermie, (la biomasse), l'électricité hydraulique et l'énergie éolienne.

Dans cette loi, les articles relatifs à l'isolation thermique dans le bâtiment sont

Article 10 : Les normes d'isolation thermique dans les bâtiments neufs sont fixées par voie réglementaire. Les normes d'isolation thermique sont des normes de construction qui favorisent les économies d'énergie.

Article 11 : La réglementation thermique détermine les catégories de bâtiments et les normes de rendement énergétique selon les données climatiques et les normes techniques se rapportant à la résistance thermique, à l'étanchéité des ouvertures, à la

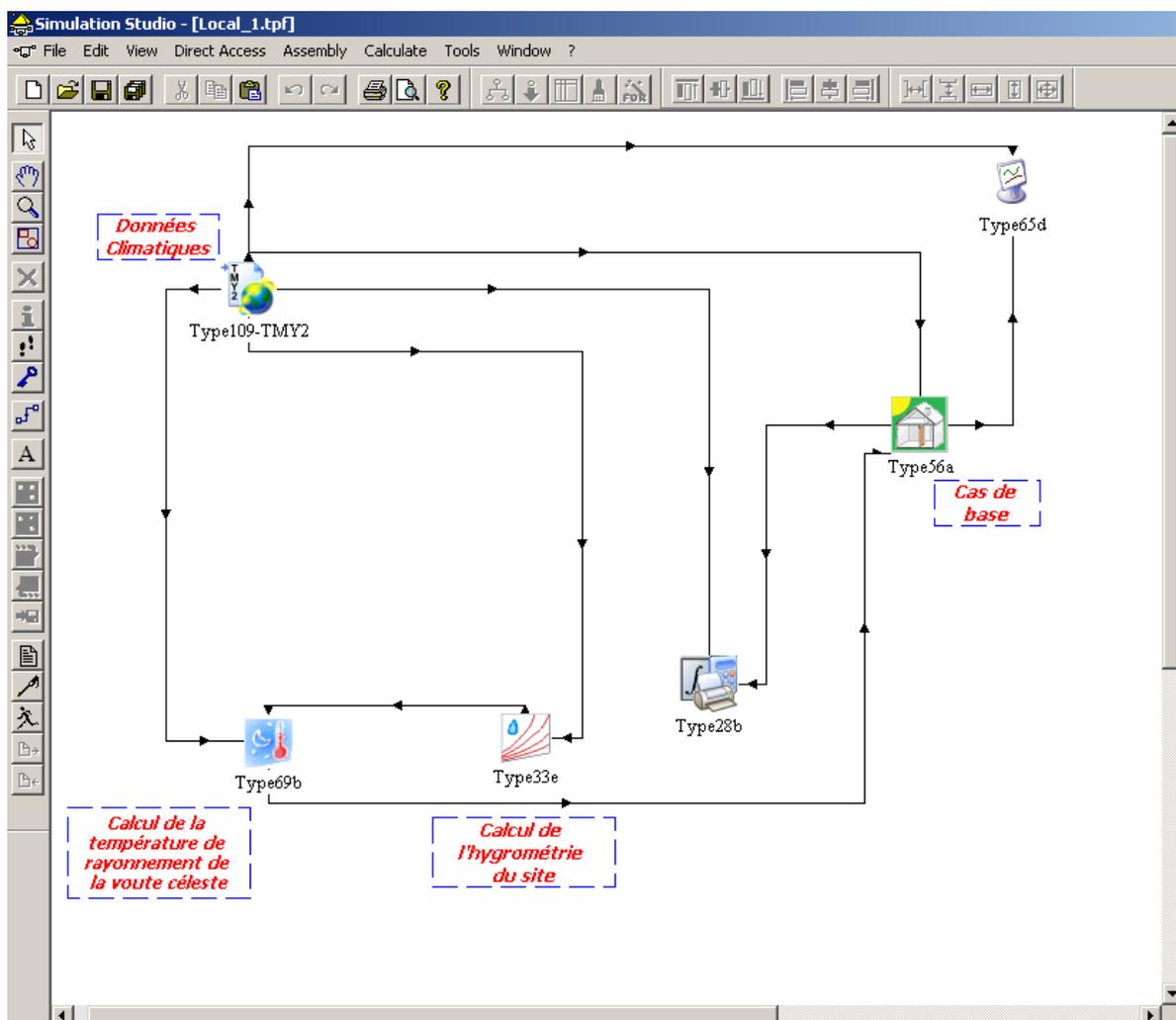
qualité des matériaux d'isolation, aux dispositifs des systèmes de chauffage ou de climatisation.

- **Loi n°01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.** Les dispositions de la présente loi définissent les orientations et les instruments d'aménagement du territoire de nature à garantir un développement harmonieux et durable de l'espace national, fondé sur:
 - Les choix stratégiques que requiert un développement de cette nature ;
 - Les politiques qui concourent à la réalisation de ces choix ;
 - La hiérarchisation des instruments de mise en œuvre de la politique d'aménagement et de développement durable du territoire.
- **Loi n°03-10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.**
- **Le décret exécutif 04-92 du 25 mars 2004, relative aux coûts de diversification de la production de l'électricité,** qui a pour objet de définir les coûts de diversification de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables et /ou de la cogénération, dans le cadre du régime spécial, ainsi que les conditions de production, de transport et de raccordement aux réseaux de l'électricité produite.
- **La loi n°04/09 du 14 Août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.** Elle a pour objet de fixer les modalités de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable. Au sens de la loi, sont qualifiés d'énergies renouvelables, outre les formes d'énergies obtenues à partir de la transformation du rayonnement solaire, de l'énergie du vent, de la géothermie, des déchets organiques, de l'énergie hydraulique et des techniques d'utilisation de la biomasse, l'ensemble des procédés permettant des économies significatives par le recours à des techniques de construction relevant de l'architecture bioclimatique.
- **Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.** La présente loi a pour objet de fixer les modalités de la gestion, de contrôle et de traitement des déchets, La gestion, le contrôle et l'élimination des déchets.
- **Décret exécutif portant réglementation thermique (n°2000-90 du 24/04/2000)**

- **Documents thermiques réglementaires.** Confectionnés par le CNERIB sous la tutelle du ministère de l'habitat et de l'urbanisme. Il s'agit entre autres pour les aspects touchant le confort hygrothermique :
 - **DTR C 3-2** portant réglementation thermique des bâtiments d'habitation, règles de calcul des déperditions calorifiques.
 - **DTR C 3-31** relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation.
 - **DTR C 3-4** fixant les règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments.

ANNEXE 2

TABLEAUX D'ASSEMBLAGES TRNSYS



Cette figure représente le schéma de base qui simule une maison pour effectuer le calcul sur le programme de simulation thermique TRNSYS.

Les types utilisés pour la simulation sont :

- Type 56a : Il représente le local à étudier ;
- Type 109. TMY2 : Données climatiques de la zone d'étude ;
- Type 69b : Il permet d'intégrer les données liées à la température de la voute céleste ;
- Type 33e : Il permet d'intégrer les données liées à l'hygrométrie du site ;
- Type 28b : Sortie des résultats sous forme de fichiers de données ;
- Type 65d : Sortie des résultats sous forme de graphes.