

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté...Sciences et de la Technologie.....
Département Architecture.....
Laboratoire de domiciliation. Génie Civil et d'Hydraulique.....

THÈSE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT EN 3^{ème} CYCLE (LMD)

Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la Ville. Filière : Architecture
Spécialité : Architecture

Présentée par

SAIFI Amel

Intitulé

CONTRIBUTION DE L'ISOLATION NATURELLE ADAPTEE AUX
BATIMENTS HABITES : Cas de la cité résidentielle 172 logements
Bouzaaroura à Annaba

Soutenue le :10 /03/2024

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Pr. ALKAMA Djamel	Professeur	Université 8 Mai 1945 Guelma	Président
Pr. HARIDI Fatma Zohra	Professeur	Université 8 Mai 1945 Guelma	Rapporteur
Pr. REHAILIA Hassib	Maitre de conférences « A »	Université Badji Mokhtar Annaba	Examineur
Dr. DJOUAD Fatma Zohra	Maitre de conférences « A »	Université 8 Mai 1945 Guelma	Examineur
Dr. CHERAITIA Mohammed	Maitre de conférences « A »	Université 8 Mai 1945 Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2023

Remerciement

Je remercie tout d'abord Allah le tout-puissant pour m'avoir donné la volonté et la force d'élaborer ce travail.

Au terme de ce travail de recherche, je tiens à remercier chaleureusement ma directrice de thèse, madame HARIDI Fatma Zohra, pour tous ces efforts et sa contribution pour que ce travail de recherche soit achevé convenablement.

Je tiens à remercier également l'ensemble de mes enseignants qui ont contribué à ma formation doctorale durant ces quatre années.

Un remerciement spécial à madame SLEYMI Amina qui a veillé à la bonne mise en œuvre des essais et tests expérimentaux au sein de CNERIB.

Je profite de dédier ce travail modeste !

À mon tendre père Abed El-hakim et ma chère mère Bariza, puisse ce travail être la consécration de leur rêve ;

À mon conjoint Boulemaredj Ali et à mes adorables petites Maria et Assinet ;

À mes aimables sœurs et toute la grande famille.

À tous mes amis spécialement : Chenouf Djihed et Abdesadek Meriem.

À mes collègues et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail pourrait être fait, ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

Résumé

L'élaboration des projets de construction en Algérie s'orientait récemment vers la démarche écologique, où l'État a commencé à tenir compte de l'aspect environnemental dans le cadre du développement durable, notamment en ce qui concerne la configuration architecturale et les nouveaux systèmes et les techniques constructives saines. Dans ce contexte, la présente étude vise à introduire la dimension de l'isolation naturelle à la construction des bâtiments habités et à valoriser la qualité de l'habitat par l'amélioration de l'ambiance thermique intérieure, suivant les nouvelles démarches du savoir constructif, qui intègrent l'isolation naturelle comme critère important du confort sanitaire. À cet égard, notre recherche a été effectuée sur plusieurs phases, dont la première consiste à établir une investigation qualitative sur l'ensemble des habitants du cas d'étude choisi à Annaba. La deuxième phase implique une investigation quantitative qui a été menée à travers une campagne de mesure in situ à l'aide d'un hygro thermomètre, afin d'évaluer la situation thermique des habitants. Ensuite, c'est la phase expérimentale qui sert à l'élaboration d'un isolant thermique naturel à base de matières locales et biosourcés « bouse de vache ». Finalement, l'établissement d'une simulation numérique pour évaluer l'impact de cet isolant naturel sur les bâtiments existants. Les résultats des investigations in situ ont montré que les habitants ont souffert d'un état thermique désagréable dans leurs lieux habités, affirmés par les valeurs de température et de l'humidité mesurées dans les deux périodes estivale et hivernale en 2022. D'autre part, l'expérimentation en laboratoire fait sortir d'un isolant thermique qui a une conductivité thermique de 0,12 W/m.k. En introduisant cet isolant dans la composition de l'enveloppe du bâtiment, on pourra constater un impact positif de l'isolation naturelle sur les ambiances thermiques intérieures.

Mots-clés : isolation naturelle, isolant, bouse de vache, bâtiment habité, Annaba, ambiance thermique,

Abstract

The development of construction projects in Algeria has recently moved towards an ecological approach, where the state has begun to take account of the environmental aspect within the framework of sustainable development, particularly with regard to architectural configuration and new systems and healthy construction techniques. In this context, the present study aims to introduce the dimension of natural insulation to the construction of inhabited buildings and to enhance the quality of the habitat by improving the indoor thermal environment, following the new approaches of constructive knowledge, which integrates natural insulation as an important criterion of sanitary comfort. In this respect, our research was carried out over several phases, the first of which consisted in establishing a qualitative investigation on all the inhabitants of the selected case study in Annaba. The second phase involves a quantitative investigation carried out through an in-situ measurement campaign using a hygro thermo meter, in order to assess the thermal situation of the inhabitants. This was followed by an experimental phase involving the development of a natural thermal insulator based on local, bio-sourced "cow dung" materials. Finally, a numerical simulation was set up to assess the impact of this natural insulator on existing buildings. The results of the in-situ investigations showed that the inhabitants suffered from an unpleasant thermal condition in their living quarters, as confirmed by the temperature and humidity values measured in both the summer and winter periods in 2022. On the other hand, the laboratory experiment uses a thermal insulator with a thermal conductivity of 0.12 W/m.k. By incorporating this insulator into the building envelope, we can see the positive impact of natural insulation on indoor thermal environments.

Keywords: natural insulation, insulation, cow dung, inhabited building, Annaba, thermal environment

ملخص

اتجه تطور مشاريع البناء في الجزائر مؤخرا نحو التوجه البيئي، حيث بدأت الدولة بمراعاة الجانب البيئي في إطار التنمية المستدامة، خاصة فيما يتعلق بالتكوين المعماري والأنظمة الجديدة وتقنيات البناء الصحية. وفي هذا السياق تهدف الدراسة الحالية إلى إدخال بعد العزل الطبيعي في تشييد المباني المأهولة وتعزيز جودة الموائل من خلال تحسين البيئة الحرارية الداخلية، وذلك باتباع المقاربات الجديدة للمعرفة للبناء التي تدمج العزل الطبيعي كعنصر أساسي في بناء المباني المأهولة. معيار مهم للراحة الصحية. وفي هذا الصدد، تم تنفيذ بحثنا على عدة مراحل، أولها يتمثل في إجراء تحقيق نوعي على جميع سكان دراسة الحالة المختارة في عنابة. تتضمن المرحلة الثانية إجراء تحقيق كمي يتم إجراؤه من خلال حملة قياس في الموقع باستخدام مقياس الرطوبة، من أجل تقييم الوضع الحراري للسكان. وأقرب ذلك مرحلة تجريبية تتضمن تطوير عازل حراري طبيعي يعتمد على مواد "روث البقر" المحلية ذات المصدر الحيوي. وأخيرا، تم إعداد محاكاة عددية لتقييم تأثير هذا العازل الطبيعي على المباني القائمة. وأظهرت نتائج التحقيقات الميدانية أن السكان يعانون من حالة حرارية غير سارة في أماكن سكنهم، وهو ما تؤكد قيم درجات الحرارة والرطوبة المقاسة في كل من فترتي الصيف والشتاء عام 2022. ومن ناحية أخرى، استخدمت التجربة المخبرية عازل حراري ذو موصلية حرارية 0.12 وات/م.ك. ومن خلال دمج هذا العازل في غلاف المبنى، يمكننا رؤية التأثير الإيجابي للعزل الطبيعي على البيئات الحرارية الداخلية.

الكلمات المفتاحية: العزل الطبيعي، العزل، روث البقر، مبنى سكني، عنابة، البيئة الحرارية

TABLE DES MATIERES

<i>Remerciement</i>	ii
Résumé	iv
Abstract	iv
ملخص	iv
TABLE DES MATIERES	v
LISTE DES FIGURES	xi
LISTES DES TABLEAUX	xvi
INTRODUCTION GENERALE	xviii
INTRODUCTION	1
PROBLEMATIQUE	4
Objectifs de recherche	5
METHODOLOGIE	5
STRUCTURE DE LA THESE	7
CHAPITRE I : L'ISOLATION NATURELLE ADAPTATIVE DANS LE BATIMENT HABITE	10
Introduction	10
1. Isolation naturelle	10
1.1. L'isolation naturelle adaptative	10
1.2. Isolation naturelle : première priorité à l'intégrité écologique de la construction	11
1.2.1. L'éco architecture	11
1.2.2. Système éco constructif	12
1.2.3. L'écoconstruction	12
1.2.4. Eco-Habitat	13
1.2.5. Bâtiment basse consommation	13
1.2.6. Le Passiv Haus	13
1.2.7. Habitat à énergie positive	14
1.2.8. Habitat zéro-énergie	14
1.2.9. Bâtiment habité autonome	14
1.2.10. Bâtiment habité sain	15
1.3. Avantage adaptatif d'un habitat écologique	15
2. L'isolation naturelle thermique	17
2.1. Genèse de l'isolation thermique	17
2.2. Processus de mise en œuvre de l'isolation naturelle thermique	19
2.3. Principe de l'isolation thermique	20
2.3.1. L'isolation par extérieur	20
2.3.2. L'isolation par intérieur	21
2.3.3. L'isolation répartie	22
2.4. Méthodes de l'isolation thermique	22

2.4.1.	Isolation par les parois et murs	22
2.4.2.	Isolation au niveau des planchers	25
2.4.3.	Isolation par toiture	27
3.	Matériaux à faible impacts environnementaux	29
3.1.	Matériau-isolant naturel	29
3.2.	Les matériaux-isolants écologiques	30
3.3.	Qu'est-ce qu'un matériau-isolant thermique ?	30
3.4.	Types des isolants	31
3.4.1.	Isolants d'origine minérale	31
3.4.2.	Isolation d'origine synthétique.....	32
3.4.3.	Les isolants minces	36
3.4.4.	La nouvelle génération d'isolant thermique	37
3.5.	Les isolants disponibles en Algérie :	37
3.6.	Caractéristiques et Fonctionnement de l'isolant.....	38
3.6.1.	La résistance thermique.....	38
3.6.2.	La conductivité thermique	38
3.6.3.	L'épaisseur	38
3.6.4.	La valeur U	39
3.6.5.	La capacité d'absorption de la chaleur	39
3.7.	Méthodologie de calcul de l'épaisseur d'isolant nécessaire	39
3.8.	Performance d'un matériau-isolant	40
3.9.	Différentes présentations des isolants disponibles	41
3.9.1.	Isolant en vrac.....	41
3.9.2.	Isolant en rouleaux ou en rouleau.....	41
3.9.3.	Isolant en panneaux rigides	42
3.9.4.	Panneau complexe	42
3.9.5.	Les isolants à pente intégrée	42
3.9.6.	Isolant à pente intégrée sur une toiture plate	43
	Conclusion.....	43
	CHAPITRE II : CARACTERISATION DE L'ISOLATION NATURELLE ADAPTÉE A L'ETAT THERMIQUE RESIDENTIEL	44
	Introduction	44
1.	La thermique du bâtiment	44
1.1.	Etat thermique résidentiel.....	44
1.2.	Estimation de l'état thermique	45
1.3.	Approches d'évaluation de l'état thermique équilibré.....	48
1.3.1.	L'approche analytique	48
1.3.2.	L'approche adaptative	52

1.4. Rappel des indices physiques en thermique du bâtiment	56
1.5. Les indicateurs de l'état thermique	58
1.6. Les facteurs influant sur un meilleur état thermique	59
1.6.1. Facteurs liés à l'individu (Thermorégulation comportementale)	60
1.6.2. Facteurs liés à l'environnement	64
1.7. L'équilibre thermique de l'usager avec son lieu habité	66
1.8. Les modes de transfert de chaleur	67
1.8.1. Différents modes de transfert de chaleur	67
1.9. Les défauts de l'enveloppe thermique	69
1.9.1. Les ponts thermiques	69
1.9.2. Les imperfections de l'étanchéité à l'air	71
Conclusion	71
Chapitre III : NORMES ET REGLEMENTATIONS THERMIQUE DANS LE BATIMENT HABITE	72
Introduction	72
1. Impact sanitaire de l'habitat mal isoler et inadéquat	72
2. Effets du manque de l'isolation Thermique sur la santé humaine	73
2.1. Effets du Froid excessif	73
2.2. Causes du froid excessive	74
2.3. Effets du Chaleur excessif	74
2.4. Causes de la chaleur excessive	75
2.5. Humidité et leur effet sur la santé	75
2.6. Effets de l'humidité sur la santé	76
3. Préconisations conduites à un habitat favorable à la santé	76
4. Les travaux conduits à l'échelle européenne et internationale	77
4.1. Les travaux conduits en France	78
4.2. Cadre législatif de la maitrise d'énergie et l'isolation thermique en Algérie	79
4.2.1. Agences de maitrise de l'énergie	79
4.2.2. Le rôle de agences de maitrise d'énergie	80
4.3. La politique énergétique en Algérie	80
4.4. Aspect réglementaire thermique en Algérie	81
4.4.1. Lois règlementaires	81
4.4.2. Les programmes nationaux de maitrise d'énergie visant le l'isolation thermique ..	83
4.5. Réglementations et normes à l'échelle international	86
4.5.1. La règlementation française	86
Conclusion	88
CHAPITRE 4 : HABITAT EXISTANT, FORME, TYPO-MORPHOLOGIE, ORGANISATION SPATIALE	89

Introduction	89
1. Objectifs de la lecture typo-morphologique	89
2. Lecture typo-morphologique	90
2.1. L’habitat traditionnel	91
2.2. L’habitat colonial	94
2.3. L’habitat pavillonnaire	98
2.4. L’habitat spontané	100
2.4.1. Evaluation de la production de l’habitat spontané	102
2.5 L’habitat collectif postindépendance	103
2.5.1. Création des ZUHN, entre rigueur et pragmatisme du discours politique	104
2.5.2. Stratégie Nationale des Modalités de Financement du Logement (SNMFL) dans les mutations du système de production	104
2.5.3. Apport des dynamiques résidentielles des ZUHN	104
2.5.4. La ZHUN de l’Oued Fourcha : Intégration identitaire et reconnaissance politique 105	
3. Réglementation de l’habitat	108
Conclusion	110
Conclusion de la Partie 1	110
PARTIE 2 : EVALUATION EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE D’UN MATERIAU ISOLANT	112
Chapitre 1 : PRESENTATION DU CAS D’ETUDE	113
Introduction	113
1. Aperçu sur la ville d’Annaba	113
1.1. Situation de Annaba	114
1.2. Contexte climatique de la ville d’Annaba	114
1.2.1. Température	114
1.2.2. Humidité	115
1.2.3. Ensoleillement	116
1.2.4. Régime du vent	116
1.2.5. Précipitations	117
2. La commune d’El Bouni et ses Cités d’habitat collectif	117
3. La première Zone d’habitat urbain nouvelle d’El Bouni Hippone 1 (SONATIBA) .	120
3. Présentation du site du cas d’étude	121
3.1. Situation de cas d’étude	121
3.2. Historique des bâtiments habités	121
3.3. Critères de choix de site et l’échantillon	122
3.4. Données architecturaux sur les bâtiments	122
3.5. La qualité thermique de l’habitat collectif	126

Conclusion.....	129
CHAPITRE II : PROTOCOLES DE L'INVESTIGATION SUR TERRAIN	130
Introduction	130
1. Investigation qualitative pour une évaluation de l'isolation d'un bâtiment habité...	130
1.1. Phase préliminaire Investigation sur terrain : Préparation de la pré enquête	130
1.2. Recueil des données par questionnaire et interview	130
2. Phase principale	131
2.1. Préparation de l'enquête sociologique	131
2.1.1. Réalisation du questionnaire	131
2.1.2. Echantillonnage	131
2.1.3. Traitement des données	132
2.2. Investigation quantitative	132
2.2.1. Instrumentation : Des appareils pour mesurer quoi ?	132
2.2.2. Protocole de mesurage	133
2.2.3. Identification des logements investigués	134
2.2.4. Déroulement de mesurage	134
2.2.5. Etude expérimentale du matériau isolant	134
2.2.6. Evaluation expérimentale de l'efficacité de la bouse de vache	140
2.2.7. Fabrication des échantillons en bouse de vache	141
2.3. Investigation numérique	147
2.3.1. Présentation du logiciel Design Builder	147
2.3.2. Déroulement de la modélisation	148
2.3.3. Les entrées du programme	148
2.3.4. Période de simulation	152
2.3.5. Déroulement de simulation	153
Conclusion.....	153
CHAPITRE 3 : TRAITEMENT DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS IN SITU .	154
Introduction	154
1. Investiguassions qualitative	154
1.1. Phase préliminaire : Interprétation des résultats de l'investigation qualitative	154
1.2. Analyse des résultats de la phase principale	155
1.3. Analyse factorielle des résultats	161
1.4. Synthèse des résultats de l'enquête	164
2. Interprétation et des résultats de l'investigation quantitative	164
2.1. Analyse des résultats de mesurage en hiver	164
2.2. Comparaison des résultats de mesurage entre appartements en hiver	167
2.3. Analyse des résultats de mesurage en été	168

2.4. Comparaisons des résultats de mesurage entre appartements en été	171
2.5. Synthèse des résultats de mesurage	172
Conclusion	173
CHAPITRE 4 : TRAITEMENT DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES	174
Introduction	174
1. Résultats des essais en laboratoire	174
2. Simulation du bâtiment à l'état actuel	179
2.1. Analyse et interprétation des résultats en hiver	179
2.2. Analyse et interprétation des résultats en été	181
3. Simulation du bâtiment à l'état optimisé	183
3.1. Isolation des murs extérieurs en BV3	183
3.2. Isolation de l'enveloppe complet	187
3.3. Recommandations souhaitées	192
Conclusion	194
Conclusion générale	194
Limites de recherches	197
Perspectives de recherches	197
Références bibliographiques	198
ANNEXES	210

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Schémas récapitulatif de la méthodologie de recherche (source : auteur)...	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2: structure de la thèse (source : auteur)	7
Figure 3: Modèle d'habitat passif. Source : https://www.architecte-batiments.fr/ , 2023	14
Figure 4: Habitat à énergie positive, Source : https://slideplayer.fr/slide/185959/ , 2023	14
Figure 5: L'isolation par l'extérieur source : http://www.iso-exterieure.fr/	21
Figure 6: L'isolation par l'extérieur source : http://www.iso-exterieure.fr/	21
Figure 7: L'isolation par l'extérieur source : http://www.iso-exterieure.fr/	21
Figure 8: L'isolation répartie source : http://isolation.maison-materiaux.com/	22
Figure 9: isolation intérieure par des panneaux isolants (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	22
Figure 10 : isolation extérieur protégé par bardage (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	23
Figure 11 : isolation extérieure par panneaux enduits (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	24
Figure 12 : isolation extérieure par enduit isolant (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	24
Figure 13 : isolation sous dalle des planchers (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	25
Figure 14 : isolation sur dalle des planchers ((source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	26
Figure 15 : représentation de plancher isolant en maçonnerie (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	26
Figure 16 : isolation de plancher sur structure en bois (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	26
Figure 17 : isolation sous ou sur dalle des planchers (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	27
Figure 18 : isolation des combles en vrac par extérieur (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	28
Figure 19 : isolation de toiture par des panneaux semi rigide (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	28
Figure 20 : isolation de toiture par isolant en vrac (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)	29
Figure 21: Schéma d'une classification par caractérisation des isolants, Source : Energie-plus, 2022	30
Figure 22: Forme de l'argile expansée. Source : https://www.futura-sciences.com/	32
Figure 23 : L'écorce d'un arbre en liège, Source : https://www.aquaportail.com/	35
Figure 24: Le polystyrène pour l'isolation extérieure et échantillon de la perlite. (Source : Ferragi, 2017)	38
Figure 25 : choix des isolants thermiques en fonction de son usage (vu, 2007)	41
Figure 26: Panneaux sandwichs autoportants avec ou sans armature de renforcement. Source : https://www.archiexpo.fr/ Figure : Panneaux de mousse PUR avec lestage ou surface circulaire en béton.	42
Figure 27: Panneaux de mousse PUR avec lestage ou surface circulaire en béton	42
Figure 28: : Panneaux de mousse PUR	42
Figure 29: La répartition du PPD en fonction du PMV (Source Bâtier, 2016)	50
Figure 30: Modèle de Giovanni. Source : https://www.ageden38.org/confort-echanges-thermiques/	51
Figure 31 : La figure présente le modèle physiologique à deux noeuds de Gagge	51
Figure 32: Le schéma de modèle thermique du modèle de Stolwijk et Hardy (source moujalled, 2007)	52
Figure 33: La figure présente un diagramme du confort thermique adaptatif selon la norme ASHRAE 55-2017.	53
Figure 34: Modèle adaptatif proposé par le projet RP-884 face au modèle PMV pour les bâtiments climatisés (source : De Dear, 2002	54
Figure 35: modèle adaptatif proposé par le projet RP-884 face au modèle PMV pour les bâtiments à ventilation naturelle. Source De Dear, 2002	54
Figure 36: Températures opératives correspondantes aux différentes plages de confort définies par la norme NBN EN 15251. Source : https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/	56
Figure 37: Conductivité thermique des matériaux. Source : Saint-Gobain, 2016	56
Figure 38: La résistance thermique d'un mur. Source : Saint-Gobain 2016	57
Figure 39: Isolation par intérieur et par extérieur. Source ; https://www.ma-maison-container.fr/isolation/	57
Figure 40: diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance (Source, https://conseils.xpair.com/actualite_experts/confort-physiologique-confort-global-ressenti.htm)	60
Figure 41: Les paramètres influant sur le confort thermique (Source, Khadraoui, 2019)	60
Figure 42: L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température de l'état. Source : Liébard et De Herde, 2005	61

Figure 43: Plage de l'état thermique	62
Figure 44: Production de chaleur en fonction de l'activité. Source : Guide technique de la diffusion d'air.	62
Figure 45: Valeurs de l'isolement vestimentaire de différents vêtements. Source Khadraoui 2019 ; Bâtier 2016.	63
Figure 46: Taux d'humidité ambiante optimale (source : Jedidi et Bendjedou .2016)	65
Figure 47: Variation de la température du confort en fonction de la vitesse de l'air. Source : Liébard, De Herde, 2005.....	66
Figure 48: Les échanges thermiques entre le corps et son environnement. Source : Bâtier, 2016	66
Figure 49: L'interaction thermique entre l'homme et leur environnement. Source : Moujalled, 2007	67
Figure 50: Les sources de déperdition de chaleur de l'enveloppe d'un bâtiment (source : https://neovivo.fr/vie-groupe-neovivo/deperditions-energetiques-habitat-pourcentage-zone/	69
Figure 51: Echanges conversifs internes et externes. Source : Rahmouni, 2020.....	70
Figure 52: Les ponts thermiques source Liébard, 2005 Figure 33 : Les effets des ponts thermiques source : Liébard, De Herde, 2005	70
Figure 53: Origine et pourcentage des imperfections de l'enveloppe d'un bâtiment.	71
Figure 54: Schéma des facteurs contribuant à la bonne qualité de l'habitat (Source, Facteurs contribuant à un habitat favorable à la santé, 2019)	73
Figure 55: les façades du prototype Source CNERIB 2014.....	85
Figure 56: Représentation des points de la réglementation thermique. Source : http://www.rt-batiment.fr	87
Figure 57: Exigences réglementaires pour la rénovation énergétique des bâtiments source (Issaadi. N, 2016)...	88
Figure 58: Représentation des types d'habitat, Annaba. Source PDAU 2008	91
Figure 59: Dar El Diaf. Source : https://m.facebook.com/people/Dar-El-Diaf-Ghardaia/100064007171844/	93
Figure 60: Représentation de Dar El Alloui., Dar-laouabdia. Source ; https://annaba-patrimoine.org/dar-laouabdia-sellami/	94
Figure 61: immeuble architecture classique. Source : https://annaba-patrimoine.org/hotel-de-ville/	94
Figure 62: Immeubles coloniaux néo-classique. Source : https://annaba-patrimoine.org/hotel-de-ville/	95
Figure 63: Représentation de l'architecture Art Décoratif. Source : https://annaba-patrimoine.org/	95
Figure 64: Immeubles Art décoratif. Source : twitter.com/maelassal/	95
Figure 65: Vue de la nouvelle Ménadia et l'ancienne Ménadia. Source : http://bone-la-menadia.over-blog.com/ ; http://bone-la-menadia.over-blog.com/2	97
Figure 66: Vues des 1 000 logements Ménadia. Source https://mapio.net/pic/p-75160336/	97
Figure 67: Vues d'ensemble du quartier du Beau Séjour Annaba. Source : Annaba source de beauté et richesse de l'histoire.....	99
Figure 68: Habitat colonial pavillonnaire, Cité Beau Séjour, Annaba, 1940. Source : https://ana.fibladi.com/	100
Figure 69: Quartier Beni M'Haffer. Source : Annaba-Patrimoine, 2016.....	101
Figure 70: Carte, Annaba 2022. Source : https://data.bnf.fr/11937631/15377382/annaba__annaba__algerie_/113	113
Figure 71: Vue général sur la ville d'Annaba.	113
Figure 72: Situation géographique de la ville d'Annaba . Source : Auteur , 2023	114
Figure 73: Limites géographiques de la ville d'Annaba. Source : https://www.cci-seybouse.com/index.php/annaba/monographie-annaba	114
Figure 74 température à la ville d'Annaba en 2021	115
Figure 75: Pourcentage de temps passé dans divers niveaux de confort selon l'humidité, catégorisé par le point de rosé.	115
Figure 76: Nombre d'Heure d'ensoleillement	116
Figure 77 la moyenne des vitesses des vents moyens horaires	116
Figure 78: Histogramme des précipitations annuelles, Annaba.....	117
Figure 79: Situation géographique de la commune d'El Bouni à Annaba	118
Figure 80 Situation de site d'étude, source : Auteur, 2023.....	121
Figure 81: Plan de masse du cas d'étude, source: POS d'El Bouni	121
Figure 82: Orientation des bâtiments de la cité 172 logts à Bouzaaroura, source: Auteur, 2023	123
Figure 83: Vue en plan de bâtiment étudié, source: auteur, 2023	126
Figure 84: instrument de mesure (Hygro-thermomètre, source, auteur, 2023	Erreur ! Signet non défini.
Figure 85 : Maisons d'écovillage écoturly à Chili (Source https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Maison_bioconstruite/fr , 2023)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 86: fabrication de béton naturel et les Torchis à partir de terre, de paille et de Bouse de vache.	136

Figure 87: toit d'un gourbis construit avec les roseaux et la Bouse de vache (source auteur,2023).....	137
Figure 88: Tests expérimentaux d'étudiants. Source https://www.amsterdamuas.com/faculty/fdmci/shared-content/news/2021/10/building-houses-from-cow-dung.html	138
Figure 89 : localisation de la collecte de la Bouse de vache à Sebaa, Etaref (source auteur, 2023)	141
Figure 90: collecte de la Bouse de vache dans l'Embrah à Sebaa-Wilaya Etaref (source auteur, 2023).....	141
Figure 91 : les roseaux utilisés pour la fabrication des échantillons (source auteur, 2023).....	142
Figure 92: dimensionnement des éprouvettes testés (source auteur,2023)	142
Figure 93: Malaxage de la Bouse de vache et découpage des additifs (Source auteur, 2023).....	143
Figure 94 : mesurage des différents matériaux utiliser pour la préparation de l'isolant (Source auteur, 2023) .	144
Figure 95 : malaxage des différents additifs avec la Bouse de vache (Source auteur, 2023)	144
Figure 96 : moulage des éprouvettes dans les modèles en aluminium (Source, auteur, 2023).....	144
Figure 97: Image sur l'appareil de CT METRE.....	145
Figure 98: schéma représentatif de l'essai de mesure du coefficient d'eau par immersion partielle.....	146
Figure 99: Présentation de système de fonctionnement du logiciel Design Builder.....	148
Figure 100: étage courant en 3D, source, auteur, 2023.....	149
Figure 101: Zones du bâtiment à simuler, source : auteur, 2023	149
Figure 102: Zones du bâtiment à simuler, source: Auteur, 2023	Erreur ! Signet non défini.
Figure 103: composants de plancher à l'état actuel (Source auteur par Design Builder) Erreur ! Signet non défini.	
Figure 104: composants de plancher à l'état optimisé (Source auteur par Design Builder) Erreur ! Signet non défini.	
Figure 105: : forme de bâtiment, source : auteur, 2023	Erreur ! Signet non défini.
Figure 106: proposition des caractéristiques de l'isolant en bouse de vache amélioré (Source auteur par Design Builder)	152
Figure 107: caractéristiques thermiques de l'isolant en bouse de vache obtenu (Source auteur par Design Builder)	152
Figure 108: composants de mur extérieur à l'état optimisé ((Source auteur par Design Builder	152
Figure 109: composants de mur extérieur à l'état actuel (Source auteur par Design Builder.....	152
Figure 110 : utilisation de système de chauffage - phase préenquête (Source, auteur, 2022)	154
Figure 111 : les maladies constatés chez les répondants -phase préenquête (Source, auteur,2022).....	155
Figure 112 : utilisation de système de chauffage et climatisation - phase préenquête (Source, auteur, 2022)...	155
Figure 113 : Répartition des blocs de l'appartement des enquêtés (source, auteur, 2022) Erreur ! Signet non défini.	
Figure 114 : Répartition de l'étage de l'appartement des enquêtés (source, auteur, 2022)	155
Figure 115 : Répartition de l'ancienneté des enquêtés dans leur logement (Source, auteur,2022).....	156
Figure 116: réponses des enquêtés sur la consommation énergétique (source, auteur, 2022)	156
Figure 117: frais de consommation énergétique payés par les habitants (source, auteur, 2022)	156
Figure 118 : état du confort thermique chez les habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur, 2022)	157
Figure 119: état de confort thermique chez les habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur, 2022)	157
Figure 120 : Niveau du confort thermique en hiver (source, auteur, 2022).....	158
Figure 121 : Pièces froides en hiver des habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur ,2022) ...	158
Figure 122: Niveau de confort thermique en période estivale, source, auteur, 2023	158
Figure 123 : Pièces froides en hiver des habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur ,2022) ...	159
Figure 124 : utilisation de système de chauffage (Source, auteur, 2022)	159
Figure 125 : utilisation de système de refroidissement (Source, auteur, 2022)	159
Figure 126 :répartition des réponses des enquêtés sur la ventilation naturelle (Source, auteur, 2022)....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 127 : : répartition des réponses des enquêtés sur le dysfonctionnement ou la gêne constaté dans votre logement. Source, auteur, 2022)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 128 : évaluation de l'état sanitaire des habitants enquêtés (Source, auteur,2022).....	160
Figure 129: Nombre de maladies constatées des habitants enquêtés (source, auteurs, 2022).....	160
Figure 130 : mesure de discrimination de l'analyse des correspondances multivarié AFCM1 (source auteur, 2023)	161

Figure 131 : Analyse factorielles des correspondances multivarié AFCM1 de V1, V2, V3, V4 et V5 (5source auteur, 2023)	162
Figure 132 : Analyse factorielles des correspondances multivarié AFCM2 de V6, V2, V3, V5 (5source auteur, 2023)	162
Figure 133 : mesure de discrimination de l'analyse des correspondances multivarié AFCM3 (source auteur, 2023)	163
Figure 134 : Analyse factorielles des correspondances multivarié AFCM3 de V2, V7, V8 (5source auteur, 2023)	164
Figure 135 : Graphes de températures ambiantes mesurées la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022 ,appartement A (Source : Auteur, 2022)	165
Figure 136 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022 appartement B (Source : Auteur, 2022)	165
Figure 137 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022 appartement C (Source : Auteur, 2022)	166
Figure 138 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022 appartement D (Source : Auteur, 2022)	167
Figure 139 : comparaison des variations de l'humidité relative de la chambre (a) et le séjour (b) des différents appartements, le 13 janvier 2022, (Source auteur,2022).....	167
Figure 140 comparaison des variations des températures intérieurs des chambres (a) et séjours (b) des différents appartements, le 13 janvier 2022, (Source auteur,2022).....	168
Figure 141 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 5 Aout 2022 appartement A (Source : Auteur, 2022)	169
Figure 142 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 5 Aout 2022 appartement B (Source : Auteur, 2022)	169
Figure 143 Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 6 Aout 2022 appartement C (Source : Auteur, 2022)	170
Figure 144 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 6 Aout 2022 appartement D (Source : Auteur, 2022)	171
Figure 145 : comparaison des variations de l'humidité relative de la chambre (a) et le séjour (b) des différents appartements, le 05 aout 2022, (Source auteur,2022).....	171
Figure 146 : comparaison des variations des températures intérieurs des chambres (a) et séjours (b) des différents appartements, le 5 et 6/aout 2022, (Source auteur,2022).....	172
Figure 147: Détermination du coefficient d'absorption d'eau par immersion du BV3, source : auteur, 2023...178	178
Figure 148: Résultats des essais d'allumabilité et au résistance au feux par surface et tranche, source: auteur, 2023	179
Figure 149 : Graphes de températures opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement A (Source : Auteur, 2022).....	179
Figure 150 : graphe des heures d'inconfort et l'indicateur PMV pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement A (Source : Auteur, 2022)	180
Figure 151 : Graphes de température opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement B (Source : Auteur, 2022).....	180
Figure 152 : graphe des heures d'inconfort et l'indicateur PMV pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement B (Source : Auteur, 2022)	181
Figure 153 : Graphes de températures opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en été, appartement A (Source : Auteur, 2022).....	181
Figure 154 : graphe des heures d'inconfort et l'indicateur PMV pour la chambre (a) et le séjour (b) en été, appartement A (Source : Auteur, 2022)	182
Figure 155 : Graphes de températures opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en été, appartement B (Source : Auteur, 2022).....	182
Figure 156 : graphe des heures d'inconfort et l'indicateur PMV pour la chambre (a) et le séjour (b) en été, appartement B (Source : Auteur, 2022)	183
Figure 157: TO du séjour de l'appartement A en BV3 en hiver - cas de l'isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder).....	184
Figure 158 : TO de la chambre 2 de l'appartement A en BV3 - cas de l' isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder).....	184

Figure 159:les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en hiver - cas de l'isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder).....	185
Figure 160: les heures d'inconfort et le PMV de la chambre 2 de l'appartement A en hiver - cas de l'isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder).....	185
Figure 161: TO du séjour de l'appartement A en BV3 en été – cas de l'isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder).....	186
Figure 162: TO de la chambre 2 de l'appartement A en BV3 en été -cas de l'isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder).....	186
Figure 163: les heures d'inconfort et le PMV de la chambre 2 de l'appartement A en été – cas isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder).....	187
Figure 164:les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en été - cas de l'isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder).....	187
Figure 165: TO du séjour de l'appartement A en BV3 en hiver – cas de l'isolation complet de l'enveloppe (source : auteur par design Builder).....	188
Figure 166: TO de la chambre de l'appartement A en BV3 en hiver – cas de l'isolation complet de l'enveloppe (source : auteur par design Builder).....	188
Figure 167:les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en hiver - cas de l'isolation complet de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder).....	189
Figure 168:les heures d'inconfort et le PMV de la chambre 2 de l'appartement A en hiver- cas de l'isolation complet de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder).....	189
Figure 169:TO de la chambre de l'appartement A en BV3 en été – cas de l'isolation complet de l'enveloppe (source : auteur par design Builder).....	190
Figure 170:TO de séjour de l'appartement A en BV3 en été – cas de l'isolation complet de l'enveloppe (source : auteur par design Builder).....	190
Figure 171:les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en été - cas de l'isolation complet de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder).....	191
Figure 172: Heures d'inconfort et le PMV de la chambre de l'appartement A en été - cas de l'isolation complet de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder).....	191
Figure 173: TO de la chambre 2 et le séjour en hiver - cas :isolation de l'enveloppe complet en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER)	192
Figure 174: heures d'inconforts et PMV de la chambre 2 et le séjour en hiver - cas :isolation de l'enveloppe complet en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER).....	192
Figure 175 :TO de la chambre 2 et le séjour en été - cas :isolation de l'enveloppe complet en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER) /.....	193
Figure 176:heures d'inconforts et PMV de la chambre 2 et le séjour en été - cas :isolation de l'enveloppe complet en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER).....	193

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Analyse comparative du diaphragme des matériaux écologiques.....	54
Tableau 2 Exemples d'épaisseur pour les isolants de toiture	40
Tableau 3: Analyse comparative des matériaux isolants. Source : Energie-plus, 2023	43
Tableau 4: Echelles de caractérisation de l'état thermique.	45
Tableau 5: Echelles de jugements subjectifs des conditions thermiques. Source : AFNOR 2001.....	47
Tableau 6: Illustration de l'échelle de l'ASHRAE et la sensation thermique de chaque valeur (source :Jedidi et Benjeddou.2016).....	49
Tableau 7: Relation entre la température standard effective « SET » et la sensation thermique. Source : Lavoye, Thellier, 2008.	52
Tableau 8: représentation des algorithmes développés dans le cadre du projet SCATs pour les différents pays participants. Source : McCartney, 2002. https://www.hqe.guidenr.fr/cible-8-hqe/confort-thermique-modele-adaptatif.php	55
Tableau 9: Valeur de température opérative selon le degré d'habillement et la nature d'activité	59
Tableau 10: Impact de l'activité sur les valeurs du métabolisme. Source, Jedidi, Benjeddou, 2016....	61
Tableau 11: Description des tenues vestimentaires.....	63
Tableau 12: Isolement thermique vestimentaire, Source Guide de la diffusion de l'air, 2006.	64
Tableau 13: Paramètres influant sur la sensibilité du confort thermique. Source : Mazzari, 2012	64
Tableau 14: Critères fondamentaux pour un habitat sain, extraits et traduits du rapport CDC (2006). 77	
Tableau 15: Identification des guides OMS existants pour chaque critère pouvant affecter la santé des occupants dans leur habitat, OMS (2018)	77
Tableau 16: Dimensions identifiées comme respectueuses à la santé, INSPQ (2014).....	78
Tableau 17: Fixation des valeurs des conditions intérieures de base, source : DTR C3.2/4	83
Tableau 18: Représentation de la maison Tatar (Médina de Annaba).....	92
Tableau 19: Immeuble colonial à plusieurs niveaux	96
Tableau 20: Habitat colonial de type HLM	97
Tableau 21: Habitat pavillonnaire, quartier Beau Séjour	100
Tableau 22: Etat du quartier Beni M'Haffer.	103
Tableau 23: ZHUN d'Oued Forcha : Habitat collectif	105
Tableau 24: Évolution démographique de la commune d'El Bouni, RGPH 2022.....	117
Tableau 25: Vues générales de Cités résidentielles d'El bouni.....	118
Tableau 26: Caractéristiques techniques des murs.....	123
Tableau 27: Caractéristiques techniques des planchers de sol	124
Tableau 28: Caractéristiques techniques des planchers de terrasse.....	124
Tableau 29: Repérage des traces de moisissure sur les murs, plafond, conduite, source : Auteur, 2021.	127
Tableau 30: Les relevés de mesures se faisaient pendant la journée du 13/ 01/2022.....	133
Tableau 31: Les relevés de mesures se faisaient pendant les deux journées : le 05 et 06/08/ 2022	133
Tableau 32: représentation de alpha de Cronbach dans le récapitulatif des modèles de AFCM1 en SPSS (source auteur, 2023).....	161
Tableau 33: représentation de alpha de Cronbach dans le récapitulatif des modèles de AFCM3 en SPSS (source auteur, 2023).....	163
Tableau 34 : représentation de la masse volumique de la BV1 (source auteur ,2023).....	174
Tableau 35 : représentation de la masse volumique de la BV2 (source auteur ,2023).....	174
Tableau 36 : représentation de la masse volumique de la BVpl (source auteur ,2023).....	174
Tableau 37 : représentation de la masse volumique de la BV3 (source auteur ,2023).....	174
Tableau 38 : représentation de la masse volumique de la BV4 (source auteur ,2023).....	175
Tableau 39 : représentation de la masse volumique de la BV5 (source auteur ,2023).....	175
Tableau 40: tableau récapitulatif des différentes caractéristiques thermique des échantillons élaborés (source Auteur, 2023).....	176
Tableau 41: Résultats des mesures des coefficients d'absorption d'eau par immersion partielle (source auteur, 2023).....	177
Tableau 42 : essais orientation de réaction à feu de l'échantillon BV3 (source auteur, 2023).....	178

Tableau 43 : Résultat des essais d'allumabilité (attaque sur le bord)	178
Tableau 44 : Résultat des essais d'allumabilité (attaque sur la surface)	179
Tableau 45 : Les températures moyennes mensuelles de la station météorologique à Annaba entre 2012 et 2021 (Source : - adaptée par l'auteur, 2022).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 46 : Les températures moyennes mensuelles entre 2012 et 2021 (Source : - adaptée par l'auteur, 2022).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 45 : Les températures moyennes mensuelles entre 2012 et 2021 (Source : - adaptée par l'auteur, 2022).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 46 : Le calcul de la semaine type "design week" et la sélection de la journée type de la prise de mesures "design day" du mois le plus froid Janvier (source : adapté par l'auteur,2023)	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 47 : Le calcul de la semaine type "design week" et la sélection de la journée type de la prise de mesures "design day" du mois le plus chaud (aout)	Erreur ! Signet non défini.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

La thématique de la construction des bâtiments durables ne cesse de gagner en ampleur au fil du temps, par le biais de l'emploi des techniques naturelles qui répondent aux normes conventionnelles et plus complexes en termes d'efficacité énergétique, de durabilité et de confort sanitaire, ce qui permet par la suite d'obtenir la possibilité d'avoir un impact plus faible par rapport à la consommation, voire positif sur la santé humaine. Cette idéologie environnementale exige le recours aux différentes approches à base des sources renouvelables ou recyclables, ainsi qu'à utiliser des matériaux constructifs qui visent à optimiser les performances thermiques de l'enveloppe du bâtiment (Cobîrzan et al., 2013 ; Florea Manea, 2019 ; Korjenic et al., 2011).

L'idée de l'isolation, particulièrement de l'isolation naturelle adaptative, est une réponse pertinente aux nombreuses démarches écologiques déployées pour atteindre les objectifs relatifs au développement durable. L'isolation est le critère d'évaluation le plus crucial pour la norme « maison passive », qui représente une référence reconnue et utilisée pour mesurer la performance des habitations, vu qu'elle influe sur d'autres éléments tels que l'absence de ponts thermiques, la consommation d'énergie pour le chauffage des locaux et la prise en compte de l'environnement et de la santé des occupants.

De même, l'idéologie des bâtiments à énergie quasi nulle (NZEB : Nearly Zero Energy Building) à l'échelle mondiale se concentre sur la réduction drastique des pertes de chaleur, où l'Union européenne (UE) a adopté un objectif ambitieux, sous le principe de la consommation d'énergie proche de zéro, au favori de l'efficacité énergétique des bâtiments, dont il exige que tous les nouveaux bâtiments doivent satisfaire aux critères de « NZEB » d'ici à la fin de l'année 2020. Pour atteindre ces aspirations, l'isolation s'avère l'option la plus efficace (Pihelo et al., 2016).

Par ailleurs, le concept « bau biologie » popularisé en Allemagne dans les années 1970-1980, et traduit en France par bioconstruction ou *maison saine*, intègre la dimension d'isolation naturelle comme paramètre bioclimatique, y associé à un ensemble de préoccupations nouvelles en matière d'impact sur la santé et l'environnement.

À titre d'exemple sur des projets phares adaptatifs en matière de la science énergétique, nous citons le projet des logements à la manufacture *La Tulipe* construit à Marseille, France (Gouja, 2023), où le projet a fait l'objet d'une amélioration énergétique, comprenant l'isolation des murs extérieurs et des combles, de nouvelles fenêtres à double vitrage et des systèmes de chauffage efficaces. La laine de bois à court-circuit a été choisie comme matériau d'isolation pour les murs verticaux.

Un autre exemple de la réalisation de ce concept, intégré dans le projet du KAMP C' à Westerlo en Belgique, où la cellulose était le principal matériau isolant bioécologique utilisé pour les façades de *'t Centrum*, avec un coefficient de conductivité thermique compris entre 0,035 et 0,04 W/mK. Une structure circulaire prometteuse, *'t Kamp* est totalement modulaire et entièrement constituée de matériaux recyclés. Elle favorise la durabilité et l'énergie positive (ISOPROC, 2021).

D'autre part, la démarche HQE (Haute Qualité Environnementale) en France a été créée en 1997 sous la forme de quatorze cibles. Elle montre que le confort (acoustique, thermique, etc.) est très restreint et présente un grand problème pour toute construction, particulièrement dans le secteur d'habitat, qui nécessite d'importantes installations techniques afin de réguler les

échanges (thermiques, sonores et aériens) en tentant de rétablir les conditions idéales d'habitabilité, ce qui met l'isolation comme une solution convenable d'application de la démarche HQE.

Ainsi, plusieurs études ont été exécutées dont l'objectif d'améliorer les performances énergétiques des bâtiments existants, adoptant l'approche dite « isolation » tel (Hauglustaine Francy, 2018) qui ont proposé un guide pratique pour les architectes et les techniciens qui s'intéressent à la rénovation thermique et énergétique en Belgique, de même que le document de FFB qui consiste à proposer un diagnostic thermique dans le bâtiment. (FFB, 2004)

De point de vue économique, la majorité des recherches effectuées à ce propos ont prouvé que les propriétés thermiques des matériaux utilisés dans l'isolation ont gagné en importance, car ils ont un impact direct sur les coûts de chauffage qui représentent de 42 à 45 % des coûts opérationnels pendant la durée de vie des bâtiments (Commission européenne, 2016 ; US Energy Information Administration, 2009).

Compte tenu de la hausse des prix de l'énergie (US Energy Information Administration, 2017), un investissement dans l'isolation thermique semble être très rentable ; la période de remboursement étant plus courte que la durée de vie du bâtiment, en fonction du type d'isolation, de la situation géographique ou de la nature d'activité dans ce bâtiment (Abdul Mujeebu et al., 2016 ; Alam et al., 2017 ; Das et al., 2017) et (Rossi et al., 2016). En outre, avec des exigences croissantes en matière de protection thermique des bâtiments, la directive 2010/31/UE de l'Union européenne (UE, 2010) peut être citée comme un exemple typique à cet égard, et l'isolation thermique devient pratiquement une partie intégrante dans toutes les enveloppes de bâtiments nouvellement construites (Kočí et al., 2018).

Ainsi, la demande croissante de nouveaux logements et l'amélioration des logements existants sera considérable au cours des prochaines années, ce qui entraînera une utilisation accrue des ressources non renouvelables et une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (Dixit et al., 2010 ; Holcroft, Shea, 2013 ; Ortiz et al., 2009 ; Ulutaş et al., 2023). Cependant, il y a une pression croissante sur les entreprises d'utiliser des structures et des techniques écologiques pour réduire leur impact environnemental et trouver des moyens alternatifs afin d'améliorer la durabilité mondiale (Ingrao et al., 2015 ; Omer, 2009 ; Pérez-Lombard et al., 2008).

Au-delà d'une certaine limite, l'isolation naturelle adaptative permet également d'accroître le confort, de réduire la consommation d'énergie et favorise la diminution des émissions de polluants. Les techniques utilisées ont pour objet d'assurer et de garantir dans l'habitat une température intérieure constante désirée quelle que soit la température extérieure (Gibilisco, 2006).

On observe dès lors que l'isolation naturelle adaptative est précisément considérée comme un moyen effectif pour atteindre les diverses exigences souhaitées, soit en matière de confort et du bien-être des habitants comprenant leur santé, leurs moyens économiques, la durabilité, l'économie d'énergie, la protection de l'environnement, soit dans d'autres domaines importants comme l'intérêt public (Chikhi, Belhamri, 2016).

D'une certaine manière, les bâtiments servent d'intermédiaires entre les personnes et leur environnement thermique en remplissant une série de fonctions (Mohamad Hata et al.,

2016). L'enveloppe du bâtiment sert à son tour de filtre thermique pour créer un microclimat intérieur qui immunise contre les changements météorologiques venant de l'extérieur.

Les caractéristiques de ce filtre dépendent de la composition de l'enveloppe (Sambou, 2008). L'isolation et l'état thermique d'un bâtiment habité sont étroitement liés, parce qu'une isolation adéquate permet à la fois aux occupants de bénéficier de meilleures conditions thermiques intérieures et d'avoir un espace de vie plus sain.

C'est à cet égard sanitaire que de nombreuses études ont abordé le lien établi entre l'enveloppe des bâtiments résidentiels et la dimension sanitaire se rapportant au bien-être des habitants dans plusieurs régions à travers le monde. Elles ont été menées sur les conséquences de l'exposition aux températures basses et élevées sur la santé. Ces études ont déduit que lorsque les températures descendent en dessous de 18 °C, l'impact potentiel sur la santé augmente en gravité.

La réaction de l'organisme aux basses températures comprend l'épaississement du sang, l'hypertension (Woodhouse et al., 1993), (Saeki et al., 2014). Le stress respiratoire commence à environ 16 °C (Collins, 1993). En outre, l'exposition à des températures élevées provoque des hospitalisations et des décès de nature respiratoire (Anderson et al., 2013) et (Näyhä et al., 2013). De là, on constate que l'état thermique dans les habitations non isolées n'est pas seulement une question de satisfaction et de confort des résidents, mais elle porte aussi sur la protection de la santé.

En plus, ces études soulignent que les températures ambiantes supérieures à 24 °C ou inférieures à 18 °C sont des seuils au-delà desquels des menaces peuvent engendrer la santé humaine (Haruna et al., 2018) et (Roshan et al., 2017). D'autres études ont établi un lien entre la santé mentale et les maladies qui ne sont pas facilement perceptibles à court terme, mais qui peuvent constituer des problèmes majeurs à long terme (par exemple, les maladies cardiovasculaires, les problèmes liés à l'asthme et à l'obésité) et la QEI (Houtman et al., 2008) et (Jaakkola et al., 2013).

Dans le cas de l'Algérie, les bâtiments résidentiels nécessitent en matière de chauffage et de refroidissement une quantité importante d'énergie pour obtenir un état thermique équilibré (Messaoudi et al., 2021). L'un des objectifs du Programme national concernant l'efficacité énergétique (PNEE), portant sur la réalisation « de projets d'isolation thermique des logements et la réhabilitation thermique », cherche à améliorer le niveau de l'isolation de l'enveloppe du bâtiment. Cette opération permet de réduire la déperdition de l'énergie calorifique perdue.

À cet effet, l'isolation des murs des bâtiments à usage d'habitation, qui n'offre pas un équilibre thermique intérieur, en raison d'une absence d'isolation ou d'une isolation insuffisante, peut permettre en premier lieu de fournir un confort thermique souhaitable aux occupants, avec une situation sanitaire maîtrisée, et en deuxième lieu d'éviter le gaspillage d'énergie et de le réduire considérablement.

Face à ce constat, la totalité de ce travail de thèse a une importance remarquable pour savoir comment arriver à appliquer le concept de l'isolation naturelle adaptative au contexte algérien, où nous tenterons à travers cette étude d'évaluer les ambiances thermiques dans les logements du cas d'étude choisi, ainsi que d'indiquer le degré de l'endommagement par l'habitant qui reflète sa satisfaction thermique.

En deuxième lieu, de développer une solution technique pour optimiser les performances thermiques de l'enveloppe des bâtiments habités à la ville d'Annaba, où cette application se focalise sur les principes de l'isolation naturelle adaptative, basée sur l'emploi de matériau isolant biosourcé, qui doit répondre aux attentes aux exigences écologiques, aux référentiels réglementaires et aux conditions de mise en œuvre. Autant de questions nécessitent d'être posées et traitées sur ce sujet, afin de mettre au clair les principes d'application.

PROBLEMATIQUE

Une conception architecturale judicieuse, réalisée par des matériaux de construction performants et sains, suivant une mise en œuvre méticuleuse, constituent des axes d'une isolation thermique naturelle qui représente une discipline exigeante et difficile à appliquer. L'équilibre thermique de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur ne se fera pas sans contrôle de ces fondements.

Après les années 1960, l'Algérie est comme tout autre pays en voie de développement, et qui continue de voir sa population et ses constructions augmenter, en adoptant des modèles de construction étrangers généralisés sur tout le territoire algérien, néanmoins inappropriés au contexte culturel, social et climatique du pays, ce qui a entraîné un déséquilibre socio-économique, démographique et politique, reflété par conséquent sur le logement et sa qualité à partir des années 1980.

Au-delà des années 1990, le secteur public s'est orienté vers la préservation de l'équilibre social, en répondant aux besoins des habitants dans les secteurs de la santé, de l'emploi et du logement, etc. (Boulemaredj, 2023) et (Kamir & Roza, 2017). En accordance à ce constat, plusieurs initiatives ont été abordées dans le cadre d'amélioration de la qualité de logement vis-à-vis de la question du bien-être thermique des habitants.

Une collaboration scientifique entre l'assistance suédoise à travers le LCHS (Centre d'études de Lund), le Département des matériaux de construction à l'université de Lund et le Centre national d'études et de recherches intégrées aux bâtiments (CNERIB) en Algérie entre 1991 et 1993 a permis d'appréhender les conditions d'adoption de technologies de production de matériaux thermiquement isolants, basées sur une ressource végétale, notamment l'essence d'eucalyptus, en mettant l'accent sur la production d'un matériau adapté aux conditions algériennes.

Les essais ont été réalisés en laboratoire, afin de tester l'aptitude et les caractéristiques techniques du matériau, et à l'échelle réelle en réalisant des toitures (Åstrand et al., 1994). Il en résulte que l'utilisation des deux matériaux isolants (béton mousse, panneaux en laine de bois) est efficace en matière d'isolation thermique, car ils peuvent être facilement intégrés dans les méthodes de construction algériennes. Les deux substances peuvent remplacer des substances moins isolantes actuellement utilisées en raison de leur résistance comparativement élevée. Le rapport examine les utilisations potentielles de ces deux matériaux pour l'isolation des toitures.

Or, afin de mettre en œuvre des mesures d'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment par l'application de réglementations thermiques, l'utilisation d'énergies renouvelables et le développement de nouveaux matériaux et systèmes de construction à haut rendement énergétique, le Projet méditerranéen d'efficacité énergétique dans la construction (Projet MED-NEC) a été officiellement lancé les 27 et 28 mars 2006 à Damas.

L'objectif principal de ce prototype est d'économiser autant d'énergie que possible tout en offrant aux utilisateurs le confort nécessaire (Abderrahmane, Zinelabidine, 2017). D'autre part, nombre limité d'études scientifiques ont été menées dans le contexte algérien, et plus spécifiquement dans la ville d'Annaba où notre recherche a été réalisée, sur le thème de l'adaptation de l'isolation naturelle aux bâtiments habités existants, ainsi que sur l'établissement d'une isolation naturelle à base d'un matériau local biosourcé.

Relativement, une partie non négligeable de la population a un état thermique déplorable dans son logement à cause des écarts de température à l'intérieur en raison du manque d'isolation. Malgré l'existence d'une réglementation thermique algérienne depuis 1990, composée de lois, de décrets et d'un document technique et réglementaire (DTR) élaboré par le laboratoire du CNERIB, dont le fondement abordé dans le corps des articles de la réglementation nationale est d'assurer un confort thermique agréable aux habitants face aux variations de température. En outre, l'Algérie manque de matériaux d'isolation thermique accessibles et compatibles avec les modes de construction nationaux (Åstrand et al., 1994).

Dans cette étude, nous sommes intéressés à l'amélioration de la situation thermique et du cadre de vie des habitants de la cité 172 de Bouzaaroura-El Bouni à Annaba, qui a été choisie comme étude de cas. Nous avons également examiné l'impact de l'isolation naturelle à l'aide d'un isolant thermique élaboré, où le développement des deux parties du cadre de ce travail est basé sur deux questions fondamentales suivantes :

- **Comment agir pour avoir une performance efficace de l'isolation naturelle adaptative en tenant compte aux normes et règles directives et qui répond à la réglementation thermique algérienne ?**

L'hypothèse de la première question fondamentale prédit qu'obtenir une performance efficace d'une isolation naturelle adaptative est fait à travers un matériau isolant biosourcé, qui tient compte aux normes et aux règles directives et qui répond à la réglementation thermique algérienne, et que son élaboration est fondée sur des observations, des enquêtes, des mesures et par simulation.

Objectifs de recherche

Aujourd'hui, choisir une isolation naturelle est une décision importante qui reste liée à l'amélioration du cadre de vie des habitants ; parce qu'isoler, c'est créer une barrière au passage au niveau des parois du froid ou du chaud, du bruit et même des radiations soleil... On constate dès lors que l'isolation naturelle adaptative vise donc plusieurs intérêts. C'est relativement par rapport à ces intérêts qu'isoler l'habitation avec des matériaux sains peut :

- Améliorer le confort physiologique été comme hiver, quelles que soient les variations de température.
- Utiliser des matériaux naturels en projetant des solutions qui pourraient améliorer le système isolant local.
- Réaliser des économies d'énergie en réglant les enjeux des faiblesses constructives. Contribuer à limiter les émissions de gaz à effet de serre.

METHODOLOGIE

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre de développer l'isolation naturelle en tant que technique efficace pour maîtriser les impacts environnementaux du bâtiment tout en assurant une qualité des ambiances intérieures satisfaisante. Afin de répondre aux objectifs assignés au préalable, il est nécessaire de dresser un état de l'art de la thématique étudiée.

À cette fin, étudier et développer les connaissances théoriques, scientifiques et techniques nous permettent de trouver un positionnement scientifique et une meilleure compréhension des éléments qui se rapportent à ce sujet de recherche, à savoir les effets de l'isolation naturelle adaptative sur le bâtiment habité et la sensibilité de ses occupants, les types des isolants écologiques et les modes d'isolation en usage qui contribuent à une meilleure qualité de vie saine des habitants.

L'état thermique et sanitaire, a été très étudié et exploité par des chercheurs de tout bord, vu l'intérêt porté à la consommation actuelle dans le secteur de l'habitat, de même ces études élaborées sur le thème sont adosser aux réalités de terrain avec le référentiel se rapportant à notre démarche expérimentale qui nécessite dans un premier temps des techniques d'enquêtes tirées de l'état de l'art diagnostiqué nous aide à comprendre et évaluer le comportement des habitants vis-à-vis de l'isolation naturelle adaptée à leur pratiques habitantes.

Cette investigation est accompagnée d'une étude quantitative (des mesures prises in situ sur des cas réels). Par la suite, elle est suivie par une étude expérimentale en laboratoire. Elle est essentielle pour élaborer un isolant thermique naturel avec des caractéristiques performantes en matière d'isolation thermique. Notre choix s'est porté sur un matériau d'origine animale : la bouse de vache.

Il s'agit également de l'élaboration d'une modélisation à l'aide d'un logiciel informatique « Design Builder ». Cette opération vise à modéliser le bâtiment et le simulé dans leur état existant et, par la suite, avec le matériau isolant naturel élaboré en laboratoire. L'intégration de l'isolant est réalisée afin d'améliorer l'état thermique et de réduire l'énergie, et qui permettra de valider les résultats de l'investigation et de faire ressortir l'impact de l'isolation naturelle sur les ambiances thermiques intérieures.

Le choix de ces différentes méthodes a pour objectif de mieux comprendre les éléments étudiés. Chaque technique présente des points forts et autres faibles. Ce qui explique que chaque méthode (par exemple la simulation numérique) complète le manque et les inconvénients de l'autre (par exemple les mesures in situ). En outre, le travail sur terrain, des mesures et les questionnaires ont permis de prendre des valeurs réelles avec des constats et observations utiles exploités pour arriver à des réponses aux objectifs établis.

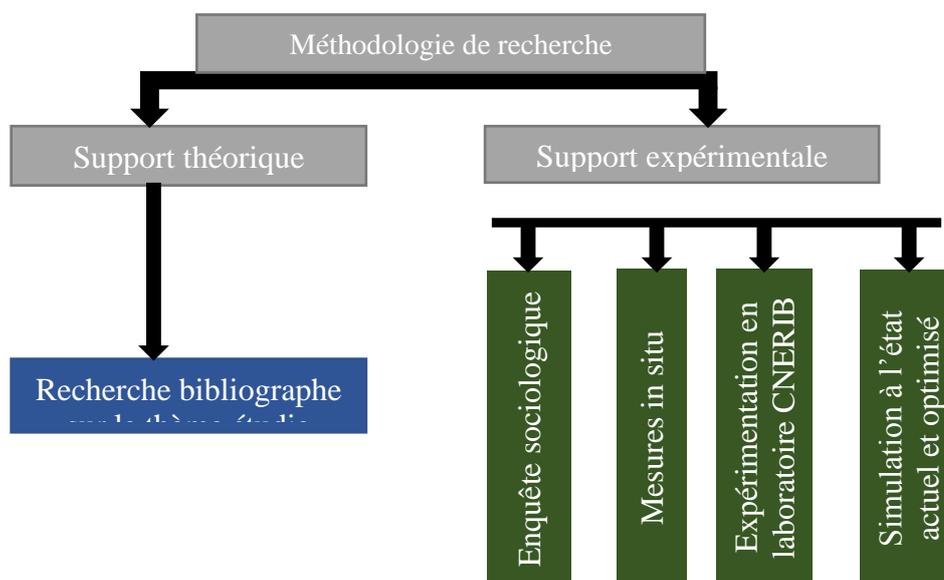


Figure 1 : Schémas récapitulatif de la méthodologie de recherche (source : auteur, 2023)

STRUCTURE DE LA THESE

Notre thèse se compose notamment de deux parties distinctes et complémentaires. Chaque partie est répartie en quatre chapitres constituant le corps du manuscrit, en plus d'un chapitre introductif et de la conclusion générale.

La partie une est théorique-conceptuelle. Elle englobe quatre chapitres consacrés à la compréhension des concepts et des notions relatives au sujet de recherche abordé à travers une analyse bibliographique. Elle cible les différents concepts d'architecture bioclimatique et écologique qui prennent en considération l'isolation comme composante essentielle de conception. Par la suite, un deuxième chapitre consacré au développement de la notion l'état thermique équilibré, les critères de bien-être, son importance dans la santé ainsi que les conséquences de l'insuffisance des ambiances thermiques intérieures dans le secteur de l'habitat.

Le chapitre trois aborde les normes et les réglementations nationales et internationales qui concernent l'isolation thermique. Et un quatrième chapitre se focalise sur l'état de lieu de l'habitat collectif à Annaba.

À partir de cette partie, on entame une approche expérimentale sur l'isolation naturelle des bâtiments résidentiels existants pour l'amélioration du confort sanitaire. Dont les chapitres de cette deuxième partie sont méthodologiques, techniques et analytiques. Ils décrivent le contexte et le corpus de l'étude. Dont le premier chapitre concerne la présentation du cas d'étude et les informations relatives aux données méthodologiques, la situation de la zone étudiée, les composants des bâtiments... Le deuxième chapitre définit le protocole des différentes méthodes appliquées dans notre travail de recherche. Le chapitre trois et quatre est dédié à l'analyse et à l'interprétation des résultats de l'investigation qualitative, quantitative ainsi qu'aux résultats des essais de matériau isolant élaboré et aux résultats de la simulation numérique.

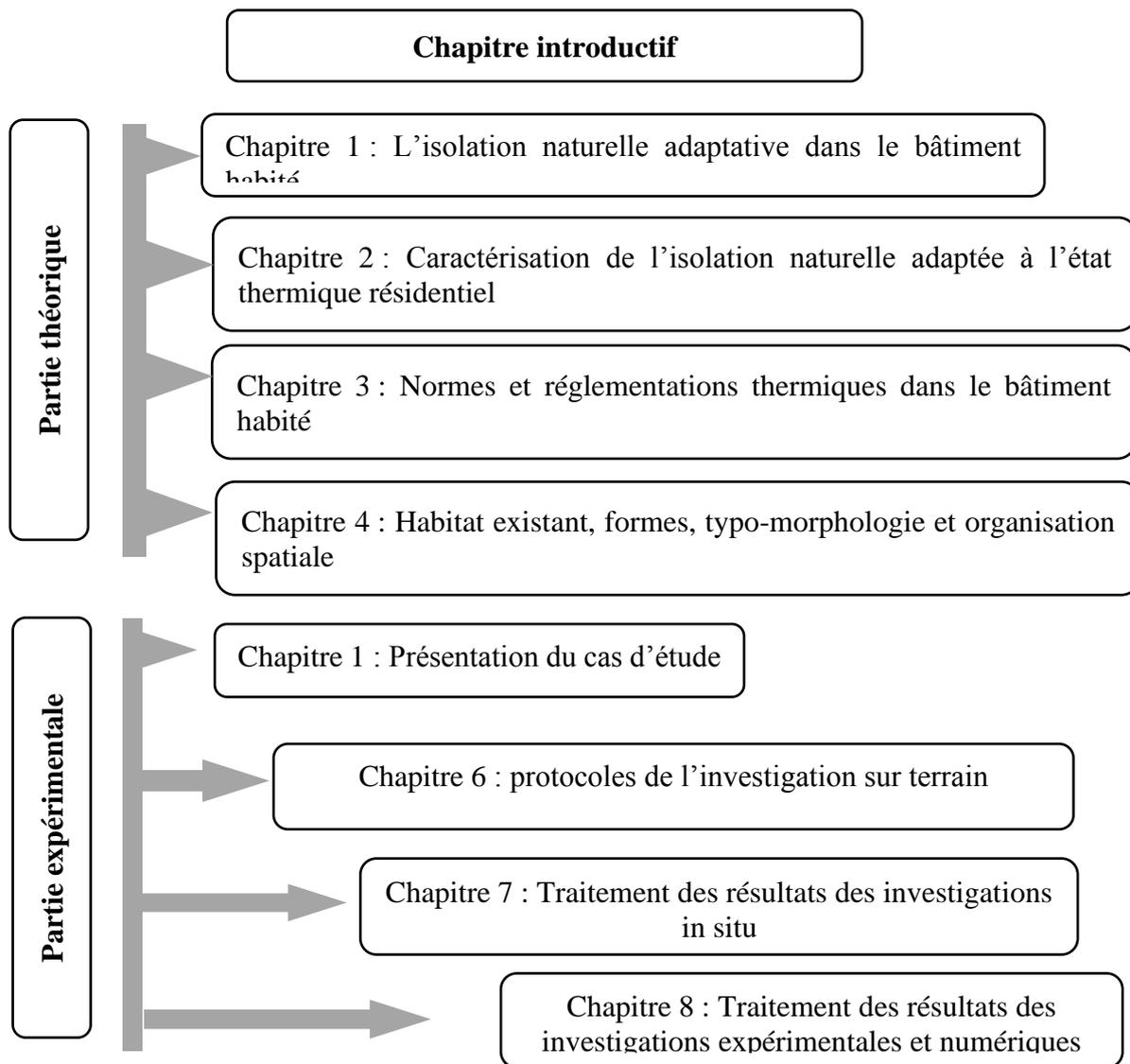


Figure 2 : Schéma récapitulatif de la structure de la thèse. Source : auteur, 2023

**PARTIE 1 : L'ISOLATION NATURELLE ADAPTATIVE ET
FONDEMENTS THEORIQUES *INDISPENSABLES***

CHAPITRE I : L'ISOLATION NATURELLE ADAPTATIVE DANS LE BATIMENT HABITE

Introduction

Dans le domaine de la construction, l'isolation est, par définition, le confort visant à réduire les pertes thermiques et/ou les nuisances sonores dans un bâtiment. La mise en œuvre de l'isolation est souvent réalisée au niveau de la toiture, des murs, des planchers ou des combles, par ce que selon les niveaux de performance recherchés, il est possible de procéder à une isolation adaptative à base de matériaux imputrescible tel que l'usage exclusive d'excréments de vache dits « La bouse de vache ». Ce matériau naturel s'utilise comme un excellent isolant, car entièrement naturels les excréments des vaches grâce à leur très bonne stabilité dimensionnelle assurent l'herméticité de l'isolation naturelle adaptative pour la rendre très résistante à l'humidité et aux amplitudes climatiques.

1. Isolation naturelle

Une isolation écologique revêt comme son nom l'indique des avantages environnementaux. Il s'agit d'une isolation avec une empreinte carbone réduite et produite par l'utilisation d'isolants naturels. On sait également que l'isolation naturelle dans la construction est un principe vieux, du moins comme les premières communautés humaines. Des millénaires de pratique témoignent de sa pertinence, ne serait-ce que par l'abondance des matières premières.

D'ailleurs, l'isolation naturelle d'un bâtiment habité se compose donc de matériaux isolants naturels. Leur fabrication produit peu d'énergie grise et de CO₂. L'approvisionnement en circuit court est par ailleurs possible. En outre, la mise en place des matériaux de l'isolation naturelle n'est pas néfaste dangereuse pour la santé des habitants. De plus, l'isolation naturelle absorbe l'humidité de l'air et évite la condensation des murs. Enfin, l'isolation naturelle possède un déphasage thermique intéressant. Le déphasage correspond au temps nécessaire à la chaleur pour différer les variations de températures au sein de votre logement.

Dans la revue Futura-Science (2009), on peut lire que « De nos jours, en ce qui concerne l'isolation naturelle, s'il existe une différence notable avec les temps anciens, elle est surtout d'ordre technique. L'isolation naturelle doit répondre aux mêmes exigences que les isolants industriels par rapport aux impacts environnementaux et aspects sanitaires... ». D'où réaliser une isolation naturelle, permet d'avoir un impact environnemental positif qui répond donc aux grands enjeux du développement durable, tant au niveau sanitaire que sociétal. Sur ce plan, on constate que l'isolation naturelle ayant fait ses preuves, alliant panneaux isolants hautement efficaces et favorables à l'environnement. Elle apporte aussi des solutions conforme à la physique des bâtiments, adaptée à tout type de bâtis.

1.1. L'isolation naturelle adaptative

L'isolation naturelle adaptée aux bâtiments habités se détermine en fonction de stratégies mises en œuvre afin de s'inscrire « dans les limites de règles de construction précises liées aux contraintes extérieures naturelles ou artificielles ainsi qu'aux exigences des utilisateurs » (Vittone, 2010) et aux profits des apports bénéfiques des ressources climatiques tels que le soleil, la lumière et le vent. Ces phénomènes naturels sont d'une importance excessive pour l'intégration de l'isolation naturelle dans le domaine architectural et constructif.

Ces deux domaines [architectural et constructifs] cherchent plus aujourd'hui à beaucoup mieux isoler les bâtiments. C'est le cas en particulier de Faure (2009) qui montre que

« L'isolation d'une maison permet de limiter les déperditions thermiques au niveau des parois et des ponts thermiques ».

Ces stratégies d'emploi d'une isolation naturelle adaptée peut se faire sous l'angle des exigences contemporaines d'économies d'énergie et de la prise en compte du concept de développement durable, dont les répercussions sont importantes et inévitables dans le domaine de construction. D'où la protection isolative fait ainsi état de l'ensemble des nouvelles normes en la matière.

1.2. Isolation naturelle : première priorité à l'intégrité écologique de la construction

De nombreux programmes de construction écologique et recherches ont vu le jour depuis la dernière décennie. Ces derniers visent à promouvoir la construction de bâtiments plus durables. Puisque la protection isolative du bâtiment habité est devenue une préoccupation majeure au - non seulement en Algérie mais partout dans le monde. Sur ce point de vue Turbin en 2010 définit « L'architecture de la construction écologique comme une démarche globale de la conception architecturale basée sur respect de l'environnement ». De ce fait, l'utilisation l'isolation n'est performante et durable si d'une part, elle est loin de contribuer à protéger le bâtiment des conditions climatiques changeantes et des événements météorologiques catastrophiques.

D'autre part, elle doit permettre d'émettre moins de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, contribuant ainsi à réduire les causes du réchauffement climatique. Dès lors, pour assurer une vie saine des occupants. En cela, on peut dire que l'isolation naturelle est un concept de base pour la conception architecturale qui utilise des principes écologiques et environnementaux qui sont des éléments du développement durable.

De plus, l'amélioration de la qualité de l'environnement intérieur par une bonne isolation naturelle offre un niveau acceptable de l'état thermique ambiant. Pour ce faire, assurer la réalisation de cette isolation naturelle adaptative reste une solution efficace à apprendre et développer à travers l'utilisation des matériaux respectueux pour l'environnement le bâti et l'habitant.

D'ailleurs, pour Wines (2002) « Ce concept a été inventé par un architecte américain. L'objectif est de créer un habitat écologique, sain et bioclimatique, à la fois pour les habitants et les acteurs de la construction ». Pour cela, il existe de nombreux termes pour qualifier l'approche environnementale de la construction d'un habitat écologique.

Cette diversité est représentative de la pluralité des approches qui, si elles ont la même finalité (le respect de l'environnement), ne correspondent pas toutes aux mêmes priorités, puisqu'elles proposent des solutions différentes. Voici quelques définitions pour y voir plus clair dans les différentes appellations, et mieux comprendre le sens de cette démarche comme architecture écologique et durable, système éco-constructif et écohabitat.

1.2.1. L'éco architecture

L'expression architecture écologique ou durable est utilisée pour désigner de manière générale les structures conçues pour réduire l'impact de l'homme sur l'environnement. Le processus de planification et de construction, y compris la sélection des matériaux de construction, la conception et l'installation des systèmes de chauffage, de climatisation, de plomberie, de traitement des déchets et de ventilation, ainsi que l'intégration du bâtiment dans le paysage naturel environnant, font tous partie d'une approche écologique de la construction

moderne » (Arch. Ecolo, 2023). En outre, l'architecture écologique est bénéfique pour l'écosystème. Elle limite l'influence néfaste, nuisible ou polluante des structures sur l'environnement naturel, selon Jacquemet-Boutes et al. (2005). Elle utilise les ressources naturelles sans gaspiller leur potentiel.

L'architecture verte, également connue sous le nom d'architecture durable ou écologique, est proposée comme une approche conceptuelle et constructive qui respecte l'environnement et l'écosystème (Jodidio, 2012). L'utilisation de la conception écologique pour réduire la charge écologique, les émissions de gaz à effet de serre (composés qui appauvrissent la couche d'ozone) et les déchets solides et liquides signifie essentiellement l'utilisation de moins de ressources naturelles. L'impact des systèmes énergétiques obtenus à partir de matériaux sur l'écosystème et le microclimat est l'avantage secondaire de la conception écologique.

En ce qui concerne la construction, il s'agit d'utiliser les ressources de manière efficace afin de laisser l'empreinte écologique la plus faible possible. Les matériaux utilisés dans l'architecture verte sont toujours choisis en fonction de leurs performances et de leur coût, mais aussi de leur longévité et de leur potentiel de recyclage. Ces facteurs sont pris en considération au même titre que la disponibilité des matières premières nécessaires à leur production.

Intégrer à plus grande échelle le cycle de vie complet d'un bâtiment, depuis les effets des matériaux utilisés pour la fabrication jusqu'à leur traitement en fin de vie, ainsi que ses dépenses de fonctionnement en essayant de consommer moins d'énergie. Afin de préserver la santé des occupants et de l'environnement, ainsi que de réduire les coûts de chauffage d'un habitat bien orienté en mettant en œuvre une bonne isolation par l'adoption de matériaux de construction intelligents. On juge ici que deux points sont retenus, l'utilisation de matériaux propres et sains et l'assurance des conditions de bon fonctionnement d'un bâtiment.

1.2.2. Système éco constructif

L'éco-conception est une technique de construction qui vise à créer des biens de consommation ou des matériaux planifiés dès le début du processus de fabrication afin de minimiser leur impact sur l'environnement (énergie, eau, air, etc.) grâce à l'utilisation de divers procédés, comme l'isolation, dans les conditions techniques et financières actuelles. Il s'agit donc d'une stratégie préventive qui prend en compte le cycle de vie complet du produit, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son élimination à la fin de sa vie utile (FFB, 2010).

L'écoconstruction est un bâtiment qui, tout en assurant la sécurité et le bien-être de ses habitants, minimise ses effets négatifs sur l'environnement. Pour ce faire, elle s'efforce de s'intégrer le plus harmonieusement possible dans son environnement et d'utiliser au mieux les ressources naturelles disponibles. (FFB, 2010).

1.2.3. L'écoconstruction

Le terme éco-construction, combinaison des termes écologie et construction, a été utilisé pour la première fois dans les années 1960 pour décrire des structures dont les exigences et les effets sur le milieu environnant et l'environnement sont minimales. Utilisant les ressources naturelles et locales (matériaux, commerce, mais aussi soleil, eau, sol, etc.), ces structures s'intègrent dans leur environnement de la manière la plus sensible possible. Elles utilisent des ressources comme la pierre, la terre, le bois, la paille, le chanvre, etc. qui sont abondantes, facilement accessibles, renouvelables et non polluantes.

L'éco-construction puise ses idées de bon sens, de durabilité et d'économie de moyens dans la construction vernaculaire. L'utilisation des énergies renouvelables dans son

architecture, telles que les pompes à chaleur géothermiques, l'électricité solaire, l'éolien et la géothermie, l'a renforcée.

1.2.4. Eco-Habitat

Par rapport aux structures traditionnelles, l'éco-habitat se distingue par la prise en compte de facteurs environnementaux qui ont des effets écologiques directs et indirects, tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les facteurs sociaux, tels que l'air pur et l'isolation naturelle efficace, peuvent être directement liés à l'écosystème lui-même. Par conséquent, « la construction d'un éco-habitat suit un processus de réalisation unique » (Lucuik, 2005).

1.2.5. Bâtiment basse consommation

L'objectif principal du concept de bâtiment basse consommation (BBC) est de mettre l'accent sur l'efficacité thermique et l'économie d'énergie. Pour certains professionnels et chercheurs scientifiques, l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment est le meilleur point de départ pour réduire les déperditions de chaleur.

Avec des modifications en fonction de la zone climatique et de l'altitude, la référence BBC, sous la forme du macaron "BBC-Effinergie", assure une consommation d'énergie primaire de 50 kWh/m²/an. Un test d'étanchéité à l'air est également prévu et le résultat doit être inférieur à 0,6 m³ par heure et par mètre carré. D'après l'association Effinergie¹, ces objectifs peuvent être atteints sans difficulté et à des coûts raisonnables avec des techniques et des matériaux actuels éprouvés.

1.2.6. Le Passiv Haus

C'est en Allemagne qu'est née l'idée de la Passiv Haus. Il s'agit d'une idée internationale visant à créer des structures qui consomment incroyablement peu d'énergie. L'idée derrière ce concept est de construire des maisons dépourvues de chauffage traditionnel. Il s'agit de l'habitat passif en français. Ou encore, une maison qui se chauffe elle-même sans utiliser de composants à forte consommation d'énergie.

La Darmstadt Passiv Haus s'est fixé des objectifs de performance : une étanchéité à l'air exceptionnelle, une consommation d'énergie primaire inférieure à 120 kWh/m²/an et un chauffage de 15 kWh/m²/an. Ces résultats sont obtenus grâce à une isolation renforcée et à des systèmes de chauffage passif. Mais la norme Passiv Haus et le label suisse Minergie-P (sensiblement équivalent) insistent tous deux sur la sur-isolation. Ce label allemand est délivré en France par l'association « La Maison passive France »

¹ Cf. Effinergie ou Collectif Effinergie est une association française créée en 2006, qui a pour objectif de promouvoir les constructions et rénovations de bâtiments à basse consommation d'énergie.

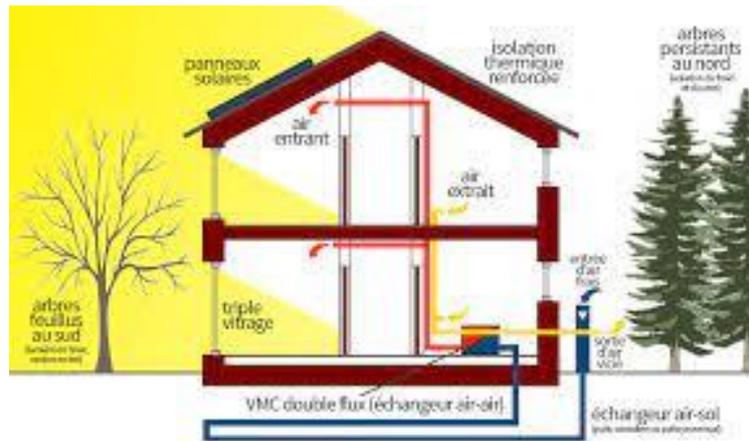


Figure 3: Modèle d'habitat passif. Source : <https://www.architecte-batiments.fr/>, 2023

La limite de ce modèle de construction réside dans le coût élevé des grandes épaisseurs d'isolants, des vitrages très performants et des équipements techniques. Il est en outre nécessaire de prévoir un appoint en chauffage pour pallier un manque d'ensoleillement de plusieurs jours.

1.2.7. Habitat à énergie positive

Grâce aux machines productrices d'électricité (panneaux solaires, éoliennes, etc.), la construction d'une maison a l'avantage de créer plus d'énergie qu'elle n'en consomme. La règle habituelle est d'éviter les problèmes de stockage et de n'utiliser le réseau pour acheter de l'électricité qu'en cas de besoin.

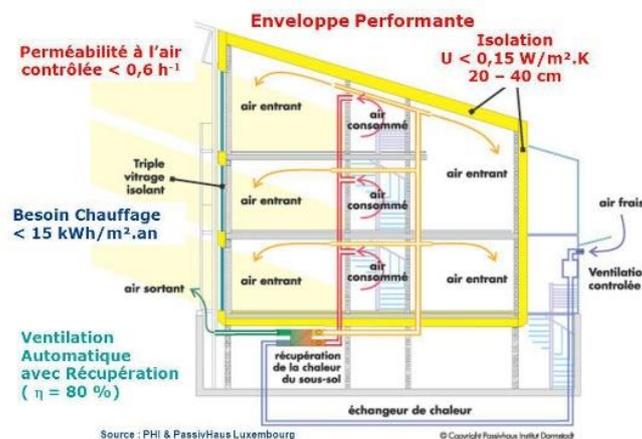


Figure 4: Habitat à énergie positive, Source : <https://slideplayer.fr/slide/185959/>, 2023

1.2.8. Habitat zéro-énergie

L'idée de l'habitat autosuffisant est de produire sur place la totalité de l'énergie nécessaire à l'éclairage et au chauffage, sans dépendre d'un tiers. Le système est responsable de son approvisionnement en eau (récupération des eaux de pluie, des cours d'eau, etc.) et de son traitement par lagunage (l'eau est filtrée par les racines des plantes). L'utilisation d'équipements à faible consommation d'énergie et la réduction de la consommation d'énergie vont de pair avec cette stratégie. Il s'agit d'une rupture par rapport à la conduite habituelle.

1.2.9. Bâtiment habité autonome

Chacun a la possibilité d'utiliser le curseur pour personnaliser son niveau de confort et d'autonomie en fonction de ses besoins. L'objectif le plus facile à atteindre en matière de chauffage est de choisir une maison à faible tirage, aussi petite et bien isolée que possible. En

effet, nous chauffons pour compenser les pertes. De plus, grâce à la conception bioclimatique, il est très simple de capter un maximum d'énergie solaire (Oliva et Courgey, 2006).

1.2.10. Bâtiment habité sain

Les trois théories des maisons à basse énergie, passives ou à énergie positive ne peuvent résumer l'idée d'une maison saine. Ces méthodes de l'éco-construction peuvent utiliser peu ou pas d'énergie, mais elles ne sont pas toujours bonnes sur le plan écologique. Il est possible que les matériaux utilisés pour réduire la consommation d'énergie aient nécessité beaucoup d'énergie sale pour leur fabrication.

L'utilisation de matériaux choisis pour leur faible impact, supposé ou vérifié, sur l'environnement et ses occupants définit des structures de vie saines. En revanche, une maison saine peut nécessiter beaucoup d'énergie, et les partisans d'un mode de vie sain peuvent considérer qu'une maison passive ou à énergie positive n'est pas saine.

L'éco-construction ou l'habitat écologique est devenu un problème important dans les pays développés, car il permet de réduire la dépendance énergétique des bâtiments tout en contribuant à limiter le réchauffement de la planète. Pour Boukli et al. (2012), Le journal *L'habitat écologique* atteste que « De la norme haute qualité environnementale à la recherche de constructions dites à énergie positive, le monde du bâtiment occupe une place centrale dans la promotion d'un habitat plus soucieux des problématiques environnementales ».

L'habitat à basse consommation, l'habitat à consommation nulle parfois appelé habitat passif et l'habitat à consommation positive sont les trois types d'habitat écologique. L'habitat à énergie positive vise à minimiser la consommation d'énergie dans les bâtiments, ce qui permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de limiter les déperditions de chaleur, notamment lorsque l'isolation n'est pas systématique, et d'éviter les fuites.

1.3. Avantage adaptatif d'un habitat écologique

Afin de cesser de surexploiter les réserves de gaz, de pétrole et de charbon, il est désormais important de limiter la consommation d'énergie dans les bâtiments, en particulier pour le chauffage. Pour ce faire, les priorités suivantes ne doivent pas être négligées. Il s'agit de construire une structure qui maximise les apports solaires passifs. La conception de l'habitation écologique risque de se transformer en « machine à habiter » (Le Corbusier, 1925) si l'on saute cette étape. L'habitat écologique peut également être considéré comme un projet qui favorise la durabilité sociale, écologique et économique. Selon ce point de vue, un système de construction durable repose sur huit (08) piliers pour maximiser sa rentabilité. (Habitat-naturel, 2023).

Pilier1 : Un habitat respectueux de l'environnement

L'essentiel est de choisir un endroit qui corresponde le mieux possible à vos besoins en matière de déplacements. Envisagez d'acheter un appartement ou une maison un peu plus petite(e) et moins cher(e) afin de pouvoir acheter un bien mieux situé pour vos déplacements, votre travail, vos courses, vos activités sportives, etc. pour un prix au mètre carré légèrement plus élevé. Choisissez des matériaux d'origine locale, renouvelables, économes en énergie, durables et recyclables, dans la mesure du possible, pour des performances similaires. Évitez d'être trop obsédé par la propreté ; réduisez plutôt l'utilisation d'outils et de comportements à forte consommation d'énergie et de pollution.

Par conséquent, l'utilisation de méthodes et de matériaux respectueux de l'environnement contribuera à réduire l'impact des bâtiments sur l'environnement. L'éco-habitat, qui va au-delà du chantier, s'efforce de réduire cet impact environnemental à chaque étape de la vie du bâtiment, jusqu'à son recyclage (ou sa dégradation) en fin de vie.

Pilier 2 : Un habitat sain conciliant performance et respect

Cette approche proactive est motivée par le désir de trouver l'équilibre idéal entre la fiabilité, la robustesse, l'efficacité énergétique, la sensibilité aux préoccupations environnementales, la santé humaine et le bien-être général. Il en résulte une structure que l'on peut qualifier d'intelligente car les performances et leur mise en œuvre sont choisies avec soin. Au sens propre, elle respecte également la nature.

C'est pourquoi la phase de conception de ces structures, qu'il s'agisse de logements collectifs ou de maisons individuelles, est cruciale, car elle permet de déterminer l'environnement immédiat afin de s'intégrer sans nuire au paysage. Pour « tirer le meilleur parti de l'énergie gratuite de la nature et de ses avantages en termes de refroidissement, il est également important de choisir la position, l'orientation et la forme les mieux adaptées au terrain » (Build-Green, 2023).

Pilier 3 : Diminuer l'impact environnemental

En choisissant des techniques et des matériaux respectueux de l'environnement, l'éco-construction vise à réduire l'impact des bâtiments sur l'environnement. Au-delà du chantier, l'éco-construction s'efforce de minimiser cet effet environnemental à chaque étape de la vie d'un bâtiment, jusqu'à son recyclage (ou sa détérioration) à la fin de sa vie utile.

Pilier 4 : Concilier performance et respect

Cette stratégie positive est fondée sur l'exigence de trouver l'équilibre idéal entre la robustesse, la durabilité, l'efficacité énergétique (pendant la construction et l'utilisation), le respect de l'environnement et de la santé humaine, et le bien-être au quotidien. Par conséquent, non seulement les techniques de construction utilisées, mais aussi les matériaux, leurs performances et la manière dont ils sont utilisés sont soigneusement choisis pour produire une structure intelligente.

Pilier 5 : Économiser l'énergie

Le principal enjeu de l'habitat écologique est l'économie. Avec des habitations répondant à des critères thermiques stricts, c'est un enjeu qui se manifeste en amont et en aval. Cette exigence est satisfaite par l'ensemble du processus de construction et par tous les éléments qui le composent.

Pilier 6 : Opter pour des matières peu polluantes

Il ne fait aucun doute que les matériaux respectueux de l'environnement qui contiennent le moins d'énergie intrinsèque doivent être utilisés dans la construction écologique. Par conséquent, la priorité est donnée aux matériaux qui nécessitent moins de transformation, qui utilisent des ressources brutes renouvelables et qui nécessitent peu de transport.

Ces produits doivent également contenir des substances totalement sûres pour la santé humaine. De nombreux matériaux de construction ont une composition peu performante, qu'ils soient composés de contaminants naturels ou artificiels.

Pilier 7 : Protéger la nature

En outre, l'écohabitat respecte la nature dans sa forme la plus pure. La phase de conception de l'habitat écologique est cruciale puisqu'il s'agit d'appréhender l'environnement immédiat afin de s'intégrer sans influencer le paysage, qu'il s'agisse de maisons individuelles ou de logements collectifs. Pour maximiser les avantages de l'énergie gratuite et du refroidissement de la nature, il s'agit également de déterminer la position, l'orientation et la forme les mieux adaptées au terrain.

Pilier 8 : Améliorer l'état thermique

La conception des structures en suivant le concept d'inertie, peut résoudre l'énigme d'être bien au chaud en hiver et confortablement au frais en été. Cet effet est dû à la capacité d'un matériau à retenir la chaleur et à la renvoyer par la suite. Le décalage de phase est l'intervalle au cours duquel cette chaleur est émise. Avec les matériaux appropriés, qui absorbent la chaleur avant même qu'elle ne réchauffe un espace, ce décalage peut durer jusqu'à 12 heures. En conséquence, la pièce reste fraîche pendant la journée en été et les calories emmagasinées peuvent être libérées par les murs pendant la nuit grâce à une ventilation adéquate. En hiver, la chaleur est distribuée en douceur pendant la nuit pour un climat toujours confortable.

En ce sens, il s'agit avant toute chose d'assurer la respiration durablement de l'habitat écologique. Les bâtiments ne sont plus des boîtes étanches dont les murs restent exposés aux flux d'humidité (qui s'accumulent à l'intérieur en raison de l'activité humaine), ce qui est une autre caractéristique unique de l'écoconstruction. L'écoconstruction permet aux flux de circuler à travers les matériaux et constitue un retour aux pratiques ancestrales.

Ces composants ont été choisis avec soin et ce paragraphe n'a aucun effet négatif. Surtout, l'humidité ne s'accumule pas à l'intérieur de la structure. La condensation et les moisissures se développeraient alors, mettant en danger non seulement la santé humaine, mais aussi la structure du bâtiment.

2. L'isolation naturelle thermique

Cependant, si l'isolation thermique est faite pour empêcher la chaleur de se déplacer entre un environnement froid et un environnement chaud (Marcheteau, 2021). Il s'agit également d'une étape importante dans le développement de structures plus respectueuses de l'environnement et durables. Il s'agit d'une étape importante dans le développement de structures plus respectueuses de l'environnement et durables, qui s'adaptent ainsi au changement climatique. Cependant, qu'est-ce que l'isolation thermique et comment sa conceptualisation a-t-elle évolué au fil du temps ?

2.1. Genèse de l'isolation thermique

Ce résumé succinct montre la diversité des sujets qui ont étudié les origines de l'isolation thermique naturelle et son adaptabilité au sein du système de construction. En réalité, il apparaît que l'objectif premier de l'élucidation de ses caractéristiques à travers les fondements scientifiques des composantes d'une conception critiquée notamment par les philosophes arabes depuis le Moyen-Âge comme Al-Kindi (800-879). Dans ses théories scientifiques, Al-Kindi à l'onzième siècle parlait des rapports de sauvegarde d'un environnement sain et lequel le bien-être spirituel de l'homme est assuré.

L'isolation thermique, d'après Hegger (2011) est donc marquée par des caractéristiques, des proportions, une matérialité et des significations culturelles. Le passage de l'isolation naturelle à l'isolation artificielle est un changement essentiel dans les méthodes d'architecture

et de construction. Il s'agit du passage d'une isolation dense réalisée à l'ancienne à une isolation plus légère créée dans le sillage de la révolution industrielle. Or, la révolution industrielle a entraîné une hausse importante et déraisonnable des coûts de l'énergie.

C'est qu'en XIX^{ème} siècle que la notion d'enveloppe a été introduite et développée dans la théorie architecturale (Bermstein et al., 1982). L'isolation peut réduire efficacement les pertes de chaleur en hiver et améliorer le confort thermique lorsque l'enveloppe thermique n'est pas adaptée aux conditions de l'environnement thermique (Bekkouche et al 2009).

De même, pour Bermstein (1997), L'extérieur et l'intérieur d'une structure sont séparés par une forme de peau. L'enveloppe est reliée à son environnement et exprime l'apparence d'une structure. Elle organise et filtre le son, la couleur, la lumière, les perspectives, l'ensoleillement et l'ombre, ainsi que la chaleur et le froid. Selon l'architecte, l'extérieur sert d'interface entre le bâtiment et la ville (Guignard, 2010). Pour les occupants, les parois de l'enveloppe qui les entourent sont des éléments de confort thermique et visuel et un facteur de l'esthétique de leur bâtiment.

Cependant, la fonction de l'enveloppe du bâtiment est de protéger l'intimité des résidents en maintenant une atmosphère intérieure saine et agréable tout en minimisant la consommation d'énergie. Une enveloppe de bâtiment correctement construite réduit également le besoin de systèmes de chauffage et de refroidissement importants, assurant ainsi un confort tout au long de l'année.

Selon les Alexandroff (1982) « L'enveloppe des habitations vernaculaires se distinguait par une masse thermique élevée. De minuscules ouvertures dans la moitié supérieure du mur permettaient à l'air chaud et vicié de s'échapper de ces lourdes enveloppes, qui présentaient une inertie thermique considérable ». Ils ajoutent que « Les matériaux de construction utilisés durant cette période sont généralement, la pierre associée à l'argile armée de roseaux ou de bois pour l'architecture méditerranéenne par exemple ».

Les techniques de construction vernaculaires n'ont cessé qu'au XVIII^{ème} siècle et, avec l'augmentation du nombre de fenêtres, l'enveloppe du bâtiment est devenue de plus en plus mince. Le transfert de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur s'en trouve amélioré (Alexandroff, 1982).

L'arrivée de l'âge industriel était marquée par l'extraction d'une nouvelle source d'énergie considérée comme inépuisable qui est le charbon. L'enveloppe devient plus légère par les verrières métalliques en XIX^{ème} siècle pour répondre au problème d'éclairage. Le soleil n'est plus considéré comme une source énergétique mais exprimé sous l'angle Lumineux. Cette légère construction a posé le problème de la qualité thermique par des surchauffes en été et des dépenses exorbitante pour le chauffage en hiver.

Dans son livre *Architecture et climat*, Alexandroff a présenté Wright et le Corbusier comme des maîtres du mouvement moderne au XX^{ème} siècle. Le Corbusier a utilisé le béton armé comme un matériau à forte masse thermique mais son enveloppe était loin d'être climatique à causes des fortes déperditions liées à la grande surface des ouvertures. Pour Wright, l'utilisation de la grande masse thermique en pierre ou en brique pleine dans ses projets n'a pas résolu le problème de la consommation excessive d'énergie suite aux grandes surfaces des baies en simple vitrage qui provoquent des pertes thermiques énormes.

Suite au choc pétrolier, l'Europe était très influencée par l'augmentation excessive des prix des énergies fossiles par un secteur résidentiel et tertiaire très énergivore. Cela a nécessité l'application des nouvelles réglementations pour l'utilisation des matériaux d'isolation thermique et l'apparition des nouvelles notions d'habitat passif, bioclimatique, écologique...etc. L'objectif de tous cela est l'amélioration thermique de l'enveloppe de la construction.

2.2. Processus de mise en œuvre de l'isolation naturelle thermique

L'une des principales étapes des meilleures techniques de résolution pour établir un microclimat acceptable sans gaspiller les ressources énergétiques vitales est le processus d'adoption d'une isolation naturelle adaptée aux conditions thermiques du foyer. Les étapes de cette phase comprennent la gestion des températures intérieures, le contrôle des niveaux d'humidité, la gestion des gains solaires d'hiver et d'été, la mesure des dispersions, l'analyse des caractéristiques géométriques, physiques et structurelles de l'enveloppe extérieure du bâtiment, et la gestion des températures intérieures et des niveaux d'humidité.

Pour obtenir une isolation thermique efficace, il faut trouver et choisir les meilleurs matériaux de confinement de l'air naturel. Il s'agit de leur faible conductivité thermique et de leur capacité réduite à transmettre la chaleur tout en augmentant leurs qualités isolantes. Seuls les matériaux très poreux sont capables d'enfermer et de contenir l'air.

En effet d'après Marcheteau (2021) « L'isolation est une méthode utilisée pour empêcher la chaleur de s'échapper d'une structure, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie » (ClimaMaison, 2022). Il existe deux types d'isolation, l'isolation thermique et l'isolation acoustique. Un matériau isolant est souvent placé dans l'espace ou sur la surface à isoler afin de fournir une isolation thermique ou acoustique. Les panneaux, les plaques ou la mousse peuvent tous être utilisés comme isolants. L'isolation thermique est l'élément pratique qui limite les mouvements de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment. Elle a pour but de garder l'intérieur frais en été et chaud en hiver. L'isolation d'un logement contribue à réduire la consommation d'énergie. En effet, 16 % des déperditions de chaleur dans un logement sont dues aux murs et 30 % à une toiture mal isolée »(L'isolation, 2022).

Gallauziaux et Fedullo, en 2011, ont démontré que « Les bâtiments peuvent être rendus plus efficaces sur le plan énergétique grâce à l'isolation, qui est un outil essentiel ». En effet, ils démontrent que le chauffage et la climatisation représentent 70 % de l'énergie utilisée dans les bâtiments. L'isolation thermique permet donc de créer une grande inertie thermique.

L'isolation thermique naturelle ou artificielle concerne les murs extérieurs, les sols, les toits et les murs intérieurs. En d'autres termes, elle est « en contact direct avec les espaces tampons non chauffés dans l'ensemble de l'extérieur du bâtiment » (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Dans un logement, l'isolation thermique remplit trois fonctions essentielles, dont la première fonction est d'améliorer le confort thermique tout au long de l'année. La deuxième fonction est de réduire la quantité d'énergie utilisée pour le chauffage et/ou la climatisation. La troisième fonction est de rendre la maison plus écologique en réduisant la pollution due à l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (Gacem, M. 2012).

Lorsque les besoins de confort thermique d'une structure ne sont pas satisfaits tout en réduisant l'utilisation des combustibles fossiles. L'application d'une isolation thermique à ce moment-là permet d'arrêter les pertes de chaleur en hiver et de protéger l'intérieur du bâtiment

du rayonnement solaire intense en été. La structure d'un bâtiment, ainsi que chaque élément de l'enveloppe extérieure, doivent être planifiés et construits de manière à présenter une résistance thermique, une inertie thermique et une résistance à l'acquisition et à la perte de chaleur suffisantes (Dumitriu, 1986).

L'enveloppe du bâtiment est l'élément qui protège l'espace intérieur des effets négatifs de l'environnement extérieur dans une conception bioclimatique. Elle contribue à la régulation de l'environnement intérieur et à l'optimisation de l'utilisation de l'énergie par sa forme, son épaisseur, sa nature et sa couleur. Les matériaux isolants se présentent sous forme de rouleaux, de panneaux, de feuilles, de flacons, de granulés, de matériaux de construction ou de panneaux de revêtement en plaques de plâtre sur lesquels l'isolant est collé, selon le type d'isolant (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

2.3. Principe de l'isolation thermique

Une barrière constituée d'une substance isolante est utilisée pour bloquer le flux de chaleur entre deux corps de températures différentes qui émettent et absorbent de l'énergie l'un de l'autre, le corps le plus chaud émettant plus d'énergie que le corps le plus froid (Lassalle, 2019). L'absence de ponts thermiques, c'est-à-dire d'endroits où la chaleur peut s'échanger, définit ainsi une isolation thermique performante. Pour isoler une enveloppe, trois manières d'isolation sont disponibles. Il s'agit de l'isolation intérieure, l'isolation extérieure et celle répartie.

2.3.1. L'isolation par extérieur

L'isolation thermique extérieure (ITE), consiste à appliquer un « manteau thermique »² sur la structure extérieure. Ainsi les ponts thermiques sont éliminés, l'isolation ainsi créée permet une meilleure performance énergétique.

En supprimant tous les ponts thermiques, en renforçant l'impact de l'inertie thermique et en protégeant la maçonnerie des changements de temps et de température, elle est plus performante que le premier type d'isolation. Une autre caractéristique de l'isolation extérieure est sa capacité à maintenir les surfaces intérieures et à empêcher la chaleur et le froid de pénétrer dans les murs intérieurs.

² Cf. Le mur manteau thermique est un système d'isolation pour les murs externes d'un édifice en mesure de maintenir les températures des murs périmétriques à des valeurs douces et, par conséquent, d'optimiser les performances énergétiques et thermiques de l'enveloppe pendant toutes les saisons. Le mur manteau produit une masse thermique active qui influence de manière positive la réponse de l'édifice, en réduisant sensiblement la conductibilité thermique (dispersion de chaleur).

L'isolation extérieure permet de conserver de l'espace dans les murs et les toits. Elle est particulièrement utile pour les travaux de rénovation. En revanche, elle nécessite souvent une plus grande expertise technique. Mais son inconvénient majeur reste son coût élevé et le besoin d'une personne professionnelle pour l'application.

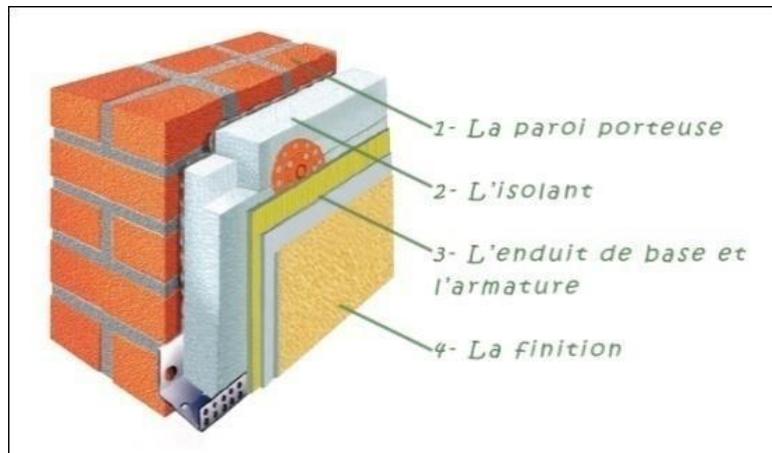


Figure 5: L'isolation par l'extérieur source : <http://www.iso-exterieure.fr/>

2.3.2. L'isolation par intérieur

L'isolation thermique intérieure (ITI), consiste à plaquer un isolant thermique à l'intérieur du bâtiment, contre les éléments de structure. L'avantage est la facilité de mise en œuvre à l'intérieur du bâtiment. L'inconvénient est la création de ponts thermiques au droit des planchers et murs de refends.

En raison de ses divers avantages, ce type d'isolation est fréquemment utilisé. L'un de ses avantages est la simplicité de l'installation, qui ne nécessite pas l'intervention d'un expert et qui est moins coûteuse que l'application d'autres formes d'isolation. Cependant, ses inconvénients sont plus importants : il réduit l'espace habitable, supprime les avantages de l'inertie thermique, provoque de la condensation sur les murs et ne supprime pas les ponts thermiques.



Figure 6: L'isolation par l'extérieur source : <http://www.iso-exterieure.fr/>

2.3.3. L'isolation répartie

L'isolation thermique répartie (ITR), Ce type d'isolation thermique est rendu possible par l'utilisation de matériaux ayant une structure isolante. Par exemple, l'utilisation de briques Monomur ou d'agglos du type Siporex. L'utilisation de l'isolation comme matériau de construction le définit. Sa fonction première est d'assurer à la fois la stabilité du bâtiment, le remplissage et l'isolation (Gallauziaux, et Fedullo, Op, Cit. 2010).



Figure 7: L'isolation répartie source : <http://isolation.maison-materiaux.com/>

2.4. Méthodes de l'isolation thermique

Un isolant fixé à la façade et recouvert d'une ou deux couches d'enduit peut assurer l'isolation par l'intérieur ou par l'extérieur. L'isolation peut également être recouverte de panneaux et intégrée au bardage (placée dans une ossature bois). Il existe également la technique Vêture, qui consiste à comprimer l'isolation entre les panneaux et à coller les parements aux murs de la façade.

2.4.1. Isolation par les parois et murs

Les différents murs intérieurs de l'habitation peuvent isoler de plusieurs façons selon les besoins et les conditions. L'isolation peut être par des panneaux isolants, l'isolation maçonnerie ou en vrac.

Panneaux isolants

Pour créer une lame d'air, les panneaux d'isolation des murs intérieurs sont soit fixés sur des tasseaux en bois, soit directement fixés au mur. L'utilisation d'un seul produit pour l'isolation et le revêtement intérieur est un avantage du système d'isolation en panneaux.

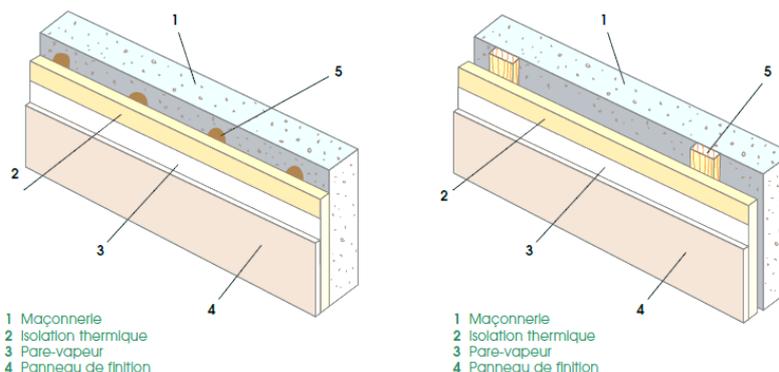


Figure 8: isolation intérieure par des panneaux isolants (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Les propriétés hygrothermiques du mur final peuvent varier considérablement en fonction des matériaux utilisés.

L'isolation maçonnée

L'utilisation de complexes isolants composés de liants et de fibres végétales est à la base de l'isolation de la maçonnerie. Cette combinaison est ensuite projetée manuellement ou automatiquement. Elle peut également être utilisée dans les coffrages pour les murs plus épais. Cette méthode permet de gérer efficacement l'hygrométrie tout en offrant une bonne isolation et une bonne inertie thermique. Parmi les exemples d'isolation en maçonnerie, on peut citer les complexes terre-paille, terre-chaux et terre-copeaux de bois... etc.

L'isolation en vrac

L'isolant en vrac au niveau des murs est maintenu par un panneau de parement. Cette isolation peut être réalisée de deux manières :

- par insufflation au niveau du panneau de parement. Suivant la caractéristique du panneau (compressible ou non), la densité de l'isolant en vrac devra être plus ou moins importante pour éviter tout tassement de l'isolant par la suite.

- par la projection humide de l'isolant. L'isolant est humidifié au préalable avant de se coller naturellement au mur.

L'isolation en vrac offre une bonne isolation thermique, mais ne favorise pas une inertie thermique satisfaisante. Suivant la nature du mur, avant la pose du parement, un pare-vapeur devra être employé ou une lame d'air devra être créée pour assurer une capacité hygrothermique satisfaisante à la paroi finale.

D'autre part, il y a une autre isolation des murs par l'extérieur qui peut se faire de nombreuses techniques soit par isolation par enduit isolant, isolation protégée par un bardage, isolation par panneaux enduits qui garantissent l'étanchéité à l'air.

Isolation protégée par un bardage

Cette méthode consiste à fixer des panneaux isolants entre des lattes de bois verticales qui sont ensuite fixées à la maçonnerie. Selon votre sensibilité à l'humidité extérieure, vous pouvez utiliser un panneau bitumineux en fibres de bois ou un film pare-pluie. Afin de ménager une lame d'air pour le bardage extérieur, des tasseaux sont ensuite fixés à l'isolant perpendiculairement aux tasseaux de bois fixés au mur. Cette méthode d'isolation par l'extérieur est l'une des plus efficaces. En effet, la possibilité de fissuration de l'enduit ne limite pas l'épaisseur des panneaux isolants ou des conglomérats fermés, et la lame d'air offre une bonne protection contre le vent et les intempéries.

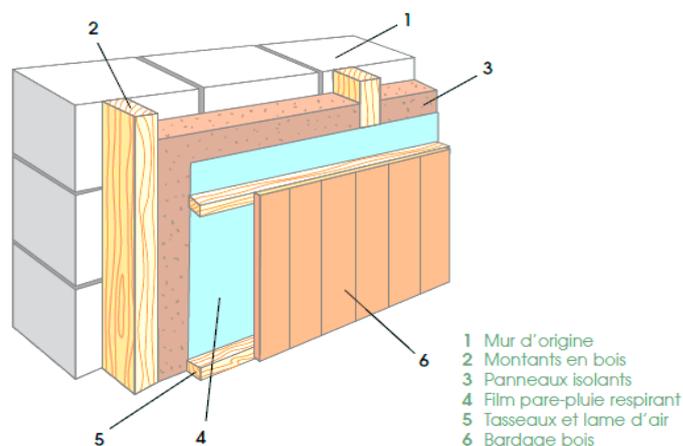


Figure 9 : isolation extérieure protégée par bardage (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Isolation par panneau enduits

On fixe un panneau isolant, soit par collage avec un mortier-colle, soit par vissage, soit entre des tasseaux de bois verticaux fixés sur le mur. Un treillis est collé sur la surface, avant d'appliquer l'enduit de finition. Pour les parois telles qu'elles sont réalisées actuellement, à savoir bien souvent non perméables à la vapeur d'eau, cette technique peut apporter une inertie thermique et un gain de chauffage.

Pour les bâtiments à parois « respirantes », l'isolation extérieure par panneaux d'enduits apporte, en plus de l'inertie thermique et des gains de chauffage, une régulation hygrométrique de l'air intérieur, à condition que l'enduit soit lui aussi respirant.

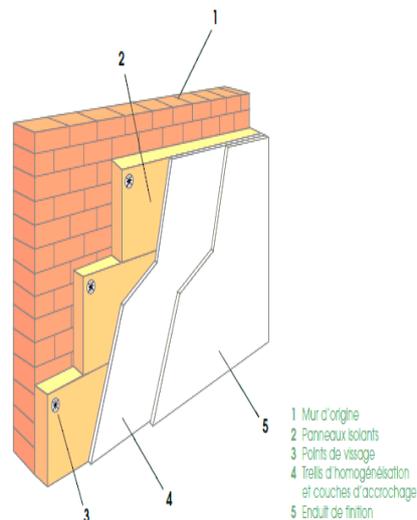


Figure 10 : isolation extérieure par panneaux enduits (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

L'étanchéité à l'air

Pour avoir une bonne étanchéité à l'air, il ne faut pas que l'air extérieur ne puisse s'infiltrer du côté intérieur du mur, ce qui baisserait l'isolation thermique du bâtiment. Pour cela, les panneaux isolants doivent être bien « soudés » entre eux.

Isolation par enduit isolant

Le mur extérieur est recouvert d'un revêtement minéral ou végétal. Cette méthode peut utiliser une ou plusieurs couches d'enduit isolant et peut être appliquée mécaniquement, manuellement ou à l'aide d'un coffrage pour les couches plus épaisses. Il est important d'utiliser un enduit isolant qui favorise une paroi respirante, permettant une meilleure évacuation de l'humidité par une gestion naturelle de l'hygrométrie et facilitant la perméabilité à l'eau et à l'air.

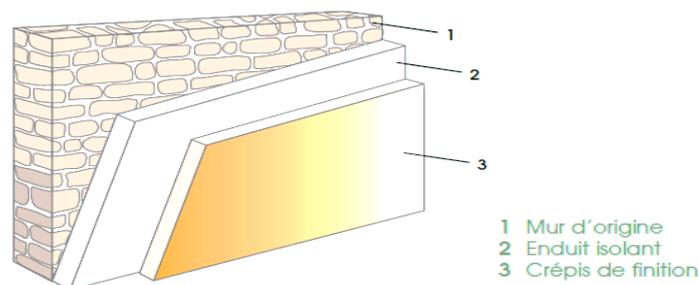


Figure 11 : isolation extérieure par enduit isolant (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

2.4.2. Isolation au niveau des planchers

Alors que l'isolation d'un niveau intermédiaire (entre deux établissements chauffés) protège les étages inférieurs des bruits d'impact, l'isolation du rez-de-chaussée d'une maison l'isole du froid et des remontées d'humidité des sous-sols. Une maison non isolée perd environ 7 % de sa chaleur par le niveau inférieur.

La dalle du plancher bas est généralement posée sur le sol dans les maisons anciennes après un simple compactage, un remblayage ou comme "tout venant". Le plancher crée relativement peu de pertes de chaleur lorsque cette dalle est sèche. Pour cette raison, l'isolation du plancher n'est pas toujours nécessaire, mais elle peut être prise en compte en cas de travaux de rénovation importants.

Planchers sur terre-plein

Le plancher sur terre-plein est réalisé à même le sol, après décapage de la terre végétale. Ce type de plancher souvent fait en béton permet de construire aider les fondations en rigole lorsque le terrain le permet.

Isolation sous dalle

Cette technique est appréciable puisqu'elle permet de conserver la dalle du plancher plus chaude. En réduisant le risque de condensation et de moisissure sur le plancher et par l'épaisseur d'isolant mis en place, elle permet une réduction des pertes de chauffage.

L'isolant est installé de façon à ne pas être humidifié. Il est placé au-dessus d'un hérisson de cailloux, ventilé en périphérie. L'épaisseur de la chape peut varier (chape lourde ou légère) suivant les contraintes.

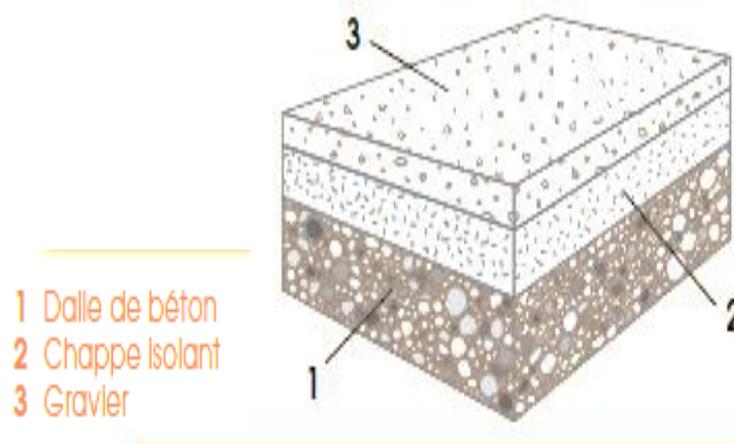


Figure 12 : isolation sous dalle des planchers (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Isolation sur dalle

Le principe est de déposer sur une dalle déjà existante un panneau isolant sous le sol de finition. Le sol de finition peut être réalisé en bois (parquet), mais peut également être réalisé au moyen d'autres matériaux (carrelage, linoléum naturel...). L'isolation sur dalle peut être réalisée :

- entre lambourdes sur lesquelles sera déposé l'isolant,
- par des panneaux isolants directement déposés sur une chape sèche qui pourront ensuite recevoir le revêtement de finition.

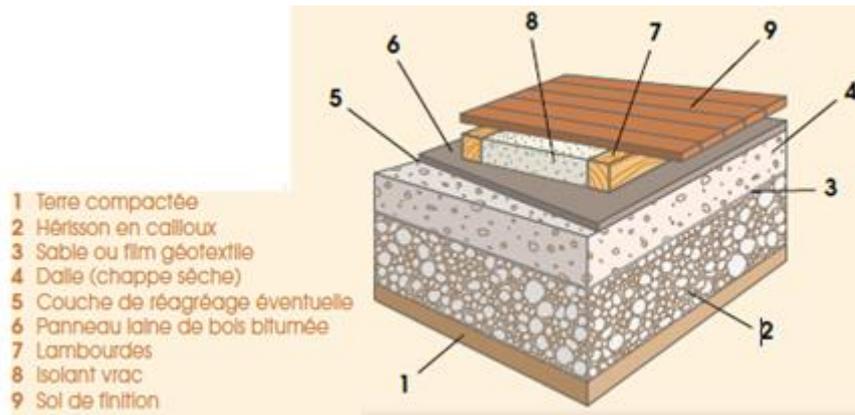


Figure 13 : isolation sur dalle des planchers ((source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Planchers sur locaux non chauffés

Pour un plancher bas donnant sur un local non chauffé, il est obligatoire de poser un isolant tel que $R \geq 2^3$. Cela correspond par exemple à au moins 8 cm de polystyrène expansé ou de laine minérale.

Plancher isolant en maçonnerie

La méthode consiste à prendre en sandwich des solives en béton armé avec des dalles de plancher isolantes ou des dalles contenant des panneaux isolants. Avant la pose du plancher de finition, les ponts thermiques générés par les solives peuvent être minimisés à l'aide de panneaux ou d'une fine chape isolante.

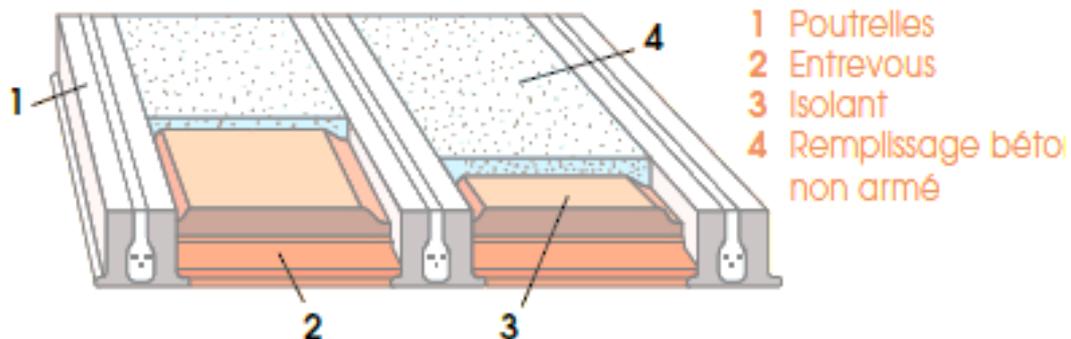


Figure 14 : représentation de plancher isolant en maçonnerie (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Planchers sur structure bois

Cela consiste à déposer un isolant en vrac sur toute la hauteur des solives entre le plafond inférieur jusqu'au plancher. La structure du sol supérieur peut être du parquet en bois ou bien du carrelage ou un sol souple.

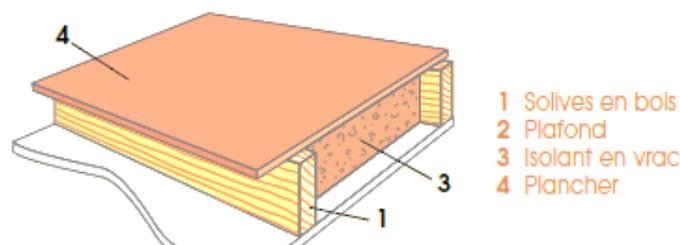


Figure 15 : isolation de plancher sur structure en bois (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

3 Cf. R Est la résistance qui varie en fonction de l'épaisseur et de la nature du matériau. Plus R est grand, meilleure est l'isolation

Isolation sous ou sur dalle

Une isolation d'un plancher peut également être effectuée, soit par projection d'isolant, par panneaux isolants ou par la création d'un faux plafond.

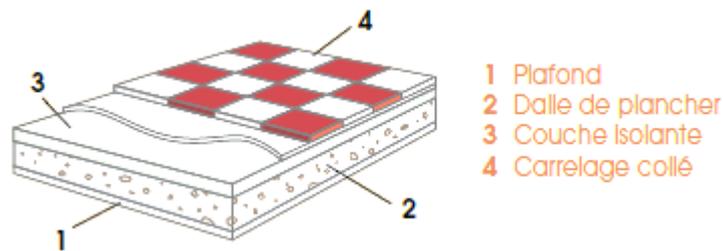


Figure 16 : isolation sous ou sur dalle des planchers (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Le plancher entre locaux chauffés

L'isolation acoustique est souvent plus importante que l'isolation thermique entre deux étages occupés. De nombreux facteurs (rigidité et densité des matériaux, par exemple) influencent l'isolation acoustique. Une seule erreur peut réduire à néant les avantages d'un investissement important. C'est à ce moment-là que les conseils d'un expert sont vraiment utiles. Les matériaux utilisés en acoustique doivent être robustes et avoir une densité élevée. Les matériaux d'isolation thermique couramment utilisés ne sont pas très efficaces pour l'isolation acoustique.

2.4.3. Isolation par toiture

La chaleur monte naturellement car l'air chaud est plus léger que l'air froid. Cela explique pourquoi, dans une maison non isolée, environ 30 % de la chaleur est perdue par le toit. Par conséquent, la première étape de l'isolation d'une structure devrait être l'isolation du toit. Les pertes de chaleur en hiver et les intrusions de chaleur en été sont toutes deux limitées par l'isolation du toit. Vous devez isoler sous ou au-dessus des avant-toits si vous voulez rendre vos combles habitables. En revanche, si les combles sont perdus, il faut isoler directement sur le plancher des combles.

Les toitures anciennes doivent être isolées car elles n'ont pas été conçues pour l'être. L'équilibre hygrothermique des constructions en bois peut être modifié par l'isolation d'une toiture (risque de condensation), ce qui rend impossible l'inspection ultérieure de l'état de la structure. Il est essentiel de s'assurer que le bois utilisé pour la charpente ne présente aucun danger (insectes xylophages, moisissures, etc.) avant d'entamer les travaux.

Isolation des combles habitables par extérieur

Cette technique d'isolation est très peu employée. Cette technique est préférable, car elle permet d'utiliser des matériaux d'isolation moins élaborés (en vrac) et donc moins onéreux, et évite de créer des ponts thermiques. L'isolant est déversé ou projeté en vrac entre les chevrons sur un film pare-poussière. Il faut ensuite poser un écran pare-pluie respirant ou des panneaux de bois tenus par les contre-chevrons.

Une fois mis en place, on peut réaliser la couverture. On place ensuite des tasseaux qui supportent et ventilent la couverture. C'est un chantier lourd, plutôt réservé aux professionnels et qui nécessite une bonne organisation

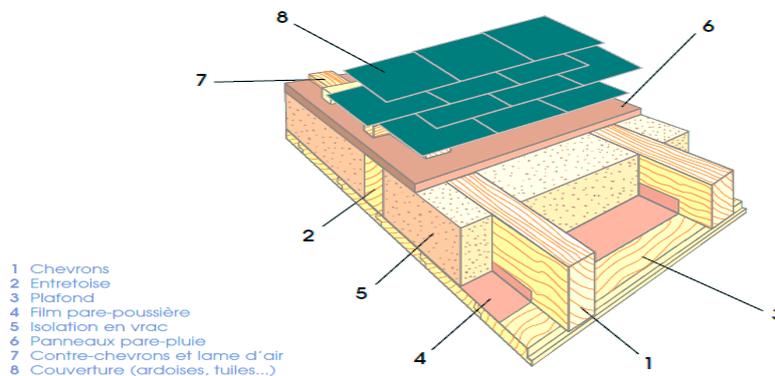


Figure 17 : isolation des combles en vrac par extérieur (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Isolation par panneaux semi-rigides ou rouleaux par intérieur

La structure de la charpente détermine le type de pose d'isolant (entre les chevrons ou sous les chevrons) et l'épaisseur maximale de l'isolant pouvant être mis en œuvre. Le type de pose peut conditionner certains types de matériaux isolants (vrac, panneaux...).

Il faut éviter les ponts thermiques et créer une ventilation sous la couverture si elle n'existe pas. La pose sous les chevrons est donc préférable.

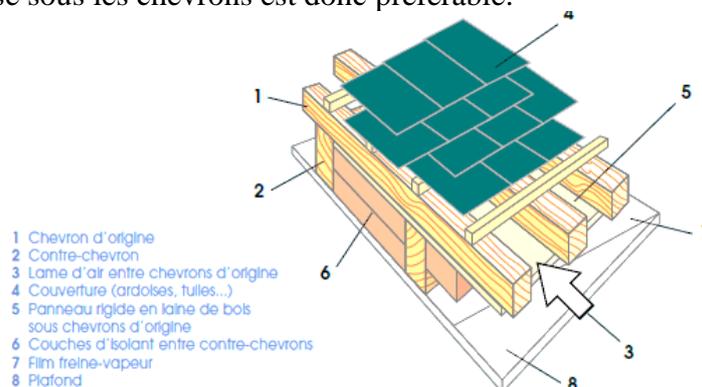


Figure 18 : isolation de toiture par des panneaux semi rigide (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

Isolation par insufflation

Le principe est de former un caisson dans lequel on injecte de l'isolant en vrac. Le caisson est aménagé par une sous-toiture et un plafond. On pose des tasseaux sur la sous-toiture et les chevrons qui garantissent une lame d'air ventilée. La sous-toiture et le plafond sont écartés de l'épaisseur d'un chevron. Puis on remplit le caisson de l'isolant en vrac.

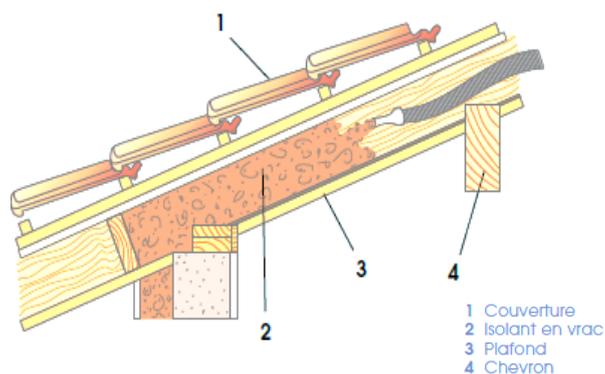


Figure 19 : isolation de toiture par isolant en vrac (source guide isolation thermique, ADIL DU LOIRET)

3. Matériaux à faible impacts environnementaux

Les matériaux à faible impact environnemental, ce sont des produits utilisés pour la construction, qui peuvent être sanitaires, écologiques et énergétiques. Leur utilisation dépend de leur cycle de vie, parce que ceux-ci assurent un impact minimum sur leur environnement et favorisent grandement la qualité de vie, le bien-être et la santé des occupants d'un bâtiment.

3.1. Matériau-isolant naturel

Les matériaux-isolants dits « naturels » sont des produits d'origine végétale ou animale tels que chanvre, laine de mouton, fibres de bois, plumes d'oie, lin, coton et liège. Leur présentation est classique, on rencontre en vrac, panneaux semi-rigides et rouleaux. Leur mise en œuvre est aussi aisée que les laines minérales. Ils sont très appréciés des poseurs, car ils ne provoquent pas les irritations que l'on connaît avec d'autres matériaux.

En termes de performances thermiques, ils s'inscrivent dans la moyenne basse des laines minérales. Sur le plan acoustique, bien que peu d'essais soient réalisés, leur nature fibreuse a amené à des résultats comparables aux laines minérales. A titre d'exemple il s'agit de :

Panneaux de bois feutré avec une nature fibreuse de : 0,040 à 0,070.

Liège, laines minérales et laines naturelles avec une nature fibreuse de : 0,035 à 0,040

Polystyrène expansé avec une nature fibreuse de : 0,030 à 0,038

Mousse de polyuréthane avec une nature fibreuse de 0,025 à 0,035.

Le polystyrène expansé PSE n'est pas un isolant naturel, mais issu d'une revalorisation d'un dérivé du pétrole et non utilisable comme combustible.

L'air immobile est un excellent isolant thermique qui possède un bon coefficient de résistivité thermique (RT). Sa formule simple permet de calculer l'épaisseur voulue d'isolant.

$$R = e / \lambda \text{ (R de 4 = 0,1 m / 0,04)}$$

$$e = R \times \lambda \text{ (0,1 m x 0,04 = R de 4)}$$

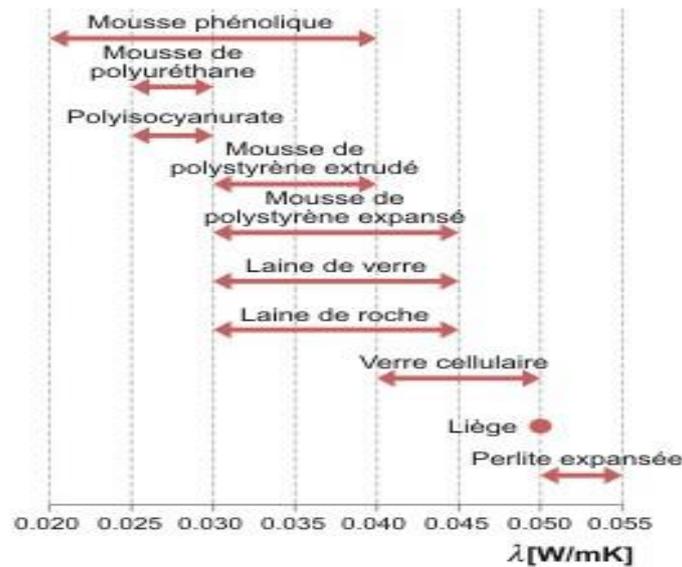


Figure 20: Schéma d'une classification par caractérisation des isolants, Source : Energie-plus, 2022

3.2. Les matériaux-isolants écologiques

Les matériaux pour l'isolation écologique sont principalement fabriqués à partir de plantes, mais ils peuvent également être recyclés. En outre, ils ne polluent pas l'environnement lors de leur fabrication. Cela est dû aux techniques à faible consommation d'énergie utilisées pour leur production. Ils reçoivent également des ajouts minéraux non toxiques et les matériaux de base qu'ils utilisent sont facilement renouvelables. Il faut toutefois noter qu'il s'agit de silicates fabriqués pour se prémunir contre les parasites, les champignons, les rongeurs et les risques d'incendie. Enfin, la production de ouate de cellulose ou de coton absorbant nécessite 30 fois moins d'énergie que la production de polystyrène (Eco-logis, 2023).

La perlite (également connue sous le nom de vermiculite ou de pierre ponce), la fibre de coco, le chanvre, le liège, la ouate de cellulose, la fibre de bois et le coton sont quelques-uns de ces matériaux. Il existe aujourd'hui trois types d'isolants thermiques naturels pour les murs, dont des matériaux dérivés d'animaux ou de plantes, tels que le liège, la fibre de bois, la laine de bois, le chanvre, le coton, les plumes et la laine de mouton. Le verre cellulaire, la perlite et l'argile expansée sont d'autres matériaux.

Cependant, plus de 80 % de l'isolation utilisée dans les bâtiments modernes est composée de laines minérales et de polymères cellulaires. Certains matériaux de construction, tels que les briques à parois multiples et le béton cellulaire, servent à la fois de matériaux structurels et d'isolation, mais ils ont incontestablement des effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement.

3.3. Qu'est-ce qu'un matériau-isolant thermique ?

Une substance ayant une faible conductivité thermique est un isolant thermique. Ce type de matériau a la propriété de ralentir le transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment. En d'autres termes, les matériaux isolants empêchent la chaleur de pénétrer dans la structure en été et de s'échapper vers l'extérieur en hiver. L'isolation thermique réduit donc la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir la température souhaitée.

En raison de sa capacité à emprisonner l'air, l'isolation a pour principal objectif de réduire la transmission de la chaleur à l'intérieur des murs d'un bâtiment. Toutefois, elle peut également

posséder d'autres qualités technologiques telles que l'isolation acoustique, la résistance mécanique et la résistance au feu (Rank, 2009).

Un pare-vapeur peut être nécessaire, en fonction de l'isolation et du type de mur. Cet écran limite le transfert de vapeur et, lorsqu'il est installé du côté intérieur, évite généralement le développement de la condensation dans les murs. Il convient également de se référer aux avis techniques, qui expliquent son degré de performance et l'application recommandée, ainsi que son éventuelle nécessité.

La résistance thermique et l'inertie thermique sont les principales caractéristiques de l'isolation thermique. Elles empêchent la condensation, les ponts thermiques et les pertes de chaleur. Pour décrire les isolants thermiques, on utilise une valeur R pour la résistance thermique du produit isolant (en m^2C/W) qui est déterminée par la relation entre l'épaisseur du matériau en mètres et son coefficient de conductivité lambda (en $W/m^{\circ}C$). Pour qu'un produit soit qualifié isolant, il faut que le coefficient R soit au moins égal à $4 m^2C/W$, soit 12 cm d'isolation avec des produits standards de type polystyrène ou laine minérale (ClimaMaison, 2023).

3.4.Types des isolants

A travers le monde, il existe plusieurs types d'isolants thermiques, on cite ci-dessous quelques exemples :

3.4.1. Isolants d'origine minérale

Première grande famille d'isolant, les isolants minéraux sont les plus répandus. Cette popularité s'est essentiellement bâtie grâce aux laines minérales telles que la laine de verre ou la laine de roche. Pourtant, d'autres matériaux existent, comme l'argile, la perlite ou la vermiculite par exemple. Le principal avantage de l'isolant minéral est qu'il est incombustible et imputrescible. De ce fait, il reste un matériau résistant et adaptable à toutes les situations.

La laine de verre

La laine de verre est un produit d'isolation à la fois performant et peu coûteux. De ce fait, elle s'est très vite développée et est devenue, en peu de temps, l'isolant le plus utilisé. Pourtant, même si elle présente de nombreux avantages, la laine de verre n'est pas le matériau le plus sain.

Très irritante pour les voies respiratoires, elle doit impérativement être posée avec des protections de sécurité (masque, gant et lunette). De plus, on ne connaît pas encore tout à fait les risques pour les utilisateurs à travers le temps. D'autres isolants sont donc à privilégier.

La laine de roche

La laine minérale à la plus longue durée de vie. Contrairement à la laine de verre, Celle-ci ne subit que très peu les effets du temps. Ayant l'avantage de ne pas se tasser, sa durée de vie va donc être bien plus importante que son homologue. Avec des performances thermiques et acoustiques similaires et un prix raisonnable, la laine de roche peut être un choix judicieux pour assurer une bonne isolation de ses parois.

L'argile expansée

Si l'argile n'est pas un très bon isolant thermique, elle reste le meilleur en termes d'isolation acoustique. Peu coûteuse, elle est très efficace lorsqu'elle est mélangée à d'autres

produits, comme le ciment, pour créer des chapes légères, solides et isolantes. Il s'agit donc plus d'un isolant de construction que de rénovation (H.watt, 2021).

Mais lors de la réhabilitation d'une habitation ou au moment de bâtir, il est important de connaître les dangers propres aux matériaux ordinairement utilisés : fibres allergènes des laines de verre et de roche, émanation de gaz toxiques du polystyrène sous l'action de la chaleur.



Figure 21: Forme de l'argile expansée. Source : <https://www.futura-sciences.com/>

3.4.2. Isolation d'origine synthétique

Dernière famille d'isolant, les isolants synthétiques. Ces derniers sont coûteux, inflammables, mauvais isolants phoniques et polluants. Les produits synthétiques sont rarement les matériaux privilégiés. Cependant, si à première vue ils ne semblent pas représenter le meilleur choix, ils sont parfois la solution la plus efficace pour répondre aux contraintes du bâtiment.

Ce sont des isolants légers, imputrescibles, insensible à l'humidité et facile d'installation. Les isolants synthétiques restent de très bons isolants thermiques, puisque ceux-ci permettant ainsi de réduire de leur épaisseur. Ces propriétés peuvent se montrer utiles, notamment dans les petits espaces difficiles d'accès.

Le polystyrène isolant soit expansé ou extrudé

Le polystyrène est un matériau de haute qualité, à la fois léger et efficace. Il présente de bonnes performances thermiques et une bonne résistance mécanique. Le polystyrène est le meilleur isolant pour les toitures et même les sols en raison de sa résistance à l'humidité. Le polystyrène expansé grossier est moins compressible que le polystyrène extrudé (comprimé). Il est donc plus adapté à l'isolation des planchers.

Le polyuréthane

Déclinable sous forme de panneaux ou de mousse, le polyuréthane est un matériau qui est capable de s'adapter à toutes les formes de structure. Ses capacités thermiques sont optimisées et vous permettront donc de réduire l'épaisseur de votre isolation. Un avantage non-négligeable en cas d'isolation de combles aménageables ou même d'une isolation de sous-sol par exemple.

La mousse phénolique

La mousse phénolique est plus performante en termes de qualité sonore, mais elle est également plus sensible à l'humidité. Pour cette raison, elle nécessite un traitement préalable. Malgré cela, elle n'est pas conseillée pour les espaces très humides, comme les toilettes. La mousse phénolique est plus sûre que ses concurrents car elle produit moins de gaz toxiques en cas d'incendie que les autres isolants synthétiques (H.Watt, 2021).

Isolation d'origine naturelle (végétaux)

Il existe trois grandes familles d'isolants naturels on a les isolants issus de la production végétale, ceux issus de la production animale, mais aussi les minéraux. Ils trouvent leur origine dans les mondes animal, minéral et végétal dont la production animale se limite à la laine de mouton et à la plume de canard ou d'oie. Ainsi, le monde végétal est le plus généreux puisqu'on lui doit le chanvre, le coton, la ouate de cellulose, la fibre de bois, le liège, le lin et le coco (d'un usage plus restreint).

Laine de mouton

La laine de mouton est un bon isolant thermique et acoustique. Légère, saine et performante. Il est utilisé comme matériau alternatif aux laines minérales. Excellent isolant thermique et acoustique, elle absorbe tout aussi bien les excès d'humidité et ne se tasse pas. Il peut absorber jusqu'au tiers de son poids en eau sans que cela nuise à ses propriétés isolantes et ensuite retrouver tout son gonflant une fois sèche.

Ces propriétés en font l'un des matériaux d'isolation les plus performants, légère (densité de 10 à 30 kg/m²) avec un coefficient de conductivité thermique exceptionnel ($\lambda = 0,032$ environ) équivalent à celui du liège et bien supérieur aux laines minérales (0,040 pour la laine de verre). On fabrique la laine de mouton en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en vrac. Cependant, il est primordial qu'elle soit traitée contre le feu et les insectes avant sa pose.

Plumes de canard

On fabrique cette laine à base de plumes de canard sous forme de rouleaux, de panneaux ou en vrac. La laine de canard est composée de plus de 70 % de plumes. On y mélange d'autres matériaux lors de la fabrication tels que la laine de mouton. Sa conductivité thermique varie de 0,035 W/mK à 0,042 W/mK, ce qui en fait un excellent isolant. Depuis quelques années le nombre de matériaux d'isolation thermique et acoustique d'origine végétale ne cesse d'augmenter. Et pour cause, l'intérêt qu'ils suscitent est de plus en plus important.

Le chanvre

Le chanvre est un isolant souvent utilisé en isolation écologique. Il est fabriqué à partir des fibres contenues dans cette plante. Ses performances thermiques sont appréciées, il est apprécié par son déphasage. Cette caractéristique lui permet de ralentir la pénétration de la chaleur dans une maison en été (Samse, 2023). Son conditionnement en isolant est naturel, aucun additif chimique ne vient dans le processus de transformation.

Le chanvre est fréquemment utilisé pour fabriquer des panneaux rigides et est très efficace pour isoler les murs et les cloisons du bruit et de la chaleur. De plus, le chanvre ne se décompose pas. Pour les planchers de grenier et les pentes de toit, il est particulièrement utile sous forme de panneaux semi-rigides ou de laine.

La laine de chanvre est donc une option plus écologique que la laine de verre ou de roche conventionnelle. Enfin, les granulés de chanvre sont principalement utilisés dans les mortiers de chaux pour créer des dalles d'isolation phonique et thermique ou pour isoler les murs (IDMaison, 2023).

L'isolant de chanvre n'a aucun effet sur la santé, régule l'humidité naturellement et assure un bon confort, été comme hiver. Au Québec, on trouve surtout sur le marché de la laine de chanvre, vendue en nattes, et du béton de chanvre qui est un mélange de chaux, de plâtre et de

chanvre (Eco-habitation, 2022). La bonne qualité de diffusion de l'air assure une régularisation automatique de l'humidité sans déperdition de chaleur et rend l'habitation saine et confortable.

Le bois

C'est sans doute l'isolant naturel d'origine végétale le plus ancien en termes d'utilisation comme matériau d'isolation. Les déclinaisons du bois sont très nombreuses et on les retrouve dans tous les domaines de la construction en général et de l'isolation thermique et phonique en particulier. En isolation thermique, la laine de bois est particulièrement appréciée. Sous forme de panneaux, elle est prisée pour former l'enveloppe isolante des maisons à ossature bois mais pas seulement.

En effet, sa souplesse et sa forte résistance thermique en font un matériau de premier choix (IDMaison, 2023). D'autres isolants composés de bois existent, comme les fibres ou les panneaux de bois.

L'isolant de fibre de bois

C'est un produit écologique, 100 % québécois, issu des copeaux de scieries locales. Comme la cellulose, son impact sur la santé est nul et son énergie grise très faible. Il offre aussi une bonne résistance à la compression et obtient des performances thermiques et acoustiques excellentes. Les panneaux poreux de fibres de bois renferment une multitude de cellules d'air, ce qui leur confère leur grand pouvoir isolant thermique comme acoustique ; ils se présentent sous forme de panneaux semi-rigides, souples, de pose facile, et suffisamment rigides pour se superposer (Eco-Habitation, 2022).

Il est utilisé pour la toiture si la pose de l'isolant est effectuée de l'intérieur ; pour les cloisons intérieures, pour l'isolation acoustique et thermique des planchers et en revêtement mural sur ossature bois (Haut, 2007).

La laine de bois

La capacité de ce matériau à absorber et à libérer l'humidité est son principal avantage. Elle permet à vos murs de respirer et est perméable à la vapeur d'eau, ce qui réduit la condensation. La durabilité de la laine de bois est un autre avantage. Elle garantit votre confort sans nécessiter de remplacement fréquent grâce à sa longévité de plus de 50 ans.

En réalité, grâce à ses capacités d'isolation supérieures et à son haut degré d'inertie, elle offre un confort de vie exceptionnel. En été comme en hiver, la laine de bois peut être utilisée comme isolant à l'intérieur comme à l'extérieur. Cet isolant naturel est produit à partir de bois usagé ou d'un mélange de chanvre et de lin.

Ouate de cellulose

Le matériau isolant fabriqué à partir de déchets d'impression récupérés est appelé ouate de cellulose. De faible épaisseur, il offre de bonnes performances thermiques et phoniques. Cependant, la ouate de cellulose ne convient pas aux environnements humides, comme la laine de mouton. En outre, elle doit être traitée contre le feu, les insectes et les moisissures. C'est une substance non polluante, qui n'est ni nocive ni irritante.

Par rapport à la laine de verre, elle permet de réaliser des économies d'énergie d'au moins 25 %. Elle offre une excellente isolation ; en hiver, une maison isolée en ouate de cellulose est plus chaude de 4°C après 9 heures sans chauffage, et en été, sa capacité thermique est multipliée

par 8, ce qui réduit les surchauffes estivales. Elle inhale, absorbe, protège du bruit et éteint les flammes. Il permet d'isoler les combles et les murs.

De plus, grâce à sa structure floconneuse, la ouate de cellulose est plus étanche à l'air qu'un matériau isolant en fibres. Avec une conductivité thermique de 0,039 W/(m.K) en moyenne, elle va au-delà de ce qui est préconisé par la RT 2012, soit 0,06 W/(m.K).

Cellulose humide

La fibre de cellulose stabilisée avec de l'eau ou de la colle est également utilisée depuis un certain temps. Contrairement à l'isolant en vrac, la cellulose stabilisée est pulvérisée humide sur le pare-vapeur, formant une croûte rigide en séchant et améliorant les propriétés de barrière à l'air. Il s'agit d'une caractéristique cruciale, car il est souvent difficile d'étanchéifier correctement le pare-vapeur sous la toiture lors des travaux de rénovation.

Cette méthode est particulièrement conseillée pour les combles facilement accessibles et bien ventilés, afin d'éviter que l'humidité excessive ne se dégage de l'isolation. Pour atténuer ce phénomène dans les climats plus froids, on utilise de la colle à la place de l'eau. L'air de la maison a également tendance à s'échapper par les raccords entre les murs et les plafonds, ainsi que par les sorties des plafonniers, si le toit à isoler n'est pas doté d'un solide pare-vapeur avec des joints scellés à l'aide de ruban adhésif.

Les problèmes de condensation sous le toit sont provoqués par cet air, qui est imprégné de la chaleur et de l'humidité de la maison. La fibre de cellulose injectée sous pression crée une barrière d'exfiltration de l'air fiable. Enfin, la fibre de cellulose est facile à manipuler et n'a aucun effet sur la qualité de l'air intérieur.

Le liège

Enfin, un des matériaux les plus célèbres des isolants thermiques naturels : le liège. Très performant aussi bien en isolation phonique que thermique, le liège est également l'isolant idéal lors d'une isolation du sol, grâce notamment à sa bonne résistance à la compression, mais également à sa longue durée de vie.



Figure 22 : L'écorce d'un arbre en liège, Source : <https://www.aquaportail.com/>

C'est un produit naturel aux caractéristiques remarquables, il provient de l'écorce (renouvelable) d'une espèce particulière de chêne vert (chêne-liège) qui pousse dans diverses régions du bassin méditerranéen (environ 50 % de la production mondiale). La particularité du liège réside dans sa structure cellulaire très légère (son volume apparent est occupé par 95 % d'air). Il est constitué d'une importante densité de cellules (40 millions/cm²).

Il est difficilement inflammable c'est un bon isolant thermique, ne conduit pas la chaleur mais l'emmagasine dans l'air qu'il contient (coefficient de conductibilité thermique : 0,027 kcal/m3 hc).

La laine de coton

Le cotonnier est cultivé depuis la plus haute Antiquité pour sa fibre naturelle et duveteuse. Son coton est utilisé couramment dans l'industrie textile et l'industrie pharmaceutique. Mais cette fibre naturelle constitue également la matière première principale de la laine de coton, isolant performant pour l'habitat. Composé de fibres d'une extrême finesse, le coton a pour première caractéristique d'emmagasiner de l'air, ce qui en fait un remarquable isolant.

Pour être utilisée dans l'habitat, la laine de coton est simplement cardée et traitée contre le feu au sel de bore. Il est léger (densité de 10 à 30 kg/m²) avec une excellente capacité hygroscopique (peut absorber une grande quantité de vapeur d'eau et la restituer ensuite, sans perte sensible de ses qualités d'isolation).

Les algues

Ces plantes marines possèdent une capacité d'isolation calorifique plus élevée que celle des isolants synthétiques tels que la laine de verre. Par exemple, sur la côte de la mer Baltique, les algues sont récoltées sur les plages avant d'être recyclées à raison de 600 m³ par an pour être transformées en matériau isolant. Il est complètement écologique et difficilement inflammable performant en matière d'efficacité énergétique parce que la demande énergétique très diminuée grâce à ses propriétés isolantes en plus il est considéré comme matériau sain aucune incidence néfaste sur la santé.

3.4.3. Les isolants minces

Lorsque le volume à isoler est minime, comme lorsque vous souhaitez aménager les combles de votre maison, l'isolant mince est un choix intéressant. Par rapport à la laine minérale ou végétale, cette forme d'isolation thermique permet de diminuer l'épaisseur de l'isolant de 10 à 15 cm, ce qui permet de gagner de l'espace.

C'est le matériau idéal pour la rénovation et l'aménagement des bâtiments en raison de sa faible épaisseur et de sa simplicité de mise en œuvre. Les isolants minces "thermo-réfléchissants" sont constitués de séparateurs (ouate, mousse ou laine de mouton) et de plusieurs films métallisés réfléchissants. Ils réduisent les pertes de chaleur et maintiennent une température confortable tout au long de l'année en réfléchissant la chaleur vers l'intérieur pendant l'hiver et vers l'extérieur pendant l'été (Gralon, 2023).

Tableau 1 : Analyse comparative du diaphragme des matériaux écologiques

	<p>LE LIÈGE EXPANSE</p> <p>Le matériau d'isolation parfait : imputrescible, incombustible, étanche. Enfin, il est 100% naturel!</p>		<p>LA LAINE DE MOUTON EN ROULEAUX</p> <p>100% pure laine vierge sans polyester. Fabrication unique par tissage. Idéal contre le froid et l'humidité.</p>
	<p>LA LAINE DE COTON EN PANNEAUX</p> <p>Le meilleur isolant phonique. Idéale pour les cloisons intermédiaires, mais aussi les faux plafonds.</p>		<p>LA LAINE DE COTON RECYCLÉE</p> <p>En vrac, elle est légère et très facile à épandre dans les combles, à la machine, mais aussi à la main.</p>
	<p>ISOLANT LAINE DE BOIS</p> <p>Isolant thermique très polyvalent. Il offre un meilleur déphasage que le chanvre : jusqu'à 10h en 200 mm !</p>		<p>LA FIBRE DE BOIS</p> <p>Isolation de toitures en sarking ou isolation par l'extérieur. Peut-être enduit directement.</p>
	<p>OUATE DE CELLULOSE VRAC</p> <p>Economique et performante, car soufflée à la machine dans les combles perdus par des professionnels.</p>		<p>LE FEUTRE</p> <p>Excellent isolant phonique pour atténuer les bruits de chocs, parfois en complément de la ouate ou du liège.</p>
	<p>LE CHANVRE EN ROULEAUX</p> <p>Le plus connu des eco-matériaux ! Surtout appliqué dans les combles perdus, mais aussi en rampants de toitures.</p>		<p>LE LIN EN PANNEAUX</p> <p>Murs, combles, cloisons... le lin est un matériau souple, mais polyvalent.</p>
	<p>ISOLANT POLYESTER RECYCLÉ</p> <p>Bien que n'étant pas bio-sourcé, cet isolant recyclé très performant (anti-humidité) est idéal pour vide-sanitaires, caves, vans, fourgons,...</p>		<p>LA FIBRE DE CARTON</p> <p>Soufflage en combles, insufflation en paroi entre structures (murs à ossature bois, toiture, caissons de plancher)</p>

3.4.4. La nouvelle génération d'isolant thermique

Il existe aujourd'hui de tous nouveaux matériaux isolants pratiques et simples d'installation. Ils sont essentiellement utilisés lorsque des travaux de rénovation ne sont pas envisageables, notamment en location. Parmi eux, vous retrouverez donc :

Le rideau isolant : utile pour améliorer l'isolation de vos fenêtres et des volets sans avoir à les changer. Les rideaux isolants sont plus épais pour réduire les variations thermiques, mais aussi occulter la lumière du jour de façon efficace.

Le placo isolant : Ce type d'isolant sert à séparer une pièce en deux » Il peut améliorer l'isolation des murs. Le placo isolant est une solution rapide et efficace. Il associe une plaque de plâtre avec un isolant thermique pour faciliter l'installation.

Le film isolant : Cet isolant se colle sur le vitrage des fenêtres. Or, s'il y a, le double vitrage reste un isolant très performant. Le film isolant peut venir compléter les plus faibles isolations quand aucun autre choix n'est possible.

La peinture isolante : pour l'extérieur ou l'intérieur, la peinture isolante est faite pour réfléchir les infrarouges. Elle ne peut que venir en complément d'une isolation classique. Donc, L'isolation thermique se présente sous une grande variété de formes. Si vous souhaitez obtenir une isolation durable et de qualité, il est essentiel de faire le bon choix. L'isolation qui répondra le mieux à vos exigences et à vos contraintes sera la meilleure (H. watt, 2023).

3.5. Les isolants disponibles en Algérie

L'isolant le plus disponible dans le marché algérien est le polystyrène. Mais son utilisation est très limitée dans le domaine du bâtiment. La laine de verre, le liège et la perlite sont aussi présentes avec des petites quantités.

L'introduction de l'isolation thermique aux bâtiments peut réduire vers 40% de la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements. (MEM, 2011). L'isolation thermique en Algérie reste encore à évoluer et à développer par plus d'application de la réglementation et plus du contrôle (Ferragi, 2017).



Figure 23: Le polystyrène pour l'isolation extérieure et échantillon de la perlite. (Source : Ferragi, 2017)

3.6. Caractéristiques et Fonctionnement de l'isolant

Avant de choisir l'isolant, comment faire le choix d'un éco-isolant ? Car, il est important de savoir ce qui différencie un bon matériau d'un mauvais. Pour cela, les isolants thermiques sont caractérisés principalement par une valeur de conductivité. " λ " reflète la capacité du matériau à transmettre la chaleur par conduction. Et la résistance thermique appelé R, l'épaisseur « e » et la valeur U.

3.6.1. La résistance thermique

La capacité d'un isolant à supporter des changements de température est appelée résistance thermique. L'isolation s'améliore avec l'augmentation de la résistance. Les critères thermiques sont désormais appliqués en fonction des zones à isoler. Avant de prendre une décision, il est donc essentiel de tenir compte de la résistance thermique. L'épaisseur en mètres divisée par le coefficient de conductivité thermique donne cette valeur R. Il est exprimé en m^2K/W .

C'est cette valeur qu'il faut prendre en considération pour voir si l'investissement en matière d'isolation est subsidiable. Plus la valeur R est importante, mieux le matériau isolant choisi isole. Le mieux étant généralement de choisir un matériau dont la résistance dépasse les $7 m^2.K/W$. Cela vous assurera un confort thermique aussi bien l'hiver que l'été.

3.6.2. La conductivité thermique

La quantité de chaleur qui fuit par l'isolation dépend de deux facteurs : l'épaisseur de l'isolation et la manière dont le matériau retient la chaleur. On appelle cette caractéristique, le coefficient de conductibilité thermique. On trouve ce coefficient dans les informations techniques sous la valeur λ (lambda), exprimée en W/mK (Watt par mètre Kelvin).

La conductivité thermique est également un facteur important, mais qui doit être pris avec des pincettes. En effet, si la résistance est calculée de la même manière par tous les fabricants, la conductivité, elle, peut varier. De ce fait, il n'est pas toujours le paramètre le plus judicieux pour comparer les isolants entre eux. Toutefois, il donne une bonne indication sur le pouvoir isolant d'un matériau. Contrairement à la résistance thermique, la conductivité d'un matériau doit être faible pour être considéré comme performant. De bonnes valeurs de conductivité se situeraient entre 0,025 et 0,05 $W/m.K$.

3.6.3. L'épaisseur

Si les deux premiers facteurs ne sont pas idéaux, vous pouvez toujours ajuster l'épaisseur de l'isolant. Bien entendu, plus l'isolant est épais, plus il prend de place. C'est pourquoi il est

toujours judicieux de choisir un isolant présentant la meilleure résistance et la meilleure conductivité thermique. En procédant de la sorte, notamment lors de l'isolation par l'intérieur, vous éviterez de perdre trop d'espace habitable (H.watt, 2023).

3.6.4. La valeur U

C'est le coefficient total de transmission thermique d'une paroi murale. Il faut additionner toutes les valeurs R et ensuite diviser 1 par cette somme. Plus la valeur U est faible, mieux l'ensemble du mur isole. Ces valeurs U sont reprises dans la réglementation en matière de prestations énergétiques. A l'heure actuelle, en Flandre, c'est une valeur U maximale de 0.4 W/m²K qui doit être respectée pour un mur extérieur et de 0.3 W/m²K pour la toiture.

3.6.5. La capacité d'absorption de la chaleur

Les matériaux isolants ont également la capacité de stocker la chaleur dans la masse de leur isolation. Ceci est exprimé par la capacité d'absorption thermique c en Joule par kilogramme kelvin (J/kg K). La quantité de chaleur que l'on peut stocker dépend de la structure et de l'étanchéité du matériau. Plus le matériau est lourd, plus il faudra de temps pour le chauffer. Et plus cette capacité d'absorption est grande, plus ce matériau pourra stocker de la chaleur.

Cette valeur est moins importante sauf dans le cas de constructions légères comme les toitures et l'ossature bois. Ces cloisons murales légères n'offrent qu'une faible résistance contre la chaleur venant de l'extérieur. Donc, en été, si l'on veut maintenir une certaine fraîcheur sous la toiture ou dans une ossature bois, il est important de tenir compte de cette caractéristique en choisissant les matériaux d'isolation (Habitos, 2023).

3.7.Méthodologie de calcul de l'épaisseur d'isolant nécessaire

La RT 2005 en vigueur depuis le 1er octobre 2006 exige une résistance thermique minimale de $R = 3,68 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Il est bien évidemment intéressant d'aller au-delà de cette RT 2005, tout d'abord pour faire davantage d'économie mais aussi et surtout pour ne pas à avoir à renouveler l'opération dans quelques années.

Il faut tendre vers une résistance thermique au niveau de la toiture de 6. La chaleur monte, les déperditions par le toit représente 30 % des déperditions d'une maison non isolée. Le calcul pratique de l'épaisseur minimale de l'isolant (en mètres) : $e(m) = \lambda (\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}) \times R (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$, où λ = coefficient de conductivité thermique, va leur fournie par le fabricant. Plus ce coefficient est petit, meilleur est l'isolant (Vu, 2007).

Tableau 2 : Exemples d'épaisseur pour les isolants de toiture (source, Vu, 2007)

TOITURE			
exemples d'épaisseur d'isolant pour $U = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$			
Type d'isolant	λ^1 de l'isolant (W/m.K)	Épaisseur d'isolant recommandée (cm)	Prix au m^2 TTC en 100 mm d'épaisseur
Laine de roche	0,035 – 0,045	24	10
Laine de verre	0,035 – 0,045	24	10
PUR (polyuréthane) en 50 mm	0,025 – 0,035	18	20,33
XPS (polystyrène extrudé) en 50 mm	0,030 – 0,040	21	20
EPS (polystyrène expansé) TH38 en 55 mm TH 38 hydroguge	0,030 – 0,038	24	6,17 11,83
Verre cellulaire	0,040 – 0,055	30	
Liège expansé	0,040 – 0,050	27	31,5
Flocons de cellulose	0,035 – 0,045	24	23 le sac
Panneaux de cellulose	0,035 – 0,045	24	22
Panneaux de bois feutré (mous)	0,040 – 0,045	26	15
Laine de bois (semi-rigides)	0,038	23	16,5
Laine de chanvre	0,039 – 0,045	25	17,92
Laine de lin	0,038	23	26
Laine de mouton	0,035 – 0,045	24	14,33
Laine de coton	0,035 – 0,045	24	
Plume de canard	0,042	20,5	19
Fibre de coco en 50 mm	0,043 à 0,045	26,4	14
Vermiculite 30 mm en sac de 100 l	0,035	21	12,5

1. λ : coefficient de conductivité thermique.

3.8. Performance d'un matériau-isolant

La performance de l'isolation mesure la capacité d'un isolant à résister au transfert de l'énergie thermique à travers une surface. En outre, l'objectif principal de l'isolation est de conserver la chaleur en hiver et la fraîcheur en été. Pour réussir, elle doit être robuste, remplir uniformément toute la pièce, limiter les flux de chaleur et, dans certaines situations, être résistante à la chaleur ou à l'humidité. Une bonne isolation est l'une des premières conditions à remplir pour réduire la consommation d'énergie d'une maison et réaliser des économies.

Nous réduisons tous en même temps les émissions de CO₂, ce qui est bon pour l'environnement. Bien entendu, le coût doit être pris en compte lors de la sélection d'un matériau. Par rapport aux panneaux rigides ou à la mousse, il est souvent moins élevé lorsque l'isolant est en vrac ou en rouleau. Toutefois, le coût du matériau de base n'est qu'un facteur parmi d'autres. Dans certains cas, des coûts d'installation bon marché ou le choix de l'installateur pour une technique d'isolation spécifique peuvent compenser l'augmentation du coût des fournitures (Vu, 2007).

3.9. Différentes présentations des isolants disponibles

Un isolant peut se présenter sous forme de vrac, de rouleaux, de panneaux, de billes ou de matériaux solides façonnables ; il peut être étendu à la main, injecté à l'aide d'un tuyau souple, ou pulvérisé sur des surfaces horizontales ou verticales en y ajoutant une molécule adhésive. Les isolants étendus à la main ont plus tendance à se tasser que ceux injectés à plus forte densité.

3.9.1. Isolant en vrac

Les isolants en vrac sont fabriqués à partir de divers matériaux, les particules étant de texture granuleuse ou floconneuse. L'isolant en vrac est excellent pour combler les vides inaccessibles ou de formes irrégulières. Il convient aux murs et aux planchers, ainsi qu'entre les chevrons et aires fermées comme les toits où l'espace entre les solives est souvent variable, de forme irrégulière ou plein d'obstacles. Il est également utile pour combler de petits vides ou pour recouvrir les solives du plafond. Il ne doit pas être appliqué au-dessous du niveau du sol, sauf s'il est recouvert de plaques ou plancher.

L'isolant en vrac peut être injecté ou versé. S'il est versé, il en faut généralement plus que s'il est injecté pour atteindre la résistance thermique voulue. Il est utile pour compléter l'isolant existant entre les chevrons et aires fermées des cavités murales accessibles et pour remplir les fissures et les espaces irréguliers. L'injection d'isolant en vrac nécessite habituellement les services d'un technicien compétent. Pour obtenir la valeur de R préconisée, le matériau doit être posé selon les instructions du fabricant. Il faut se munir de vêtements protecteurs et d'équipement de sécurité pour la pose. Il est surtout important de suivre les instructions du fabricant.

3.9.2. Isolant en rouleaux ou en rouleau

Les isolants en matelas ou en rouleau sont faciles à être posés dans les espaces accessibles comme les cavités murales, entre les chevrons où sur un plancher dans des combles que l'on n'utilisera pas. Il est assez souple pour remplir les vides de formes irrégulières et peut être coupé pour s'adapter. Il faut se munir de vêtements protecteurs et d'équipement de sécurité pour la pose, car les isolants minéraux, et en particulier la laine de verre, contiennent des éléments qualifiés d'abrasifs pouvant entraîner des rougeurs, voire des irritations de la peau. Les laines végétales peuvent pour certaines vous procurer des allergies de contact.

Choisir son isolant en fonction de son usage

Type d'isolant	Conditionnement	Usage
Laines minérales Laines végétales	Rouleaux Panneaux	Combles aménagés ou non, chevrons, toiture, cloisons, contre-cloisons, planchers, dalles flottantes, panneaux sandwichs, complexe de doublage, bardage
	Flocage	Combles non aménagés, endroits difficilement accessible et fermés
Perlite Flocons de cellulose	Vrac	Combles non aménagés et solive avec pose d'un plancher
Laine de bois Fibre de bois, liège Fibre de cocos Cellulose	Panneaux	Isolation de sols, murs, cloisons, contre-cloisons, complexe de doublage, plancher
Polystyrène expansé (PSE)	Panneaux	Murs, planchers, sols, combles habitables, isolation extérieure, panneaux de toiture, toiture terrasse, dallages, chape flottante
	Entrevois	Planchers à entrevois, treillis, poutrelles béton
Polystyrène extrudé (XPS)	Panneaux	Toitures, toitures terrasses, murs, isolation extérieure, combles habitables, sols, terre-plein, murs, complexe isolant extérieur
Polyuréthane (PUR)	Panneaux	Toitures, toitures terrasses, doublage des murs planchers sols, isolation extérieure
	Bombe	Tous travaux peu accessible, complément des autres isolants
Verre cellulaire	Panneaux, blocs	Toitures terrasses

Figure 24 : choix des isolants thermiques en fonction de son usage (vu, 2007)

3.9.3. Isolant en panneaux rigides

Les matériaux composites sont constitués de plaques juxtaposées de matériaux différents, isolants ou non. Ces panneaux combinent les propriétés des matériaux qui les composent : résistance à la compression, imperméabilité à la vapeur, qualités thermiques, comportement au feu, comportement à l'humidité, aspect fini.



Figure 26: Panneaux sandwichs autoportants avec ou sans armature de renforcement. Source : <https://www.archiexpo.fr/> Figure : Panneaux de mousse PUR avec lestage ou surface circulaire en béton.

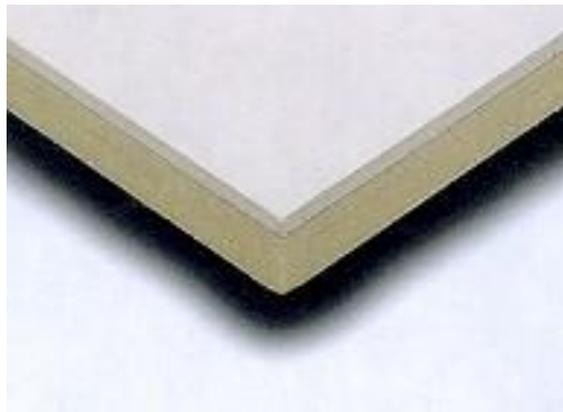


Figure 25: Panneaux de mousse PUR avec lestage ou surface circulaire en béton



Figure 27: Panneaux de mousse PUR

3.9.4. Panneau complexe

Ce type de panneaux comprennent une couche d'isolant collé à une plaque de plâtre enrobé de carton avec interposition éventuelle d'un pare-vapeur entre le plâtre et l'isolant. L'isolant peut être de la mousse de polystyrène expansé ou extrudé, de la mousse de polyuréthane, de la laine minérale.

3.9.5. Les isolants à pente intégrée

Les mousses synthétiques, le verre cellulaire, la laine de roche existent sous forme de panneaux dont les faces ne sont pas parallèles et forment un système permettant de faire varier

l'épaisseur de l'isolant de façon continue. Des panneaux à double pente et des pièces spéciales de noues et d'arêtes sont en général également disponibles.

3.9.6. Isolant à pente intégrée sur une toiture plate

Grâce à ce système, il est possible de créer ou d'augmenter la pente de la couverture avant pose de l'étanchéité. Les fabricants disposent généralement de services qui étudient la toiture et fournissent un plan de pose des isolants à pente intégrée. Parmi ses Avantages :

- La réalisation ou la correction de la pente ne nécessite qu'une seule opération.
- La charge sur le support est plus faible que s'il est fait usage d'un autre matériau pour réaliser la pente.

Il existe également d'autres inconvénients, tels que le manque d'uniformité de l'épaisseur, qui affecte l'isolation des toits plats. Comme l'isolation doit être suffisante partout, le point le plus bas de la pente doit avoir une épaisseur d'isolation suffisante. Par conséquent, une grande quantité d'isolant est nécessaire pour créer les pentes, ce qui a une incidence sur le coût. Les coûts liés à la fabrication et aux difficultés de conception sont également pris en compte (Energie-Plus, 2023).

Les isolants sont fabriqués à partir de diverses matières, y compris le verre fondu transformé en fibres, les roches volcaniques expansées, les journaux recyclés et la mousse plastique. Toutefois, il n'existe que quatre formes de base, ce qui facilite grandement leur classification : l'isolant en rouleau, l'isolant en vrac, l'isolant en panneau rigide ou semi-rigide et l'isolant en Mousse à vaporiser.

Selon leur nature, les matériaux isolants présentent différentes formes, raideurs et résistances à la compression :

Tableau 3 : Analyse comparative des matériaux isolants. Source : Energie-plus, 2023

Formes	Matériaux
Matelas semi-rigide ou souple :	La laine de roche, la laine de verre, les fibres traitées organiques (chanvre, ...) ou animales (laine, ...) ...
Panneaux rigides :	La mousse de polyuréthane, de polystyrène expansé ou extrudé, le verre cellulaire, les panneaux organiques (fibre de bois avec liant bitumineux ou caoutchouc, ...), le liège ...
Les flocons ou granulés :	Les granulés de perlite ou de vermiculite, les granulés de polystyrène expansé, les granulés de liège, les flocons de laine minérale insufflés, les flocons de papier recyclé ...

Conclusion

L'isolation naturelle est une façon de protection qui est obtenue par la réalisation d'un double mur avec une lame d'air, elle peut aussi parvenir de mur en pierre ou en bois. Cette isolation ne nécessite pas d'isolant préalable, mais aujourd'hui face au changement climatique elle se révèle insuffisante. C'est notamment le cas pour les constructions en béton armé. Ainsi, l'isolation naturelle adaptative prend le relais et nous assure une protection qui garantit un état thermique résidentiel agréable.

Les études récentes suggèrent que la sélection naturelle et adaptativité de l'isolation pour un bâtiment habité pourra jouer un rôle très important que prévu dans les conditions climatiques actuelles. L'isolation naturelle adaptative est le confort adaptatif qui vise à respecter l'environnement et améliorer l'état thermique résidentiel.

CHAPITRE II : CARACTERISATION DE L'ISOLATION NATURELLE ADAPTÉE A L'ÉTAT THERMIQUE RESIDENTIEL

Introduction

La fonction première d'un bâtiment occupé est de maintenir le confort thermique résidentiel. L'état est un concept que les scientifiques ont du mal à comprendre car il est subjectif et lié à la sensibilité de l'occupant. La caractérisation de l'état est avant tout un exercice d'objectivation, qui vise à déterminer comment différents événements physiques affectent le sentiment de bien-être de l'occupant. Près de 90 % de la population mondiale vit aujourd'hui dans des villes et passe ses journées à l'intérieur (Thellier et al., 2012).

Afin de maintenir des conditions climatiques hospitalières pour l'homme, les bâtiments se sont transformés en véritables machines thermiques. Consciemment et inconsciemment, la personne réagit en permanence à son environnement. Nous pouvons nous rapprocher d'une caractérisation de l'état thermique en spécifiant les mécanismes physiologiques, physiques et psychologiques (Batier, 2016).

1. La thermique du bâtiment

La définition de l'état thermique reste cependant difficile et peu claire. Par exemple, les fiches techniques « état thermique » publiées par l'Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (A.N.A.H, 2004) en France tentent de définir le phénomène comme "ne pas avoir trop froid, ne pas avoir trop chaud, ne pas ressentir de courants d'air gênants". Plutôt que d'essayer de décrire les critères thermiques, il est plus simple de les caractériser en décrivant ce qui les produit (Mezrag, 2010).

1.1. Etat thermique résidentiel

D'après Vitruve (1847) et Dumitriu-Valcea (1986) l'ensemble des conditions idéales requises pour le développement de la vie physiologique humaine à l'intérieur des différentes pièces est fourni par l'état thermique des bâtiments. Vitruve affirme que cela a une importance supplémentaire "en fonction de la destination des locaux.

Selon ASHRAE (2004), l'état thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant. De plus, Elle doit protéger les occupants de l'environnement extérieur, et assurer un équilibre et une qualité agréable à l'intérieur qui dépend des conditions extérieures.

Comme la plupart des vivants, l'être humain conserve sa température corporelle constante à environ 37°C en dépit des variations de température du milieu dans lequel il évolue. Pour cela, le corps humain est équipé d'un système de thermorégulation qui exploite les organes pour dissiper ou produire de la chaleur. La perte de chaleur (thermolyse) est assurée par l'hypothalamus dès que la température interne dépasse 37°C.

Dès que la température interne descend en dessous de 34°C, la peau, le métabolisme et l'activité musculaire (thermogenèse) commencent à produire de la chaleur. Physiquement, la température corporelle idéale est atteinte lorsque l'environnement et le corps humain ont établi un équilibre thermique. Ou, pour le dire autrement, lorsque le système de thermorégulation est le moins efficace (Baruch, 1978 ; Arnal, 2013).

C'est la sensation de bien-être physique résultant de l'équilibre thermique du corps. Or le corps échange de la chaleur avec son environnement par convection, rayonnement et évaporation (Cherier, 2010).

L'état thermique est un terme vague et ambigu puisque la notion état en elle-même est subjective et varie entre les individus selon l'âge, le sexe, l'emplacement géographique. A titre d'exemple la zone de l'état thermique en Angleterre se situe entre 14,5°C et 21°C, celle des Américains entre 20°C et 26°C et celle des habitants des régions tropicales entre 23°C et 29,5°C (Courgey et Oliva, 2023).

Cependant, on peut le définir l'état thermique comme étant un sentiment de bien-être satisfait par l'environnement thermique. D'après Foura (2008), il dépend de six paramètres de même, que pour Sassine (2017). Or, l'état thermique participe à la définition du bien-être. Puisque d'après Moser (2009) « L'état thermique est lié aux sentiments, à la perception, à l'humeur et à la situation. Sa définition fait à la fois appel à une approche négative (absence de thermique, qui se caractérise par exemple par l'absence de douleur, d'anxiété) et à une approche positive (bien-être, satisfaction) ».

Cette définition de l'état thermique permet en général de comprendre la complexité de la mesure du nombre élevé de paramètres physiques, psychologiques, physiologiques, culturels et personnels qui influencent plus ou moins les différents états. La notion d'état thermique quant à elle, est alors difficile à définir. Elle est sujette à de nombreuses recherches dans de multiples disciplines : physique, psychologie, architecture, biologie...

Dans notre étude, nous chercherons à comprendre la notion d'état dans le bâtiment et plus particulièrement l'état sensoriel qui peut être décliné en état visuel, état acoustique, état thermique ou hygrothermique, état olfactif, etc. Pour chacune des déclinaisons de ce dernier, Roulet (2008) détaille dans son ouvrage les conditions pour un état thermique optimal (Bâtier, 2016).

1.2. Estimation de l'état thermique

Les phénomènes physiques pour estimer une situation d'état thermique sont aujourd'hui bien connus. Cependant, notre histoire personnelle, la culture ou notre environnement induisent des attentes différenciées. En Amérique du Nord, les locaux sont chauffés à 22 °C pour Maresca, Dujin, et Picard (2009), montrent qu'en France, ils sont à 21 °C et les pouvoirs publics incitent à réduire à 19 °C (Poquet et Dujin, 2008). Ainsi aujourd'hui, si les attentes en termes d'état thermique ont différentes d'un pays à l'autre, c'est principalement à cause des passés culturels.

Tableau 4: Echelles de caractérisation de l'état thermique.

ECHELLE de BEDFORD	ECHELLE d'ASHRAE :
1 = Beaucoup trop frais	- 3 = Très froid
2 = Trop frais	- 2 = Froid
3 = Confortablement frais	- 1 = Légèrement froid
4 = Confortable ni chaud ni frais	0 = Ni chaud, ni froid
5 = Confortablement chaud	+ 1 = Légèrement chaud
6 = Trop chaud	+ 2 = Chaud
7 = Beaucoup trop chaud	+ 3 = Très chaud

Il existe aujourd'hui différentes échelles pour caractériser l'état thermique. Les plus utilisées sont l'échelle de Bedford et l'échelle d'ASHRAE (Tableau 5). Les deux ont un système de notation différent. Ainsi la première mélange la notion de l'état thermique et la notion de

température, C'est-à-dire qu'il est demandé, à la fois, la sensation et l'agrément. Cette échelle de notation définit le milieu par le chiffre 4 ce qui peut perturber l'individu lors de l'expression de sa sensation dans la mesure où cela ne correspond pas à un à l'équilibre thermique. La seconde échelle définie par la norme ISO 7730 (AFNOR, 2006) ne prend en compte que la sensation thermique et détermine la sensation moyenne par (Batier, 2016).

L'état thermique équilibré, en tenant compte des nombreuses définitions de l'état thermique proposées selon que la personne est considérée comme un objet physique, une machine thermique autorégulée ou une personne active influencée par ses sentiments. Par exemple, les situations où les systèmes d'autorégulation sont à peine actifs (Baruch, 1978). C'est l'état qui exprime la satisfaction quant à l'ambiance thermique (ASHRAE, 1997 ; AFNOR, 1995)

La plupart des définitions font référence à la composante physiologique de l'état thermique, à la neutralité thermique, à l'absence de tension, voire à l'agrément. Le plaisir est souvent corrélé à la stimulation, qui tend à diminuer les systèmes de thermorégulation en ramenant la température interne du sujet vers la température cible. Au contraire, la stimulation qui tend à augmenter les mécanismes de thermorégulation et à faire dévier la température interne du sujet du point fixe est considérée comme désagréable (Narçon, 2001).

La relation du sujet avec son environnement (comment il le perçoit), son humeur et ses expériences thermiques sont des facteurs psychologiques qui affectent la perception thermique et motivent le sujet à agir sur son environnement afin de maintenir son état thermique. Ces facteurs psychologiques vont au-delà de l'aspect physiologique de l'état thermique (Moujalled, 2007).

La schématisation de la relation entre une personne et son environnement, repose sur la relation avec l'ambiance thermique y faisant partie (Berger, 1995). Cette représentation montre comment la relation entre l'état thermique et les facteurs physiologiques s'étend au-delà de la seule température. Les traits individuels (psychologiques).

Les gens développent des attentes quant à la qualité de leur environnement thermique à la suite de leurs expériences culturelles et thermiques, ce qui les pousse à attendre avec impatience des conditions thermiques ou des changements dans ces conditions.

Chaque personne aura une réaction différente. Le degré et la nature du départ (plus ou moins favorable), les effets anticipés et la possibilité de changer les circonstances. L'état thermique peut également être influencé par l'engagement sensoriel (visuel ou auditif). Par exemple, si l'état thermique d'une pièce est maintenu par l'ouverture des fenêtres (pendant l'été ou au milieu de la saison), la présence de bruits extérieurs peut nuire à l'état thermique. La présence d'une contrainte pour l'âme des composantes de l'état sensoriel constitue une entrave pour les autres (Berger. Op. Cit).

Par ailleurs, il n'existe pas de définition définitive de l'état thermal. Il dépend de la situation et de la personne. Il peut être considéré comme un processus dynamique adaptatif qui combine plusieurs composantes physiques, physiologiques et psychologiques.

Tableau 5: Echelles de jugements subjectifs des conditions thermiques. Source : AFNOR 2001.

<i>Echelle de jugements perceptifs (sensation)</i>	<i>Echelle de jugements évaluatifs</i>	<i>Echelle de préférence thermique</i>
+3 Très chaud	4 Acceptable	+3 Beaucoup plus chaud
+2 Chaud	3 Légèrement inacceptable	+2 Plus chaud
+1 Légèrement chaud	2 Inacceptable	+1 Un peu plus chaud
0 Neutre	1 Très inacceptable	0 Ni plus chaud ni plus froid
-1 Légèrement froid		-1 Un peu plus froid
-2 Froid		-2 Plus froid
-3 Très froid		-3 Beaucoup plus froid

La nature subjective du confort thermique, qui se manifeste par une évaluation émotionnelle, nécessite l'utilisation de trois échelles clés pour l'évaluation : une pour la sensation, une pour l'agrément et une pour la préférence. Les échelles de jugement subjectif pour évaluer l'impact des conditions de température sont décrites dans la norme internationale ISO 10551. (Moujalled , Op. Cit).

La régulation comportementale est dictée par le cortex cérébral. Elle est la conséquence de l'écart entre nos attentes et la perception que nous avons de l'environnement thermique dans lequel nous nous situons. La perception ou sensation thermique dépend peu des facteurs psychologiques. En effet, elle est fortement corrélée à la température de peau qui résulte du bilan thermique du corps humain et par conséquent dépend de facteurs physiques (Gagge et al., 1972) et (Bonte, 2014).

En revanche, l'expectative relève quant à elle de la psychologie et c'est elle qui conditionne l'état thermique. Cette ambivalence aboutit à deux échelles psychosensorielles (tableau). Depuis les années 1960, de nombreux chercheurs ont proposé une définition de l'état thermique. Cependant, c'est souvent qu'on peut aussi ajouter celle de Hensen et Laurentius (1991) qui va plus loin en ajoutant la dimension comportementale, en effet, il s'agit selon lui d'un état dans lequel il n'y a pas d'impulsion motrice pour modifier l'environnement par le comportement.

Compte tenu des nombreux éléments susceptibles d'influer sur l'état thermique d'un intérieur et de son caractère le plus souvent arbitraire, il s'agit d'une notion à multiples facettes. Pour cette raison, il est difficile de définir précisément l'état thermique, même en termes généraux. Il symbolise le niveau de satisfaction de l'occupant dans un environnement thermique confortable. À cet égard, de nombreuses recherches sur l'état thermique nous offrent un large éventail de clarté sur cette idée.

De son côté Givoni Baruch (1978), montre que l'état thermique ne peut être établi que si les mécanismes d'autorégulation du corps humain soient à un niveau minimum d'activité. D'une manière plus simplifiée. A travers le modèle de Fanger et celui de Gagge, on voit que l'état thermique est absent de l'état thermique attendu.

De plus d'après Liébard et De Herde (2005), l'état thermique « est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique ». Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement ». Dans la même perspective, Hall (2010), voit que l'état thermique explique un état positif souhaitable par les personnes.

En outre, Faria-Neto et al. (2016) considèrent l'état thermique comme une notion subjective exprimant un état mental positif des individus en relation avec la perception de la chaleur et du froid.

A son tour, Moser (2009), voit que l'état thermique reste lié aux sentiments, à la perception, à l'humeur et à la situation de chaque individu. Sa définition fait à la fois appel à une approche négative (absence de sensation face à n'importe quel état thermique. Combien même, il se caractérise par l'absence de douleur, d'anxiété.). D'où l'approche positive (bien-être, satisfaction) devient une idée juste engendrée de complexité compte tenu de ses multiples paramètres physiques, physiologiques, et psychologiques.

Toutes ces études-recherches dans des disciplines différentes selon Batier (2016), et Sassine (2017), l'état thermique est un terme très vaste et ambigu car l'aspect subjectif de cette notion varie d'un individu à un autre selon plusieurs paramètres. (Khadraoui 2019).

L'état thermique résidentiel est donc un état d'équilibre entre le corps et son environnement mais la sensation thermique est très subjective et dépend de l'individu (âge, sexe, situation géographique...) et de son activité (état de repos, sport, travail...). Il dépend de paramètres comme la température d'air et les surfaces environnantes, la vitesse d'air, l'humidité (Spitz, 2012). Cette notion étant propre à chaque individu et fonction de sa sensibilité, son niveau d'habillement, son taux d'activité et fait l'objet de nombreux projets de recherche portant sur l'état thermique résidentiel.

Ainsi, les études plus récentes qui ont porté sur l'approche adaptative de l'isolation naturelle par rapport à l'état thermique résidentiel avaient consisté à prendre en compte les interactions entre l'occupant et son environnement (Rahmouni, 2020).

En résumé, la notion de l'état thermique, désigne surtout l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du système thermique (Cantin, et al., 2005).

1.3.Approches d'évaluation de l'état thermique équilibré

Dans la littérature à propos du confort thermique, il existe deux approches, l'approche analytique (ou statique) et l'approche adaptative (Moujalled, 2007 ; Richieri, 2008 ; Huebner et al., 2016).

Dans la même perspective, Cantin et al. (2005), voient que « le domaine de recherche sur le confort thermique est partagé entre deux approches. La première étudie le confort thermique d'une façon analytique. La deuxième approche, basée sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, est l'approche adaptative ».

Selon Moujalled (2007), ces deux approches sont complémentaires, de son côté il voit que « Malgré le conflit apparent entre les deux approches, elles ne sont pas contradictoires dans le principe. Elles sont complémentaires. L'approche analytique se focalise sur l'aspect physique et physiologique du confort thermique. L'approche adaptative traite le confort thermique à travers les réactions comportementales et adaptatives de l'occupant dans son lieu de vie habituel.

1.3.1. L'approche analytique

Selon Santamouris (2006) Les normes et les procédures pour la première évaluation du confort thermique sont principalement basées sur des environnements de laboratoire contrôlés, en particulier sur la transmission de chaleur entre le côté physiologique, l'environnement et le

corps. De ce côté, les méthodes analytiques les plus connues sont celles qui traitent l'indice de confort thermique PMV comme celle de Fanger et le modèle de Gagge à deux nœuds.

Les deux techniques les plus connues sont le modèle de Gagge à deux nœuds et l'indice de confort thermique PMV de Fanger. Pour plus d'informations, l'approche analytique ou statique s'appuie principalement sur le côté physique et physiologique. En calculant le bilan thermique du corps humain et ses interactions avec l'environnement thermique, il est possible de prédire les niveaux de confort en utilisant des indices découverts expérimentalement dans des chambres climatiques (Moujalled, 2007 ; Moujalled et al., 2008 ; Bâtier, 2016).

Grâce à des recherches sur un grand nombre de personnes (environ 1300 personnes) au niveau des chambres climatiques, Fanger a rédigé un livre en 1970 sous le titre « Thermal Comfort », qui est considéré comme une référence très importante dans le domaine du confort thermique (Hall, 2010).

Le modèle de Fanger PMV et PPD

D'après Robillart (2015) l'approche développée par Fanger en 1967 avec les indices de PMV « Predicted Mean Vote ou Vote Moyen Prévisible » et PPD « Predicted Percentage Dissatisfied ou Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits » sont les plus exploités pour décrire le confort thermique de l'être humain. Dans cette approche, Cette méthode est à la base de la réglementation française (AFNOR, 2006).

Fanger considère le niveau du confort thermique varie en fonction de trois éléments, l'équilibre du bilan thermique, la température moyenne de la peau et la sudation située dans les limites du confort (Hall, 2010 ; Robillart, 2015) que l'indice de « PMV » donne le vote moyen des individus interrogés qui indique des avis sur leurs sensations thermiques moyennes selon l'échelle de l'ASHRAE qui varie de (-3) à (+3) où chaque numéro exprime une sensation thermique (Moujalled, 2007, Richieri, 2008).

Les valeurs négatives expriment des températures très basses et les valeurs positives indiquent des températures très élevées. La zone du confort thermique se situe entre (-1) et (+1). Un indice du PMV égale à (0) exprime une sensation optimale du confort thermique (Robillart, 2015 ; Jedidi et Benjeddou, 2016).

Tableau 6: Illustration de l'échelle de l'ASHRAE et la sensation thermique de chaque valeur (source :Jedidi et Benjeddou.2016)

L'échelle de l'ASHRAE	Sensation thermique
+3	Chaud
+2	Tiède
+1	Légèrement tiède
0	Neutre
-1	Légèrement frais
-2	Frais
-3	Froid

4 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

A cause de l'insuffisance de l'indice du PMV à exprimer le confort et la satisfaction des personnes ainsi que l'existence des situations où les individus sont insatisfaits, Fanger a développé l'indice du PPD « Predicted Percentage Dissatisfied » qui complète le premier indice PMV et permet de déterminer le pourcentage des personnes insatisfaites vis-à-vis de l'ambiance thermique (Cantin et al., 2005 ; Robillart, 2015). La figure illustre la répartition de l'indice du PPD en fonction du PMV. Considérés comme insatisfaits

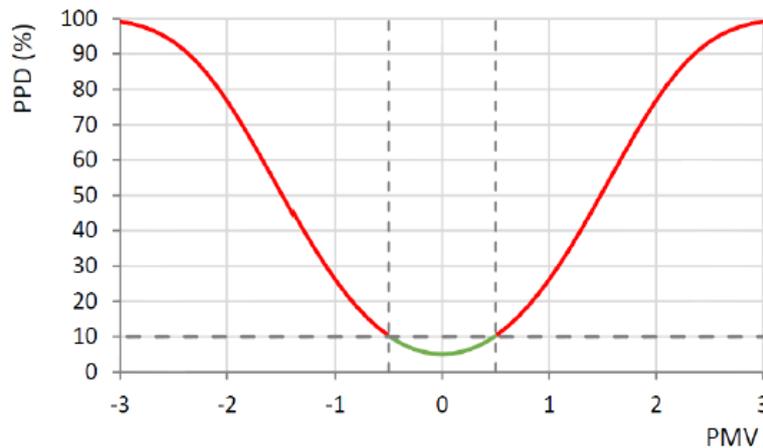


Figure 28: La répartition du PPD en fonction du PMV (Source Bâtier, 2016)

L'indice PPD montre que 5% des personnes ne sont pas satisfaites de l'environnement thermique, bien que l'indice PMV soit égal à 0, ce qui représente la sensation idéale de confort thermique. De plus, ces études ayant été menées dans des chambres climatiques aux conditions fixes, l'utilisation de l'indice PMV n'est encore pertinente que pour des environnements homogènes (Moujalled, 2007). Mojaled (2007). Les réglementations européennes (ISO 7730) et américaines (ASHRAE Standard 55) intègrent désormais ce modèle. Mais il présente certains inconvénients.

Ceci est dû au fait que, comme nous l'avons vu précédemment, il ne peut être utilisé qu'à des moments précis. En outre, il a été démontré (De Dear et Brager, 2002) que l'indice PMV surestime la perception de la chaleur en été et la sous-estime en hiver dans les bâtiments ventilés naturellement. Par conséquent, cette approche ne tient pas compte du confort dans ces circonstances. Elle reste néanmoins valable pour les bâtiments climatisés. Ces résultats ont été confirmés par (Moujalled, 2007) dans sa thèse sur les bâtiments français. Selon (Candas, 1998), les gens aiment avoir un peu plus chaud en général, par conséquent la courbe et les zones de confort se déplacent lorsque $PMV = +0,5$ et l'expérience du confort se fait sentir.

De part et d'autre du point médian, le mécontentement ne fluctue pas non plus de manière symétrique. Il semble que certains individus se méprennent sur le caractère chaud ou froid d'une chose, ce qui aurait également tendance à affecter la courbe antérieure. (Bâtier, 2016).

Le modèle de Givoni

L'évapotranspiration est incluse dans le graphique de la figure ci-dessous en relation directe avec la vitesse de l'air. Cette méthode permet désormais de déterminer la plage de températures d'une construction dépourvue de système d'isolation naturelle actif. Le degré d'adaptation d'une personne à son environnement influence également sur sa perception de la chaleur. En d'autres termes, plus il fait chaud à l'extérieur, plus les individus seront capables de tolérer des températures élevées dans une construction dépourvue d'isolation appropriée.

Par conséquent, une meilleure tolérance se développe et un processus d'acclimatation s'enclenche. L'atténuation des réactions du corps est appelée "confort adaptatif". Une structure bien isolée favorise la capacité d'adaptation de chaque personne.

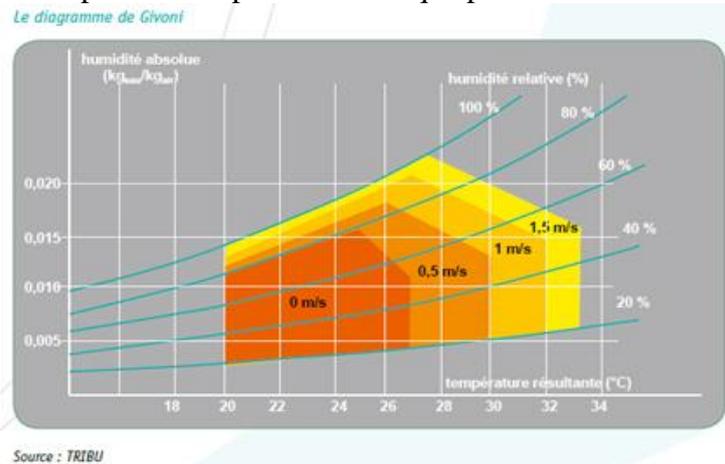


Figure 29:Modèle de Giovanni. Source : <https://www.ageden38.org/confort-echanges-thermiques/>

Le modèle Gagge

Gagge a développé un modèle dynamique simple de la thermorégulation, il partage le corps à deux parties (deux nœuds) présentant le centre du corps (le noyau) et la peau (Batier, 2016).

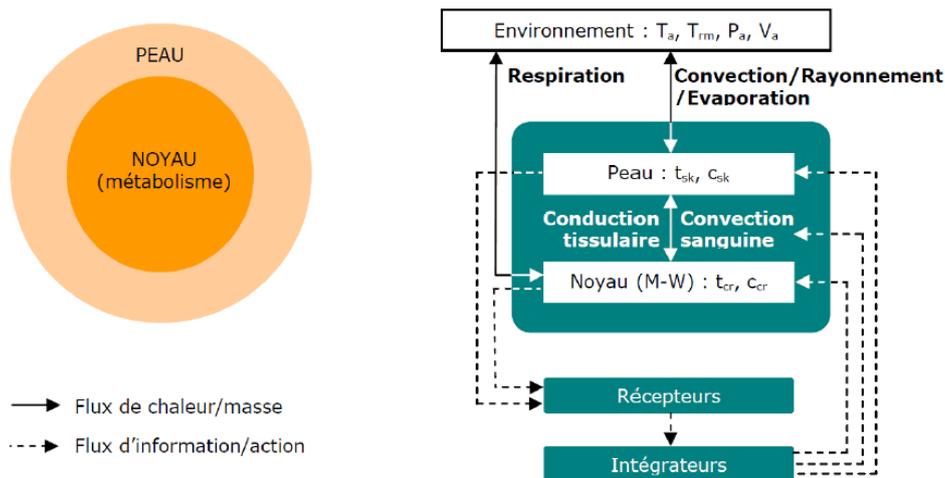


Figure 30 : La figure présente le modèle physiologique à deux nœuds de Gagge.

Gagge (1971) a développé l'indice SET « Standard Effective Température ou Température Standard Effective » par l'exploitation de la température cutanée et la mouillure cutanée (Cantin et al., 2005). À noter que cet indice représente la température sèche similaire à une isotherme à 50% d'humidité relative, dans lequel l'individu aurait la même température de peau et la même mouillure cutanée (Moujalled, 2007 ; Batier, 2016). Le modèle de Gagge à deux nœuds est considéré comme une version simplifiée du modèle de Stolwijk et Hardy (Cantin et al., 2005).

Tableau 7: Relation entre la température standard effective « SET » et la sensation thermique. Source : Lavoye, Thellier, 2008.

SET (°C)	Sensation	L'état physiologique d'une personne sédentaire
>37,5	Extrêmement chaud	Échec de la régulation
34,5 – 37,5	Très chaud, très inacceptable	Sudation profuse
30,0 – 34,5	Chaud, inconfortable, inacceptable	Sudation
25,6 – 30,0	Légèrement chaud, légèrement inacceptable	Sudation légère, vasodilatation
22,2 – 25,6	Confortable et acceptable	Neutralité
17,5 – 22,2	Légèrement froid, légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14,5 – 17,5	Froid et inacceptable	Refroidissement ralenti du corps
10,0 – 14,5	Très froid, très inacceptable	Frissons

Le modèle de Stolwijk et Hardy

Le modèle de Stolwijk et Hardy (1977) est un modèle très complexe, il est considéré comme un exemple de base et d'inspiration d'un grand nombre de travaux (Parsons, 2014 ; Batier, 2016).

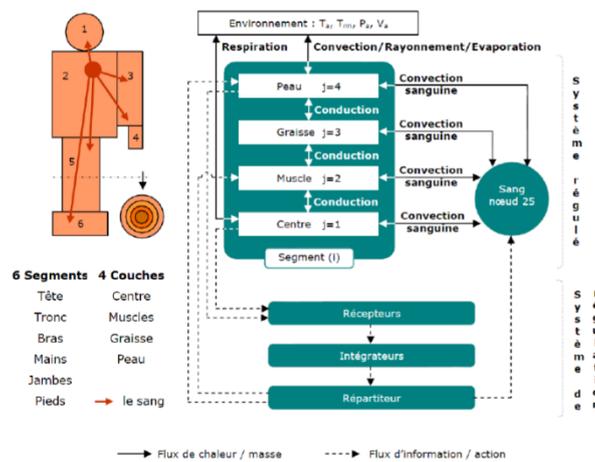


Figure 31: Le schéma de modèle thermique du modèle de Stolwijk et Hardy (source moujalled, 2007)

Un modèle thermo physiologique beaucoup plus complexe a été publié par Stolwijk en 1970. Créé à l'origine pour la NASA, ce modèle porte désormais son nom. Le corps humain est composé de 25 nœuds de calcul, chacun représentant un membre ou un composant du corps. Il est utilisé pour étudier la façon dont le corps réagit aux circonstances uniques que présentent les sorties dans l'espace (Moujalled, 2007).

1.3.2. L'approche adaptative

L'approche adaptative traite l'état thermique équilibré selon les réactions comportementales et la propriété adaptative du corps humain dans l'ambiance thermique (Moujalled, 2007). De leur côté Mishra et al. (2016) voient que le concept du confort thermique adaptatif représente la capacité des occupants à l'adaptation dans leur environnement thermique. Dans cette optique, Humphreys et Nicol (2002) ont donné la définition suivante « *If a change occurs such as to produce discomfort, people react in ways which tend to restore their comfort* » qui signifie qu'É dans le cas où il y a un changement produisant l'inconfort, les gens réagissent afin de rétablir leur confort.

L'approche adaptative est basée sur des études de terrain et des enquêtes qui prennent en compte les aspects physiques, physiologiques et psychologiques en relation avec les données climatiques externes, contrairement à l'approche analytique qui est basée sur des études en chambre climatique traitant de l'aspect physique et physiologique (Moujalled, 2007 ; Batier, 2016). De son côté Wilches (2014) voit que l'approche adaptative est fondée sur « la relation qui existe entre la perception de l'ambiance intérieure et l'adaptation de l'individu en fonction d'une part des conditions intérieures, mais aussi du climat extérieur ».

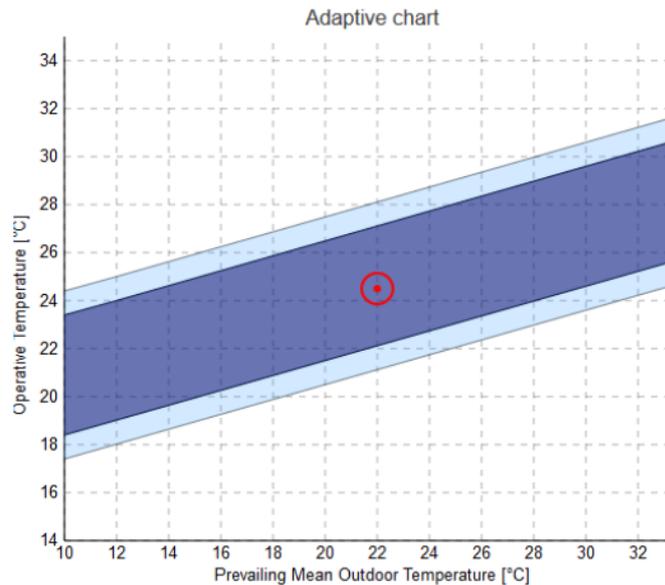


Figure 32: La figure présente un diagramme du confort thermique adaptatif selon la norme ASHRAE 55-2017.

La zone de confort thermique peut être déterminée à l'aide de ce graphique, qui montre le lien entre la température de fonctionnement et la température extérieure. Le diagramme montre deux zones distinctes : la zone claire représente un pourcentage de satisfaction globale de 80 %, tandis que la zone sombre représente un taux de satisfaction globale de 90 % (Hernandez, 2014). Le rapport final ASHRAE RP- 884 indique que l'adaptation comportementale, physiologique et psychologique sont les trois processus différents mais liés qui constituent l'adaptation du corps humain à la température (De Dear et al., 1997).

La démarche analytique a été créée à partir d'expériences en chambre climatique. Les sujets étaient souvent dépourvus de moyens d'adapter leur environnement, des situations loin de refléter la réalité. Face à ce problème, des chercheurs ont commencé à vouloir valider la méthode analytique dans des cas réels. Ils se sont alors aperçus que les résultats donnés par les différentes méthodes analytiques ne concordaient pas toujours aux réponses des questionnaires distribués durant des enquêtes de terrain. Ils remarquèrent notamment d'importantes différences pour les bâtiments naturellement ventilés (voir figures 34, 35).

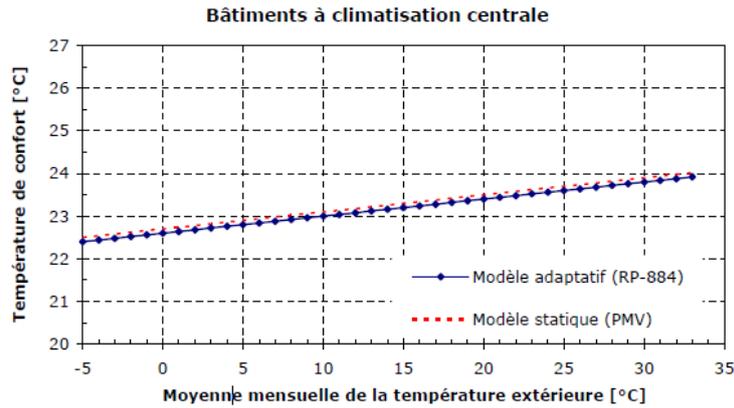


Figure 34: Modèle adaptatif proposé par le projet RP-884 face au modèle PMV pour les bâtiments climatisés (source : De Dear, 2002)

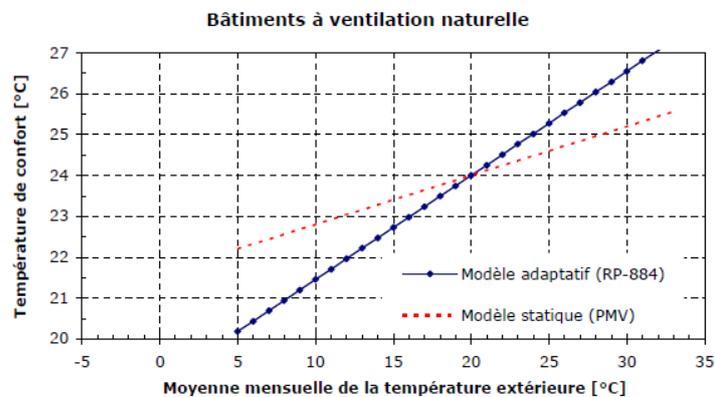


Figure 33: modèle adaptatif proposé par le projet RP-884 face au modèle PMV pour les bâtiments à ventilation naturelle. Source De Dear, 2002

L'écart entre les résultats des indices et ceux des enquêtes sur le terrain a donné naissance à un nouveau domaine d'étude connu sous le nom de méthode adaptative. Cette approche, totalement empirique et basée sur des enquêtes de terrain, mesure les jugements thermiques au fur et à mesure que les occupants vaquent à leurs occupations quotidiennes à l'aide de questionnaires. Des échelles de vote de type ASHRAE ou Bedford sont fréquemment utilisées pour enregistrer les votes des électeurs. Ce type d'enquête mesure également les facteurs environnementaux des environnements intérieur et extérieur, tels que la température.

Il existe deux grandes études internationales concernant le confort adaptatif. Il s'agit du projet de recherche RP-884 de l'ASHRAE mené par de Dear et al. (199) et du projet européen SCAT's (Smart Control And Thermal Comfort) mené par Nicol et al. (2002) Ces projets ont été lancés pour mettre à jour ou créer un contexte normatif autour de la démarche adaptative.

La norme 55-2004 de l'ASHRAE a été modifiée en prenant en compte les résultats du projet RP-884. Une méthode optionnelle a été ajoutée concernant la détermination des conditions de confort thermique acceptable dans les locaux naturellement ventilés et dépourvus de systèmes de climatisation. Pour que la méthode soit valable, il faut que l'occupant ait le contrôle de l'ouverture et fermeture des fenêtres pour réguler les conditions thermiques de la pièce (W. Olesen and G. S. Brager, 2004).

Le projet européen SCATs a porté sur l'étude du confort de 26 bâtiments de bureaux principalement situés en Europe et dont certains étaient naturellement ventilés. Les résultats du projet ont servi de base à la norme exclusivement européenne EN 15251 dont les critères recommandés pour l'ambiance thermique s'inspire des travaux de McCartney et al. Pour la réalisation de leur étude ils ont utilisé des algorithmes du contrôle adaptatifs ACA qui sont aujourd'hui la base de la réglementation européenne EN 15251 (AFNOR, 2007).

Ces algorithmes permettent de calculer les températures de confort T_c à partir de la moyenne mobile exponentielle de la température extérieure calculée avec une constante de temps ≤ 0.80 . L'application de l'algorithme dans deux bâtiments climatisés, l'un en Suède et l'autre au Royaume-Uni, a permis de ne constater aucune détérioration dans le niveau de confort. Il y avait même eu une légère amélioration. Quant à l'aspect énergétique, une économie de 30 % de la charge de climatisation a été constatée pour le deuxième bâtiment. Le Tableau ci-dessous présente les algorithmes développés pour les différents pays participants.

Tableau 8: représentation des algorithmes développés dans le cadre du projet SCATs pour les différents pays participants. Source : McCartney, 2002. <https://www.hqe.guidenr.fr/cible-8-hqe/confort-thermique-modele-adaptatif.php>

Pays	Algorithme du contrôle adaptatif pour le calcul de la température de confort	
	$T_{MR80} = 10 \text{ °C}$	$T_{MR80} > 10 \text{ °C}$
France	$0.049 \times T_{MR80} + 22.58$	$0.206 \times T_{MR80} + 21.42$
Grèce	n.a.	$0.205 \times T_{MR80} + 21.69$
Portugal	$0.381 \times T_{MR80} + 18.12$	$0.381 \times T_{MR80} + 18.12$
Suède	$0.051 \times T_{MR80} + 22.83$	$0.051 \times T_{MR80} + 22.83$
Royaume-Uni	$0.104 \times T_{MR80} + 22.58$	$0.168 \times T_{MR80} + 21.63$
Tout	22.88 °C	$0.302 \times T_{MR80} + 19.39$

La thermicité adaptative est donc reliée à la fois à la température intérieure et à la température extérieure, car elle est modulée avec les variations météorologiques quotidiennes. Bonte (2014), dans son état de l'art sur la thermicité adaptative, montre qu'il existe de nombreuses études qui tentent de définir une température ambiante sur la base de l'équation suivante :

$$TC = \alpha \times T_{ext} + \beta$$

TC : Température intérieure de confort optimal, °C

T_{ext} : Température extérieure, °C

α et β : Constantes, respectivement sans unité et °C

Grâce à l'étude de bâtiments répartis dans cinq pays (Royaume Uni, France, Suède, Grèce, Portugal) McCartney et Nicol (2002) ont adapté l'équation précédente en vue de réduire les dépenses énergétiques nécessaires au maintien d'une température constante dans les bâtiments. Il en ressort une relation différente pour chaque pays. Cependant pour la France l'équation suivante a été proposée.

$$\text{Pour } TRM7 \leq 10 \text{ °C} \quad TC = 0,049 \times TRM7 + 22,58$$

$$\text{Pour } TRM7 > 10 \text{ °C} \quad TC = 0,206 \times TRM7 + 21,42$$

-TC : Température intérieure de confort optimal, °C

- TRM7 : Température extérieure en moyenne glissante journalière sur 7 jours calculée selon l'équation, °C.

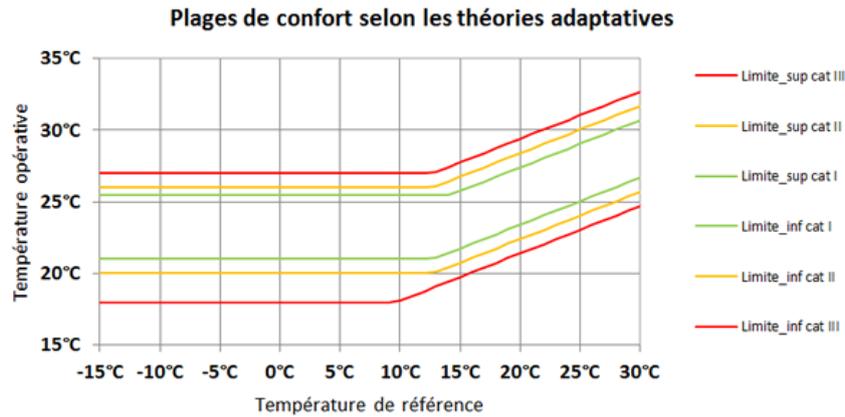


Figure 35:Températures opératives correspondantes aux différentes plages de confort définies par la norme NBN EN 15251. Source : <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>

1.4.Rappel des indices physiques en thermique du bâtiment

Les notions de bases de la thermique du bâtiment et les caractéristiques des matériaux de construction le choix des matériaux de construction est une étape très importante dans le processus de l'isolation thermique d'un bâtiment. Cette étape déterminante et elle nécessite la compréhension des notions de bases de la thermique du bâtiment et les caractéristiques thermiques des matériaux isolants naturels telles que la conductivité, la résistance, la transmission et l'inertie thermique.

La conductivité thermique s'exprime en W/mK, est un paramètre qui caractérise la nature de l'isolant s'il est conducteur ou non-conducteur. Elle représente la quantité d'énergie traversant 1 m² de matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température d'un degré Celsius [Pajani, 2012 : Guillemeau et al. 2015]. La figure 4 présente un exemple des valeurs de la conductivité thermique de quelques matériaux. Isolants.

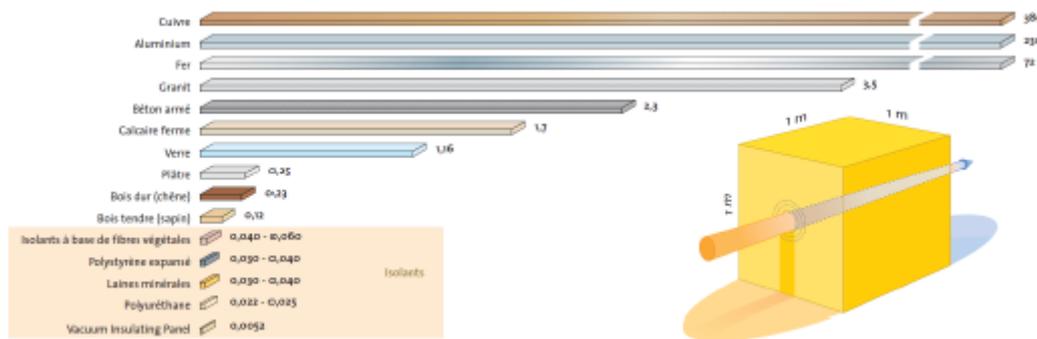


Figure 36: Conductivité thermique des matériaux. Source : Saint-Gobain, 2016.

Plus la valeur de la conductivité thermique est faible (<0,06 W/m.K), plus les matériaux sont isolants (Gallauziaux et Fedullo, 2010).

La résistance thermique (R en m².K/W) représente la capacité du matériau isolant à freiner le transfert de la chaleur par conduction, et qu'elle est calculée par le rapport de l'épaisseur du matériau sur sa conductivité thermique si le matériau est homogène ($R = e / \lambda$), dans le cas d'un mur composé par plusieurs couches. Également, elle se calcule par la somme de la résistance de chaque couche ($R_{mur} = [R + R_{si} + R_{se}]$) où R_{si} et R_{se} représentant les résistances thermiques superficielles des murs [Gallauziaux et Fedullo. 2010 : Bouchié et al., 2013], (voir figure 38).

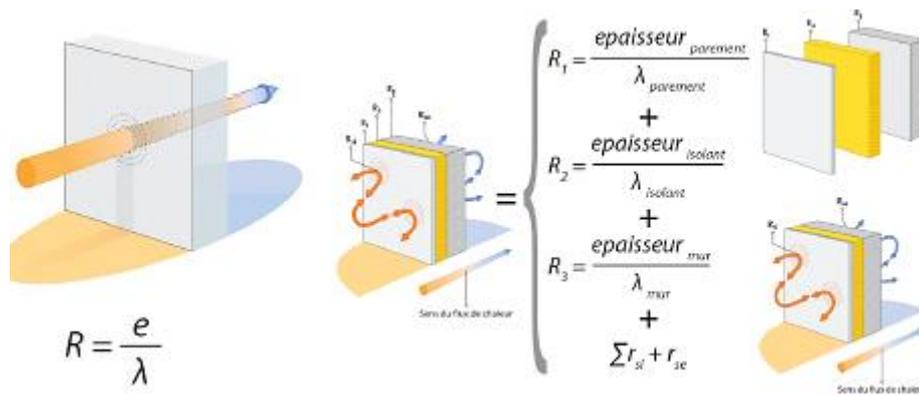


Figure 37: La résistance thermique d'un mur. Source : Saint-Gobain 2016

L'inertie thermique est une grandeur qui caractérise le retard et l'amortissement que subit une onde thermique avant d'atteindre l'intérieur. L'inertie dépend de plusieurs paramètres à savoir l'isolation thermique, les caractéristiques thermiques des matériaux de construction (conductivité thermique, chaleur spécifique, masse volumique). Une bonne inertie thermique est celle qui produit une ambiance thermique intérieure stable, non soumise aux variations des conditions extérieures. Plus les murs sont épais et les matériaux lourds (béton, pierre, brique pleine, terre crue, etc.), plus l'inertie est grande, de ce fait, la construction se réchauffe et se refroidit lentement. Elle a deux caractéristiques :

La diffusivité thermique correspond à la vitesse d'avancement d'un front de chaleur à travers le matériau (unité : m²/h).

L'effusivité thermique : représente la capacité d'un matériau à absorber un flux de chaleur instantané (unité : (W/°C m²)). Le rôle de l'isolation thermique est de s'opposer au passage des flux de chaleur qui tendent à traverser la paroi, de l'ambiance la plus chaude vers la plus froide. En saison froide, ce mouvement va de l'intérieur vers l'extérieur. En été, c'est l'inverse. L'isolation thermique se mesure selon différents paramètres énergétiques qui sont notamment la résistance thermique et la conductivité thermique,

La résistance thermique (notée R en m².K/W), correspond à la capacité du matériau à ne pas laisser passer la chaleur. Plus R est grand, plus le matériau est performant. R est fonction de l'épaisseur (quand on double une épaisseur, on double R).

La conductivité thermique (notée λ : lambda en W/m.K), correspond à la quantité de chaleur qui traverse le matériau. Plus λ est petit, plus le matériau est isolant. Pour un bon isolant, le coefficient λ doit être le plus faible possible, idéalement compris entre 0,04 et 0,03. (Rahmouni, 2020).

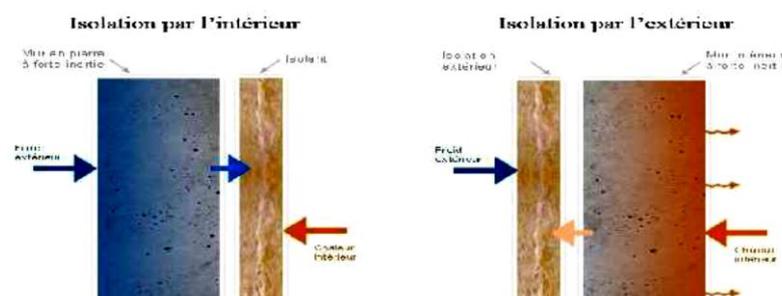


Figure 38: Isolation par intérieur et par extérieur. Source ; <https://www.ma-maison-container.fr/isolation/>

1.5. Les indicateurs de l'état thermique

Plusieurs grandeurs physiques impactent l'état thermique. Nous avons regroupé ci-après les principaux indicateurs trouvés dans la littérature de recherche.

La température de l'air (notée T_a , est aussi appelée température ambiante sèche) est une grandeur physique exprimée en °C qui représente l'agitation thermique de l'air. Elle se mesure facilement avec un thermomètre. C'est l'indicateur le plus connu du grand public, cependant elle ne reflète pas parfaitement la sensation de l'état thermique.

La température radiative moyenne est la température radiative moyenne (notée T_{rm}) est une température qui intègre tous les échanges thermiques par rayonnement avec l'environnement.

$$T_m^r = \sqrt[4]{\sum_j (F_{h \rightarrow j} T_j^4)}$$

Avec :

- F_{hj} le facteur de forme de l'homme vers la source radiative ;
- T_j la température de la source radiative.

En pratique, elle est obtenue en calculant le bilan radiatif entre l'occupant et les diverses sources radiatives (soleil, murs, fenêtres, plafond, sol, radiateurs. . .).

La température opérative La température opérative (notée T_o , aussi appelée température résultante sèche) est un indicateur qui tient compte de la température de l'air et des températures radiatives. Elle s'exprime comme la moyenne entre la température radiative moyenne et la température ambiante sèche, pondérée respectivement par leur coefficient de transfert thermique.

$$T_o = hrT_{rm} + hcT_a / hr + hc$$

Avec les coefficients de transfert entre l'occupant et son environnement :

- hr le coefficient de transfert thermique radiatif ;
- hc le coefficient de transfert thermique convectif.

A l'intérieur d'un bâtiment, les vitesses d'air sont faibles et la température opérative peut être simplifiée : $T_o = T_{rm} + T_a / 2$.

La température résultante ou température opérative : La température opérative est un indice de l'état thermique intégrant l'effet de la convection et du rayonnement (t_a et t_r). Elle est en fait définie comme la température d'une enceinte isotherme dans laquelle un occupant échange la même quantité de chaleur par rayonnement et convection que dans l'enceinte dans laquelle il se trouve réellement [Bruant. 1997]. Elle peut être écrite de la façon suivante.

$$T_{op} = \alpha \cdot t_a + (1 - \alpha) t_{mrt}$$

Avec :

t_a : température d'air, °C

T_{mrt} : température moyenne radiante, °C

Alpha : paramètre dépendant exclusivement de la vitesse d'air (souvent voisine de 0,5).

Cet indice est pris égal à la température mesurée à l'intérieur d'un globe noir dont le diamètre est déterminé de façon que les échanges de chaleur par convection et rayonnement soient dans les mêmes proportions que pour le corps humain. Pour une convection naturelle avec une vitesse d'air faible (entre 0.1 et 0.15 m/s), un globe de 40 mm de diamètre est suffisant.

Il a en plus un temps de réponse plus rapide par rapport au globe de 150 mm traditionnellement utilisé (Parsons, 2003). Une balle de tennis est parfois utilisée (38 mm de diamètre), elle représente ainsi un modèle physique simple du corps humain (Nicol, 2001).

Température opérative : La température opérative est un indice de l'état thermique composé par deux paramètres physiques, la température de l'air et celle des parois réfléchissantes. (Cordier, N. 2007 cité par Mazari, M. 2012). Il s'agit d'une température de l'état thermique ressentie (énergie +, 2012 cités par Hamel, Kh 2012).

Tableau 9: Valeur de température opérative selon le degré d'habillement et la nature d'activité

Activité	Métabolisme (en met)	Résistance thermique du vêtement (en clo)	Température opérative en (°C)
Repos, sommeil	0.8	2.2	18 (±3)
Activité sédentaire	1	1.5	20 (±2.5)
Activité légère	2	1	16 (±3)
Activité forte	3	1	10 (±4)
Hygiène personnelle	1.4	0	27 (±1)

La température équivalente t_{eq} I : La température équivalente est définie comme étant la température d'une enceinte isotherme ayant une vitesse d'air nulle, dans laquelle un sujet échangerait la même quantité de chaleur sensible, par convection et rayonnement, que dans l'enceinte réelle dans laquelle il se trouve. Elle permet de prendre en compte les effets des températures d'air, de rayonnement et de la vitesse d'air (t_a , t_r et v_a). Elle peut être calculée à partir de la température à l'intérieur d'un globe chauffé.

La température effective ET : La température effective est définie comme étant la température sèche équivalente d'une enceinte isotherme à 50 % d'humidité relative, dans laquelle un sujet échangerait la même quantité de chaleur et aurait même mouillure cutanée que dans l'enceinte réelle dans laquelle il se trouve. L'indice ET prend en compte les effets de la température et de l'humidité (t_a , t_r et p_a). et pour le calculer, il faut connaître la mouillure cutanée et l'indice de perméabilité à la vapeur d'eau des vêtements (i_m).

L'ASHRAE a établi des échelles de l'état thermique basées sur cet indice pour des sujets exerçant une activité faible (1 Met) ayant une vêtue de 0.6 Clo et dans une ambiance calme (V_a 0.2 ms) (Moujalled 2007).

1.6. Les facteurs influant sur un meilleur état thermique

Six facteurs physiologiques, comportementaux et environnementaux liés à la personne et à l'environnement, tels que le métabolisme, les vêtements, la température de l'air ambiant, la température des murs, l'humidité relative et la vitesse de l'air, sont les facteurs clés qui déterminent l'état thermique d'une personne (M. Galeou, 1991), (Liébard et De Herde, 2005); Bonte, 2014; Jedidi et Benjeddou, 2016; Faria-Neto et al., 2016) comme de démontre la figure (khadraoui 2019).

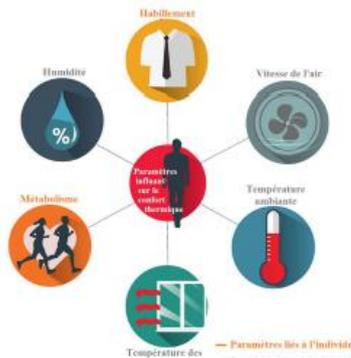


Figure 40: Les paramètres influant sur le confort thermique (Source, Khadraoui, 2019)

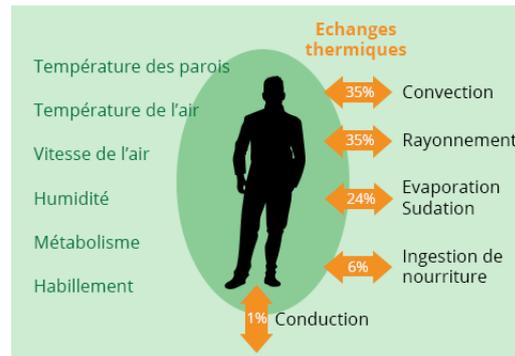


Figure 39: diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance (Source, https://conseils.xpair.com/actualite_experts/confort-physiologique-confort-global-ressenti.htm)

1.6.1. Facteurs liés à l'individu (Thermorégulation comportementale)

L'hypothalamus est responsable du contrôle de la thermorégulation, qui régule la température corporelle. L'hypothalamus lance un certain nombre de processus pour évacuer la chaleur supplémentaire et maintenir la température du corps plus ou moins constante lorsque la température du corps augmente. Voici les éléments qui influencent la thermorégulation comportementale, le métabolisme et la manière dont les vêtements affectent le métabolisme.

Le métabolisme

Pour maintenir la température du corps à environ 37°C, le métabolisme produit de la chaleur à l'intérieur. M remarque que cela signifie que le métabolisme reflète la vie cellulaire, qui résulte de la consommation d'oxygène et de l'émission de dioxyde de carbone (Candas, 1998)⁵. La principale forme sous laquelle cette énergie est libérée est la chaleur. Les muscles utilisent une partie de leur métabolisme pour effectuer un travail externe, comme le montre la variable W, souvent appelée efficacité mécanique ($W = n.M$; n ne dépasse pas 20 % et, pour les emplois de bureau traditionnels, il est presque nul) (Parsons, 2003). La chaleur métabolique est alors obtenue en déduisant le travail externe W du taux de métabolisme M.

Le métabolisme total M peut être mesuré expérimentalement à partir du volume d'oxygène consommé. Dans la pratique, il est estimé à partir des tableaux qui donnent le métabolisme en fonction de la description de l'activité ou la tâche. La puissance métabolique est donnée par rapport à la surface corporelle. Elle est exprimée souvent en Met, l'unité de Met est égale à 58.15 W/m² et correspond au métabolisme d'un individu assis au repos.

La norme ISO 8996 (AFNOR, 1994) propose plusieurs méthodes pour déterminer le métabolisme. Ces méthodes sont classées en trois niveaux selon le degré de précision. Le premier niveau correspond à une estimation du métabolisme à partir d'une classification par types d'activité et par profession. Le deuxième niveau correspond à une estimation par les composantes d'activité. Au 3^{ème} niveau le métabolisme est déterminé par mesure directe. Le métabolisme peut être donc estimé en additionnant les différentes composantes de celui-ci. D'après Moujalled (2007), il est déterminé analytiquement en additionnant les valeurs suivantes.

$$M = B_m + M_p + M_w + M_m$$

Avec :

BM métabolisme basal, W/m²

⁵ Victor Candas, 1998, Confort thermique. In : génie énergétique. vol. BE 4. Paris : Technique de l'ingénieur, 1998 p. BE 9085.

M_p composante posturale, W/m^2

M_w composante d'activité, W/m^2

M_m composants de déplacement du corps en fonction de la vitesse, W/m^2

Le métabolisme (M) du corps humain est l'opération de la production de la chaleur afin de maintenir la température du corps autour de $36,7\text{ }^\circ\text{C}$. Ce paramètre varie en fonction de l'activité qui influe directement sur la température de l'état thermique.

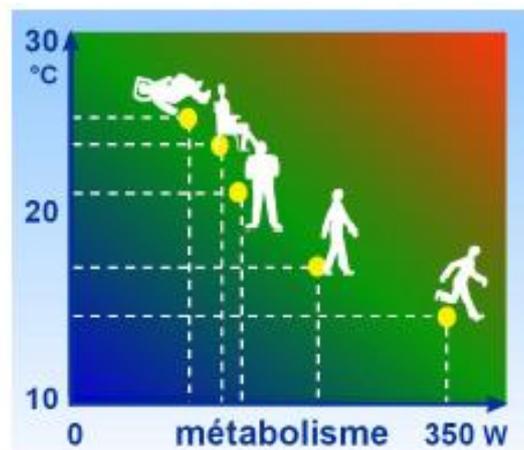


Figure 41: L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température de l'état.
Source : Liébard et De Herde, 2005.

De même le tableau 10 ci-après illustre l'impact de différentes activités sur les valeurs du métabolisme (M en met et en W/m^2).

Tableau 10: Impact de l'activité sur les valeurs du métabolisme. Source, Jedidi, Benjeddou, 2016.

L'activité	met	W/m^2
Repos, couché	0,8	45
Repos, assis	1,0	58
Activité légère, assis (bureau, école)	1,2	70
Activité légère, debout (laboratoire, industrie légère)	1,6	95
Activité moyenne, debout (travail sur machine)	2,0	115
Activité soutenue (travail lourd sur machine)	3,0	175

Le métabolisme (M) exprimé en « met » ou en W/m^2 où $1 \text{ met} = 58,15 \text{ W}/m^2$ (Batier, 2016). Les valeurs du métabolisme augmentent avec le renforcement du rythme d'activité ce qui engendre la production de la chaleur et l'augmentation des échanges thermiques entre le corps et l'environnement. (Khadraoui, 2019). Lorsqu'une personne est en mouvement, un métabolisme de travail correspondant à son activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.

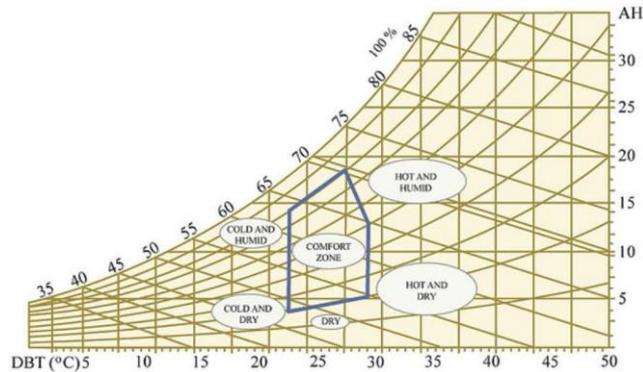


Figure 42: Plage de l'état thermique

Le niveau d'activité se mesure en « met », les valeurs caractéristiques de l'activité métabolique des individus sont fournies dans la figure suivante :

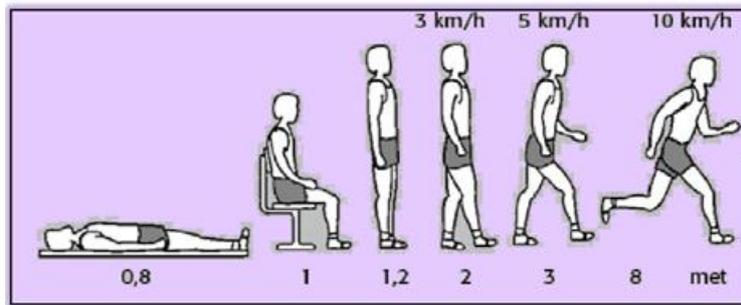


Figure 43: Production de chaleur en fonction de l'activité. Source : Guide technique de la diffusion d'air.

L'habillement

L'habillement représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement (Sassine, 2017). L'habillement ou l'isolement vestimentaire, est considéré comme un élément de résistance thermique contant par rapport aux échanges de la chaleur entre la surface de la peau et l'ambiance thermique (Figure 44), il est mené en « Clo » où $1 \text{ Clo} = 0,133 \text{ Cm W}$ (Mazari, 2012 ; Lavoye et al., 2015).

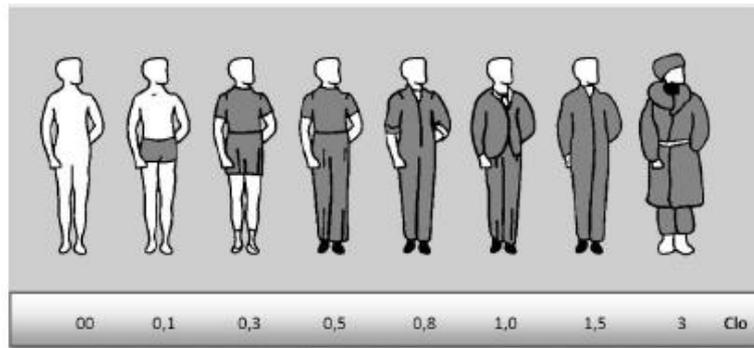


Figure 44: Valeurs de l'isolement vestimentaire de différents vêtements. Source Khadraoui 2019 ; Bâtier 2016.

Le niveau d'habillement des occupants est caractérisé par une valeur relative, exprimée en « CIO », l'unité d'habillement.

Tableau 11: Description des tenues vestimentaires

Clo	Description des tenues vestimentaires (comprenant les chaussures, les chaussettes ou les bas)
0,30	Slip, T-shirt, shorts, chaussettes, sandales
0,50	Caleçon, chemise à manches courtes, pantalon léger, chaussettes fines, chaussures
0,70	Slip, jupon, bas, robe, chaussures
0,70	Sous-vêtements, chemise, pantalon, chaussettes, chaussures
1,00	Slip, chemise, pantalon, veste, chaussettes, chaussures
1,10	Slip, bas, corsage, jupe longue, veste, chaussures
1,30	Sous-vêtements à manches et jambes longues, chemise, pantalon, tricot, veste, chaussettes, chaussures
1,50	Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, gilet, veste, manteau, chaussettes, chaussures

La tenue vestimentaire représente aussi une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Les vêtements constituent une deuxième barrière thermique après la peau, ils influencent sur les échanges de chaleur convective et radiative. Pour Givoni Baruh (1978) « A des températures de l'air inférieures à 35°C, l'effet est toujours de réduire la perte de chaleur sèche du corps et ainsi de produire un effet d'échauffement. A des températures de l'air supérieures à 35°C, les effets des vêtements sont plus complexes. D'un côté ils réduisent le gain de chaleur « sèche » en provenance de l'ambiance mais d'un autre côté, ils augmentent l'humidité et réduisent la vitesse de l'air en contact avec la peau, ce qui se traduit par une diminution du refroidissement résultant de l'évaporation de la sueur ».

Mais parfois une partie de l'évaporation se produit par les vêtements par l'effet de réchauffement. Généralement l'effet des vêtements sur la thermique du corps humain est lié à des paramètres internes et d'autre externes :

Les paramètres internes (liés aux vêtements) : la couleur et la perméabilité à l'air des vêtements.

Les paramètres externes : l'humidité, vitesse de l'air, métabolisme.

Tableau 12: Isolement thermique vestimentaire, Source Guide de la diffusion de l'air, 2006.

habillement	isolement thermique	
	(clo)	(m ² K/W)
•Aucun	0	0
• Shorts	0,1	0,015
• Habits légers d'été	0,5	0,08
• Habits légers de travail	0,7	0,11
• Habits d'hiver pour l'intérieur	1	0,155

1.6.2. Facteurs liés à l'environnement

Les facteurs suivants (tableau) influencent le degré de confort de la température corporelle : -quatre paramètres environnementaux physiques : l'humidité relative, la vitesse de l'air, la température radiante moyenne et la température de l'air ; plusieurs paramètres sont liés à l'individu, mais les deux plus importants sont les activités et la tenue vestimentaire de la personne ; les gains thermiques intérieurs sont mesurés par des facteurs tels que l'éclairage, les appareils électriques, les postes de travail informatisés et d'autres sources intérieures autres que le système de chauffage...).

Tableau 13: Paramètres influant sur la sensibilité du confort thermique. Source : Mazzari, 2012

<i>Paramètres liés à l'individu</i>	<i>L'activité physique et l'habillement</i>
<i>Paramètres liés à l'environnement</i>	La température de l'air, les sources de rayonnement (radiateurs, soleil), la température des surfaces environnantes, la vitesse relative de l'air par rapport au sujet et l'humidité relative de l'air
<i>Autres influences</i>	Gains thermiques internes, Degré d'occupation des locaux, Couleur, Ambiance,etc.

Température ambiante de l'air

La température de l'air ambiant : les deux objectifs principaux sont de maintenir la température de l'air intérieur stable face aux écarts de température extérieure, et de créer une certaine homogénéité de température dans l'espace. (Sassine, 2017).

La température de l'air ambiant La température de l'air, ou température ambiante (Ta), est un paramètre essentiel de l'état thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe (Mazari Mohamed 2012)

Température des parois

Le corps humain dégage de la chaleur en s'éloignant des murs froids, ce qui provoque une sensation de chaleur et force la température de l'air à augmenter en conséquence.

Humidité relative (HR)

Les principales causes d'humidité sont l'activité humaine, l'activité des résidents et l'humidité ambiante. Une bonne circulation de l'air peut contribuer à résoudre ce problème. Les conditions thermiques ne peuvent être modifiées que lorsque l'humidité relative est inférieure à 30 % ou supérieure à 70 % (Sassine, 2017).

De faibles niveaux d'humidité (inférieur à 30 %) donnent lieu à certains problèmes :

- Augmentation de l'électricité statique, gêne et irritation accrue à la fumée de tabac.
- Augmentation de la concentration en poussières dans l'air, etc.

De hauts niveaux d'humidité (au-delà de 70 %) donnent lieu à une croissance microbienne importante et à des condensations sur les surfaces froides.

L'humidité relative de l'air influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur. Selon Liébard entre 30% et 70%, l'humidité relative influence peu la sensation de l'état thermique.

Comme il n'y a plus d'évaporation à la surface de la peau, il y a un déséquilibre dans la capacité du corps à réguler sa température, et le corps passe la majeure partie de son temps dans un état thermique (Mazari, 2012).

L'humidité relative est décrite comme « le rapport, exprimé en pourcentage, entre la quantité d'eau contenue dans l'air à température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température.

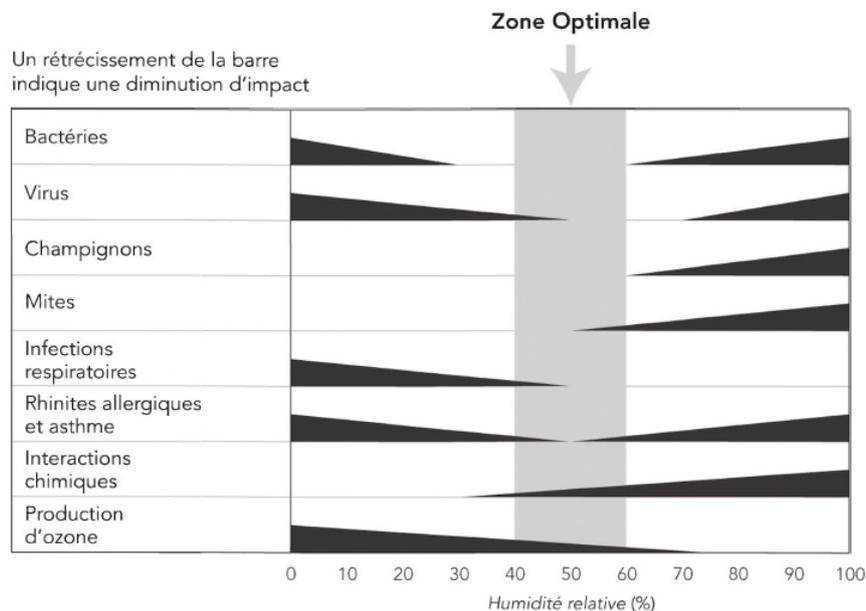


Figure 45: Taux d'humidité ambiante optimale (source : Jedidi et Bendjedou .2016)

Vitesse de l'air

S'il est préférable de produire des courants d'air en été pour rafraîchir le logement, il est préférable de les diminuer en hiver car l'air en mouvement favorise les pertes de chaleur par convection à travers la peau lorsque la température de l'air à l'intérieur du bâtiment est inférieure à celle de la peau (33°C). Dès que la vitesse de l'air dépasse 0,2 m/s, elle contribue à la perception de l'état thermique par l'occupant et joue un rôle important dans les échanges convectifs et évaporatifs (Liébard, De Herde, 2005).

Cependant, à l'intérieur des structures, ces vitesses restent limitées et ne dépassent souvent pas ce rythme, sauf en cas de système de ventilation ou de conception du bâtiment défectueux. D'un autre côté, on peut lui attribuer le développement de courants d'air froid ou chaud localisés, qui sont associés à des conditions de température localisées (Mazari Mohamed 2012). La vitesse de l'air influe sur les échanges convectifs et évaporatifs, à l'intérieur des bâtiments ces vitesses

demeurent limitées et ne dépassent pas 0,20m/s. Elle est responsable à l'apparition de gêne chez l'occupant, lié à la présence de courants d'air froids ou chauds.

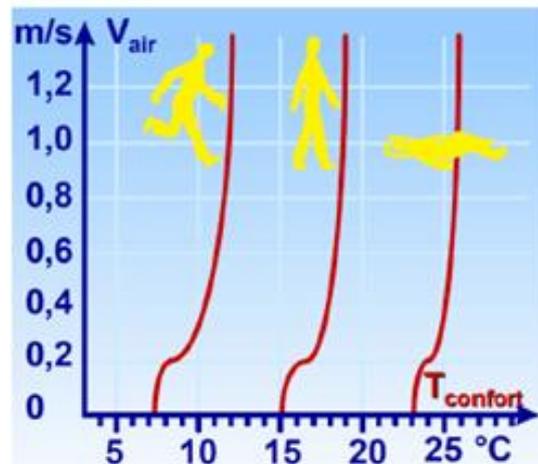


Figure 46: Variation de la température du confort en fonction de la vitesse de l'air. Source : Liébard, De Herde, 2005

1.7.L'équilibre thermique de l'utilisateur avec son lieu habité

Dans toutes ambiances thermiques, un ensemble d'échanges de chaleur se font entre le corps de l'occupant et l'environnement thermique. Cette interaction engendre des échanges cutanés et respiratoires (Mazari, 2012). Dans cette optique, Bâtier (2016) dans sa thèse, a détaillé les échanges de chaleurs effectués entre la peau et l'ambiance thermique (Q_{SK}) et les échanges respiratoires (Q_{RES}). De son côté, les échanges cutanés sont composés d'échange de chaleur par convection, par conduction, par rayonnement et par évaporation de la sueur selon l'équation suivante

$$Q_{SK} = C + R + K + E_{SK}$$

Avec :

Q_{SK} : Le flux de chaleur échangé à la surface de la peau (W/m^2);

C : L'échange de chaleur par convection (W/m^2);

K L'échange de chaleur par conduction (W/m^2);

R : L'échange de chaleur par rayonnement (W/m^2);

E_{SK} : L'échange de chaleur par évaporation de la sueur (W/m^2).

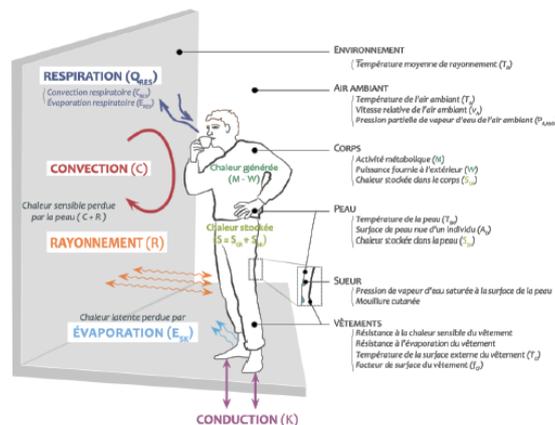


Figure 47: Les échanges thermiques entre le corps et son environnement. Source : Bâtier, 2016

Selon Bâtier (2016), les échanges respiratoires (Q_{RES}) s'effectuent par convection (C_{RES}) et par évaporation (E_{RES}) comme il est illustré par l'équation suivante :

$$Q_{RES} = C_{RES} + E_{RES}$$

Avec :

Q_{RES} : Le flux de chaleur échangé par la respiration (W/m^2):

C_{RES} : Les échanges thermiques par la convection respiratoire (W/m^2)

E_{RES} : Les échanges thermiques par l'évaporation respiratoire (W/m^2).

Les pertes respiratoires sont relativement faibles par rapport aux pertes cutanées (Batier.2016 ; Moujalled, 2007).

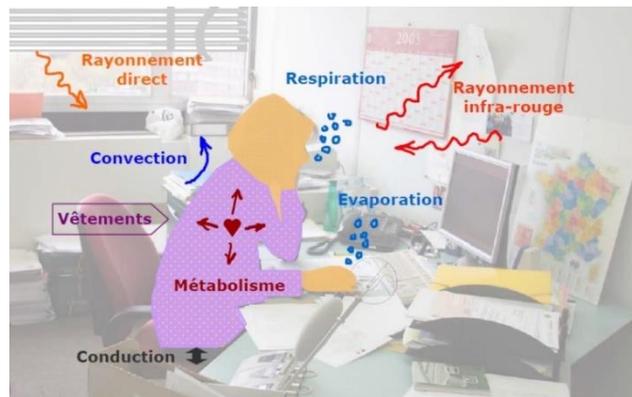


Figure 48: L'interaction thermique entre l'homme et leur environnement.

Source : Moujalled, 2007

1.8. Les modes de transfert de chaleur

Selon le modèle de Fanger, il y a cinq modes d'échanges thermiques entre l'occupant et son environnement (Arnal 2013).

1.8.1. Différents modes de transfert de chaleur

Lorsque l'énergie thermique se déplace entre deux corps de températures différentes, on parle de "transfert de chaleur". La nature recherche toujours l'équilibre, dans cet exemple, l'équilibre des températures (Saint-Gobain, 2016). Ce mécanisme de transfert ne peut être accéléré qu'en présence de variations de température. Les cinq formes d'échange de chaleur entre l'occupant et son environnement sont décrites par le modèle de Fanger (Arnal, 2013).

Dans le cas où l'un de ces trois modes est prépondérant, les effets des autres sont faibles et ils peuvent être négligés (Alaoui, 2016). Le mécanisme d'apparition de chacun de ces modes est présenté brièvement ci-dessous :

La conduction : C'est le processus par lequel le transfert de chaleur s'effectue au sein d'un matériau solide : autrement dit, c'est la transmission d'énergie de proche en proche dans la partie solide d'un matériau. La chaleur se propage avec plus ou moins de facilité suivant la nature, les caractéristiques (résistances thermiques...) et la géométrie du matériau. Plus le matériau est isolant moins il y a de conduction.

La convection : Ce type de transmission de chaleur ne se produit que dans les fluides (gaz ou liquide) et implique le déplacement physique des molécules du fluide d'un endroit à l'autre. Le fluide (l'air, par exemple) commence à s'éloigner verticalement de l'élément chaud lorsqu'il entre en contact avec lui, accélérant ainsi le transfert de chaleur entre les deux composants. La convection est moins importante lorsque l'air est plus statique.

Le rayonnement : La chaleur est transférée par des ondes électromagnétiques, indépendamment de l'air, par le processus de radiation. La capacité d'un corps à émettre de

l'énergie est mesurée par son émissivité, qui varie de 0 à 1 (Sassine, 2017). Plus l'émissivité du matériau est faible moins il y aura de transfert par rayonnement (Rahmouni, 2020). D'autre part les échanges de chaleur à la surface de la peau ou des vêtements (QSK) sont composés d'échanges de chaleur par convection (C), par rayonnement (R), par conduction (K) et par évaporation de la sueur (ESK).

Échanges de chaleur par convection : (C en W/m^2) : La convection est un échange de chaleur entre un fluide, l'air, et un solide, l'individu. Cet échange est accentué ou diminué suivant la vitesse de l'air et les courants d'air. Si le fluide est froid, l'être humain a tendance à se refroidir et au contraire si le fluide est chaud, il se réchauffe. Les échanges de chaleur sont alors dus à la différence de température entre la surface de contact (la surface cutanée ou vestimentaire) et l'air ambiant.

Échanges de chaleur par rayonnement (R en W/m^2) : Lorsque la chaleur est transférée entre les personnes et leur environnement, deux formes de rayonnement peuvent être prises en compte : le rayonnement solaire, qui nous réchauffe, et le rayonnement infrarouge provenant des murs et d'autres objets (ENDRAVADAN, 2006). La température de rayonnement correspond à la température des surfaces qui entourent l'individu et avec lesquelles il échange de la chaleur.

Les échanges de chaleur par rayonnement sont à l'origine de la sensation de paroi froide ou chaude. En effet, lorsqu'un individu se situe près d'une paroi qui possède une température faible, il ressent une sensation de froid. Il s'établit alors entre la paroi et l'individu des échanges thermiques par radiation. Or, comme il y a une différence de température entre les deux corps, le système cherche à rentrer en équilibre.

Pour cela, l'être humain échange des calories par rayonnement avec la paroi et il ressent donc une sensation de froid si la paroi est froide. Le même système existe pour les parois chaudes et la sensation thermique est alors inversée.

Échanges de chaleur par conduction (K en W/m^2) : Le transfert de chaleur entre deux corps est appelé conduction. Pour une personne debout, la conduction se fait par la plante des pieds. Étant donné qu'elle est relativement faible pour une personne debout, ce phénomène est souvent négligé. Dans d'autres cas, l'élément en contact sert d'isolant thermique, tout comme un costume épais. Par exemple, (Brager et De Dear, 1998) citent les travaux de Mc Cullough et Olesen en 1994 et montrent que si on est assis sur une chaise pour définir notre situation de l'état/l'inétat, cette dernière peut ajouter 0,15 clo à l'isolation vestimentaire de l'individu.

Échanges de chaleur par évaporation (ESK en W/m^2) : Le corps humain est composé à 70 % d'eau. La peau, donc les cellules cutanées, produisent continuellement de la sueur. Lors de fortes chaleurs, le phénomène est accentué par la thermorégulation végétative. L'évaporation, changement d'état de la sueur (liquide) en vapeur d'eau (gaz), puise de l'énergie dans le corps pour évaporer l'eau. Ce dernier est donc rafraîchi. C'est le système de thermorégulation qui détermine la quantité de sueur nécessaire pour maintenir l'équilibre thermique (Bâtier 2016).

Les agressions extérieures doivent être converties par l'extérieur du bâtiment en un environnement thermique pour ses occupants. Cependant, la plus grande perte d'énergie du bâtiment est souvent due à la transmission de la chaleur. En fonction des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, les besoins en chauffage et en refroidissement varient d'un espace à

l'autre (Boursas, 2013). Plus elle est performante, moins il sera nécessaire d'avoir recours aux systèmes énergétiques pour tempérer le bâtiment, et plus la consommation d'énergie sera faible.

Le niveau d'isolation de tous les points de l'enveloppe doit être le même pour éviter les ponts thermiques (discontinuité dans la couche isolante), ces derniers pouvant compromettre les efforts investis dans l'isolation en causant d'importantes pertes thermiques. Une enveloppe performante se doit de garantir une étanchéité suffisante en limitant au maximum les infiltrations et exfiltrations d'air inopportunes. La figure ci-dessous représente les pourcentages de déperdition de chaleur pour chaque composant de l'enveloppe.



Figure 49: Les sources de déperdition de chaleur de l'enveloppe d'un bâtiment
(source : <https://neovivo.fr/vie-groupe-neovivo/deperditions-energetiques-habitat-pourcentage-zone/>)

1.9. Les défauts de l'enveloppe thermique

La dégradation de l'enveloppe thermique est en principe due à la mauvaise isolation de l'étanchéité à l'air l'enveloppe qui créé des ponts thermiques au risque énorme de la durabilité et de la performance des isolants. Cette conséquence influe de beaucoup sur les températures ambiantes et peut masquer l'information thermique, surtout lorsque la perte de performance thermique de l'enveloppe thermique est touchée.

1.9.1. Les ponts thermiques

Un pont thermique est une faiblesse dans l'enveloppe d'un bâtiment à travers laquelle les calories passeront en priorité. Les ponts thermiques se trouvent à différents endroits d'une Enveloppe :

- Jonction entre 2 parois ;
- Jonction entre une paroi intérieure et une paroi donnant sur l'extérieur (mur de refend/terrace, chape/balcon, chape/mur extérieur) ;
- Pourtour de baies vitrées, de portes ;
- Ouvertures techniques (prises électriques, serrures...).

Très présents dans les bâtiments isolés par l'intérieur, les ponts thermiques peuvent représenter Jusqu'à 15% des déperditions totales des parois (Rahmouni, 2020).

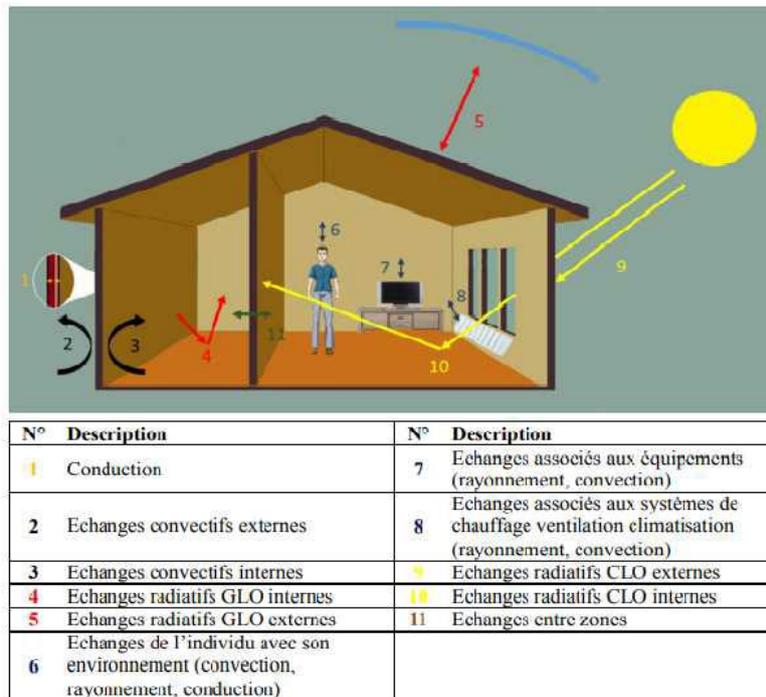


Figure 50: Echanges convectifs internes et externes. Source : Rahmouni, 2020

Les défauts susceptibles de provoquer des pertes de chaleur peuvent être présents dans les matériaux et les composants qui constituent l'enveloppe thermique, qui sépare l'intérieur de l'extérieur. Il s'agit de pertes de chaleur dues à des ponts thermiques ou à des défauts d'étanchéité à l'air (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

En résumé, les ponts thermiques sont des zones de l'enveloppe mal isolées. À ces endroits, la résistance thermique est fortement réduite (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007). En général, on trouve des ponts thermiques lorsqu'il y a peu ou pas d'isolation, lorsque deux plans se rencontrent (par exemple un mur et un plancher) et lorsqu'une paroi passe d'opaque à vitrée (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les ponts thermiques linéaires exprimés en $w/m.k$ et les ponts thermiques ponctuels exprimés en w/k sont les deux formes différentes de ponts thermiques (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

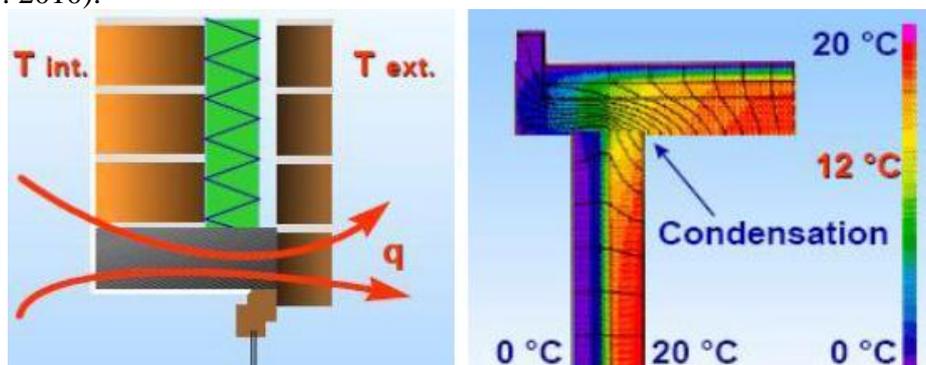


Figure 51: Les ponts thermiques source Liébard, 2005 Figure 33 : Les effets des ponts thermiques source : Liébard, De Herde, 2005

Les ponts thermiques ont plusieurs effets négatifs. Ils provoquent des pertes et des fuites de chaleur, ce qui augmente la quantité d'énergie nécessaire pour améliorer l'état thermique du bâtiment. Les risques de condensation et de développement de moisissures peuvent entraîner

une pollution intérieure et une dégradation accélérée du bâtiment (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007). L'augmentation de la sensation de l'état thermique est suite aux parois froides. (Liébard, A. Herde, et A. D. 2005).

Il est important de construire une barrière constituée d'une rupture isolante dans le canal de circulation de la chaleur afin de réduire l'impact des ponts thermiques. L'objectif est d'allonger le pont thermique afin de diminuer sa section transversale (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010). En mesurant la température des murs, la thermographie infrarouge permet de visualiser les ponts thermiques (Liébard, A. et De herde, A. 2005).

1.9.2. Les imperfections de l'étanchéité à l'air

La pénétration de l'air à travers l'enveloppe du bâtiment, qui résulte d'une mauvaise conception et/ou construction, est à l'origine des pertes de chaleur. Ils sont considérés comme la principale source de refroidissement d'un bâtiment (Liébard, A. et De herde, A.2005). Une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe rend celle-ci perméable à l'air. Ceci est lié à la manière dont le système de ventilation, le vent et les courants d'air thermiques affectent les choses (ADEME 2003).

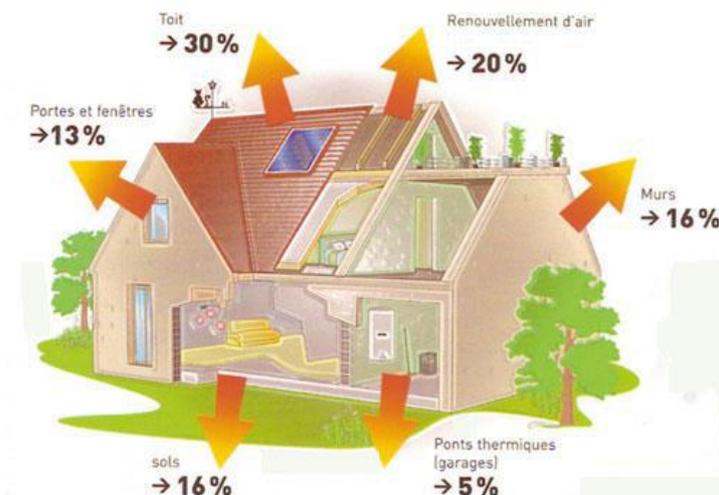


Figure 52: Origine et pourcentage des imperfections de l'enveloppe d'un bâtiment.

Conclusion

L'état thermique équilibré, autrement dit le bien être thermique, est une dimension subjective difficile à contrôler, il dépend différents paramètres liés à l'environnement immédiat ou à l'individu. Il représente aussi l'état de satisfaction des usagers vis-à-vis les ambiances thermiques intérieurs. Le manque d'un environnement thermique satisfaisant exige le recours aux gestes de régulation thermique ce qui influe la santé des habitants et provoque l'apparition des morbidités chroniques de même cette exploitation excessive des équipements influe négativement sur la performance énergétique.

Pour mesurer ce concept réellement, on a besoin d'utiliser des approches d'évaluations tels que l'approche analytique et l'approche adaptative dont cette dernière présente leur efficacité par rapport au modèle de Fanger surtout dans les bâtiments à ventilation naturelle.

Chapitre III : NORMES ET REGLEMENTATIONS THERMIQUE DANS LE BATIMENT HABITE

Introduction

En raison de son effet sur le niveau de vie et le bonheur des utilisateurs, les concepteurs ont toujours accordé une grande importance à la sensation de confort en hiver et au blocage de la chaleur en été, bien que l'isolation soit un enjeu crucial en termes de confort sanitaire. L'isolation naturelle produit une sensation de bien-être thermique, en combinant un certain nombre de variables et d'éléments liés au bâtiment, au climat et aux habitudes de l'utilisateur. Le caractère interdisciplinaire de cette notion, oriente les recherches à initier et à développer le fondement des normes et des réglementations qui encadrent le sujet de l'isolation thermique de bâtiment. Les principales lignes directrices et réglementations mondiale relatives à l'isolation et au confort sont présentées dans ce chapitre.

1. Impact sanitaire de l'habitat mal isoler et inadéquat

Dans une revue récente l'OMS (WHO, 2018) a évalué l'impact des conditions de vie inadaptées sur la santé. Ainsi, 110 000 personnes décèdent chaque année en Europe des suites d'un accident survenu à leur domicile ou pendant qu'elles s'y divertissaient. Ces statistiques ne font qu'effleurer les effets des mauvaises conditions de logement sur la santé.

Au total, 103 décès évitables par an résultent de l'association entre l'humidité intérieure et les 15 % de cas d'asthme chez les enfants en Europe. Il semble donc essentiel de prendre en compte à la fois les avantages et les inconvénients des facteurs qui ont un impact sur la santé à domicile. En outre, il est essentiel de garder à l'esprit que chaque source d'émissions dangereuses et les mesures prises pour les éliminer doivent être soigneusement examinées lorsqu'il s'agit d'une exposition récurrente à des facteurs qui ont un effet néfaste sur la santé.

En mai 2018, les Agences régionales de santé (ARS) ont été interrogées par le Haut conseil de la santé publique (HCSP) sur les risques sanitaires liés au logement dans le cadre de la saisine effectuée par la Direction générale de la santé (DGS) le 21 avril 2018. Il a été souligné une nouvelle fois à quel point le logement est crucial pour assurer à ses occupants un environnement sécurisé et sain.

De ce fait, les multiples facettes d'un logement de qualité seront abordées de manière approfondie dans les rubriques suivantes : (i) le voisinage, (ii) la structure, et (iii) les locataires. Mais ces trois éléments ne doivent pas être traités indépendamment l'un de l'autre en raison de la manière dont ils sont organisés.

Si nous avons une bonne compréhension de chacune de ces composantes et de leur interconnexion, il sera plus simple d'établir les conditions requises pour le facteur ayant un impact sur un environnement sain. D'autre part, une accumulation de ces nombreux composants dans des conditions insalubres produira fréquemment des logements désagréables ou nocifs.

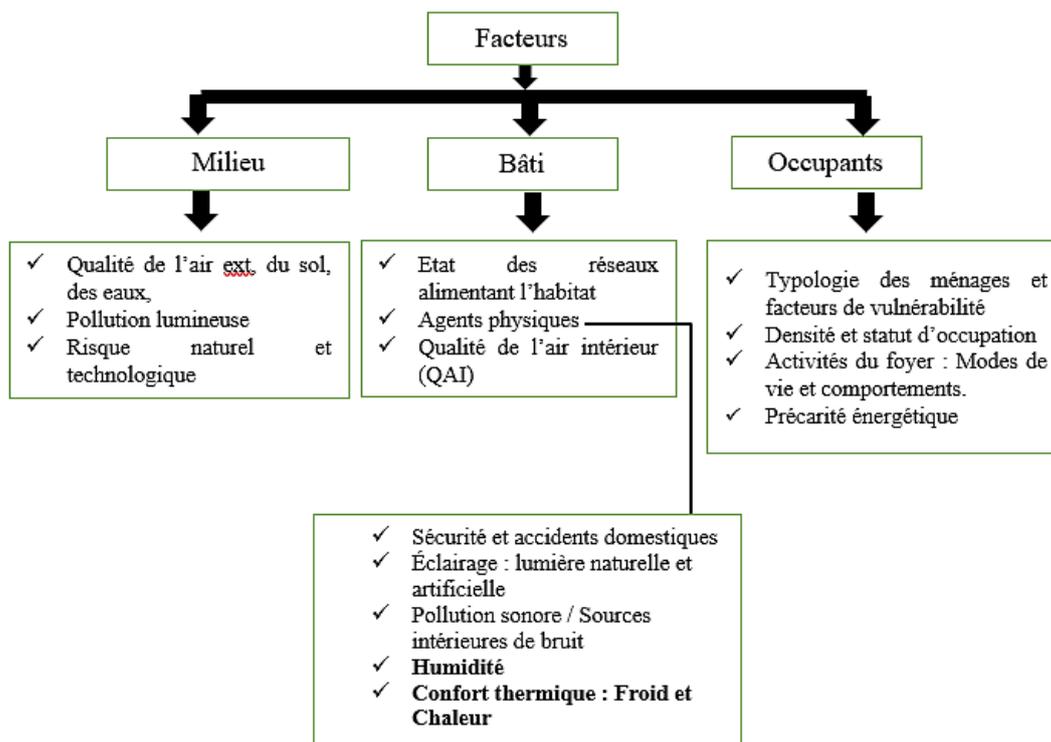


Figure 53: Schéma des facteurs contribuant à la bonne qualité de l'habitat (Source, Facteurs contribuant à un habitat favorable à la santé, 2019)

En ce qui concerne les agents physiques on aborde notamment les critères suivants : le froid, le chaud et l'humidité, qui sont liés à notre sujet de recherche.

2. Effets du manque de l'isolation Thermique sur la santé humaine

2.1. Effets du Froid excessif

Selon le DCLG (Department of Communities and Local Government) de Londres en 2006, les risques pour la santé apparaissent lorsque les températures tombent en dessous des niveaux minimums tolérables pendant une période prolongée. Par conséquent, une température intérieure de 21°C ou plus est considérée comme saine. En dessous de 19°C, il y a peu de risques de conséquences graves pour la santé. Lorsque la température descend en dessous de 16°C, les personnes âgées sont beaucoup plus vulnérables aux maladies respiratoires et cardiovasculaires. En dessous de 10°C, l'hypothermie est un risque majeur, en particulier pour les personnes âgées.

En outre, 50 % des décès supplémentaires en hiver sont imputables à des affections cardiovasculaires (telles que les crises cardiaques et les accidents vasculaires cérébraux). Un autre tiers est imputable aux maladies respiratoires (grippe, pneumonie, bronchite, etc.). Tout comme un excès de froid peut diminuer la résistance aux maladies, un excès de froid peut également augmenter la pression artérielle. L'impact de l'air froid sur le système immunitaire et les parois bronchiques permet de résister aux infections. Symptômes de la polyarthrite rhumatoïde qui s'aggravent.

Les basses températures intérieures et l'isolation thermique de la maison sont abordées en détail dans un chapitre du rapport 2018 de l'OMS (WHO, 2018) sur la relation entre le logement et la santé. En ce qui concerne les recommandations, le seuil de 18°C est toujours considéré comme adéquat pour se prémunir contre les conséquences sanitaires néfastes d'un froid excessif. Pour les individus très sensibles, comme les jeunes, les personnes âgées ou les

personnes souffrant de maladies chroniques, ce seuil pourrait être plus élevé. Lors de la création de nouvelles structures ou de la rénovation d'anciennes, il est également conseillé d'augmenter l'apport de chaleur et l'isolation thermique des résidences dans les régions où les hivers sont froids.

En outre, une exposition continue à des températures froides peut avoir des effets négatifs sur la santé, tels que l'hypertension artérielle, l'asthme et d'autres affections respiratoires et cardiovasculaires. Les basses températures intérieures sont généralement dues à un environnement extérieur froid, à des défauts structurels dans la maison (notamment une mauvaise isolation thermique et/ou une étanchéité à l'air de type « passoire énergétique »), ou à un chauffage insuffisant. Les défauts de construction tels qu'une isolation inadéquate sont plus fréquents dans les maisons anciennes.

Le problème du froid excessif est abordé dans le document décrivant le système d'évaluation de la santé et de la sécurité des logements au Royaume-Uni. La température intérieure recommandée est de 21°C. L'effet de la température sur la santé des occupants augmente en dessous de 19°C. De graves conséquences pour la santé sont possibles, en particulier pour les personnes âgées en raison du risque d'hypothermie. Afin de réduire les risques pour la santé, il est conseillé d'améliorer l'efficacité de l'isolation thermique et des systèmes de chauffage (DCLG, 2006).

2.2.Causes du froid excessive

Les principales causes semblent être les changements de température extérieure, entre autres facteurs (OMS,2018 ; DCLG, 2006 ; HCSP, 2019).

- Le fait de dormir dans des chambres froides non isolé augmente considérablement le risque pour la santé ;
- Les habitations à mauvaise isolation et à un faible rendement énergétique ;
- Le risque est le plus élevé dans les propriétés construites avant 1850, qui manque de l'isolation et le plus faible dans les habitations plus efficaces sur le plan énergétique construites après 1980.
- Absence de chauffage central/systèmes de chauffage inefficaces.
- Humidité excessive qui réduit l'isolation thermique

Pour cette raison, il est important d'établir des mesures préventives qui peuvent influencer la probabilité et les résultats des dommages sur tout en termes de niveaux appropriés d'isolation thermique pour minimiser la perte de chaleur, où le niveau dépend de l'emplacement, de l'exposition, de la relation avec d'autres logements, et même des bâtiments d'orientation, et de construire des panneaux de plancher bien isolés, des portes et des fenêtres avec des joints bien ajustés, un système de chauffage approprié, l'installation sûre et adéquate de tout l'équipement électrique et électronique, et plus encore.

2.3.Effets du Chaleur excessif

Les menaces liées aux températures anormalement élevées de l'air intérieur entrent dans cette catégorie. L'augmentation des températures a un impact négatif sur la santé des personnes sous la forme d'un stress thermique accru, de tensions cardiovasculaires et d'accidents vasculaires cérébraux. Augmentation des accidents vasculaires cérébraux. Lorsque les températures dépassent 25°C, la mortalité augmente. Bien que rares, ces problèmes se posent parfois au Royaume-Uni (DCLG, 2006).

Le rapport de l'OMS de 2018 aborde le problème des températures intérieures excessives dans le cadre de l'établissement de la relation entre l'environnement et la santé. Il conseille de créer et de mettre en pratique des solutions pour protéger les populations exposées à des températures extrêmement élevées. Nous ne sommes pas en mesure d'établir un seuil en dessous duquel la protection serait adéquate contre les effets négatifs de la chaleur à ce stade du processus d'étude. Pour prévenir et atténuer les effets négatifs des fortes chaleurs, la France dispose d'une stratégie canicule. Un seuil de déclenchement est en place. On peut parler de canicule si la température diurne est supérieure à 30-35°C et la température nocturne supérieure à 18-20°C pendant plus de trois jours consécutifs. On estime que la ventilation nocturne contribue de manière significative au refroidissement naturel de la maison (WHO, 1985).

La capacité du corps à réguler sa température influe sur la résistance des personnes aux conditions de température en toutes circonstances. Les groupes sensibles tels que les jeunes, les personnes âgées, les malades et les infirmes doivent faire l'objet d'une attention particulière. Étant donné que les vagues de chaleur sont plus fréquentes et durent plus longtemps en raison du changement climatique, ce sujet suscite de plus en plus d'intérêt. Les températures intérieures élevées peuvent provoquer des douleurs, en plus de nuire aux systèmes immunitaire et cardiovasculaire et de provoquer des maladies graves, voire la mort.

2.4.Causes de la chaleur excessive

Les facteurs entrant en jeu dans l'exposition à des températures intérieures élevées sont les suivants :

- L'isolation thermique soit un manque ou une mauvaise isolation.
- Les matériaux de construction utilisés ; sur tout celle considéré comme conducteurs thermique et non des isolants thermiques et qui n'offrent pas un état thermique satisfaisant des bâtiments occupés.
- L'emplacement du logement, sa localisation.
- La mauvaise orientation du logement.
- La présence de stores ou volets aux fenêtres.
- Le manque ou l'insuffisance d'espaces verts.
- Les systèmes de ventilation (ce facteur inclue la possibilité de rafraichir le logement quand les températures sont plus faibles la nuit).
- La présence de climatisation.

2.5.Humidité et leur effet sur la santé

Le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et la construction (2203) examine les exigences de confort hygrothermique pour les personnes au repos dans son guide technique de la construction 2003 destiné aux maîtres d'ouvrage publics. En situation courante, les caractéristiques suivantes sont données :

- En confort d'hiver, pour une humidité de 40 à 60 %, une température pour l'air d'environ 20°C est considérée comme adéquate ;
- En confort d'été, toujours pour une humidité de 40 à 60%, cela va dépendre de la température extérieure. Si celle-ci est inférieure à 30°C, alors une température d'air d'environ 25°C sera considérée comme adéquate. Par contre, si la température extérieure est supérieure à 30°C, la température de l'air doit être au moins inférieure de 5°C (c'est-à-dire $T_{air} = T_{ext} - 5 \text{ } ^\circ\text{C}$). Donc les températures vues comme confortables, qui seront développées plus amplement en titre froid et chaleur, dépendent donc également de l'humidité ambiante.

Dans un cahier pratique sur le sujet du risque santé dans l'habitat existant, élaboré en 2010 par la fédération PACT qui promeut l'amélioration de l'habitat, le sujet de l'humidité est abordé. Tout d'abord, nous disons qu'un excès d'humidité favorise la formation de moisissures, qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé, tant dans l'air ambiant que dans les composants des isolants et des matériaux de construction. L'utilisation de matériaux poreux non étanches, en raison de l'application de produits imperméables ou du recouvrement par d'autres matériaux non compatibles, empêchant la bonne évaporation de l'eau, peut être à l'origine d'une humidité excessive dans les matériaux. Ces facteurs comprennent les sièges de condensation, les ponts thermiques (parois froides causées par une isolation défectueuse ou cassée), les sièges de condensation et les sièges de condensation.

Les sources d'humidité sont également décrites dans le manuel de référence de l'habitat sain publié en 2006 par les Centres américains pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC) ainsi que dans le système de cotation de la salubrité et de la sécurité du logement du Royaume-Uni. Une limite à ne pas dépasser pour le taux d'humidité relative de 70 % est ainsi fournie. Il est d'ailleurs conseillé pour les régions très humides d'utiliser des déshumidificateurs, dont les bacs de rétention doivent être régulièrement vidés et nettoyés de sorte à éviter le développement de bactéries ou de moisissures.

L'influence de l'humidité dans les bâtiments est examinée dans un rapport d'expertise du CSTB de 2016. Alors que les causes de l'humidité sont à nouveau décrites et qu'une synthèse de l'ensemble des efforts français sur la question est présentée, une explication approfondie des dégradations induites par les pathologies est fournie. Celles-ci peuvent être de nature dimensionnelle, mécanique, thermique, hygiénique, de confort ou de cohésion des matériaux.

2.6. Effets de l'humidité sur la santé

L'exposition aux degrés élevés de l'humidité peut engendrer :

- Difficultés respiratoires tels qu'Asthme, rhinite, etc. Causées par les acariens et les moisissures.
 - Dépression et anxiété à cause de ces conditions ;
 - Infection fongique qui pourrait affecter les personnes suivant un traitement contre le cancer.
- Ils sont directement liés à l'humidité qui est causée par :
- Des niveaux de ventilation réduits.
 - Une augmentation de l'humidité, surtout au-delà de 70 %.
 - Des températures intérieures plus élevées en hiver en raison de la conception des logements rénovés.

Pour cette raison, il est logique que si la majorité des conditions et des mesures préventives susceptibles d'affecter de manière significative la probabilité et les dommages associés à la production d'humidité et à la ventilation sont réunies avec une augmentation de la température intérieure, en tenant compte de l'efficacité énergétique et des coûts de chauffage, cela peut réduire de manière significative les problèmes liés aux acariens. Il est donc essentiel de disposer d'un système de chauffage efficace et de l'adapter au tissu (qualités thermiques) de la structure.

3. Préconisations conduites à un habitat favorable à la santé

Nous devons trouver des documents qui mettent l'accent sur des normes respectueuses de la santé si nous voulons atteindre l'objectif d'un logement sain. Les méthodes créées dans les différents documents de référence se concentrent souvent sur l'impact négatif des conditions de logement et de vie sur la santé. Il est possible de revenir à une image positive en inversant les variables, l'absence de pollution devenant par exemple un facteur de santé.

Il s'agit donc d'initiatives en matière de santé environnementale. Un facteur est considéré comme favorable à la santé s'il renforce les effets bénéfiques ou, à tout le moins, s'il réduit les effets néfastes. Les documents issus de nos propres recherches sont présentés en premier, puis ceux issus de recherches menées à l'étranger ou par des organisations internationales.

Dans ce contexte, les Centres américains de contrôle et de prévention des maladies (CDC) et le ministère américain du logement et du développement urbain ont publié en 2006, en collaboration, un manuel de référence sur les modes de vie sains (Healthy Living Reference Manual). Les spécialistes ont mis l'accent sur les besoins psychologiques et physiologiques fondamentaux des individus ainsi que sur les mesures préventives qu'ils peuvent prendre. Le tableau suivant présente quelques éléments extraits du document et traduits.

Tableau 14: Critères fondamentaux pour un habitat sain, extraits et traduits du rapport CDC (2006).

Besoin physiologiques fondamentaux	Besoin psychologiques fondamentaux	Protection contre les maladies
Un environnement thermique évitant les pertes de chaleur inutiles	Une intimité suffisante pour chaque individu	Prévoir des installations sanitaires minimisant le risque de transmission de maladies
Un environnement thermique permettant une perte de chaleur corporelle adéquate	Des installations permettant d'exécuter des tâches ménagères sans fatigue physique et mentale excessive	Protéger les surfaces intérieures de l'habitation contre la contamination par les eaux usées
Un éclairage solaire direct	Des aménagements pour maintenir la propreté du logement et de l'individu	

4. Les travaux conduits à l'échelle européenne et internationale

L'OMS étudie la relation entre l'environnement et la santé en 2018. Ce document d'application mondiale énonce les principes d'une vie confortable et saine, en se concentrant en particulier sur le surpeuplement, le froid et les températures élevées. Il énumère également les nombreux éléments susceptibles d'avoir une influence sur les habitants. L'OMS suggère de mettre en œuvre des techniques pour éviter et limiter la suroccupation, le surpeuplement et l'exposition à des températures élevées afin d'améliorer la protection des occupants. En ce qui concerne les basses températures et l'isolation thermique, un seuil de 18°C est considéré comme adéquat pour se prémunir contre les effets néfastes d'un froid excessif sur l'organisme.

En outre, ce document nous rappelle les normes et suggestions antérieures de l'OMS pour les logements dans notre situation, y compris les suivantes : conception urbaine hygiénique, froid et chaleur. Le tableau 2 contient une référence au guide de l'OMS pour chaque critère spécifié, à l'exception du guide de 2011 sur le logement inadéquat et ses conséquences importantes sur la santé.

Tableau 15: Identification des guides OMS existants pour chaque critère pouvant affecter la santé des occupants dans leur habitat, OMS (2018)

Critère	Guide(s) OMS correspondant
	Identification des guides OMS existants pour chaque critère pouvant affecter la santé des occupants dans leur habitat, OMS (2018)

Chaleur	Public health advice on preventing health effects of heat (WHO Regional Office for Europe, 2011): http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/147265/Heat_information_sheet.pdf
Habitats inadéquats	Environmental burden of disease associated with inadequate housing – summary report (WHO Regional Office for Europe, 2011). http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/145511/e95004sum.pdf
Froid	Health impact of low indoor temperatures. Report on a WHO meeting, Copenhagen, 11–14 November 1985 (WHO, 1987): http://www.theclaymoreproject.com/uploads/associate/365/file/Health%20Documents/WHO%20-
Urbanisme favorable à la santé	Global report on urban health: equitable, healthier cities for sustainable development (WHO/UN-Habitat, 2016): http://www.who.int/kobe_centre/measuring/urban-global-report/ugr_full_report.pdf

Le thème des environnements construits et urbains est brièvement abordé dans une autre publication de 2018 du Bureau régional de l'OMS pour l'Europe sur les environnements sains pour les personnes. Réduire la mortalité attribuée à des conditions de logement insalubres, s'adapter à l'augmentation des populations urbaines et limiter au maximum l'augmentation de la température dans ces endroits où le couvert végétal est réduit (WHO, 2018).

Un rapport de 2014 intitulé " Mon habitat : plus qu'un simple toit " de la Direction de la santé environnementale et de la toxicologie de l'Institut national de santé publique Québec (INSPQ), qui présente les résultats du projet pilote de l'enquête, est également pertinent pour le présent rapport et concerne davantage la situation au Québec, mais peut être extrapolé à la France. En particulier, le tableau ci-dessous liste les dimensions qui semblent le plus prendre en compte la santé.

Tableau 16: Dimensions identifiées comme respectueuses à la santé, INSPQ (2014)

Facteurs identifiés comme favorables	
Logement	Satisfaction globale du logement par le ménage (air intérieur sain, isolation performante, état thermique satisfaisant ...)
	Qualité de l'eau potable
Quartier résidentiel	Accès aux parcs, centres récréatifs et autres services
	Endroits climatisés
	Perception de la sécurité

4.1. Les travaux conduits en France

Les contributions des villes à un habitat respectueux de la santé sont examinées dans un article publié en 2011 par le Réseau français des Villes-Santé de l'OMS, édité par l'École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP). L'environnement juridique dans lequel évolue le logement est complexe, avec des lois qui régissent l'urbanisme, la construction, la propreté du logement, la protection de la maison et de la propriété, et les accords de location.

Pour ce faire, un large éventail d'activités potentielles est proposé, comme le rafraîchissement de la ville pour lutter contre les îlots de chaleur urbains qui sont influencés par les conditions thermiques des structures voisines et des occupants. Les qualités anti-stress des espaces verts sont également confirmées. Nous demandons également le rétablissement de l'exigence d'un ensoleillement minimum pour les logements, qui n'est plus régi par la loi sur l'urbanisme depuis 2007. Enfin, une stratégie sanitaire prenant en compte l'énergie solaire, le bruit, la pollution visuelle et olfactive, entre autres, doit aller de pair avec l'urbanisation. Pour ce faire, les méthodes d'évaluation des effets sur la santé doivent être modifiées.

Les travaux récents du Service Communal d'Hygiène et de Santé (SCHS) en 2018 de Bourg-en-Bresse peuvent être utilisés pour montrer comment le thème de l'habitat respectueux de la santé peut être appliqué au niveau municipal. Trois thèmes se retrouvent dans l'habitat : (i) l'habitat, (ii) la résidence et (iii) l'environnement social et physique, dans lequel les responsables de projets doivent respecter de nombreuses exigences de confort sanitaire (isolation performante, utilisation de matériaux propres et respectueux de l'environnement et des habitants, etc.) Pour qu'un logement soit considéré comme sain, des caractéristiques positives sont nécessaires pour chacun d'entre eux.

Le système d'évaluation de la santé et de la sécurité dans le logement (Housing Health and Safety Rating System - HHSRS), créé et mis en œuvre au Royaume-Uni depuis 2006, est une dernière stratégie intrigante. De nombreux sujets relatifs à un mode de vie sain sont abordés dans les premières parties. Il est affirmé que le logement doit répondre aux besoins fondamentaux de la vie quotidienne de toutes les personnes qui y résideraient habituellement. Les besoins fondamentaux de l'existence humaine comprennent des idées liées au confort ainsi que des besoins physiologiques et psychologiques. Les personnes qui y vivent ne doivent pas être exposées à un risque d'atteinte à leur santé, à leur sécurité ou même à leur vie.

En effet, les visions nationales restent orientées sur l'approche hygiéniste historique, mais les spécialistes au niveau international raisonnent en termes de poids de la preuve ou de publications. Ces méthodes ne s'opposent pas, elles sont complémentaires car un écosystème sain doit être construit sur les composantes fondamentales d'un habitat salubre. La politique du logement doit être prudente à cet égard pour éviter d'aggraver les injustices sociales en négligeant les groupes les plus défavorisés.

4.2. Cadre législatif de la maîtrise d'énergie et l'isolation thermique en Algérie

L'équilibre entre l'homme et son habitat a été rompu dans les années 1970 en raison de la nécessité de construire rapidement des structures pour n'importe quel usage, du fait de la forte expansion démographique et économique. Les structures standardisées qui en résultent sont inappropriées, désagréables et gourmandes en énergie.

Il est essentiel de reconsidérer la façon dont nous construisons et restaurons notre parc immobilier vieillissant à une époque où les préoccupations énergétiques et thermiques occupent le devant de la scène. Les techniques et les normes environnementales apportent des solutions

L'objectif de ce chapitre est donc de donner un aperçu de la situation énergétique et thermique du secteur résidentiel en Algérie, à travers une présentation de la qualité des systèmes constructifs, de la réglementation relative à la maîtrise de l'énergie et à l'isolation thermique, et une description des expériences existantes pour économiser la consommation d'énergie tout en assurant le bien-être thermique.

4.2.1. Agences de maîtrise de l'énergie

Afin de proposer des législations et de mettre en œuvre les directives et les lois adoptées en matière de maîtrise de l'énergie, les pays ont mis en place des agences de maîtrise de l'énergie. L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) en Algérie en est un exemple.

L'APRUE, créée en 1985, est un établissement public à caractère commercial et industriel régi par le ministère de l'énergie et des mines. Son objectif principal est de "mettre en œuvre la

politique nationale de maîtrise de l'énergie, par la promotion de l'efficacité énergétique (APRUE, 2011). Elle donne pour missions principales :

- La coordination et l'animation de la politique nationale de maîtrise de l'énergie.
- La mise en œuvre et le suivi du Programme National de Maîtrise de l'Energie (PNME).
- La sensibilisation et la diffusion de l'information sur la maîtrise de l'énergie en direction des différentes cibles (grand public, professionnels, milieu scolaire...).
- Le montage de programmes et de projets sectoriels en partenariat avec les secteurs concernés comme l'industrie, Bâtiment, Transports (APRUE, 2011).

4.2.2. Le rôle de agences de maitrise d'énergie

Les institutions gouvernementales initiales chargées de la gestion de l'énergie constituent le fondement des politiques de ces pays en matière d'efficacité énergétique. La responsabilité de cette institution est de créer et de mettre en œuvre des outils réglementaires qui favorisent l'efficacité énergétique et garantissent le confort thermique.

Les agences de maîtrise de l'énergie sont chargées de créer des outils réglementaires et incitatifs ainsi que des politiques de soutien pour encourager la maîtrise de l'énergie, notamment dans le secteur du logement, en collaboration avec les ministères compétents.

Ces différents instruments sont regroupés dans un cadre juridique après leur création et pour faciliter leur mise en œuvre et leur application. Un certain nombre de documents réglementaires ont été adoptés pour donner une structure physique à la gestion de l'énergie.

Néanmoins, la mise en œuvre et le contenu du cadre juridique de la gestion de l'énergie varient d'un pays à l'autre (Boursas, 2013).

4.3.La politique énergétique en Algérie

La politique algérienne dans le cadre de la production constructive insiste sur d'efficacité énergétique et l'amélioration de confort thermique, essentiellement dans le secteur du bâtiment. Elle se traduit par les actions de quelques entités : l'**APRUE** soutenu par son bras financier le Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie (**FNME**) et le Programme National de Maîtrise de l'Energie (**PNME**).

A cela il faudra ajouter la collaboration des centres de recherches liés au domaine des bâtiments comme le centre du développement des énergies renouvelables (**CDER**) et le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (**CNERIB**) et bien évidemment le ministère de l'Energie et des Mines. Il s'agit de voir dans le détail l'état des lieux de ces politiques et éventuellement le suivi et les prémices de résultat ou le cas contraire les obstacles qui entravent leurs exécutions.

La politique énergétique algérienne, repose aujourd'hui sur quatre axes : une agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (**APRUE**) ; un cadre réglementaire assuré par la loi de 1999 ; un fonds national pour la maîtrise de l'énergie et des mesures d'incitations et d'accompagnement.

Le **PNME** constitue le cadre d'exercice de la politique algérienne d'efficacité énergétique, puisqu'il définit ses objectifs et les moyens de sa mise en œuvre sur la base d'études de perspectives énergétiques et de données socioéconomiques. Le programme se décline sous forme d'un plan d'action qui s'intéresse à l'ensemble des secteurs de consommation, notamment celui du bâtiment.

Aussi, pour assurer l'animation et la coordination de la politique de maîtrise de l'énergie, l'Algérie met en place en 2004 le Comité intersectoriel de la maîtrise de l'énergie.

Ce Comité a notamment pour mission d'organiser la concertation et le développement des partenariats public privé.

4.4.Aspect réglementaire thermique en Algérie

Dans les années 1990, afin de réglementer la conception et l'exécution des bâtiments, l'Algérie développe plusieurs dispositifs réglementaires concernant notamment l'efficacité énergétique dans l'habitat. Suite aux problèmes énergivores du secteur de l'habitat, en 1995, a été initiée une série de Documents Techniques. L'élaboration de ces documents avait commencée en 1997 par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB). Ce centre fut placé sous la tutelle du Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme.

Ceux-ci définissent notamment les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à usage d'habitation et tertiaire, les méthodes de calcul des déperditions et des apports calorifiques, les valeurs limites pour le climat intérieur des locaux, il détermine aussi les zones climatiques.

En l'an 2000, ces DTR ont fait l'objet d'un décret portant sur la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en application à la loi relative à la maîtrise de l'énergie adoptée le 28 juillet 1999.

Dans cette optique, un décret exécutif a été adopté en 11 janvier 2005 fixant les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers et on voit un développement des DTRs jusqu' à la dernière version en 2023. Toutefois le bâti existant et sa réhabilitation thermique, a été négligé malgré sa part importante dans le parc de logement.

Les lois relatives à l'isolation thermique dans la réglementation algérienne sont mises en place chronologiquement comme suit :

4.4.1. Lois règlementaires

La réglementation thermique du bâtiment en Algérie est une discipline de la thermique visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments et le bien être thermique souhaité. Elle aborde principalement les notions d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort thermique aux occupants. Elle met accent aussi aux problématiques de fourniture d'énergie, L'ensemble des parties d'un bâtiment soumis aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre le milieu chaud et le milieu froid (généralement de l'intérieur vers l'extérieur).

Les différents textes réglementaires relatives à la thermique de bâtiment mentionnés dans l'annexe D traduisent la volonté de l'état de faire des énergies renouvelables des énergies d'avenir pour le pays, en favorisant une contribution plus conséquente d'un part dans le bilan énergétique national et d'autre part pour construire des bâtiments plus confortables en matière d'isolation thermique.

Loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie :

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

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

Décret exécutif n°2000-90 de 24 avril 2000 :

Il porte la réglementation thermique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation. (JORA, 2000).

La loi 04 – 09 du 14 Août 2004 :

Elle est relative à la promotion des énergies renouvelables non polluantes dans le cadre du développement durable. (JORA, 2004). À l'instar de l'énergie solaire qui participe au développement durable tout en préservant la conservation des énergies fossiles. L'objectif de la stratégie de développement des énergies renouvelables en Algérie est d'arriver à atteindre, à l'horizon 2015, une part de 6% dans le bilan électrique national.

Le décret exécutif 04- 149 du 19 Mai 2004 :

Il fixe les modalités d'élaboration du programme national de la maîtrise d'énergie.

Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005 :

Il fixe les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers.

Arrêté interministériel du 29 Novembre 2008 :

Il définit la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique pour ceux qui fonctionnent à l'énergie électrique. (JORA, 2009). A partir de cette réglementation, le laboratoire du CNERIB a enrichi ce domaine par des documents techniques réglementaires. Ces DTR sont initiés par le ministère de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB. Ils sont destinés aux bâtiments à usage d'habitation, spécifiquement à la nature d'enveloppe des constructions (Ferradji, 2017).

L'arrêté du 31 décembre 2012, portant approbation du cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente :

L'application de cet arrêté encourage la mise en œuvre des constructions qui assure le confort thermique et acoustique des habitants selon les conditions d'implantation de projet. De même l'utilisation des matériaux de construction qui répond aux normes qui assure la stabilité, la sécurité et la durabilité.

Arrêté du 30 juillet 2016 portant approbation du document technique réglementaire DTR.C3.2/4 intitulé « réglementation thermique du bâtiment »

Le document technique réglementaire est approuvé selon cet arrêté et leur diffusion est chargée par Le centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB),

D.T.R. C 3.2/4 : Règles de calcul des déperditions calorifiques

À partir de cette réglementation, le CNERIB (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment) a enrichi ce domaine par des documents techniques réglementaires. Ils sont conçus pour réduire de 25 % la consommation de l'énergie pour le chauffage des logements, ce document approuvé par arrêté ministériel, fixe les déperditions de référence à ne pas dépasser ainsi que les conventions de calcul pour le dimensionnement des installations de chauffage ainsi que les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments ainsi que la méthode de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des

bâtiments. Il s'applique à la plupart des locaux, entre autres ceux à usage d'habitation, d'hébergement, de bureaux, d'enseignement, d'accueil, de réunion, de vente, de restauration, artisanal, etc.

Recommandations de DTR C3.2/4 : les recommandations qui doivent respecter lors de la construction des bâtiments résidentiels sont fixé pour le but d'atteindre une température intérieur ambiante sans utilisation des installations de chauffage ou refroidissement. Et elle met en place plusieurs types d'isolation selon des matériaux dites isolants qui ont une conductivité et une résistance thermique fixées.

Tableau 17: Fixation des valeurs des conditions intérieures de base, source : DTR C3.2/4

Application	Niveau de confort amélioré		Niveau de confort normal		
	Température sèche °C	Humidité relative %	Température sèche °C	Humidité relative %	Accroissement toléré de la température °C
Séjour de longue durée Logement, hôtel, bureaux, hôpital, école, etc.	24	43	27	50	2
Séjour courte durée Magasin, banque, bureaux de poste, salon de coiffure, etc.	24	45	27	50	2
Séjour de durée limitée avec gains latents, importants, Amphithéâtre, salle spectacle, lieu de culte, salle de restauration, cuisine, etc.	24	50	27	60	1

Donc selon les différents textes réglementaires cité si dessus on peut confirmer la volanté puissante des autorités d'améliorer les conditions d'habitabilité de la population algérienne en assurant une consommation énergétique plus faible.

4.4.2. Les programmes nationaux de maitrise d'énergie visant le l'isolation thermique

L'APRUE propose plusieurs projets et programmes axés sur la gestion de l'énergie dans le secteur de la construction, en particulier sur l'isolation et le confort thermique des habitations (Aprue, 2009).

Le programme ECO-BAT

L'initiative du programme ECO-BAT a été lancée par l'APRUE en collaboration avec les offices de promotion et de gestion immobilière (OPGI) dans le cadre du programme PNME* 2007-2011. Le programme ECO-BAT consiste en deux projets pilotes : la construction de 600 logements à haute performance énergétique (HPE) à travers le pays et la rénovation thermique de 100 logements, qui permettront tous deux de réduire l'énergie utilisée pour le chauffage et la climatisation d'environ 40 % et d'améliorer le confort thermique dans ces logements. Ces logements sont répartis dans 11 wilayas en fonction de la zone climatique (Ferradji,2017) et (Merzag , 2010).

Le programme prévoit l'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation par :

- 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.
- Créer un marché de rénovation thermique par l'introduction des matériaux adéquats et des corps de métiers appropriés ;
- Introduire la pratique de la rénovation thermique du parc de logements existants ;
- La provocation d'un effet d'entraînement des pratiques de prise en considération des aspects de maîtrise de l'énergie dans la conception architecturale Boursas, 2013).

Programme triennal d'efficacité énergétique 2011-2013

Le programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique a été accepté par le Conseil des ministres en février 2011 et a servi de base au programme triennal d'efficacité énergétique "2011-2013". L'initiative d'efficacité énergétique démontre la volonté de l'Algérie d'encourager une utilisation plus responsable de l'énergie, d'étudier toutes les options susceptibles d'aider à économiser les ressources et de systématiser une utilisation bénéfique et optimale (APRUE, 2011). L'APRUE est chargée de réaliser le programme d'efficacité énergétique notamment par :

L'isolation thermique des bâtiments

En raison de la surconsommation du secteur de la construction, qui représente plus de 42% de la consommation finale, l'isolation thermique est prise en compte dans la réglementation et la législation algériennes en matière d'efficacité énergétique. L'isolation thermique des bâtiments est recommandée dans les stratégies de maîtrise de l'énergie de ce secteur. Cela permettra de réduire de 40 % l'énergie utilisée pour le chauffage et la climatisation (APRUE, 2011).

Projet d'isolation thermique de 600 logements neufs

Ce premier projet pilote ECO-BAT est déjà lancé par l'APRUE en partenariat avec le Ministère de l'Habitat. Pour sa mise en œuvre, des conventions ont été signées avec la Caisse Nationale du Logement (CNL) et les OPGI de 11 wilayas choisies, couvrant l'ensemble des zones climatiques du pays.

Programme quinquennal PNME 2010-2014

Dans le cadre du PNME 2010-2014, un programme de construction de 3000 logements neufs, efficaces en énergie et 4000 logements existants à réhabiliter thermiquement, (APRUE, 2011).

Projet d'isolation thermique de 1500 logements

L'isolation thermique totale ou partielle de 1500 logements, entre 2011 et 2013 afin de minimiser la consommation énergétique annuelle des logements entre 20% et 40%. Soit une moyenne de 500 logements rénovés par an à travers :

- Remplacement des menuiseries existantes par celles étanches avec double vitrage ;
- Mise en place d'une isolation thermique afin de minimiser les déperditions calorifiques vers le haut.

Les projets de maîtrise d'énergie

Plusieurs actions et projets rentrant dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables et de la maîtrise de l'énergie sont concernés par le financement du "Fonds

national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables, tels que le Projet MED-ENEC et le Projet pilote de logement avec efficacité énergétique réalisé par le CNERIB.

Projet MED-ENEC

Cette initiative régionale, financée par l'Union européenne, vise à promouvoir les pratiques de construction des pays méditerranéens, en particulier ceux du sud et de l'est, qui prennent en compte les données climatiques, les mesures d'efficacité énergétique et l'utilisation des énergies renouvelables. (La délégation de l'UE, 2014). L'objectif de ce projet est de garantir le transfert des compétences et des capacités par des projets pilotes de formation qui présentent les meilleures pratiques. La prévention des actions d'accompagnement des grands bâtiments dans le cadre de ce programme. A competition to suggest pilot projects for energy efficiency in the construction industry has been started by MED-ENEC.

Ces projets pilotes serviront de véhicules pour la diffusion de la technologie et de l'expertise. (Chenak, A. 2009). Le consortium formé par le CDER et le CNERIB selon A. Chenak a été retenu pour la réalisation de cet habitat du type rural à haute efficacité énergétique à l'intérieur de l'enceinte du CNERIB à Souidania. (Chenak, A. 2009) (Chenak, 2009).

Projet pilote de logement avec efficacité énergétique au CNERIB

En mars 2006, le projet MED-NEC a été introduit à Damas. Grâce à l'utilisation de réglementations thermiques, de sources d'énergie renouvelables et de matériaux et systèmes de construction innovants, il vise à accroître l'efficacité énergétique des bâtiments (Boursas, 2013).

L'objectif majeur pour la réalisation de ce prototype est d'économiser la consommation énergétique au maximum en offrant le confort nécessaire aux occupants par : (CNERIB, 2014) De réduire des pertes de chaleur vers l'extérieur et augmenter des apports gratuits d'énergie solaires et des apports internes. Ainsi, l'augmentation de l'inertie du l'enveloppe thermique par 15cm du plancher bas en béton lourd et 20cm du plancher haut avec le même matériau et l'utilisation d'une isolation thermique verticale, horizontale et le double vitrage.

Le traitement des ponts thermiques, qui sont responsables de 20 % des pertes de chaleur, suit les mêmes règles. (Semmar, D. et al 2013) en utilisant les rayons du soleil de manière passive et active et en recouvrant la façade ouest de plantes naturelles en été pour bloquer la chaleur et la protéger des vents froids de l'hiver.



Figure 54: les façades du prototype. Source CNERIB 2014

Les expérimentations exercées sur le prototype montrent une réduction de la consommation énergétique pour le chauffage d'hiver jusqu'à 78% par rapport une maison classique. En période d'été, cette économie en consommation peut atteindre 61 % en adoptant des mesures d'efficacité énergétique pour la climatisation (Derradji, et al 2012). En cela, le

surcote liée aux techniques d'efficacité énergétique pour la réalisation de ce prototype est de l'ordre de 12% et sa rentabilité est en 11 ans. (Maoudj, 2018).

4.5. Réglementations et normes à l'échelle internationale

Le concept des habitations sans chauffage ni climatisation est une avancée intellectuelle qui devrait servir de modèle pour les nouveaux développements dans les années à venir. Des maisons ont été construites en Allemagne, en Suède, en Suisse et en Autriche avec une consommation totale d'énergie quatre fois inférieure aux exigences officielles en matière de construction. Après la première crise pétrolière de 1975, les premières lois européennes exigeant un niveau minimum d'efficacité énergétique pour les nouvelles constructions étaient connues sous le nom de lois thermiques (RT). Tous les cinq ans environ, les normes sont modifiées ; la plus récente est la RT 2012. Elle concerne le développement de nouvelles structures (Nait, 2011).

4.5.1. La réglementation française

Il s'agit d'une réglementation qui renforce les exigences de performance énergétique des constructions neuves résidentielles et tertiaires par rapport à la RT 2000 par 15%.

Réglementation thermique 2005 (RT 2005)

Les objectifs de la RT 2005 sont extraits du MAESP 2010, cité par Semahi en 2013, il s'agit de donner plus d'importance à la construction bioclimatique pour améliorer le confort d'hiver et d'été sans recours aux énergies fossiles, l'amélioration des enveloppes thermiques par un renforcement d'isolation sur les parois opaques et celles vitrées, l'incitation à couvrir une partie des besoins énergétiques par une production d'énergie à l'aide des techniques solaires thermiques et photovoltaïques et la minimisation du recours à la climatisation mécanique pour la remplacer par des procédés passifs pour économiser l'énergie utilisée pour l'éclairage artificiel.

La réglementation thermique 2012 (RT 2012)

La climatisation, le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les équipements auxiliaires tels que la ventilation et les pompes sont tous couverts par ces lois, qui s'appliquent aux structures commerciales et résidentielles. (www.toutfaire.com 2012).

L'objectif majeur est de limiter encore les consommations énergétiques par rapport à la RT 2005. La RT 2012 précise sur l'utilisation des énergies renouvelables, le traitement des ponts thermiques et de la perméabilité à l'air pour réussir à atteindre le niveau des 50 kWh/m²/an (Ferradji, 2017).

Les exigences de résultats imposées par la RT 2012 sont de trois types :

- L'efficacité énergétique du bâti
- La consommation énergétique du bâtiment
- Le confort d'été dans les bâtiments non climatisés : A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'excède pas un seuil.

En complément, pour garantir la qualité de mise en œuvre il y a quelques exigences de moyens (Ministère de l'écologie, de l'énergie et du développement durable et de la mer : Réglementation thermique, 2012) :

- Traitement des ponts thermiques

- Traitement de l'étanchéité à l'air, avec test de la « porte soufflante » obligatoire dans le collectif.
- Surface minimale de baies vitrées pour garantir le confort d'habitation (Issaadi, 2016).

La réglementation thermique des bâtiments existants

La consommation énergétique globale des logements collectifs ne peut pas être stabilisée par des normes plus strictes pour les structures nouvellement construites. C'est pourquoi, depuis novembre 2007, les logements "RT dans l'existant" sont soumis à la Réglementation Thermique en ce qui concerne la rénovation et l'amélioration des structures existantes. Ce plan, qui prévoit la rénovation du parc immobilier actuel, permettra de réaliser d'énormes économies supplémentaires. Ces lois exigent notamment un niveau précis de performance énergétique globale.

De plus, depuis le 1er novembre 2007, des normes de performance minimale sont exigées lors du remplacement d'éléments de l'enveloppe ou d'équipements énergétiques. Par exemple, le remplacement des vitrages par des doubles vitrages à faible émissivité et à isolation renforcée (VIR), l'isolation des murs extérieurs avec une résistance thermique minimale de $2,3 \text{ m}^2\text{K/W}$. L'objectif est d'augmenter l'efficacité énergétique du bâtiment, de réduire la quantité de chauffage et de refroidissement utilisée, de maintenir les niveaux de confort d'été et d'hiver, et de prévenir les dommages structurels.

L'enveloppe du bâtiment, les parois opaques et vitrées, le chauffage, l'éclairage, l'ECS, la climatisation, etc. font l'objet de règles thermiques (fig). Pour enfin minimiser la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, elles conseillent de rationaliser l'utilisation de l'énergie en prenant des mesures immédiates pour améliorer la performance des domaines susmentionnés (Nait, 2011).

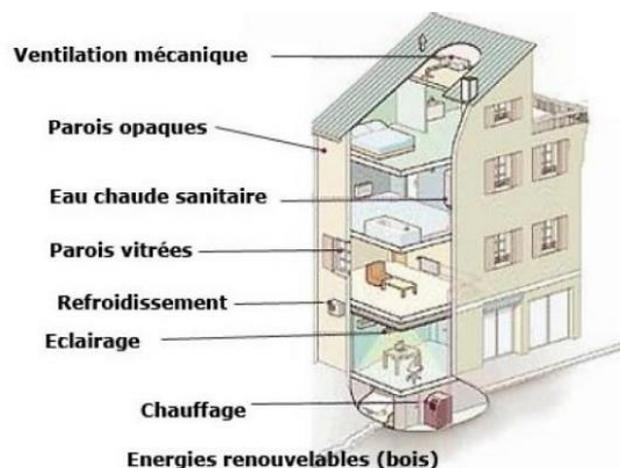


Figure 55: Représentation des points de la réglementation thermique. Source : <http://www.rt-batiment.fr>

RT existant globale

Pour les rénovations de bâtiments de plus de 1000 m², achevés après 1948

Réglementation définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové. C'est la RT global qui s'applique depuis le 1 d'ensemble.

RT existante par élément

Pour tous les autres cas de rénovation

L'élément remplacé ou installé. Ce second volet de la RT métropolitaine) pour les marchés ou les devis acceptés à partir du 1er novembre 2007 (Issaadi, 2016).

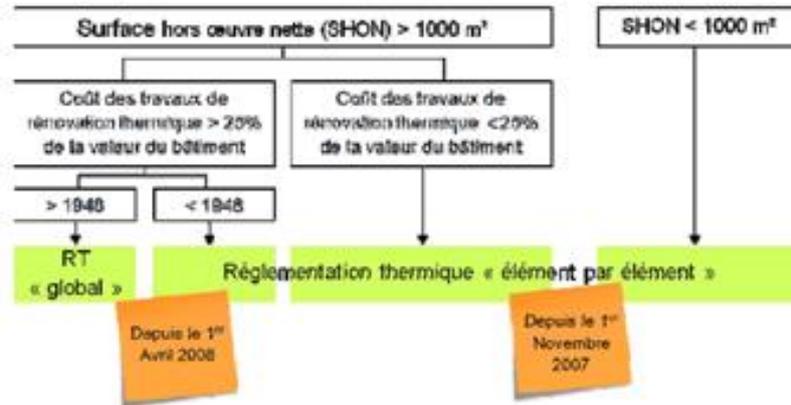


Figure 56: Exigences réglementaires pour la rénovation énergétique des bâtiments source (Issaadi. N, 2016)

Conclusion

Toutes les constructions de bâtiment et particulièrement le bâtiment habité, se réalisent selon les principes de réglementations pour améliorer les performances énergétiques. À ce propos, c'est la réglementation thermique (RT) qui les définit. Les RT, par les diverses mesures incitatives donnent les directives pour réduire la consommation énergétique et offre les meilleures façons de préserver l'environnement résidentiel. Autrement dit, cette réglementation thermique fixe la limitation dans la consommation d'énergie.

CHAPITRE 4 : HABITAT EXISTANT, FORME, TYPO-MORPHOLOGIE, ORGANISATION SPATIALE

Introduction

L'habitat, ordonnateur de l'organisation spatiale. En somme, l'habitat existant dans la ville de Annaba se développe comme un résultat-conséquence, parce qu'il rend compte d'un autre système de l'offre à partir de laquelle s'articule la forme morphologique du cadre bâti par rapport aux normes du confort sanitaire et en particulier l'apport de l'isolation naturelle adaptative. Dans de tels cas, la structure des habitats, dans leur morphologie formelle, se reconnaît dans un schéma logique qui nous donne une image ordonnée de ces types d'habitat. Ceux-ci démontrent que l'ordre spatial est lié aux idéologies et doctrines de l'époque de sa création.

On constate dès lors, que la morphologie formelle et l'évolution de l'habitat reflètent très largement les savoirs faire constructifs de chaque époque de création du type d'habitat. Ces formes d'habitat est une mosaïque civilisationnelle appréciée dans l'histoire de la construction et l'architecture en Algérie. La présentation des formes d'habitat à Annaba se reconnait aussi une expression d'organisation spatiale de chaque type d'habitat de la ville de Annaba dans un schéma logique, qui nous donne une image ordonnée. Ces types démontrent que l'ordre spatial est lié aux idéologies et doctrines de l'époque de sa création.

Dans de tel cas, la lecture typo morphologique se compose de la présentation des types traditionnel, classique, néo-classique, art déco et moderne) qui déterminent les formes d'habitat et nous conduisent à comprendre l'évolution de l'habitat.

1. Objectifs de la lecture typo-morphologique

L'objectif premier de cette lecture typo-morphologique vise à une lecture approfondie des formes et types d'habitat à Annaba. Pour ce faire, il s'agit de déterminer les éléments structurants de l'habitat (Haridi, 2016, p. 90), afin de saisir les différentes étapes de la genèse du bâtiment habité.

Le second objectif démontre l'attache de la typologie de l'habitat avec l'habiter de chaque étape civilisationnelle qui a traversé la Ville de Annaba. De plus la fonction humaine la plus fondamentale est la manière d'habiter. D'où, l'habitat comme lieu habité demande une prise en charge du confort sanitaire à la laquelle on nous importe de rattacher les paramètre notre recherche habitat, habiter, confort et les unir dans la formule forme, morphologie et type.

A cet égard, si le sens fondamental « d'habiter » pour Bachelard (2005), s'éloigne de la fonction référentielle où « habiter, c'est notamment se tenir dans un lieu » (Quicherat, 1836). Ce déplacement du sens de l'habiter, porte une signification gestuelle qui traduit les comportements et les représentations des liens entre habitat et habiter. Cette relation est en général l'acte modélisé par les diverses images du lieu habité.

L'habiter par-là même implique ainsi l'appropriation des espaces de la vie. C'est-à-dire des lieux dotés de caractères formels et symboliques qui les distinguent. Dans la mesure que ces espaces de vie assurent à l'habitant bien-être et confort adaptatif, ancrage et appartenance. Corrélativement, cette notion d'habiter donne lieu à diverses interprétations comme celles de [(Robert, 1998), Heidegger, (1927) ; Merleau-Ponty, (1945 ; Husserl (1923) ; Haridi, 2016,)], qui ont cherché à prévaloir le sens existentiel de l'habiter.

D'un point de vue plus particulier. Par-là même « Lefèbvre voit là à la fois un double mouvement et une double *exigence* : penser l'existence profonde de l'être humain en partant de *l'habiter* et de *l'habitation* » (Segaud, 2010).

En-deçà, Haridi (2016, p. 15) observe qu'à Annaba, on rencontre une grande diversité des formes architecturales de l'habitat. Mais ces derniers posent des problèmes de confort à l'échelle de la cohésion avec les normes du confort imposées par la réglementation en matière de l'isolation naturelle dans les bâtiments habités.

2. Lecture typo-morphologique

La présente lecture typo-morphologique cherche à identifier les types d'habitat de la ville de Annaba, leurs processus de conception propres et leurs savoirs constructifs. Cette lecture est élaborée principalement sur les variables permettant de cerner les caractéristiques déterminantes tout en saisissant comparativement la nature de leurs morphologies formelles et organisation spatiale.

Du point vu référentiel, l'Insee³³ classe les typologies d'habitat selon le lieu d'implantation, c'est-à-dire celui de l'« espace à dominante urbaine comme les pôles urbain, les couronnes périurbaines et les communes multipolarisées ». Cette classification met à nu les changements dans les manières de faire l'habitat.

Du point de vue apport de connaissances, elle peut servir de répertoire pour classer les différentes formes morphologiques par rapport à leurs développements identitaire. L'lecture typologique de l'habitat est un moyen analytique rationnel. Cet outil s'établit selon trois opérations consécutives. Il s'agit notamment de faire une décomposition de tous les éléments de l'espace habité en égard de leur orientation et emplacement, de leur forme (dimensions, échelles), et leur relation avec l'ordre de la comparaison.

Suite, à cela, il s'agit d'entreprendre la hiérarchisation des lieux habités et leur ordonnancement spatial par rapport aux valeurs symboliques tout d'abord, ensuite les ordonnés en fonction des pratiques effectuées dans chaque lieu. Toutefois, cette hiérarchisation des lieux habités tient également à déterminer tous les éléments constituant l'ensemble des besoins et aspirations, pour chaque personne enquêtée, en degré de satisfaction de son habitat, de son confort résidentiel par rapport à son mode d'habiter.

Enfin elle mettra aussi en lumière les propriétés relationnelles qui discernent les relations entre l'espace-logement et le confort résidentiel en particulier l'état des réponses de l'isolation naturelle adaptative. Ces actions relationnelles sont étudiées suivant des indicateurs couplés tels que le couple habitat-confort résidentiel et le couple confort résidentiel-isolation naturelle adaptative.

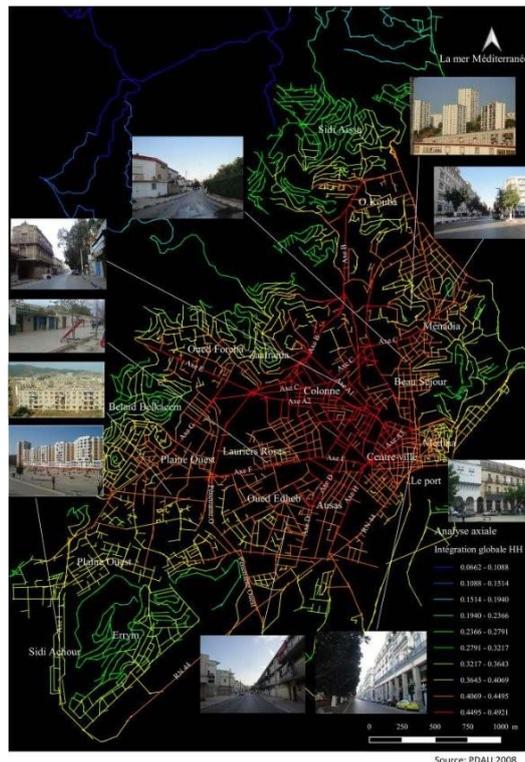


Figure 57: Représentation des types d'habitat, Annaba. Source PDAU 2008

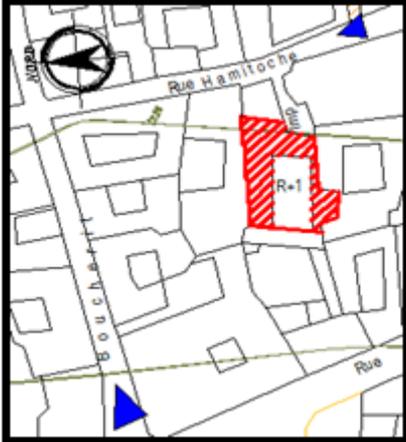
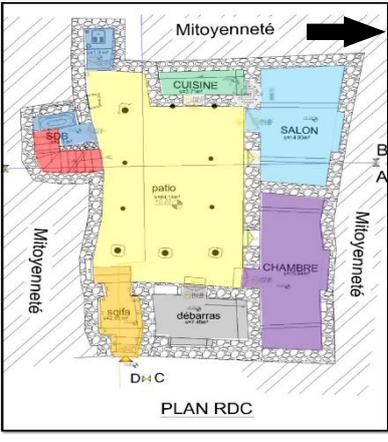
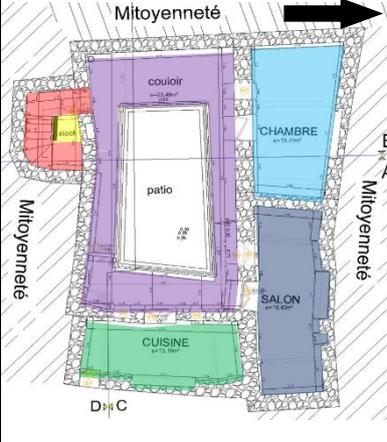
2.1.L'habitat traditionnel

Ce type d'habitat se trouve dans l'ancien tissu urbain, habituellement appelé le quartier arabe, Médina, Place d'armes et vieille ville de Annaba. Implanté sur le damier originel au tracé orthogonal, qui assure les principes de la privatisation de la vie intime des habitants à l'ère de Bouna la neuve. De la grande rue, on retrouve la rue secondaire qui la plupart des cas finie par une impasse. En outre, Les maisons médinales sont des constructions généralement élevées, elles se composent d'un Damous (Dahlis) en sous-sol, d'un rez-de-chaussée, d'un ou de deux étages et d'une terrasse (stah).

L'intérieur des maisons sont organisées par rapport à la logique du seuil, de la skifa en chicane, de la cour centrale, et les chambres surélevée d'une marche composant le seuil (El Ataba), disposées autour de la cour centrale (circulation centrale ouverte et non-couverte) avec une galerie (circulation périphérique ouverte mais couverte), décorée avec du zelidj de grande qualité. Ainsi, la perdurance du principe autarcique fait que cette habitation n'est qu'un volume fermé aérée et éclairée par le patio. (Voir plans et figures de la maison Tatar, tableau 18).

Les matériaux utilisés sont somptueux bois sculpté, stuc et enrichissement d'éléments architectoniques comme les arcs (plein cintre) et des arcs surbassé, des colonnes en torsades, chapiteaux à corbeilles en marbre, sous bassement en carreaux de céramique. Le reste des murs sont peint de chaux grasse de teinte bleu ou verte.

Tableau 18: Représentation de la maison Tatar (Médina de Annaba)

Configuration spatiale plans de la maison. Source Boulemaredj et Ghazel, 2015		
Plan de situation	Plan du RCD	Plan de l'étage
		
Vues sur la cour « espace central » et porte d'entrée		
Porte et entrée	Vue ouest de la cour	Vue nord de la cour
		
Vues sur l'escalier		
Palier de départ	Quartier balancé	Palier d'arrivée
		
Vues sur la courside de l'étage		
Vue de la ferronnerie du parapet	Utilisation du parapet	Utilisation du parapet

		
Espace-pièce d'utilité		
Chambre	Séjour	Cuisine
		

Dans ces maisons, on entrevoit notamment la grande maison qui est la maison du maître (les dignitaires turcs), entourée de ses dépendances. Les rares maisons restantes, à nos jours, possèdent une partie de la maison appelées dar el diaf (appartement des hôtes).

Dar el Diaf : Douïra ou bit el daouw

Cette maison ou appartement abrite l'hôte, elle est souvent dépendante de la grande maison du maître. Elle se compose d'un patio, entouré d'une un ou deux côtés de chambres. Le premier étage possède un garde-corps simple monté comme un chebek pour assurer l'intimité de la grande maison.



Figure 58: Dar El Diaf. Source : <https://m.facebook.com/people/Dar-El-Diaf-Ghardaia/100064007171844/>

Dar el Alloui

C'est une maison qui se trouve à l'étage. Celle-ci possède la particularité d'avoir un escalier privé qui monte directement de la rue. De même, au bout de l'escalier, nous retrouvons

la cour centrale, sur laquelle s'ouvrent toutes les chambres. Toutes les ouvertures que l'on trouve donnant sur l'extérieur de nos jours ont été, sans aucun doute, pratiquées lors de période coloniale.



Figure 59: Représentation de Dar El Alloui., Dar-laouabdia. Source ; <https://annaba-patrimoine.org/dar-laouabdia-sellami/>

2.2.L'habitat colonial

D'après Boufassa (2021) durant la période coloniale « L'architecture de l'habitat destiné aux musulmans était le miroir de ce que fut le système colonial. » Toutefois la difficulté de la mise en place d'une véritable politique d'habitat traina la vision ethnicisante de tout ce qui projet d'habitat pour les musulmans. Cette vision se révèle un échec faramineux face au moment moderne architectural qui évolue rapidement.

En cela, on voit que pour la société européenne de Annaba, l'habitat colonial se compose de deux types qui sont notamment les immeubles d'habitation à plusieurs étages contenant plusieurs logements et le pavillon appelé *villa*. Il existe également deux autres types, l'habitat à loyer modéré (H.L.M.) et l'habitat bon marché (HBM), réalisés dans le cadre du logement social). Mais leur réalisation était tardive et grande partie de sa réalisation venait des programmes du plan de Constantine (1959).

L'immeuble à plusieurs étages : Style classique

Les immeubles d'habitation moderne se constituent principalement de constructions à forme moyenne, compte tenu de leur ancienneté ainsi que des modifications et transformations effectuées par ses occupants, lors de leur passage de l'habitat traditionnel à un autre type d'habitat, ces immeubles sont dans un état de vétusté très accentué. Toutefois, ce type d'habitat se concentre en majorité dans le centre-ville (voir figures, plans et tableau).



Figure 60: immeuble architecture classique. Source : <https://annaba-patrimoine.org/hotel-de-ville/>

Immeubles à plusieurs étages : style néo-classique

L'immeuble néo-classique fut conçu sur le modèle de l'architecture gréco-romaine à commencer dans le moyen âge. Ce type d'architecture s'était développer pour l'appréhension de la loi de 1807 à l'alignement des façades très ouvertes sur la rue dotée de balcons ornés de ferronnerie. La forme de l'immeuble est volume fait de symétrie dont la rythmique des fenêtres est faite selon une continuité visuelle régulière. Ces immeubles possèdent beaucoup d'éléments

architectoniques comme les colonnes, frontons triangulaires, balustrades, corniches et portiques importants pour les portes d'entrée, encorbellements etc.



Figure 61: Immeubles coloniaux néo-classique. Source : <https://annaba-patrimoine.org/hotel-de-ville/>

Immeuble à plusieurs étages : Style Art Décoratif

Les immeubles du style Art déco (skyscrapercity, 2021) sont construits selon les composants dictés par le Mouvement artistique et architectural apparu au début des années 1910. Ce mouvement se développa entre les deux guerres mondiales, l'immeuble Art déco marqua le paysage urbain de nombreuses villes algériennes. Ce style architectural met fin à l'at nouveau et le style néo- mauresque développer par Jonnart (1857-1881).



a) Nouveau théâtre.

b) Immeuble Laissat (1930).

c) Immeuble EDDBA (1935)

Figure 62: Représentation de l'architecture Art Décoratif. Source : <https://annaba-patrimoine.org/>

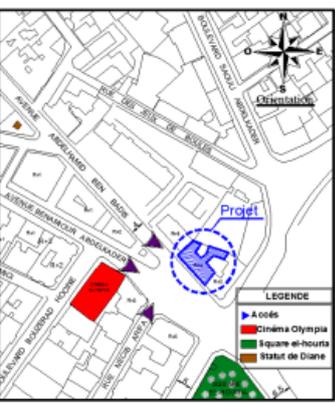
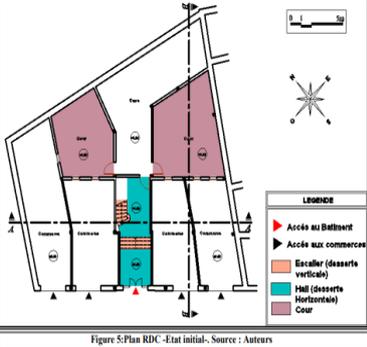
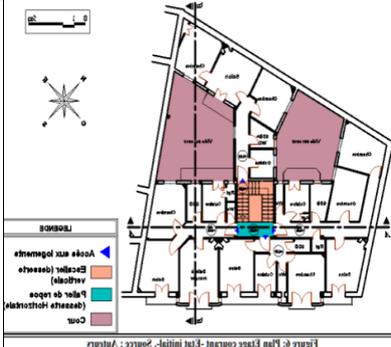
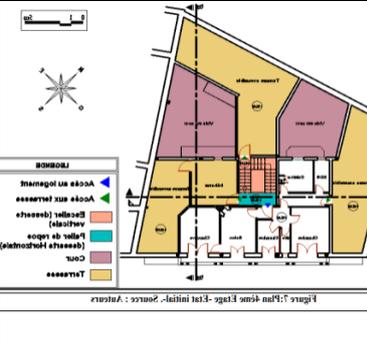
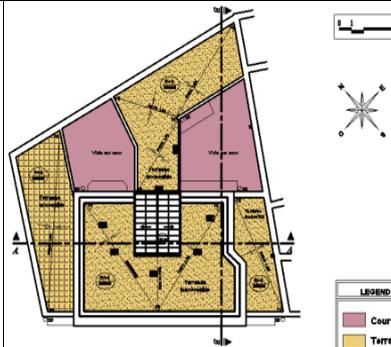
L'immeuble Art Décoratif est construit avec l'emploi de nouveaux matériaux, tels que le béton armé, le fer, l'acier, la céramique, le verre, On retrouve aussi le retour à la symétrie, aux façades blanches, aux formes géométriques, au toit terrasse, emploi de contraste des couleurs, les motifs floraux etc. Pour les immeubles, l'architecture Art Décoratif refuse les angles droits. Les immeubles d'angle sont souvent arrondis.



Figure 63: Immeubles Art décoratif. Source : twitter.com/maelassal/

Les Pans coupés sont utilisés sur les façades, les fenêtres et les portes. Conçu à partir de 1930, une petite tourelle circulaire à colonnes vient habiller le sommet de l'angle du bâtiment ».

Tableau 19: Immeuble colonial à plusieurs niveaux

Immeuble de style néo-classique		
1. Configuration des plans de la maison situé au quartier de la Colonne, Annaba		
Plan de situation	Plan du RCD	Plan de l'étage
  <p>Figure 3: Situation de l'immeuble. Source : POS. Traitement : Auteurs</p>	 <p>Figure 5: Plan RDC -Etat initial.- Source : Auteurs</p>	 <p>Figure 6: Plan 1er étage -Etat initial.- Source : Auteurs</p>
	 <p>Figure 7: Plan RDC -Etat initial.- Source : Auteurs</p>	 <p>Figure 8: Plan toiture -Etat initial.- Source : Auteurs</p>
Vues sur l'espace-entrée		
Porte d'entrée	Vue du vestibule	Vue de la circulation verticale
		
2. Eléments architectoniques		
Ferronnerie des balcons	Balcon encorbellement	Balustrade
		
Vues sur les pièces d'utilité		

Chambre	Séjour et Balcon	Cuisine
		

Immeuble colonial type HLM - Habitat collectif à Loyer Modéré

Les programmes de réalisation de l'habitat collectif HLM à Annaba ont commencé à être lancés à partir des années 1930. En premier lieu, on cite parmi les programmes réalisés On cite le quartier de la Ménadia qui regroupe l'ancienne Ménadia, es 1000 logements et la Ménadia.

Le quartier de Ménadia

Le quartier est appelé fréquemment les « H.L.M. de la Ménadia ». Ce quartier fut construit dans un immense champ agricole. L'ancienne Ménadia se trouve entre les 1000 logements (type HLM) « les Frênes » et la nouvelle Ménadia ou la Ménadia 3. Derrière les bâtiments, qu'on appelle ordinairement les Frênes, on distingue une colline boisée au nom de « la Montagne » protégée les H.L.M. « les 1.000 logements ».



Figure 64: Vue de la nouvelle Ménadia et l'ancienne Ménadia. Source : <http://bone-la-menadia.over-blog.com/> ; <http://bone-la-menadia.over-blog.com/2>



Figure 65: Vues des 1 000 logements Ménadia. Source <https://mapio.net/pic/p-75160336/>

Tableau 20: Habitat colonial de type HLM

Habitat type HLM : Le quartier de la Ménadia	
1. Configuration urbaine et architecturale des bâtiments HLM	
Plan de situation	Formes architecturales des bâtiments



Source : <https://mapcarta.com/fr/N7455692041>

Source : <https://www.dzadvisor.com/listing/mairie-apc-menadia-39238>

Vues sur des porte d'entrée



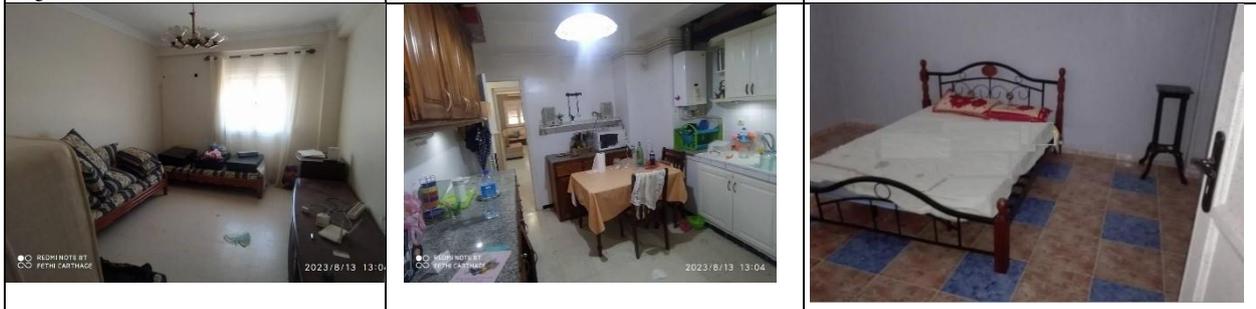
Source : <https://www.facebook.com/114217089953680/photos/>

Vues sur l'espace intérieur

Séjour

Cuisine

Chambre



Source : <https://www.algeriahome.com/>

2.3.L'habitat pavillonnaire

Annaba, comme toutes les villes algériennes, possède un parc résidentiel colonial varié qui comprend des quartiers pavillonnaires qui ont accueilli autrefois la population européenne avec leur mode de vie purement européanisé. Les habitations sont mitoyennes et alignées sur la rue avec un étage sur rez-de-chaussée et un percement sobre, elles évoluent en maisons isolées dans un jardin en gardant toutefois des caractéristiques quasi identiques, un plan carré avec une toiture à un, deux, ou quatre pans.

Les différentes périodes de création architecturale coloniale à Annaba, le pavillon individuel avec ses panneaux de mosaïque polychrome et céramique vernissée aux motifs fleuris inspirés des motifs de l'art Nouveau, des années 1925-1930 et de plus on retrouve les décors géométriques de style Art Décoratif, conçues à l'aide de composants de plus en plus standardisés, les baies sont généralement organisées dans un alignement vertical, avec linteaux alignés horizontalement ; parfois une symétrie.

Le pavillonnaire colonial portait principalement sur l'ensoleillement, ventilation, l'isolation, la végétation ainsi que les règles de confort sanitaire incluses dans la conception architecturale moderne. Puisqu'elles ont créé un modèle d'habitation individuel entouré de jardins clôturés et une partie bâtie s'organisant autour d'une distribution particulièrement liée à l'orientation par rapport au soleil, la direction des vents et les effets de chaleur en périodes estivales. Les pièces sont généralement continuées de terrasses et de vérandas. Ce style d'habitat est connu sous l'appellation d'habitat du soleil » (Bourara, 2020).

A Annaba, on constate que de fortes transformations sont faites sur l'habitat pavillonnaire colonial de par ses occupants représentent une mutation profonde du mode constructif initial. Ce phénomène de transformation apparaît comme une transition qui met en place les conditions des changements qui suscitent un état d'équilibre pour ainsi restaurer l'image d'une ville et l'image de son habitat pavillonnaire. De là, l'habitat pavillonnaire colonial répond aux conditions climatiques de son contexte environnemental.

Dans ces conditions, on voit que le modèle pavillonnaire ouvert à l'air et au soleil est la solution attendue pour se doter de confort sanitaire et particulièrement le développement de l'isolation naturelle. Si l'habitat pavillonnaire était conçu et projeté pour regrouper un potentiel de confort sanitaire, qualité écologique et respect de l'environnement, homogénéité, il possède encore une grande fonctionnalité esthétique.

Le quartier du Beauséjour

Né en 1906-1908 sur les pentes de la Casbah (Beau Séjour), le quartier s'étendit entre 1931 et 1938, et plus encore depuis 1946 en intégrant à la proche banlieue la station balnéaire de Saint-Cloud. Son essor tend à lui permettre d'englober Chapuis.



Figure 66: Vues d'ensemble du quartier du Beau Séjour Annaba. Source : Annaba source de beauté et richesse de l'histoire

La genèse chronologique d'habitat pavillonnaire correspond à un paysage caractéristique des périphéries urbaines et de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, dans lequel les logements individuels dominent ou tout pavillon prend place dans une parcelle.

Les pavillons peuvent être dispersés dans des petites parcelles isolées dans le paysage (c'est le mitage résidentiel). Mais le succès de l'habitat pavillonnaire tient à la standardisation des méthodes de construction et de l'application des procédés de préfabrication, développées pour l'habitat collectif, à la maison individuelle.



Figure 67: Habitat colonial pavillonnaire, Cité Beau Séjour, Annaba, 1940. Source : <https://ana.fibladi.com/>

Il en est résulté une baisse des coûts de construction qui, associée à des politiques publiques incitatives (aide à l'accèsion à la propriété et à l'acquisition de terrains), ont permis l'essor de l'habitat individuel.

Tableau 21: Habitat pavillonnaire, quartier Beau Séjour

Pavillon à Annaba : Ville Laurens (1948), Architecte Robert Naz & J. Butigieg		
1. Configuration des plans de la maison situé au quartier de la Colonne, Annaba		
Plan de situation	Plan du RCD	Plan de l'étage
Vues de la volumétrie		
Porte d'entrée	Vue de la façade arrière	Vue de la façade Est

On trouve ce type particulièrement occupé le centre de la ville, elle constitue les espaces les plus favorables de la ville du point de vue de leurs situations stratégiques et leurs richesses architecturales et urbaines. Il respecte de l'échelle humaine : des maisons en RDC, R+1 et maximum R+2. Le rapport plein/vide est respecté. L'organisation spatiale est en fonction des besoins et de la taille du ménage. Certaines habitations ont fait l'objet de démolition et la reconstruction de bâtisse moderne (Haridi, 2013).

2.4.L'habitat spontané

L'habitat « spontané » est un phénomène qui a émergé naturellement, c'est-à-dire qui s'est produit de soi-même, sans aucune intervention légale ou planifiée de l'état. L'habitat spontané est un habitat qui est non planifié (illicite et incontrôlé). C'est un habitat auto-construit par son utilisateur. L'infarctus se situe plus au niveau du transfert de propriété privé-acquéreur, non reconnu par l'état et donc l'absence du permis de construire. Le terme « spontané » signifie

« une action qu'on fait de soi-même, sans y être poussé ni forcé » où « agir sans calcul, sans arrière-pensée, sous l'impulsion de ses premiers sentiments » (Dictionnaire Larousse).

En général, la localisation des quartiers spontanés est dans la majorité des cas, implantée sur des terrains privés ou communaux vides. Dans cette mesure, les habitants-concepteurs-producteurs des quartiers spontanés ont construit leurs maisons hors des normes réglementations urbaines et sanitaire en raison de la nécessité en logement. Et Kadi (1986) disait qu'au « Caire, l'illégalité de l'urbanisation spontanée, se définit par la transformation des parcelles agricoles et par le non-respect des normes urbanistiques et constructives ».

Drummond (1982), dans son ouvrage relatif aux favelas de Rio de Janeiro les définit comme étant un groupe d'habitation à haute densité, construit d'une manière désordonnée avec un matériel inadéquat, sans service publics et sur des terrains utilisés d'une manière illégale sans le consentement du propriétaire. Alors que Friedman (1978), sans utiliser le sens péjoratif, qualifie les quartiers spontanés d'agglomérations nouvelles, édifiées au fur et à mesure des nouveaux arrivages, par ceux qui viennent en ville dans l'espoir d'y trouver leurs moyens de survie en construisant eux même leurs habitations suivant leurs capacités, leur savoir-faire, leur ingéniosité et leur goûts personnels.

Le quartier Beni M'Haffer

La colline El M'haffer est située au nord du centre-ville d'Annaba, au pied du mont l'Edough entre Oued el Kouba et Zaafrania. La colline El M'Haffer s'appelle ainsi, car le mot M'haffer signifie les trous profonds creusés pour extraire la matière première pour la poterie, fabriquée à même la colline. Historiquement, cette colline riche en argile, elle alimentait les potiers de souk el Fakharine, installé à l'extérieur des remparts de Bouna, sur le vieux port, plus tard appelé place des gargoulettes.

Les navigateurs étaient trop demandeurs des grandes jarres pour le transport de l'eau et marchandises, tel que le miel, céréales et l'huile d'olives. Plus tard, en 1868, l'expansion des remparts vers l'actuel palais de la culture, délogent une partie des habitants originaires d'Annaba vers la colline El M'Haffer.



Figure 68: Quartier Beni M'Haffer. Source : Annaba-Patrimoine, 2016.

Le quartier Bei M'Haffer est complètement défiguré, il perd son authenticité et l'histoire de ses anciens. D'une part, plus de 400 familles qui occupaient El Kodia, quittent le quartier pour se loger dans des logements sociaux à la banlieue « Calitoussa ». D'autre part, la ville ne s'est pas montrée à la hauteur de l'histoire du quartier, voulant proposer des aménagements massifs et agressifs, sans apport avec l'identité des habitants et leur mode de vie. Un échec total des services d'urbanismes et de l'aménagement urbain.

2.4.1. Evaluation de la production de l'habitat spontané

A Annaba les structures officielles ont créé une politique sociale de l'offre de l'habitat. C'est ainsi que s'est développé à côté de cette offre logement clé en main depuis les années 1970, l'habitat illicite. Pour mieux expliciter les conditions d'émergence de l'habitat spontané, l'on résume les facteurs de sa résurgence comme suit, la déficience des instruments d'urbanisme, l'exode rural, la mauvaise gestion du foncier dans les zones urbaines et des propriétés privées.

La déficience des documents d'urbanisme

Il est connu que l'urbanisation en Algérie et principalement à Annaba a toujours précédé la politique de la ville caractérisée par un développement urbain élaboré de manière opérationnelle. De plus, les politiques urbaines nationales, ont échoué à freiner l'exode rural, et à répartir harmonieusement la population sur tous les territoires urbains. Le développement de l'industrie dans la ville de Annaba accentua depuis des décennies la formation de l'habitat spontané.

L'exode rural

Ce facteur reste pour toujours le moteur développant de l'habitat spontané. Il a ainsi provoqué une croissance démographique sans égale. C'est dans les années allant 1970 jusqu'en 1990 était devenue très aiguë, les habitants de la ville ont recouru au marché illégal pour répondre à leurs besoins, construire eux-mêmes leurs habitations.

Maîtrise foncière

Les terrains sur lesquels se sont implantés les quartiers spontanés, constituent dans la plupart des cas des terrains privés. Ces terrains appartiennent en réalité à des familles propriétaires. Ce qui se passe généralement, c'est que ces propriétaires fonciers procèdent au morcellement de leur terrain, puis à la vente sans approbation aucune des autorités.

Morcellement des propriétés privées

Avoir son propre logement constitue l'un des objectifs les plus recherchés par les habitants que seuls les quartiers spontanés permettent sa concrétisation. Une fois le logement acquis, l'habitant ne se contente pas de construire seulement un rez-de-chaussée, c'est la construction d'un bâtiment qui va parfois jusqu'à R + 3.

Caractéristiques de l'habitation spontanée

La forme des logements qui prédomine la maison individuelle. Cet habitat souffre d'inconfort de la disposition du WC (renvoyé au coin de la cour), un faible équipement en douche, la disposition et surface inopportune de la cuisine à l'intérieur de l'habitation, les chambres sont toutes polyvalentes et manque de confort des espaces plurifonctionnelles.

Espace-central

C'est un espace qui s'ouvre directement sur l'extérieur sans la présence d'une skifa ou de chicanes. L'entrée des maisons se fait directement sur la seule façade donnant sur la rue (ruelle, impasse) que la maison possède. L'escalier est un élément qui se trouve toujours dans la partie découverte juste près de l'entrée. Cette position de l'escalier a beaucoup facilité la séparation de la maison, en plusieurs logements individualisés pour les ménages des fils mariés.

Espace-réception

C'est un espace qu'on retrouve souvent placé au rez de chaussée et près de l'entrée pour revoir facilement les invités. Nous avons trouvé aussi la présence de séjour familial. La cuisine,

est un espace mobile, souvent, les habitants préparent leurs aliments dans la cour. La terrasse, est un espace qui peut donner directement sur les autres maisons mitoyennes. Les usages de la terrasse sont homologues aux usages de l'espace central. Il est donc, utilisé pour faire les travaux ménagers, comme notamment sécher le linge, faire la cuisine (pour les réunions de familles).

Les façades

La typologie des façades qui s'établit n'obéit pas forcément à l'incapacité des occupants d'achever la réalisation, elle résulte également des contraintes créées par la mitoyenneté (un minimum d'ouverture existe, ce qui pose des problèmes de ventilation et d'éclairage).

Tableau 22: Etat du quartier Beni M'Haffer.



Figure : a) & b) Bâti sur un monticule Moussanaf, 2006
 Figure : c) & d) M'haffer Moussannef, 2006

Figure e) : Cohabitation et entassement de la précarité. Source¹ : Moussanaf 2006.

2.5.L'habitat collectif postindépendance

D'après Haridi (2007), la création des Zones d'habitat urbain nouvelles (ZUHN) était à la fois « un ordre et une priorité » dans les années 1970. Ces Zuhun furent créées dans les périphéries de toutes les villes algériennes. En cette période les cités résidentielles collectives devenaient une avancée remarquable dans le dépaysement des paysages urbains. La nouvelle urbanisation a contribué également au renforcement du phénomène ségrégatif sociétal. Cette production très rapide a déchiqueté tout le territoire national. Elle était due en partie à la très forte croissance démographique et l'industrialisation des villes.

Cette croissance devint progressivement alarmante car, elle avait contribué fortement à la densification anarchique des villes. À titre indicatif, pour la période entre 1962 et 1975, la population a ainsi crû de plus de 20 millions de personnes, soit une croissance qui a doublé en 13 ans.

Relativement à cela, le parc national de logement, après le départ massif des européens en 1962 avait attiré vers les villes une très forte population rurale. Engendrant un accroissement remarquable du taux d'urbanisation, cette progression était de 32 % juste pour l'année 1966. La

capacité de ce parc était d'environ 1 900 000 logements dont 200 000 étaient très précaires (gourbis, bidonvilles, etc.) dont 80 % en dur étaient indécents, soit par exigüité des logements (de 1 ou 2 pièces) soit encore par le manque de commodités élémentaires (eau, assainissement et électricité).

Soulignons notamment que les programmes des plans de développement successifs, investis dans la production de l'habitat en masse ont donné un second souffle à l'exode rural. En 20 ans de 1966 à 1987, la population habitant les grandes villes s'est multipliée par 2,69. Ce rythme d'accroissement est aussi la conséquence du croît naturel qui a atteint lors de cette période un taux de 3 % par an, devant un taux d'occupation des logements trop élevé avec un degré de confort très bas.

Le circulaire du 19 février 1975 a intensifié cette croissance démographique grâce à la réalisation des programmes d'habitat planifiés et l'adoption du caractère collectif et égalitaire des bâtiments. Cependant, produire de manière volontaire laisse apparaître une non-concordance entre les programmes à réaliser et le discours politique. Il y a eu un décalage entre les programmes réalisés et le discours politique. Engagé.

2.5.1. Création des ZHUN, entre rigueur et pragmatisme du discours politique

Aujourd'hui, l'examen envisagé porte sur le passage du cadre référentiel de la création des Zones d'Habitat Urbain Nouvelle (ZHUN) comme action totalitaire et égalitaire dans le sens de la logique d'accompagnement des populations moyenne et déshéritée à se loger. Mais la production des ZHUN était soumise aux lois du marché immobilier international. On peut voir par exemple les résultats ont donné des dichotomies dérivées du modèle architectural qu'on appelle bâtiment à l'identique.

2.5.2. Stratégie Nationale des Modalités de Financement du Logement (SNMFL) dans les mutations du système de production

La stratégie nationale des Modalités de Financement du Logement (SNMFL) dans les mutations du système de production devint diversifiée à partir surtout de la création des agences promotionnelles publiques et privées dans le secteur de l'habitat les aides pour l'acquisition des logements. Ces aides sont adaptées aux revenus des ménages avec les modalités de classement pour chaque catégorie bénéficiaire. Le logement social locatif, qui a été pendant très longtemps, le seul référentiel de la politique de l'habitat s'est vu seconder de manière accrue.

Les pouvoirs publics, tout en prévoyant son maintien, ont instauré le logement social participatif et la location-vente destinée aux ménages à moyens revenus. Le bénéficiaire du logement participatif reçoit de l'État une aide financière non-remboursable, mais il doit contribuer par un apport personnel, pour financer son logement et faire appel à un crédit auprès d'une banque si nécessaire (caisse nationale de logement, le *Housing Bank*. Le promoteur immobilier intéressé par ce type de programme, peut obtenir un terrain du domaine privé de l'État dont la rétrocession lui est consentie avec un abattement de 80 % de son coût. Dans le cadre de cette formule, sont établis deux (2) programmes financés sur les fonds du trésor public.

2.5.3. Apport des dynamiques résidentielles des ZHUN

Le développement des ZHUN a suivi naturellement la forte progression des dynamiques territoriales. Elles donnent ainsi des cadences originales en ce qui concerne le développement de toute la ville. La réalisation de cités d'habitat collectif a eu beaucoup de conséquences

néfastes telles les fractures sociales. Ce phénomène a participé à l'échec de toutes les stratégies des différents plans de développement vis-à-vis des dynamiques résidentielles, vu que les décideurs ont négligé de prendre en charge l'amélioration de ces cités.

Avant toute chose, l'impact des dynamiques résidentielles des ZHUN se fonde sur des polarités attribuées à des réactions particularisées. Ils se placent dans le mouvement de la production de l'habitat collectif. Cette situation est révélatrice de polarités économiques même si elle reste faiblement porteuse de projets intégrateurs tels que :

- La dynamique démographique qui est la conjoncture garante du développement des stratégies territoriales. Mais, elle est loin de rationaliser la disqualification du territoire des ZHUN malgré le travail et les recommandations des associations et institutions (association du planning familial, ministère de la santé) qui sont les principales structures qui veillent de manière active à moderniser cette dynamique.
- La dynamique sociale, celle-ci interfère les conditions d'amélioration nécessaires au cadre de vie existant. Cette requalification spatiale permet d'impliquer l'enjeu du renouvellement urbain dans une redynamisation réelle.
- La dynamique environnementale est vaste et complexe, ses aspirations sont diverses. Ainsi, son enjeu se situe dans l'amélioration des espaces partagés comme l'espace vert, l'espace de stationnement et surtout l'espace ludique à créer.

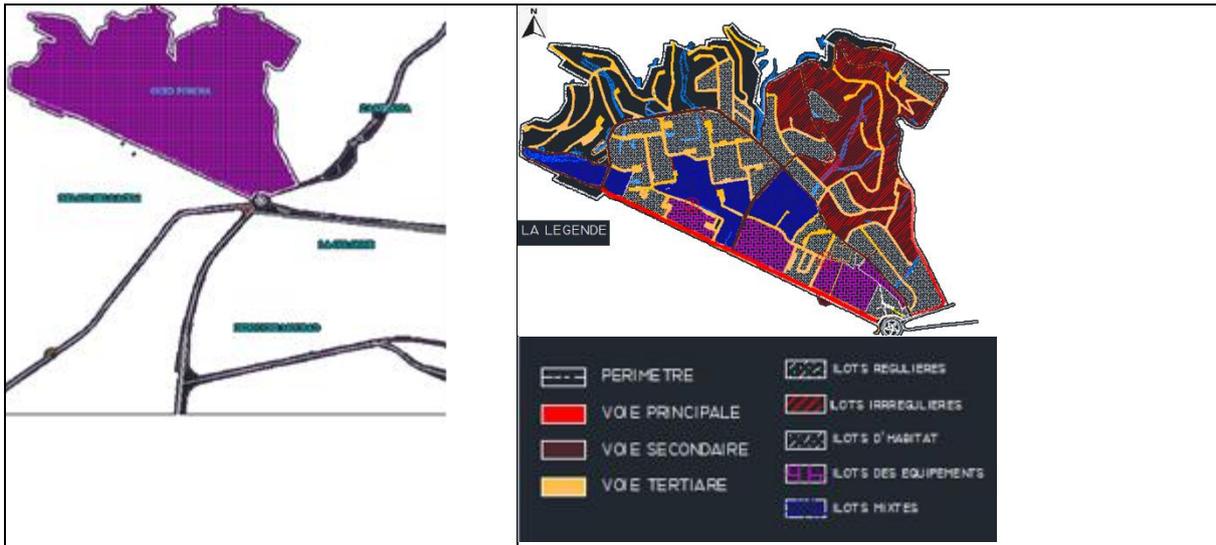
2.5.4. La ZHUN de l'Oued Fourcha : Intégration identitaire et reconnaissance politique

La ZHUN de l'oued Fourcha à Annaba trouve beaucoup de difficultés à organiser son urbanisation. De ce fait on assiste au blocage du système foncier qui sanctionne le développement harmonieux et cohérent de la cité. La contrainte foncière avait tout simplement renforcé le dysfonctionnement urbain au sein de la cité. D'après Bouziane et al. (2022), la cité Oued Fourcha se situe au nord-ouest de la ville de Annaba.

En 1968, cette cité commençait à prendre de l'importance avec une croissance urbaine (apparition des premiers habitat collectifs). Aujourd'hui, la Zone oued Fourcha a explosée. L'habitat occupe plus de 45% de la surface de la ville oued Fourcha. En plus de l'habitat collectif on y trouve de l'habitat individuel réglementaire et l'habitat individuel informel.

Tableau 23: ZHUN d'Oued Forcha : Habitat collectif (source auteur,2023)

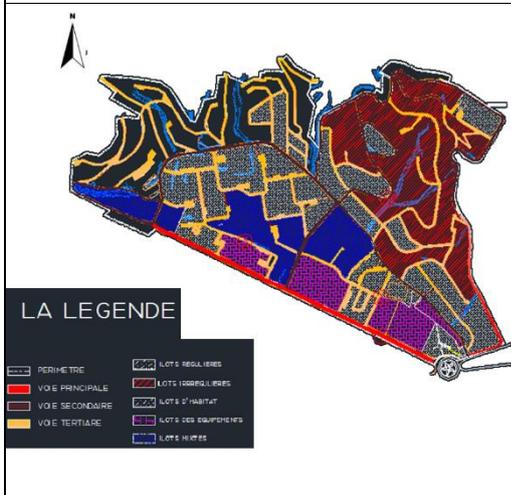
Habitat collectif : ZHUN Oud Fourcha	
Désignation	
Plan de situation	Plan de la voirie



Source : Bouziane & al. 2020

Plan des ilots

Vue d'ensemble

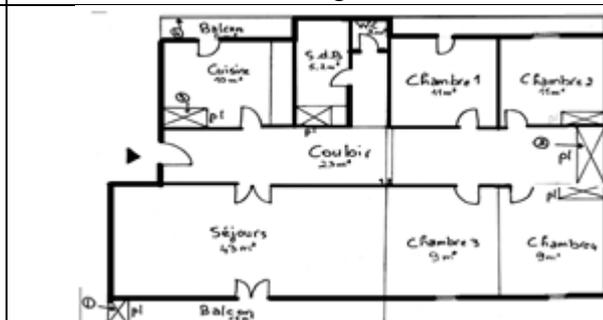


Source : Bouziane & al. 2020

Source : https://www.routedesvoyages.fr/travel/fr/algérie/airport_annaba_airport/photo_21368493-oued-forcha.html

Batiment analysé

Plan étage courant

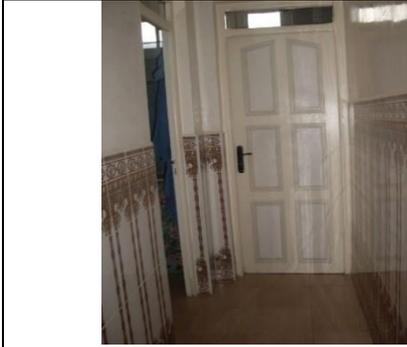


Source : Bouziane & al. 2020

Vues d'espaces intérieur

Entrée

Dégagement



Séjour

Cuisine



Salle à manger

Chambre + séjour familial





Réalisation de 22 000 logements, un défi à relever

Les programmes AADL et logement social visant la réalisation d'un million de logements est un défi de taille pour la wilaya de Annaba. En effet, tracé dans le cadre du programme avec 22 000 unités, toutes formules confondues, la wilaya de Annaba est censée faire face aux 2000 demandes de logement enregistrées au niveau de sa daïra.

Malheureusement, cela semble utopique. Elle fut bonne initiative sociale de l'annonce de ce programme pour les habitants de la wilaya, dont de nombreuses familles vivent dans des conditions déplorables, notamment dans des baraquements et des transits situés aux alentours du chef-lieu de la commune de Annaba, toutes les communes et les dairas environnant le chef-lieu Annaba.

Le relogement dont l'objectif vise l'éradication totale de l'habitat précaire et pour lequel un projet d'habitations a été particulièrement réalisé, a-t-on appris auprès des services de l'urbanisme de la wilaya. Dans cette optique, le programme de soutien à la croissance économique révèle que pour le secteur du logement une conséquente enveloppe de 555 milliards de dinars a été débloquée pour la réalisation de 1 010 000 unités dont 120 000 logements sociaux locatifs, 80 000 de type location-vente, 215 000 LSP, 175 000 logements promotionnels ainsi que des aides pour l'auto-construction de 145 000 unités et 275 000 logements ruraux, selon les services de l'habitat.

Pour arriver à concrétiser au moins la moitié du programme de l'habitat, prévu dans le cadre du quota d'un million de logements d'ici 2025 des experts spécialisés dans le domaine du bâtiment, compte tenu des nombreuses contraintes qui fragilisent ce secteur, la capacité et la cadence de réalisation si tout va bien et avec les meilleures conditions, pourraient atteindre 90 000 unités par an, soit un total de 110 000 logements en 2030.

3. Réglementation de l'habitat

En cela, cette nouvelle stratégie nationale de l'habitat détermine à la fois une connexion franche et sans ambiguïté entre actes publics et régulation urbaine. Elle vise en premier lieu la refonte de l'ancienne réglementation, et en second lieu elle diversifia l'offre de logement par la libération du marché locatif (public et privé) pour intégrer les habitants dans le processus de financement, en adoptant plusieurs formules du logement social à savoir :

Le logement aidé ou participatif

Ce logement est réalisé ou acquis grâce à une aide de l'État dite de propriété, en application du décret exécutif 94 – 308 du 04 octobre 1994 définissant les règles d'interventions de la « CNL » (Caisse Nationale du Logement) en matière de soutien financier des ménages bénéficiaires. L'offre du logement aidé vise à prendre en charge essentiellement la demande de

logement émanant des catégories à revenus intermédiaires qui, sans cette aide de l'État, ne peuvent accéder à la propriété du logement.

Les logements aidés ou participatifs ont une consistance physique moyenne de 40 m² (entre 50 à 70 % habitable). Ces logements participatifs sont réalisés dans le cadre d'un programme de logements collectifs, semi collectifs ou individuels. Le coût du logement dépasse 1 600 000 dinars (16 000 euros).

Le logement évolutif

La première variante de logement offerte se limite à une construction d'une ou de deux chambres avec un terrain prévu pour l'extension.

La deuxième variante, c'est la proposition de toute la superstructure pour le cas de l'habitat collectif, avec le cloisonnement et le bénéficiaire termine son logement. Souvent, l'État ne réalise que la superstructure (dalles et poteaux), et c'est le bénéficiaire qui prend en charge le reste de la construction du logement.

Le logement participatif

Dans ce type d'offre de logement intervient la CNL (Caisse Nationale du Logement) et l'État participe à raison de 30 000, 45 000, et 70 000 dinars à la réalisation du logement. Cette participation de l'État est remboursable à échéance et termes fixés d'avance.

Le programme de logement social locatif

Ce type de logement constitue un nouveau segment d'offre de logement, institué à la faveur du décret exécutif n° 01-105 du 23 Avril 2001, fixant les conditions et modalités d'acquisition dans le cadre de la location de logements réalisés sur fonds publics. L'accès à ce type de logement est réservé aux familles de bas revenus logeant dans des conditions dégradées ou ne disposant pas de logement.

Ils ne doivent pas avoir non plus postulé pour un logement faisant partie d'un programme des agences immobilières, d'une part, et d'autre part, se soumettre à l'obligation d'effectuer un premier versement de 45 000 dinars (4 500 euros) à l'OPGI (Office Public de Gestion Immobilière) comme droit d'entrée. Le locataire ne peut pas se désister en faveur d'une tierce personne et doit payer mensuellement un loyer s'élevant de 1800 dinars à 2 000 dinars.

Les programmes location-vente

C'est la première formule de production de logement ayant trait au caractère promotionnel du logement avec des versements progressifs du début jusqu'à l'achèvement de la construction. Les opérateurs financiers impliqués dans le développement du logement sont :

- La CNEP (la Caisse Nationale d'Épargne et de Prévoyance) : elle participe à la production du logement en faisant un prêt pour l'achat d'un logement neuf, quel que soit le promoteur public ou privé. Elle accorde des prêts pour la construction ou la réalisation d'un logement collectif ou individuel dont le montant peut s'élever en fonction des revenus du ménage. Les taux d'intérêt sont différents selon le statut du bénéficiaire (épargnant ou non épargnant). Les durées de remboursements s'étalent sur une période de 30 ans.
- Le CPA (Crédit Populaire d'Algérie) : le CPA peut concurrencer la réalisation de logement, seulement en vue d'acquisition du logement et d'accepter les conditions de la banque avec des échéanciers très courts. Le bénéficiaire doit justifier d'un revenu mensuel supérieur à 15 000 dinars (150 Euros).

- La BDL (Banque de Développement Local) : La BDL a mis en place un service de prêts remboursables similaire à celui du CPA. Cependant, avec plusieurs créneaux tels que l'achat d'un logement privé ou public, la construction d'un logement ou l'aménagement d'une habitation.
- L'ALGERU (Agence Locale de Gestion et Régulation Financière Urbaine) : Cette agence financière (locale ou internationale) s'occupe du lancement des programmes initiés par l'État sans les mesures de création de logements sociaux. Les sources de financement proviennent de l'État ou de la banque mondiale, cette dernière joue le rôle de maître d'ouvrage dans la réalisation des tous les projets.
- L'AADL (Agence d'Amélioration et de Développement du logement) : Cette agence effectue le même rôle que les agences foncières mais ses programmes sont beaucoup plus conséquents. Les promoteurs immobiliers concourent à la réalisation de logements sociaux ou promotionnels.

L'habitat collectif promotionnel

Pour ce type d'offre, chaque bénéficiaire doit financer son propre logement. On retrouve deux types d'habitat promotionnel : l'habitat promotionnel public et l'habitat promotionnel privé.

- L'habitat promotionnel public : Les programmes de ce type d'habitat sont initiés par des organismes financiers publics de promotion immobilière, c'est-à-dire soit par les collectivités locales ou les entreprises et organismes publics (comme par exemple la CNEP) qui interviennent pratiquement pour le règlement de toutes les opérations de promotion publique.
- L'habitat promotionnel privé : L'auteur de l'initiative peut être une société de promotion immobilière privée ou un promoteur immobilier est un auteur privé qui assure et finance la construction d'immeubles.

Conclusion

Depuis novembre 2015, à titre d'exemple, Annaba est un environnement exceptionnel et plein de ressources pour agir en faveur de la transition écologique dans le domaine de l'habitat. D'où La lecture typo-morphologique de l'habitat à Annaba nous ramené de faire une évaluation critique de la forme des habits étudiés et des organisations spatiales de chaque type d'habitat (traditionnel, colonial, moderne et vernaculaire).

Aussi, elle nous a permis d'identifier les éléments structurels de chaque type d'habitat et montrer qu'ils sont associés à l'identité culturelle des lieux et des contraintes relatives au site d'inscription et à l'environnement. Par cette lecture nous avons pu cerner les causes des transformations et les différenciations relevées résultant du savoir-faire de chaque époque traversée en Algérie.

D'après Castex et al, (1999) la lecture typo-morphologique est née suite à l'apparition de l'école italienne muratorienne en référence à l'ouvrage de Saverio Muratori publié en 1959. Cette méthode analytique a ouvert des horizons de recherche surtout dans le domaine de l'habitat. Les connaissances acquises sont récupérées et développées à travers les chapitres de notre thèse.

Conclusion de la Partie 1

Enfin, isoler les bâtiments habités afin d'assurer à la fois le confort souhaité. Puisqu'aujourd'hui, Il est devenu plus que nécessaire de connaître à la fois les principes des isolants et leur efficacité introduite comme exigence dans les cahiers des charges élaborés dans

le secteur de l'habitat. A souligner : ce qui ressort de cette partie théorique, riche et variée, que l'isolation naturelle adaptative seule ne suffit pas pour obtenir un bâtiment habité possédant performance énergétique conforme au type d'habitat existant ou nouveau comme le démontre chaque chapitre de cette partie de thèse.

Il faut aussi que le bâtiment soit idéalement régulateur de l'état thermique intérieur du logement. On a pu constater qu'il faut dès lors mettre en place une stratégie permettant d'initier des programmes, des actions dans les domaines de l'isolation du bâtiment habité comme c'est le cas des projets réalisés par le CNERIB (Alger) depuis 1997.

De plus les connaissances acquises sur les modèles de la maîtrise de l'énergie, (modèle de Givoni, Gagge...) aide à mieux cerner notre investigation In Situ et expérimentale basée sur la connaissance des caractéristiques de chaque isolant qu'il soit minéral, végétal, synthétique ou animal comme la bouse de vache isolant retenu pour les tests expérimentaux réalisés dans la deuxième partie de notre thèse.

De plus, la lecture de la réglementation et normes sur l'isolation d'un bâtiment, nous rappelle par ailleurs, que l'isolation d'un bâtiment est un outil pour assurer un développement durable. Cette réglementation est appliquée aux bâtiments habités de manière variable selon les moyens disponibles. Aussi l'adoption de la démarche adaptative permet d'utiliser d'autres indicateurs qui ont un grand impact sur la qualité isolatrice, tels que la subvention par l'état des audits énergétiques.

Cette disposition est essentielle pour atteindre la performance de l'isolation naturelle adaptative, basée sur la correction adéquate des ponts thermiques, la perméabilité à l'air et la surface des portes et fenêtres. La mise de l'accent sur la diminution des déperditions par les parois et les baies. Enfin, le dernier point important qu'au-delà des économies d'énergie que l'isolation thermique engendre, elle améliore aussi sensiblement le confort à l'intérieur du logement lié à la notion de température ressentie et « supprime l'effet de la paroi froide » (ALEC, 2022).

Les parois non ou mal isolées (murs, vitrages ...) émettent un rayonnement froid qui les rend inconfortables même si l'air de la pièce est par ailleurs suffisamment chauffé. Ces parois froides sont donc source de déperditions de chaleur, de condensation et d'inconfort. Plus la température est homogène dans les différentes zones de l'habitat, plus la sensation de confort est élevée.

**PARTIE 2 : EVALUATION EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE D'UN
MATERIAU ISOLANT**

Chapitre 1 : PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

Introduction

Annaba est une ville portuaire au Nord-Est de l'Algérie dont l'architecture reflète son passé. Commençons par la ville d'Hippone (Hippo Regius), avec les vestiges de villas et de bains romains, la ville de Bouna et la ville de Bône pour arriver à la ville d'Annaba.

Annaba, aussi appelée la Cité des jujubiers, la quatrième ville algérienne, est située dans l'ouest du golfe Khélij El Morjane. Elle est traversée dans sa partie sud par 2 oueds, la Seybouse dont l'embouchure, sur près de trois km, et l'oued Boudjemaa. La ville s'étend sur un terrain plat et embrasse près de 18 à 20 Km². Annaba est un port de la Méditerranée (Figure 69).

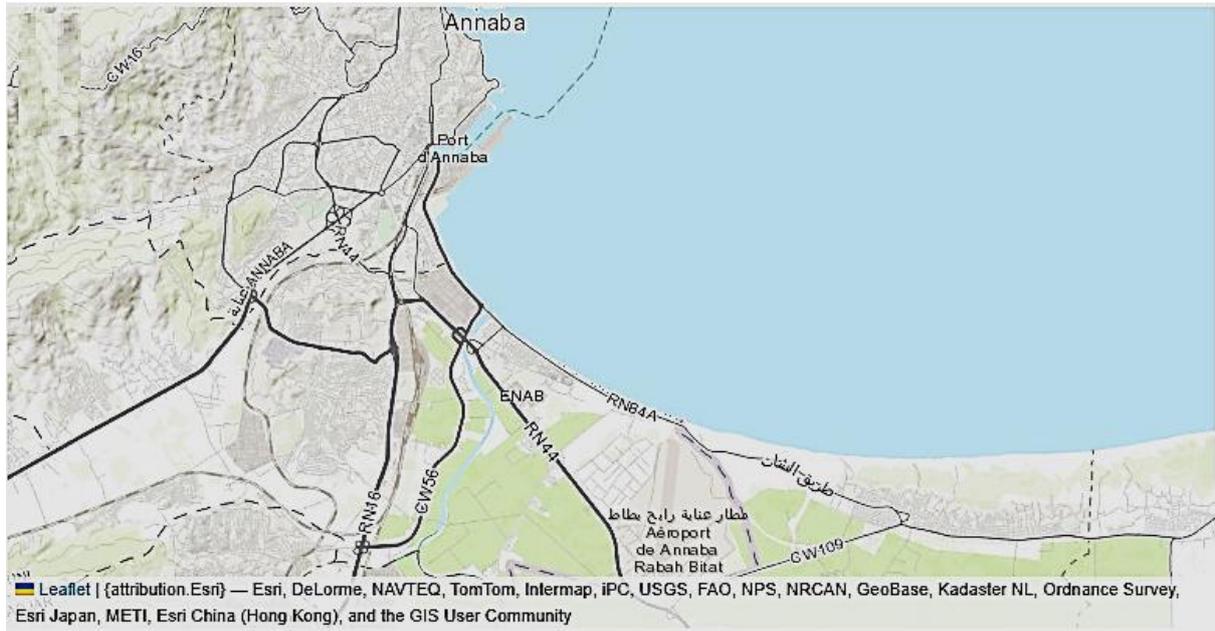


Figure 69: Carte, Annaba 2022. Source : https://data.bnf.fr/11937631/15377382/annaba__annaba__algerie/

1. Aperçu sur la ville d'Annaba

Port à vocation méditerranéenne, la ville d'Annaba se distingue par son cadre bordé par la pointe de Ras-El-Haddid et le Cap Rosa. De plus, elle est animée par une belle route en corniche d'environ 15 km, le long de laquelle alternent falaises et petites plages de sable fin et doré.



Figure 70: Vue général sur la ville d'Annaba.

1.1. Situation de Annaba

Annaba est située dans la partie orientale de la côte d'Algérie, à 600 km d'Alger et à 105,7 km à l'ouest de la frontière tunisienne, avec une latitude de 36,9 et une longitude de 7,7. Elle est à 36° 54' 15" Nord, 7° 45' 7" Est. Elle est construite au pied des montagnes de l'Edough, naturellement abritées des vents du nord et de l'ouest.



Figure 71: Situation géographique de la ville d'Annaba . Source : Auteur , 2023

Du fait qu'Annaba est un important centre industriel, universitaire et touristique, elle présente les caractéristiques d'une ville contemporaine en pleine expansion. Elle occupe une position stratégique : elle est située au nord-est du pays faisant face à la mer sur une bande littorale de plus de 80 km, elle est délimitée géographiquement par :

- La mer méditerranéenne : au nord.
- La wilaya de Guelma : au Sud.
- La wilaya d'El-Tarf, à l'est.
- La wilaya de Skikda à l'ouest.

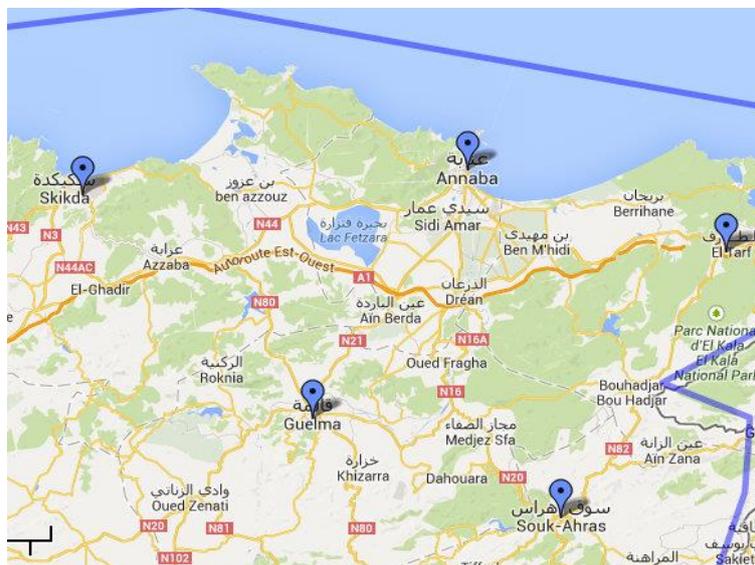


Figure 72: Limites géographiques de la ville d'Annaba. Source : <https://www.cci-seyhouse.com/index.php/annaba/monographie-annaba>

1.2. Contexte climatique de la ville d'Annaba

Le climat à Annaba est de type méditerranéen. Les étés y sont longs, chauds et secs. Les hivers sont modérés et humides, la neige est extrêmement rare. Les précipitations sont abondantes et peuvent être diluviennes. Il fait généralement chaud, surtout de la mi-juillet à la mi-août.

Selon la classification du botaniste Wladimir Peter Köppen en 1900, reprise en 1961 par Rudolf Geiger (de) en 1961, qui démontre que ce climat est classé comme un climat humide.

1.2.1. Température

La saison très chaude dure de deux à trois mois, du 21 juin au 28 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 27 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Annaba est août, avec une température moyenne maximale de 29 °C et minimale de 21 °C et la température moyenne est de 26.8 °C, à cette période.

La saison fraîche dure 3,9 mois, du 30 novembre au 25 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 18 °C. Le mois le plus froid de l'année à Annaba est janvier, avec une température moyenne minimale de 8 °C et maximale de 16 °C et une température moyenne de 10.2 °C.

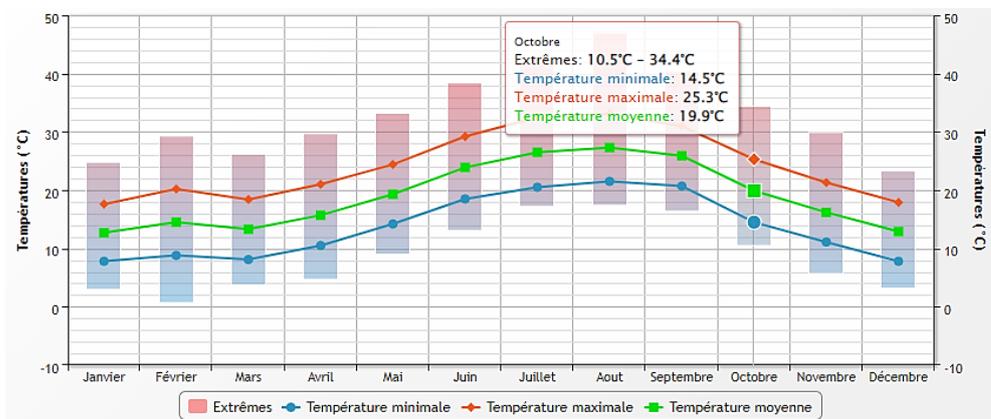


Figure 73 température à la ville d'Annaba en 2021

1.2.2. Humidité

L'humidité ressentie à Annaba varie considérablement tout au long de l'année. La phase la plus lourde de l'année dure du 4 juin au 17 octobre, avec au moins 21 % du temps une sensation de lourdeur, d'oppression ou de brûlure. Le mois d'août compte le plus de jours lourds à Annaba, avec 24,6 jours lourds ou plus inconfortables. Le jour le plus humide de l'année est le 3 février, avec presque aucune pluie.

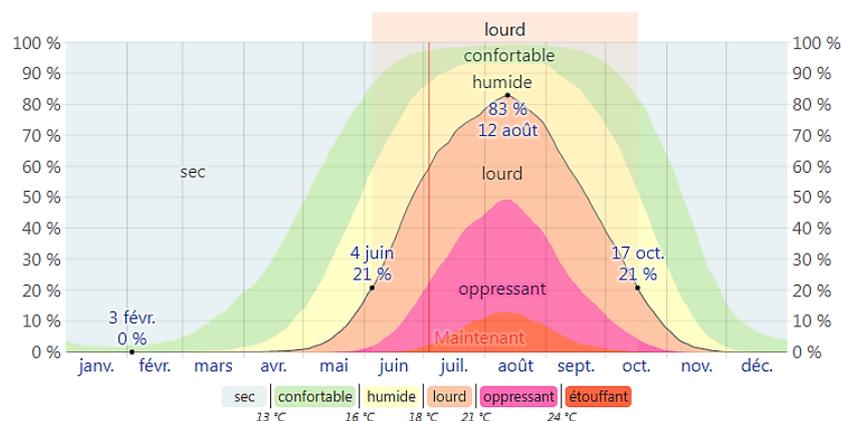


Figure 74: Pourcentage de temps passé dans divers niveaux de confort selon l'humidité, catégorisé par le point de rosé.

1.2.3. Ensoleillement

En juillet, le plus grand nombre d'heures d'ensoleillement quotidien est mesuré à Annaba, en moyenne. En Juillet, il y a en moyenne 12.43 heures d'ensoleillement par jour et un total de 385.46 heures d'ensoleillement en Juillet. En Janvier, le nombre d'heures d'ensoleillement quotidien le plus bas est mesuré à Annaba en moyenne. En janvier, il y a en moyenne 6,41 heures d'ensoleillement par jour et un total de 198, soixante-deux heures d'ensoleillement. Environ 3325. Cinquante-six heures d'ensoleillement sont comptées à Annaba tout au long de l'année. Il y a en moyenne 109.18 heures d'ensoleillement par mois.

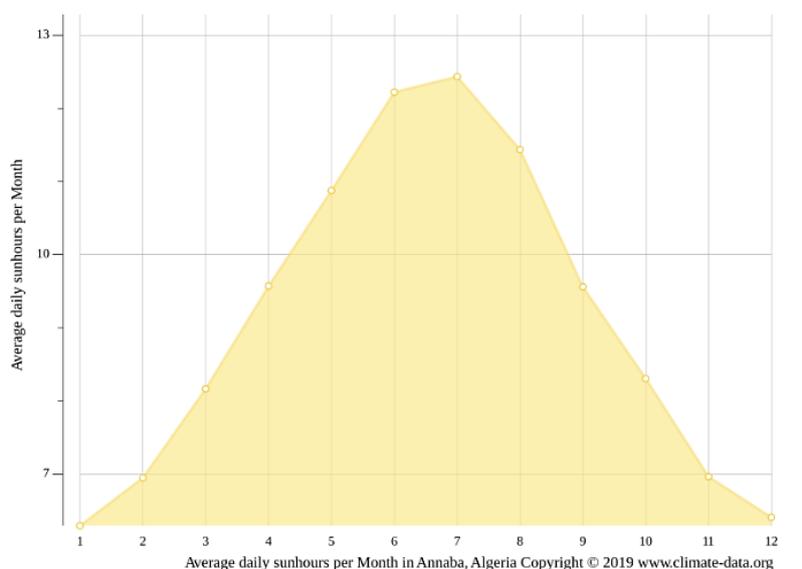


Figure 75: Nombre d'Heure d'ensoleillement

1.2.4. Régime du vent

La vitesse horaire moyenne du vent à Annaba varie sensiblement au cours de l'année. Les mois les plus venteux sont du 31 octobre au 26 avril, avec une vitesse moyenne du vent supérieure à 14,8 km/h. Décembre est le mois le plus venteux à Annaba, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 17,9 km/h. Du 26 avril au 31 octobre, c'est la période la plus calme. Août est le mois le plus calme à Annaba, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 11,6 km/h.

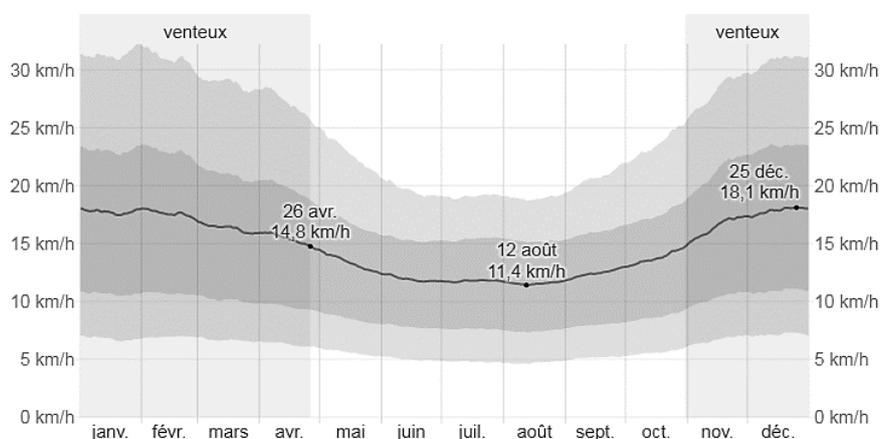


Figure 76 la moyenne des vitesses des vents moyens horaires

1.2.5. Précipitations

À Annaba, les **précipitations** totalisent 650 millimètres par an : elles sont donc à un niveau intermédiaire. Au mois le moins pluvieux (juillet) elles s'élèvent à 2 mm, dans les mois les plus pluvieux (novembre, décembre) elles s'élèvent à 100 mm. Voici la moyenne des précipitations.

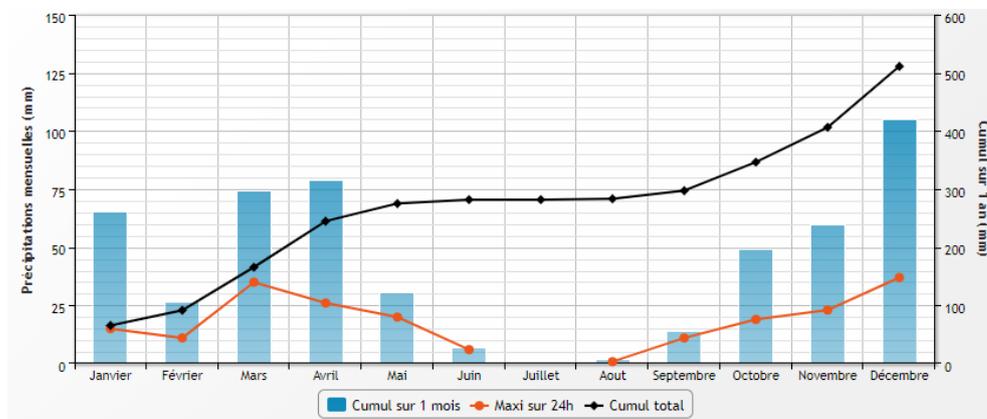


Figure 77: Histogramme des précipitations annuelles, Annaba

2. La commune d'El Bouni et ses Cités d'habitat collectif

La commune El Bouni⁷ a été réalisée sur un territoire dont la surface est de 94,24 km². Le nombre de logements collectifs est de 4500 logements. Ce qui revient à dire que 4500 familles logeront dans cette cité. Cette surpopulation classe la commune d'El Bouni la deuxième sur le plan de la densité de peuplement après la commune d'Annaba. Selon le 6e recensement général de la population et de l'habitat RGPH de 2022, la population de la commune d'El Bouni est évaluée à 168 194 habitants. (Voir Tableau 24).

Tableau 24: Évolution démographique de la commune d'El Bouni, RGPH 2022

RGPH	1977	1987	1998	2008	2018	2022
Population	26 746	83 008	111 179	125 265	136 279	211 866

La commune d'El Bouni est située à l'ouest de la wilaya d'Annaba. Elle compte six agglomérations secondaires, Sidi Salem, Haï Essarouel, Chabbia, Cité du 1er mai 1956 est, Oued Ennil et Aïn Djebbarra.

Relativement à cela, il faut dire que l'urbanisation dans la commune d'El Bouni est très éclatée, puisque le tissu urbain est très déchiqueté. De cette mauvaise organisation spatiale se pénalisent tous les programmes des Zhuns d'El Bouni avec cette dégradation générale de l'environnement et du cadre de vie.

C'est « ce qui a donné lieu à cette anarchie qui a transformé les cités modernes en les défigurant ; un meeting pot détonnant qui a ruralisé la ville, lui donnant une image hybride où se côtoient une modernité toute relative et une bidonvilisation rampante qui tend à s'installer » (Chaoui, 2021).

⁷ **El Bouni** est une commune de la wilaya d'Annaba en Algérie, son nom vient du mystique soufi Ahmed Al Bouni, originaire de la région. https://fr.wikipedia.org/wiki/El_Bouni.

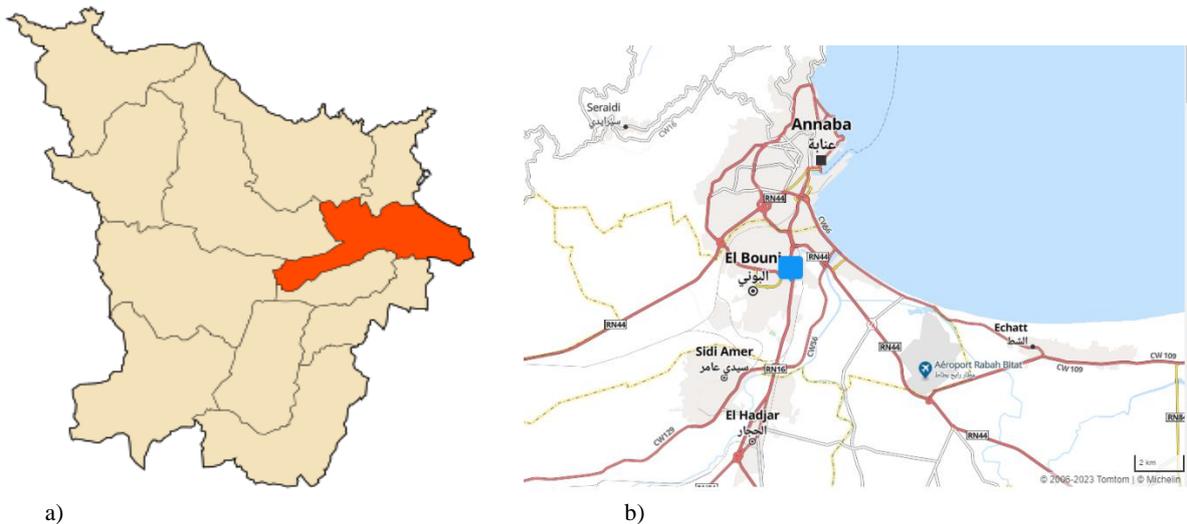


Figure 78: Situation géographique de la commune d'El Bouni à Annaba

Le passage de la commune d'El Bouni en chef-lieu de Daïra, en 1990, est à la fois une réponse aux politiques urbaines et aux politiques de l'habitat. Pour répondre notamment à la crise du logement, la ville d'El Bouni a bénéficié de nombreux programmes pour densifier et améliorer la production d'un cadre bâti décent et d'équipements utilitaires et de grande rentabilité. Ces plans d'action restent un modèle d'urbanisation insuffisant compte tenu de la consommation illimitée des terres agricoles de cette région.

La commune d'El Bouni connaît depuis 2017, puis en 2022, une transformation d'environnement (plantation d'arbres, aires et équipements de loisir et de détente), le ramassage des ordures. Ainsi, l'amélioration du cadre de vie des citoyens qui se plaignent depuis longtemps de la ruralisation de cette ville qui est pourtant un pôle urbain important, depuis que le complexe universitaire s'y est installé avec la plupart de ses instituts et ses milliers d'étudiants.

Toutes les ZHUN créées à El Bouni sont projetées pour résorber l'habitat précaire et les constructions illicites. Or ces nouvelles cités sont les communes de Aïn Djebara, Boukhadra, Bouzaâroura, Sidi Salem, Essarouel, Chabia, Bidari, Oued Ennil Boukhadra, El Bouni-centre, où s'adjoint la cité Gharbi et la cité Ecotec.

Ces nouvelles cités sont nées du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) et le plan d'occupation des sols (POS), en 1998, ont très répondu aux dispositions de ces instruments principaux d'urbanisme à rationaliser l'utilisation de réserves foncières, produire des modèles architecturaux du temps présent, définir des programmes concernant les tracés des voies de circulation.

Tableau 25: Vues générales de Cités résidentielles d'El bouni (source , auteur ,2023)

ZHUN	Photos des sites	
El Bouni Centre		

	<p>Source : https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=34EyxMBKwMM&ab_channel=NadirZarzour</p> 
<p>Boukhadra</p>	 <p>Source : https://www.algeriahome.com/</p>
<p>Nouvelle ville d'El Bouni</p>	 <p>Source : https://mapio.net/pic/p-45453865/</p>
<p>Résidence Yasmine</p>	 <p>Source : https://www.beytic.com/_uploads/photos/view_6-ConvertImage_1.jpeg</p>
<p>Boukhadra</p>	 <p>Source : https://www.facebook.com/groups/742895785803944/</p>

3. La première Zone d'habitat urbain nouvelle d'El Bouni Hippone 1 (SONATIBA)

La ZHUN Hippone 1, d'après Lahlou (2019), se présente comme : « La zone d'habitat urbain nouvelle (ZHUN) d'El Bouni a été créée dans les années 1970 à 5 km de la ville d'Annaba, dans une zone prévue à l'extension de cette dernière. Elle fut initiée au tout début par le plan de Constantine en 1958. Puisque ce dernier prévoyait la réalisation d'un complexe industriel sidérurgique (El Adjar). Durant les années 1970, dans le cadre du Plan d'urbanisme directeur (PUD), il y a eu la création de la Zone d'habitat urbain nouvelle, appelée couramment la ZHUN SONATIBA ou ZHUN Hippone 1.

La ZHUN Hippone 1 (SONATIBA) fut le point de départ de la formation de la commune d'El Bouni. Cette ZHUN a été réalisée par la caisse algérienne et s'est développée compte, selon les services sociaux de l'APC d'El Bouni, un quota de 45 000 logements collectifs réalisés depuis 1998, soit un taux de réalisation de 83,43 % du programme de 2012.

Les objectifs de la restructuration de la ZHUN SONATIBA d'El Bouni sont toutefois de résoudre les problèmes de désorganisation à travers une opération de réhabilitation de fond des bâtiments, de la voirie et des équipements existants. Pour Mébérrouk (2007), « Annaba a toujours été un lieu d'accueil privilégié des flux migratoires qui se sont accentués avec l'expansion industrielle (complexes d'El Hadjar et d'Asmidal) ».

De même, la première ZHUN d'El Bouni était et reste une zone de l'habitat social. Elle comprend, en plus des logements (bâtiments collectifs), des équipements de proximité commerciaux, sociaux ou culturels, administratifs et universitaires. Les constructions produites sont d'un modèle architectural en forme de barres et de tours. Cet état de chose a provoqué différentes revendications des habitants et des acteurs de la ville d'El Bouni. Leurs revendications se résument à l'amélioration du cadre de vie des habitants par la restructuration totale de la commune d'El Bouni, du réseau viaire, à organiser les flux de mobilité journalière. On finit par dire que la ZHUN SONATIBA se développe suivant l'assemblage de programmes sociaux qui ont mobilisé d'importants moyens financiers.

Aujourd'hui, la première ZHUN d'El Bouni présente un aménagement préconisé pour la densification, mais cette action prévue n'a offert aucune réponse urbanistique souhaitée par les habitants. En somme, la ville d'El Bouni, malgré tous les programmes lancés, reste un modèle d'urbanisation qui a consommé d'importants terrains où les poches vides contrastent avec le cadre bâti. On observe que la rationalisation des modèles architecturaux, des tracés des voies de circulation, est en train de voir le jour.

3. Présentation du site du cas d'étude

3.1. Situation de cas d'étude

Notre cas d'étude sélectionné en zone rouge est celui de la cité 172 logement dont le bâtiment choisi pour la simulation numérique est orienté selon l'axe nord, sud (voir fig. 79). La sélection de bâtiment découle de sa situation la plus défavorable. Il se compose de deux façades, de six niveaux : rez-de-chaussée et cinq étages, avec quatre appartements par palier à chaque étage.

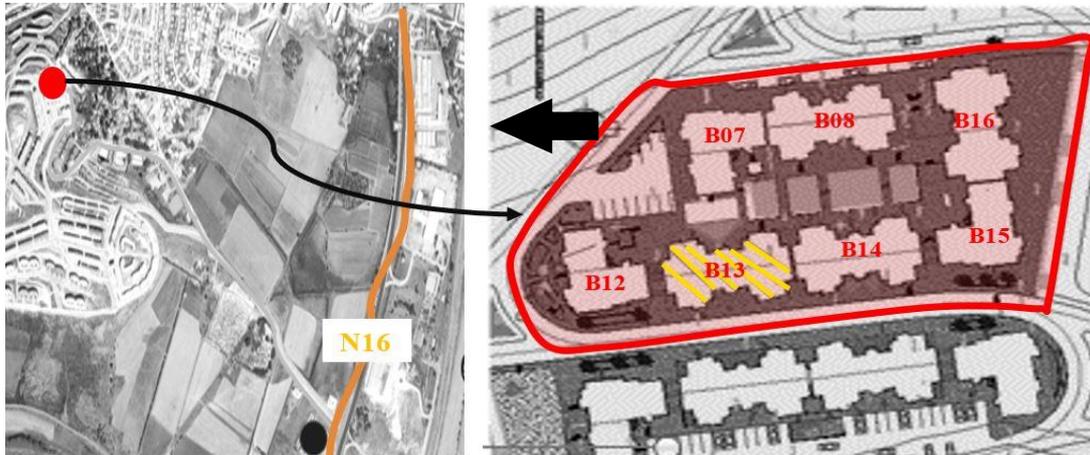


Figure 79 Situation de site d'étude, source : Auteur, 2023

3.2. Historique des bâtiments habités

Dans ce présent travail, l'investigation a été menée sur un modèle de bâtiment situé à la cité Bouzaaroura à EL Bouni, dans un site urbain localisé à la périphérie de la ville d'Annaba, à l'est du centre-ville. L'ensemble du quartier de 172 logements est construit sur un terrain accidenté.

La construction de ce quartier a été assurée par l'OPGI, qui fut chargée du projet de la réalisation de la cité en 2008, avec 450 logements. La date de livraison est estimée par les agents de l'OPGI entre 2013-2016. Le quartier sélectionné est intégré dans le cadre de la réalisation des logements sociaux, avec des logements de type F3. Les immeubles s'élèvent sur 6 étages (R+5), ils sont composés de 22 logements, avec quatre appartements par palier à chaque étage. Par contre, les deux blocs d'angles sont composés de 18 logements, d'où les appartements sont répartis par trois dans chaque étage.



Figure 80: Plan de masse du cas d'étude, source : POS d'El Bouni, 2023

3.3.Critères de choix de site et l'échantillon

Le choix de la Cité 172 logements comme cas d'étude pour notre recherche scientifique est fait grâce aux critères suivants :

- Le choix s'est porté sur des bâtiments résidentiels. Il est situé en amont du site et est plus exposé aux variations climatiques (vents dominants et ensoleillement).
- Les bâtiments choisis représentent un échantillon sur les immeubles sociaux réalisés, dont les paramètres de conception et de construction sont typiques d'ordre fonctionnel et architectural, donc les résultats obtenus sont généralisés sur ce modèle de production.
- Face au défi de répondre à la crise de l'extension des habitats précaires de la cité Sidi Salem, un grand programme est lancé pour répondre aux besoins des citoyens et lutter contre ce phénomène à travers des logements sociaux, mais sans prendre en considération les qualités architecturales et techniques de ces logements construits.
- Les systèmes constructifs utilisés sont standard et mal fonctionnés sur tout le plan du bien-être des habitants.
- La dimension thermique du projet n'est pas considérée comme élément primordial de la conception, vu qu'il n'est soumis à aucune exigence réglementaire significative sur le plan thermique (seulement une l'âme d'air considérée comme isolation) afin de vérifier l'adaptabilité de ce système constructif dans une région climatique caractérisée par un climat à la fois méditerranéen et de montagne.

3.4.Données architecturales sur les bâtiments

Les bâtiments sont non isolés et d'inertie moyenne, ce qui conduit à une sensibilité importante, tant en déperdition qu'en apport de chaleur.

Forme et orientations des bâtiments

Le soleil est recherché l'hiver alors qu'on essaye de s'en protéger l'été. En hiver, la course du soleil est limitée et seules les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif par rapport aux besoins de chauffage. L'été, la course du soleil est beaucoup plus longue et plus haute. Les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées de dispositifs de protection. En revanche, les bâtiments avoisinants peuvent générer des masques locaux importants qui seront à prendre en compte. Donc, selon la course du soleil, l'exposition des façades sera différente, ce qui nécessitera de mettre en œuvre des protections solaires adaptées.

L'orientation des bâtiments et leurs implantations déterminent par conséquent les déperditions thermiques, les apports solaires, l'éclairage, les possibilités de ventilation naturelle et les vues. Parce qu'un bâtiment d'habitation, s'il est bien conçu et bien construit (orientation, apports solaires, ouvertures, isolation des parois), consomme beaucoup moins d'apports extérieurs d'énergie qu'un bâtiment ordinaire pour les besoins de chauffage, de rafraîchissement et de ventilation. Les bâtiments de la Cité sont développés le long de deux axes différents : Nord – Sud et Est – Ouest.

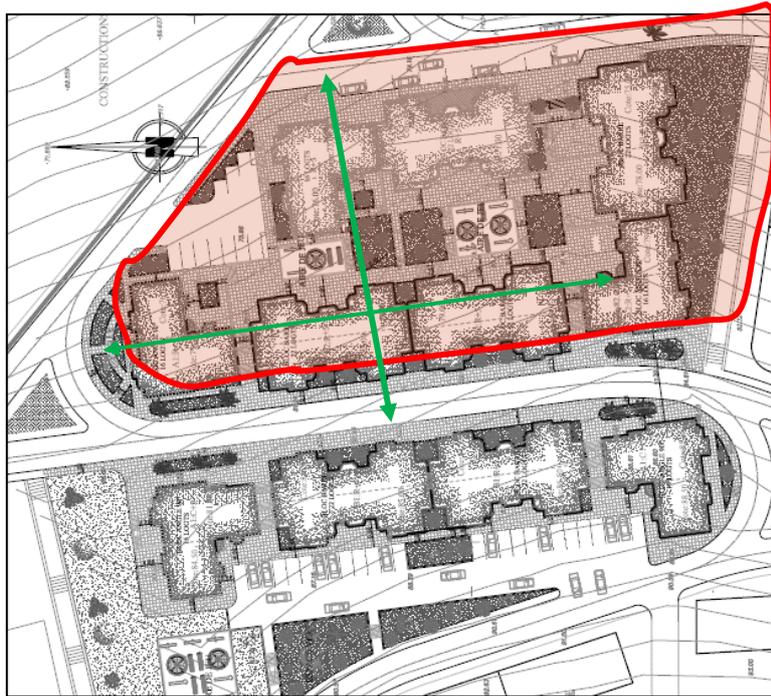


Figure 81: Orientation des *bâtiments* de la cité 172 logts à Bouzaaroura, source : Auteur, 2023

Ouvertures

La fenêtre contribue au bilan thermique et énergétique, elle dépend de nombreux facteurs, tels que le climat local, l'orientation, le cadre, la surface relative, la performance des occultations nocturnes et solaires. Dans ce cas, on se focalise sur la surface de la fenêtre. La taille des fenêtres et des portes-fenêtres des appartements étudiés est aux normes quant à la réglementation en vigueur en Algérie (JORA 1991), qui préconise que la surface des fenêtres permettant un bon éclairage soit comprise entre le 1/6 et le 1/8 de la surface du plancher de la pièce en question.

Le rapport plein-vide de chaque pièce est de dimensions des fenêtres 1.20 × 1.50 cm. Pour toutes les pièces de l'appartement, cette norme est respectée en dépassant la valeur maximale requise.

Composants de l'enveloppe et système constructif

Dans cette analyse, nous avons décrit la composition 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 lesquelles était implantée la construction. La configuration type des éléments de l'enveloppe est la suivante :

Murs extérieurs

Tableau 26: Caractéristiques techniques des murs (source : auteur, 2023)

Mur double paroi	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité thermique (J/kg.°C)	Epaisseur (cm)
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	15

Enduit Ext mortier de ciment	1,4	2200	1080	2
Mur en béton armé	1.75			15

Plancher de sol

Tableau 27: Caractéristiques techniques des planchers de sol (source : auteur, 2023)

Plancher de sol	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité thermique (J/kg.°C)	Epaisseur (cm)
Béton	1.75	2500	1080	10
Chape de mortier de ciment	1.4	2200	1080	3
Carrelage granito	2.1	2200	936	3

Plancher terrasse

Tableau 28: Caractéristiques techniques des planchers de terrasse (source : auteur, 2023)

Plancher terrasse	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité thermique (J/kg.°C)	Epaisseur (cm)
Enduit Intérieur 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

Élément de façade	Description	Illustration
Fenêtres, portes fenêtres en Simple vitrage :	-Fenêtres en simple vitrage sur menuiserie bois. Fenêtres en sapin du nord (120x150), à double battant. Portes- fenêtres (150x235), en sapin du nord. Porte iso plane avec oculus (74x235) à un battant.	
Aération des séchoirs de cuisine	Les balcons sont percés par des trous sous forme d'un mur en moucharabiehs	

<p>Débordement de fenêtre</p>	<p>Ce sont des éléments en brique qui entourent les fenêtres avec un décrochement de 15 cm pour protéger les pièces contre les infiltrations d'eau de pluie.</p>	
<p>Peinture</p>	<p>Peinture vinylique de couleur claire, cependant bon nombre de bâtiments ont vu refaire leurs peintures suite au défrichage et à leur dégradation, en gardant notamment la même couleur.</p>	

Distribution spéciale

Chaque logement a une seule façade avec différents espaces sont distribués selon une forme L.

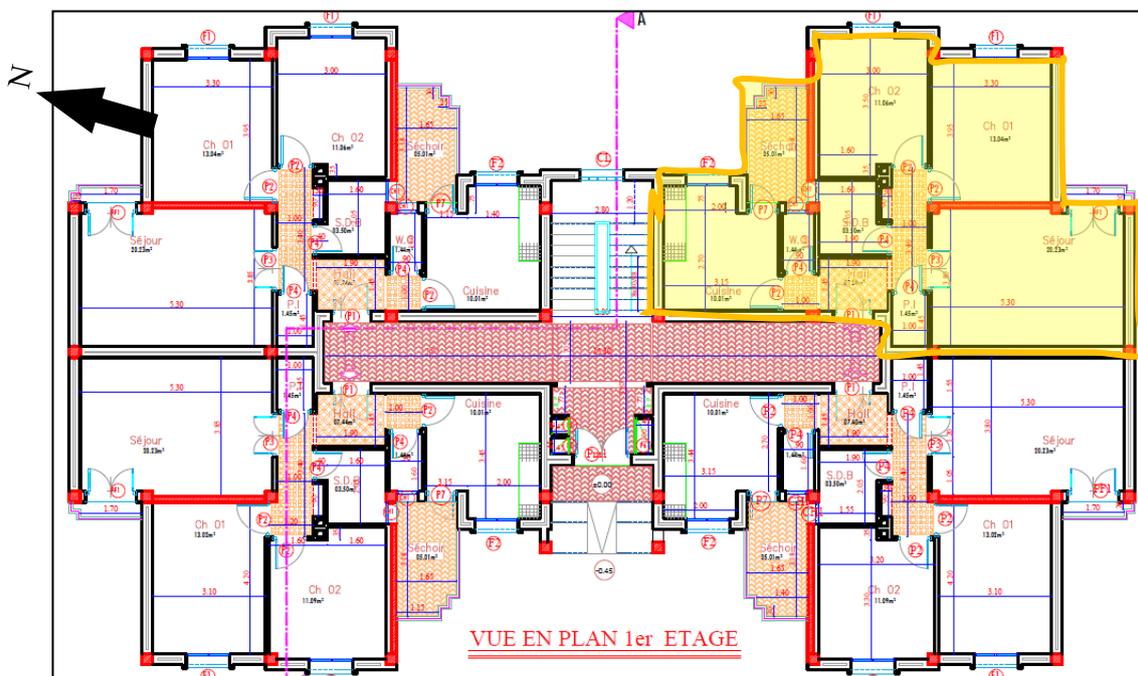


Figure 82 : vue en plan de l'étage courant de bâtiment (Source : OPJI, 2017)

3.5. La qualité thermique de l'habitat collectif

La qualité de l'habitat à l'échelle du logement peut avoir une isolation thermique avec un système de fenêtres d'une meilleure qualité. La qualité de l'habitat peut être assurée et améliorée à travers une bonne gestion de l'isolation thermique et de l'inertie **thermique** grâce à l'évolution des matériaux isolants d'origine naturelle.

Isolation thermique

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

- Aux mauvaises caractéristiques thermiques des couches qui composent les murs ;
- À l'absence d'un isolant thermique performant parmi ces couches.
- À 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 ;
- Planchers au sol et autres parties en contact avec le sol sans couche isolante.

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. 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.

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.

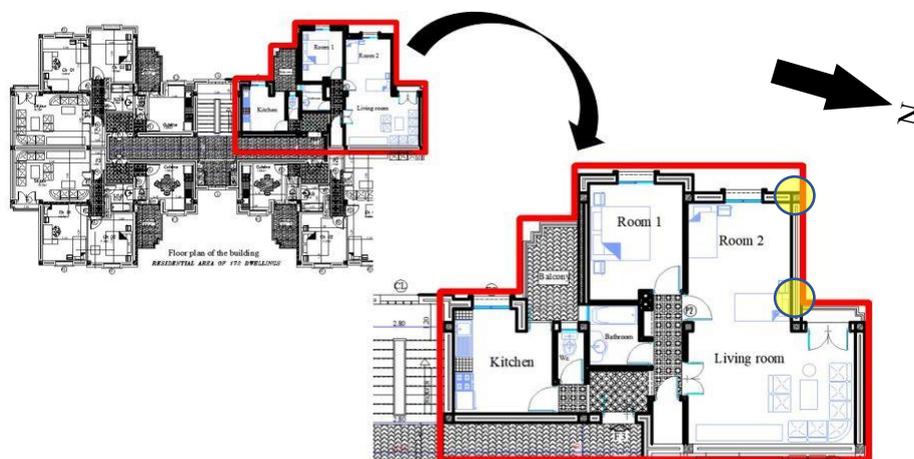


Figure 83: Vue en plan de bâtiment étudié, source : auteur, 2023

Inertie thermique

L'inertie thermique des constructions participe au confort thermique des occupants et au bon rendement énergétique du bâtiment. Les études ont 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 avec la brique creuse 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.

Les parois transparentes

Les parois transparentes présentent 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 isolées, à simple vitrage dans la majorité des cas).
- Dimensions des vitrages non étudiées.
- Orientations des ouvertures standardisées.

Etanchéité et ventilation

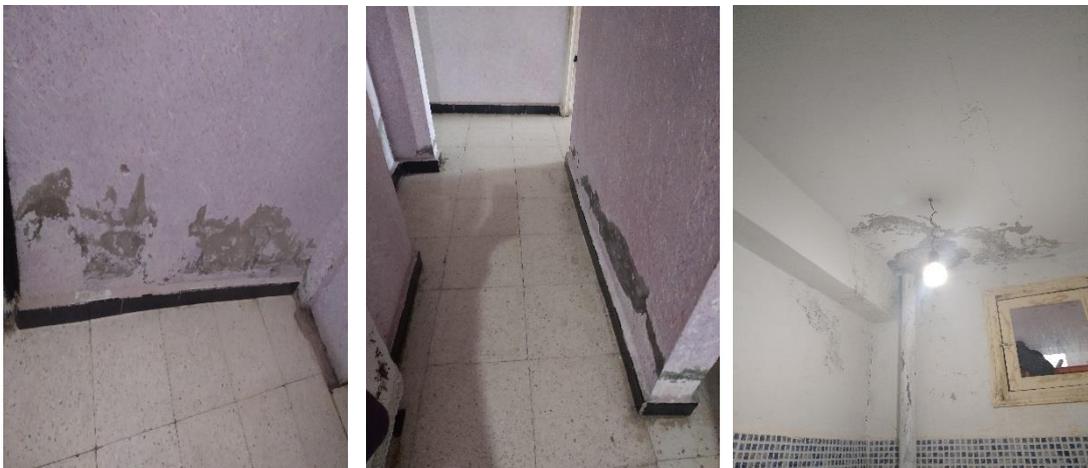
L'aération des logements est laissée aux soins des conduits de cheminée et des multiples défauts d'étanchéité des constructions. La circulation de l'air et les déperditions de chaleur sont alors incontrôlables.

Autres dégradations

La négligence du volet qualitatif dans la construction contemporaine a conduit à des désordres, et des 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.
- Infiltrations d'eau de pluie.
- Fissurations au niveau de l'enveloppe.
- Défauts de menuiserie.

Tableau 29: Repérage des traces de moisissure sur les murs, plafond, conduite (source : Auteur, 2021).





La conception de l'enveloppe thermique est une phase très importante pour assurer la sensation de confort en économisant la consommation énergétique. Alors que l'ignorance de cette phase peut favoriser l'inconfort intérieur. L'augmentation de l'inertie thermique va diminuer les fluctuations des températures de l'extérieur.

Le rôle des matériaux de construction dans une enveloppe d'un bâtiment est primordial. Selon leur critère, leur choix a un impact direct sur la qualité de l'enveloppe thermique. Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction vont permettre d'augmenter ou de diminuer la performance énergétique.

La relation entre la partie opaque et celle vitrée est complémentaire dans une enveloppe thermique. Le vitrage est nécessaire pour emprisonner l'énergie solaire pour le chauffage en hiver et protéger l'intérieur des déperditions thermiques ou des chaleurs intenses. L'amélioration de la qualité des vitres peut contribuer à augmenter le confort thermique.

Pour plus de performance, une isolation thermique peut corriger les défauts d'étanchéité d'une enveloppe thermique. L'isolation va créer une barrière contre les fuites de chaleur ou de fraîcheur. La grande variété des types d'isolants donne à l'utilisateur une opportunité de choisir leur matériau selon certains besoins. Le respect de la santé de l'occupant, le coût convenable et l'efficacité sont des éléments à prendre en considération lors du choix. L'isolation thermique en Algérie reste à évaluer à cause de l'ignorance presque totale de l'application de la réglementation.

Cet État est le résultat de :

- La négligence des relations entre la construction et son environnement.
- La non-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.

Conclusion

Dans les pays développés, la promotion des caractéristiques du secteur de l'habitat s'est élevée vers des réflexions d'ordre qualitatif, par la recherche du confort sous tous ses aspects ; qu'ils soient aux plans thermiques, perceptuels, spatiaux, esthétiques... etc. ; dans notre cas, 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 pas que ces efforts fournis tout au long de ses années ont négligé les aspects qualitatifs de ce produit, aspects liés au confort thermique, à l'impact sur l'environnement et aux économies d'énergie.

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 à prendre en charge la réhabilitation thermique de son parc, particulièrement l'habitat contemporain, une préoccupation déjà déclenchée par la loi sur la maîtrise de l'énergie dans le secteur de la construction.

Les logements contemporains produits 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.

CHAPITRE II : PROTOCOLES DE L'INVESTIGATION SUR TERRAIN

Introduction

L'enveloppe est le lieu privilégié des relations entre espaces intérieurs et extérieurs. L'orientation d'une façade est le paramètre clé des interactions visuelle, thermique et acoustique d'un local adjacent (Lavigne, 1994). Les températures de l'air intérieur augmentent et baissent en fonction des températures de la saison et des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment qui conditionnent les échanges thermiques entre l'extérieur et l'intérieur (épaisseur, couleur, type de matériau, inertie...). La température intérieure d'un bâtiment, et par la suite son confort, résulte de l'équilibre entre les pertes thermiques du bâtiment et ses gains de chaleur. Parallèlement, la ventilation, durant la nuit en été, peut contribuer à dissiper l'excédent de chaleur accumulée la journée.

Cette recherche s'appuie donc sur une méthode qualitative constituée d'une enquête sociologique interprétée à travers le logiciel SPSS et une autre quantitative qui présente des mesures de température et d'humidité relatives ainsi que la vitesse de vent dans des cellules représentatives de l'habitat collectif choisi, situées à deux niveaux : rez-de-chaussée et dernier étage.

1. Investigation qualitative pour une évaluation de l'isolation d'un bâtiment habité

Dans cette étape, il était essentiel d'adopter une approche qualitative pour entamer l'investigation sur le terrain, en se rapprochant des occupants des bâtiments résidentiels de la cité en question, dans le but de leur donner la parole pour s'exprimer à propos du confort thermique dans leurs lieux habités. Cette phase implique les enquêtes sociales qui sont divisées en deux phases : préliminaire et principale.

1.1.Phase préliminaire Investigation sur terrain : Préparation de la pré enquête

Afin de définir la présence de problème de l'inconfort thermique, nous avons réalisé une première enquête sur le terrain, qui nous a permis d'avoir des informations en général sur les enquêtés et leurs situations thermiques dans la cité choisie (disponibilités des installations de chauffage et de climatisation, fonctionnement de la ventilation naturelle, état sanitaire des habitants enquêtés... etc.). Les questions sont posées sur 30 habitants de la cité 172 logements à Bouzaaroura.

1.2.Recueil des données par questionnement et interview

Le questionnaire général se déroule sous la forme d'un entretien semi-directif afin de recueillir les remarques et les observations des participants au sujet de leur environnement de travail. Cette méthode offre une plus grande liberté au niveau des réponses par rapport à des questionnaires classiques directs, permettant ainsi de relever des informations plus qualitatives et détaillées. Il sert aussi à relever des informations supposées invariantes qui permettent d'interpréter certains résultats.

Ainsi, il recueille :

- Des informations personnelles (sexe, Age, etc.).
- La qualité générale de l'espace habité d'un point de vue thermique. Cela permet de connaître l'état d'esprit du sujet vis-à-vis de son environnement intérieur.
- Définir les systèmes de chauffages et climatisation utilisable.
- Savoir bien la situation sanitaire des habitants enquêtés.

2. Phase principale

2.1. Préparation de l'enquête sociologique

Lors d'une première campagne d'enquête (distribution de questionnaires sur les habitants) lancée en mai 2021 auprès de logements de la cité 172 logements à Bouzaaroura, le nombre de réponses était faible. Ce faible retour nous a conduit à réaliser une enquête aux portes à porte. Si les locataires étaient absents, le questionnaire était laissé dans la boîte aux lettres avec consigne de le rapporter une autre fois.

2.1.1. Réalisation du questionnaire

Nous avons réalisé un questionnaire permettant de comprendre le comportement des occupants sur la période hivernale et sur la période estivale. L'enquête a été menée du 15 au 30 avril 2021 pour les logements sociaux de la cité 172 logements à Bouzaaroura.

Le questionnaire d'une durée d'une quinzaine de minutes comprend 14 questions organisées en quatre parties (voir Annexe). Les deux premières parties, intitulées « *Identité du Répondant* » et « *Adresse du Répondant* », sont composées des questions permettant de prendre des informations générales sur les répondants, de situer et de connaître les caractéristiques principales de l'occupant, de sa famille et de son logement. La troisième partie, nommée « *Bilan énergétique des logements enquêtés* ». Ce dernier se compose de 2 questions.

La quatrième partie intitulée « *Confort Adapté Aux Bien Être Des Habitants* » est divisée en deux sous-parties : « *état de confort thermique en été ...* » et « *état de confort thermique en hiver...* ». Cette partie nous permet de connaître les caractéristiques thermiques du logement et comprendre bien la souffrance des enquêtés de l'inconfort thermique, ainsi qu'une cinquième partie « *Les Prévisions Des Habitants* » aborde les questions relatives à l'environnement en général, les dysfonctionnements et les gênes qui concerne la ventilation, l'état sanitaire des habitants ...etc.

Pour comprendre l'intérêt du locataire à s'investir dans notre démarche, la dernière partie appelée « *Un commentaire, cette partie est à vous...* » fait office de conclusion. Elle permet aux participants de faire des commentaires sur des thèmes qui n'auraient pas été abordés lors du questionnaire et qui leur sembleraient importants pour comprendre les caractéristiques thermiques de leurs logements. Enfin, la dernière question anticipe l'instrumentation en demandant aux habitants leur accord pour une étude approfondie de leurs appartements afin de cibler les logements à instrumenter.

2.1.2. Echantillonnage

Nous avons utilisé la technique de l'enquête sociologique à travers l'outil d'investigation. Pour ce faire, un questionnaire, distribué sur tous les habitants (122 habitants) d'un petit quartier, qui occupe 122 logements résidentiels collectifs situés à la cité 172 logements à Bouzaaroura, Annaba. Un échantillon de 83 habitants sur 122 (plus de 2/3 des habitants du quartier) qui ont répondu aux questionnaires ou accepté de faire l'enquête porte à porte.

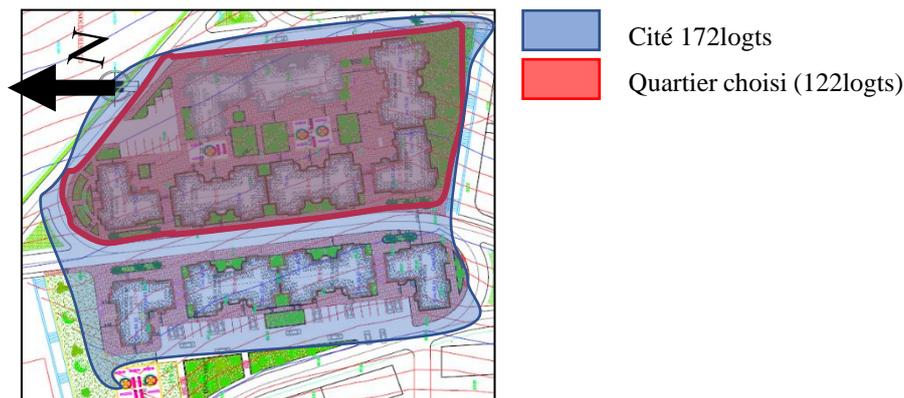


Figure 84: l'échantillon choisi de la cité 172 logement Bouzaaroura (source, auteur2023)

2.1.3. Traitement des données

Après la collecte des réponses auprès des enquêtées. Les données obtenues de notre enquête sont traitées en premier lieu grâce au logiciel ORIGINE Pro 9.0, et pour faire un traitement bi variable des questions, on a utilisé le logiciel Excel pour faire un tableau général des questions posées et l'utilisé dans le logiciel SPSS afin d'obtenir l'analyse factorielle des différentes variables.

2.2. Investigation quantitative

Au niveau de cette étape, il était indispensable de faire appel à l'approche quantitative pour entamer l'investigation pratique sur terrain, en établissant des mesures dans les bâtiments résidentiels de la cité en question, en utilisant les appareils nécessaires qui permettent d'évaluer les niveaux du confort thermique dans les logements sélectionnés, jugés comme susceptibles d'être endommagés par les pathologies de bâtiment (humidité, moisissure, fissuration, faible ventilation, etc.).

2.2.1. Instrumentation : Des appareils pour mesurer quoi ?

Afin de collecter les informations chiffrées sur la situation thermique existante dans les logements enquêtés de la Cité 172 logements à Bouzaaroura, l'appareil suivant est utilisé dans le mesurage : L'appareil manuel Dewpoint Hygrometer HI9564.HI9565.



Figure 85 : prise de photo d'appareil de mesurage manuel Dewpoint Hygrometer HI9564.HI9565 (source : auteur 2022)

2.2.2. Protocole de mesurage

Sur la base des données météorologiques de la ville d'Annaba, il est possible de déterminer la semaine type « design week » et par la suite la journée type « design day ». Cela a été nécessaire pour justifier nos périodes de mesurage, durant lesquelles on a effectué les prises de mesures pour la saison chaude et froide. La semaine et la journée type sont déterminées à partir du calcul de la température moyenne journalière pendant la période considérée (Hong et al. 1999, Khadraoui. 2019).

Donc les séquences de temps du suivi expérimental représentent au mieux les conditions météorologiques du site étudié. Le calcul de la semaine et de la journée type a été effectué durant 10 ans entre 2012 et 2022 à travers l'exploitation des données de la station météorologique de la ville d'Annaba durant une période entre 1991 et 2020 (fr.climate, 1994).

Les mesures se sont déroulées sur deux périodes, l'une hivernale et l'autre estivale, qui sont les périodes les plus défavorables de l'année.

Période d'investigation hivernale

Les habitants ont été sensibilisés par la nécessité de se passer du chauffage d'appoint pendant la période expérimentale. La semaine type « design week » sélectionnée pour effectuer la prise de mesures dans les cas d'étude durant la période hivernale est entre le 13 et le 19 janvier 2022 (le mois le plus froid).

Tableau 30: Les relevés de mesures se faisaient pendant la journée du 13/ 01/2022 (source : auteur, 2023)

Les séquences de temps de suivi expérimental	Les appartements étudiés
13/ 01 / 2022	RDC
13/ 01 / 2022	R+5

Période d'investigation estivale

Pendant cette période on a demandé aux habitants au préalable de ne pas utiliser la climatisation pendant les journées de la prise des mesures. La semaine type "design week" sélectionnée pour effectuer la prise de mesures dans les cas d'étude durant la période chaude est entre le 01 et le 10 aout (le mois le plus chaud).

Tableau 31: Les relevés de mesures se faisaient pendant les deux journées : le 05 et 06/08/ 2022 (source : auteur, 2023)

Les séquences de temps de suivi expérimental	Les appartements étudiés
05/08 / 2022	RDC
06/ 08 / 2022	R+5

Indicateurs à mesurer

Il s'agit de mesurer dans cette expérimentation les facteurs climatiques ayant un impact sur le confort thermique et de les comparer avec les résultats obtenus par la simulation du modèle des appartements choisis.

- La température de l'air en °C,
- L'humidité relative en %.
- Vitesse de l'air

2.2.3. Identification des logements investigués

Les questionnaires ont révélé une forte variabilité de comportements des enquêtés. Afin d'identifier des appartements investigués, on a choisi les cas les plus défavorables des appartements où les habitants ont déclaré qu'ils ont souffert d'inconfort thermique total : soit en hiver ou en été. Les quatre appartements sélectionnés ont au moins une personne présente toute la journée, ce qui permet de comprendre ses actions au cours de la journée.

2.2.4. Déroulement de mesurage

À cause du manque d'instrumentation, on a utilisé seulement un appareil de mesure à l'intérieur des cellules, au centre du séjour et une chambre à une hauteur de 1,20 m du sol de chaque appartement pour le relevé de la température, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air. À signaler que les protections intérieures existantes (stores, rideaux) ont été ouvertes durant les journées des prises de mesures afin d'éviter leurs impacts sur le comportement thermique des pièces.

Une étude préliminaire (ou un prétest) a été effectuée sur les bâtiments étudiés entre le 13 et le 15 décembre 2021 (avant la période de l'étude) afin de déterminer la bonne manière de travail (la prise de mesures, l'enregistrement et l'estimation du temps nécessaire pour chaque mesure, etc.) dont l'objectif est d'assurer le bon déroulement de l'opération de la prise de mesures pendant la période de l'étude (janvier et aout 2022).

2.2.5. Etude expérimentale du matériau isolant

Dans cette phase qui constitue en fait une des parties essentielles de la thèse dont l'objectif principal est d'étudier la bouse de vache en tant que matériau de construction possédant des performances isolatives de haut niveau. Par-là même, la quantité de bouse de vache a été attestée par de nombreux chercheurs et centres de recherche, comme les recherches sur le *Housing Health and Safety Rating System Guidance for Landlords and Property Related Professionals*, réalisée par le Department for Communities and Local Government Eland House Bressenden.

Il s'agit d'une part des résultats portés dans le rapport final de 2004, publié par le laboratoire CERMA, sur l'utilisation du diagnostic des potentialités environnementales des enveloppes du bâtiment dans le cadre d'une Opération Programmée pour l'Amélioration Énergétique et Thermique du Bâtiment (OPATB). De plus, on cite qu'en Algérie, les recherches réalisées par le laboratoire CNERIB concernent les essais et les tests expérimentaux sur la conductivité thermique des matériaux naturels, la chaleur spécifique ainsi que les valeurs de la résistance à l'eau obtenue par calcul.

Pour cela, un protocole bien défini établi sur les étapes de fabrication des échantillons testés au sein du laboratoire CNERIB, ainsi qu'à la détermination de la méthodologie d'obtenir les différentes caractéristiques des échantillons réalisés selon les normes d'évaluation internationales.

Essais réalisés

Les essais sont au laboratoire CNERIB, en 2023, ils visent à démontrer que l'utilisation de la bouse de vache comme un isolant naturel adaptatif. À cet effet, il nous a importé de fabriquer un échantillonnage qu'il nous a fallu tester expérimentalement la conductivité thermique de la bouse de vache, en comparant les résultats entre toute la série des essais effectuée. C'est sur la base de ces résultats obtenus que l'intérêt porté particulièrement sur les essais de la bouse de vache.

Tests expérimentaux

Il existe de nombreux matériaux naturels qui nous entourent tels que l'argile, le bois, la pierre, le chanvre, le bambou, la bouse de vache, etc. qui ont été utilisés pour construire des bâtiments. Bien que le fumier soit utilisé depuis des siècles comme matériau de construction, de nombreuses personnes pensent encore qu'il ne s'agit pas d'un matériau de construction ni d'une substance destinée aux personnes défavorisées. Aujourd'hui, on attend de la bouse de vache une grande avancée en tant que matériau de construction pour pouvoir atteindre assurément le respect de l'environnement, et principalement l'environnement résidentiel.

Matériau Testé : la bouse de vache

La bouse de vache est une ressource de déchet provenant des vaches qui peut être définie comme un résidu non digéré d'aliments consommés qui est excrété par les vaches (Gupta, 2016 et al.). C'est une ressource utile et biodégradable qui nous aide de diverses façons. La bouse est principalement composée de deux composants : fibres non digérées (essentiellement composées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine), des composés organiques aminés et des fragments de tissus intestinaux. Alors que les fibres sont un excellent matériau pour améliorer l'absorption d'humidité, et la biomasse bactérienne a montré qu'elle est très résistante à l'eau (Younoussa Millogo et al, 2017).

Les matériaux élaborés à partir de la bouse de vache sont utilisés pour la fabrication des panneaux de fibres qui sont facilement utilisés dans les revêtements de sol. Elle aide à créer une structure respiratoire qui peut facilement survivre dans les régions chaudes et ne dégage pas d'odeur désagréable. Il existe un nouveau procédé de fabrication de briques à partir de la bouse de vache mélangée à la terre et à la poussière de paille.

Ces briques sont beaucoup plus écologiques, plus légères et abordables. D'après Jean-Damien, (2016), « La bouse de vache apparaît donc comme un élément clé en tant que restitution des fourrages ingérés, permettant alors la réintégration au sol de cette biomasse. De surcroît, les excréments animaux ont été employés très souvent et très tôt dans toutes les civilisations et tous les pays. Leurs utilisations faisaient partie de la vie courante, mais furent peu relatées de par leurs singularités ».

Historique de bouse de vache

Depuis l'ère védique (642-320 av. J.-C), la bouse de vache a été utilisée pour un certain nombre d'activités de la vie quotidienne. Les habitations en bouse de vache et en boue sont de cinq types d'habitations naturelles mentionnés dans le Rigveda. L'utilisation de la bouse de vache remonte à 5 000 ans. Dans certaines régions du monde, dont l'Asie du Sud, l'Afrique et une partie de l'Europe, elle est principalement utilisée pour les enduits de revêtement de sols.

Aussi, la bouse de vache le plus ancien matériau isolatif datant de la fin du cinquième millénaire avant JC. Il se trouve dans la civilisation du Proche-Orient, de l'Asie du Sud, de l'Égypte ou les pyramides sont peintes de plâtre védique provenant de la bouse de vache, on cite aussi l'utilisation de ce matériau dans la vallée de l'Indus, il servait pour revêtir des pierres naturelles formées de minéraux tels que la stéatite et le quartz.

La bouse de vache est utilisée en Inde depuis des milliers d'années dans différents domaines. C'est le matériau de construction qu'ont appliqué avec la pâte de boue sur les sols et les murs des maisons rurales en Inde, ce qui forme une couche imperméable qui aide à isoler la maison de l'entrée de chaleur.

Toutes les maisons de l'écovillage Eco Truly situé au nord du Chili, près de la ville d'Arica, sont bio construites. Elles sont faites à partir de matériaux naturels et locaux. Le *mélange* de terre, de paille et de bouse de vache à partir de laquelle la maison est construite est un super isolant. La fabrication des habitations avec des matériaux naturels respectueux de l'environnement sert d'exemple en montrant un mode de vie écologique.



Figure 86: fabrication de béton naturel et les Torchis à partir de terre, de paille et de Bouse de vache.

En Côte d'Ivoire en Afrique, dans le village de Pouan, les maisons sont en bouse de vache ou l'on peut trouver les dernières maisons traditionnelles du peuple Lobi⁸. Ces derniers fabriquent des bétons naturels à base de terre, de paille et de la bouse de vache. Pour les murs et les cloisons de Soukala, ce matériau est appelé le Torchis en plus d'être écologique, est un isolant thermique et acoustique. Malheureusement, les Soukalas sont sur le point de disparaître.

8 Les Lobi constituent un peuple d'Afrique de l'Ouest présent au sud-ouest du Burkina Faso, au nord-ouest du Ghana et au nord-est de la Côte d'Ivoire, essentiellement dans la région de Bouna, proche du Ghana et du Burkina Faso, sur la rive droite de la Volta noire. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lobi_\(peuple\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lobi_(peuple))

D'après plusieurs témoignages des habitants des zones rurales en Algérie, telles que la wilaya de Constantine et EL-Taref, on trouve que l'utilisation de la bouse de vache en tant que matériau est très efficace pour construire des habitations thermiquement confortables. On cite les déclarations de Elhaja Djamilia Boughaba (*utilisatrice de la bouse de vache dans son habitation*) : « À notre époque, dans les années 1940, l'utilisation de la bouse de vache était dominante, car c'est un matériau disponible et efficace comme matériau de construction. »

On l'utilise aussi comme combustible pour cuisiner. C'est une matière antimoustique, nécessaire pour la construction. La bouse de vache nous avait apporté une aide de grande importance lorsqu'il s'agit de plâtrer les murs et les sols de notre maison contre les intempéries. Avec la bouse de vache, on sent un climat intérieur confortable, une chaleur suffisante en hiver, tandis que l'air est frais en été. »



Figure 87: toit d'un gourbis construit avec les roseaux et la Bouse de vache (source auteur,2023)

Sachant toutefois, que les constructions des bâtiments en béton armé représentent 39 % des émissions de CO₂ selon le Rapport sur la situation mondiale de 2017 de l'Organisation des Nations unies-ONU. Ce rapport souligne également que « l'énergie pour tous » pour couvrir les besoins élémentaires des populations est primordiale. En plus, l'Agence internationale de l'énergie (AIE), *International Energy Agency*, IEA, a reconnu mondialement dans les publications de son rapport annuel, le *World Energy Outlook* (WEO) que les gaz à effet de serre (GES) sont produits par l'industrie du ciment. Cette industrie représente environ 8 % des émissions mondiales de CO₂.

Selon le Groupe de réflexion Chatham House⁹, avec la prise de conscience croissante de la nature non durable de matériaux de construction synthétiques et de leur impact négatif, les chercheurs du monde entier cherchent des matériaux et des méthodes de construction avec des matériaux locaux et durables.

Dans cette optique, plusieurs pays ont dirigé leurs recherches vers les études des savoir-faire traditionnels indiens concernant les dispositifs de l'utilisation de la bouse de vache. Les savoirs traditionnels de l'Inde offrent plusieurs méthodes et matières d'utilisation de la bouse de vache pour construire des espaces durables. Par ailleurs, il y a un groupe d'étudiants (Miruna Vlad, Amfi, Doris Hondtong) au département des Sciences naturelles et sociales de l'université

⁹ Chatham House est le Royal Institute of International Affairs, fondé en 1920, comme institut de réflexion basé à Londres, C'est l'équivalent britannique du Council on Foreign Relations américain.

d'Amsterdam et Maxim Meijer de l'équipe *Design produit*, qui ont créé la brique à l'ère du numérique, grâce aux récentes avancées.

Il s'agit du projet Dutch « Design Week » à Eindhoven le 14 octobre 2021, dans la faculté des médias numériques et des industries créatives. L'idée qu'ils ont eue est de considérer la bouse de vache au-delà de produit infect, mais de la voir comme un matériau pouvant être utilisé pour fabriquer un processus isolant de grande perfection. Ces jeunes chercheurs ont utilisé une imprimante 3D pour convertir le fumier de vache en matériau de construction.



Figure 88: Tests expérimentaux d'étudiants. Source <https://www.amsterdamuas.com/faculty/fdmci/shared-content/news/2021/10/building-houses-from-cow-dung.html>

Essais de la résistance à l'eau de la bouse de vache

Doris (ancienne élève en sciences naturelles et sociales) expose son travail de recherche en 2020, en démontrant que « La bouse de vache a une propriété particulière. » Contrairement aux autres matières résiduelles naturelles, il est hydrophobe, c'est-à-dire résistant à l'eau. En Inde, les gens utilisent de la bouse de vache pour la couche extérieure de leurs maisons afin de les protéger de la pluie.

Au cours de sa carrière de chercheur, Kulshreshtha et al. (2022) s'est efforcé de fabriquer de nouveaux matériaux de construction abordables, disponibles localement et aidant à réutiliser les déchets organiques. Il a par exemple développé des solutions pour rendre les maisons traditionnelles en terre de l'Inde rurale résistantes à l'eau. Avec une nouvelle subvention du NWO, il a prouvé son idée que les briques faites de boue et mélangées avec, curieusement, que la bouse de vache, peuvent être un excellent matériau de construction économe en énergie pour les Pays-Bas également.

Ce matériau nécessite un minimum d'énergie pour sa production et il est capable de réguler passivement le climat intérieur, selon Kulshreshtha et al. (2022). Aussi, on voit que l'inconvénient de la bouse est sa faible résistance soit à la force. Ce qui nécessite l'utilisation des ciments pour améliorer ces propriétés. Mais cela a un effet négatif sur les capacités d'absorption et de libération d'humidité. La solution à cet inconvénient est l'utilisation de la bouse de vache qui possède une excellente propriété de résistance à l'eau d'un côté et d'excellentes propriétés d'absorption/libération d'humidité de l'autre côté.

Les preuves empiriques, considérées comme une pratique ancienne, ont démontré que la bouse de vache a un réel potentiel dans le développement des enduits de terre commercialisables et résistants à l'eau. Plusieurs auteurs, dont (Ngowi et al. 1997, Vilane et al. 2010, et Millogo et al. 2008) ont rapporté que l'utilisation de la bouse de vache comme stabilisateur pour les adobes améliore les propriétés physiques et mécaniques des adobes.

La bouse de vache a une importance traditionnelle lorsqu'il s'agit de plâtrer les murs et les sols. La bactérie *Mycobacterium Vaccae*, présente dans la bouse de vache, contribue aux propriétés antidépressives du bousier. Lorsque ceux-ci sont inhalés, cela améliore la croissance des neurones dans notre corps, ce qui stimule à son tour la croissance de la sérotonine et de la noradrénaline dans le cerveau. En gros, la drogue heureuse est libérée.

Cela fonctionne à merveille contre l'anxiété et a montré une bonne courbe d'apprentissage. Selon la science Barman, le mélange de la bouse de vache, de boue, d'eau et d'air libère de la sérotonine appelée hormone qui est également connue comme une hormone de joie et crée un environnement positif.

La bouse de vache et l'urine de vache sont également utilisées comme additif pour le plâtrage en raison de sa propriété antifongique. Car, il empêche la croissance de champignons nocifs dans les murs et les sols, ce qui est une cause des maladies nocives. C'est un très bon scellant pour les sols en terre. La bouse de vache a des propriétés antithermiques et anti-radioactives qui créent une barrière de protection contre les radiations nocives. C'est aussi un produit écologique, respectueux de la santé et anti-moustique.

Plusieurs bâtiments sont faits avec la bouse de vache, le « Vedic Bhawan » de Rohtak en 2018, bureau du fondateur des matériaux de la bouse de vache, le Dr Shivdarshan Malik, qui est entièrement composé de matériaux de la bouse de vache. La deuxième étude de cas sélectionnée est « VPGRI », un institut de recherche sur le plâtre védique et le Gaucrete situé à Shobhasar, un village de Bikaner, au Rajasthan. Et c'est le seul institut de recherche en Inde qui propose un cours sur la façon de construire avec des matériaux fabriqués à partir de la bouse de vache.

Halidou Bamogo et al. (2020) ont démontré que l'ajout de la bouse de vache dans un enduit terreux abaisse leur conductivité thermique, car il contient des fibres riches en cellulose (molécule aux propriétés thermiquement isolantes), et qu'ils ont une bonne résistance à l'abrasion et à l'eau. L'addition des déchets tels que la bouse de vache aux briques d'argile a augmenté la porosité ouverte, ce qui a eu pour effet de réduire la densité apparente et d'améliorer les propriétés d'isolation thermique.

Dadi Mahamat et al. (2015) déclarent que « les données expérimentales montrent une bonne efficacité et une diminution significative de la conductivité thermique du matériau à base de la bouse de vache par rapport au matériau à base d'argile simple, ce qui pourrait contribuer à la réduction de la consommation d'énergie en produisant un habitat écologique avec une bonne performance thermique ».

Ainsi, ils démontrent que l'utilisation de matériaux à base d'argile dans une structure de construction avec une intégration croissante de 0 à 8 % de déchets agricoles (bouses de vache ou cosses de mil) offre de bonnes performances mécaniques et thermiques avec une faible consommation d'énergie électrique pour un meilleur confort thermique des habitants.

Les déchets agricoles peuvent être recyclés en les intégrant dans des matériaux de construction à base d'argile. Les résultats obtenus par Njike et al. (2015) montrent que l'ajout de la bouse de vache à la terre de coton noire réduit le nombre de fissures et le retrait des blocs, et augmente également la résistance des blocs de 0,6 MPa à 2 MPa. Il est donc confirmé que l'ajout de la bouse de vache a des effets positifs significatifs sur la terre de coton noire, ce qui les rend appropriés pour l'utilisation d'éco-blocs durables pour la construction.

La bouse de vache est non seulement un bon liant, grâce à ses fibres qui aident également à créer une finition de sol lisse et fine, les fibres empêchent la fissuration des sols et augmentent également les propriétés isolantes du plâtre. (Millogo et al, 2017) démontre que la bouse de vache réagit comme liant qui colle les particules de sol isolées entre elles.

En outre, la présence importante de fibres dans la bouse de vache empêche la propagation des fissures dans les adobes et renforce donc le matériau. L'effet principal des ajouts de la bouse de vache est l'amélioration significative de la résistance à l'eau de l'adobe, ce qui permet de conclure que les adobes stabilisés par la bouse de vache conviennent comme matériaux de construction dans les climats humides.

D. Katale (2013) montre que « la bouse de vache a été ajoutée comme agent de renforcement dans des proportions indifférentes ». Les résultats suggèrent qu'une augmentation de la bouse de vache réduit le poids unitaire sec maximal et augmente la teneur en eau optimale. Les résultats du test de compression suggèrent qu'avec l'ajout de 20 % de la bouse de vache, l'échantillon présente la résistance à la compression la plus élevée.

H. C. Darshan · B. M. Latha (2021) démontre que l'ajout de la bouse de vache réduit le poids unitaire sec maximum des blocs de sol et augmente la teneur en eau optimale grâce à l'augmentation de la surface spécifique due à la matière fine de la bouse de vache. De plus, avec 2 % de la bouse de vache, la résistance à la compression du pisé a augmenté de 1,5 à 2 fois par rapport à celle d'un bloc de sol non stabilisé.

De même, selon Magudeaswaran et al. (2020), les restes de la bouse de vache en béton ne doivent pas être utilisés dans les zones d'accumulation d'eau ou pour les structures identifiées avec de l'eau. La bouse de vache reste un béton de taux élevé supérieur à 10 % n'est pas raisonnable pour la création de béton en raison de l'expansion de la teneur en poudre. La bouse de vache a un levier qui offre la délicatesse du poids qui en fait un matériau de développement précieux.

Quant à Peter Paa-Kofi Yalley et al. (2013), il s'est appliqué à montrer qu'une terre locale de Sunyani a été stabilisée chimiquement par de la bouse de vache. Une meilleure résistance à la compression à l'état sec et après 10 minutes d'immersion dans l'eau a été obtenue avec la stabilisation à la bouse de vache, et les meilleures valeurs ont été obtenues avec une teneur en bouse de vache de 20 %.

En Algérie, la construction des bâtiments a un fort impact sur l'environnement. Cela est lié aux besoins de chauffage et de refroidissement des locaux qui représentent environ 42 % de la consommation d'énergie dans les bâtiments et à la production à forte intensité énergétique de matériaux de construction courants tels que le ciment et l'acier.

2.2.6. Evaluation expérimentale de l'efficacité de la bouse de vache

L'évaluation expérimentale dans cette recherche s'alimente à la fois de toutes les riches expériences actuelles et même numérisées et des connaissances extraites des recherches plus ou moins anciennes relues et décrites. Cette documentation passionnante nous a permis d'opter pour l'évaluation par des tests expérimentaux des composites bio-ressourcés en fibres naturelles telles que les fibres naturelles de la bouse de vache. Ces tests expérimentaux nous ont conduit tant bien que mal à élaborer en plusieurs étapes notre expérimentation. C'est une avancée remarquable, certes, dans le domaine de la science des matériaux.

La présente méthode de l'évaluation des tests expérimentaux pour mettre en évidence les performances de la bouse de vache a été mise au point dans le laboratoire du CNERIB à Alger. Cette méthode spécifie un essai permettant de déterminer l'isolation des produits par incidence directe des effets climatologiques, en utilisant des plaquettes de bouse de vache. Bien que l'évaluation des tests expérimentaux soit établie en mesurant la conductivité du matériau, la chaleur spécifique. De plus, le processus des tests expérimentaux permet d'avoir des résultats réels des qualités et performances de l'emploi de la bouse de vache comme matériau d'aide à l'amélioration en matière d'isolation du bâtiment habité.

2.2.7. Fabrication des échantillons en bouse de vache

Outre son utilisation en tant qu'engrais, la bouse de vache agit comme un répulsif des insectes tels que les moustiques. En Inde, les gens appliquaient la bouse de vache sur les murs et l'enduisaient sur le sol pour qu'il reste chaud en hiver et froid en hiver (Njike Manette, 2015). La Bouse de vache utilisée dans ce travail a été collectée dans la ferme à la commune de Sebaa dans la wilaya EL-Taref.



Figure 89 : localisation de la collecte de la Bouse de vache à Sebaa, Etaref (source auteur, 2023)



Figure 90: collecte de la Bouse de vache dans l'Embrah à Sebaa-Wilaya Etaref (source auteur, 2023)

Les roseaux

Les roseaux sont des plantes des sols humides de grande taille, à tige creuse et rigide, plus ou moins ligneuse. Un lieu planté de roseaux est une roselière, biotope très riche, en particulier pour la faune aviaire. Cette plante est très dominante en Algérie.



Figure 91 : les roseaux utilisés pour la fabrication des échantillons (source auteur, 2023)

La matière première était prélevée dans la ville de EL-Taref qui présente l'endroit le plus proche de la source de la bouse de vache à la ville d'Annaba. D'où elle a été prélevée à 8 h de matin dans son état humide.

Les additifs (tiges, feuilles de roseaux) ont tous été collectés sur le site « DOUAR SEBAA. » Ces additifs ont été choisis en fonction de leur disponibilité, de leur facilité de collecte et du recyclage de ces déchets naturels. La méthode de mélange utilisée dans ce travail est le mélange manuel. Les matériaux à utiliser sont mesurés en masse par une balance électronique. Les différents additifs ainsi que la bouse de vache pure ont été bien mixés.

Pour les différentes variantes élaborées, des modèles en aluminium de 140 cm x 8 cm x 4 mm ont été utilisés, dont on a réalisé trois (03) éprouvettes pour chaque type d'échantillon qui permettent d'obtenir des résultats pertinents avec une surface parfaitement plane pour permettre un bon contact avec la sonde de l'appareil CT METRE.

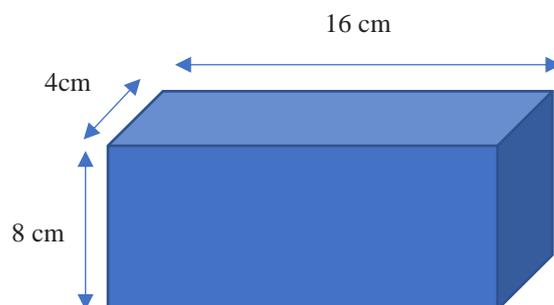


Figure 92: dimensionnement des éprouvettes testés (source auteur, 2023)

Technique d'échantillonnage et Elaboration des éprouvettes

Le matériau proposé à l'étude dans le cadre du développement durable et de l'utilisation des matériaux naturels propres et sains est à base de la bouse de vache et des roseaux. Notre investigation se compose de deux phases, celle de l'essai initial et celle du deuxième essai.

Cette première étape a échoué à cause de la mal formulation des éprouvettes qui comportent des surfaces rugueuses et humides. Dans le deuxième essai, une réalisation d'autres échantillons est obligatoire pour régler les défauts qui concernent la forme et la texture du matériau. Le matériau est bien séché au soleil des beaux jours et par l'étuve de séchage en laboratoire CNERIB.

La première et la deuxième éprouvette de l'échantillon étaient composées d'une masse pure de la bouse de vache avec deux masses différentes. La troisième éprouvette était composée de la bouse de vache mélangée à du plâtre, et la quatrième éprouvette était composée de la bouse de vache, de l'enduit avec deux étages des tiges de roseaux. Dans la cinquième et la sixième éprouvette, on a utilisé la bouse de vache et le plâtre avec deux différentes masses des feuilles de roseaux séchées. La confection des échantillons à tester comporte les éprouvettes suivantes :

- (BVP1) : La Bouse de vache pure 500g
- (BVP2) : La Bouse de vache pure 300g
- (Bvpl) : La Bouse de vache 300g + le plâtre 37g (1/8 du poids)
- (BV3) : La Bouse de vache 200g + le plâtre 25g (1/8 du poids) + tige de roseau (2 étages)
- (BV4) : La Bouse de vache 200g + le plâtre 25g (1/8 du poids) +feuilles de roseau coupées 25g
- (BV5) : La Bouse de vache 225g + le plâtre 28g (1/8 du poids) +feuilles de roseau coupées 50g.

Préparation des éprouvettes

La préparation des échantillons est élaborée selon les étapes suivantes :

- a) Tout d'abord, une portion de la bouse de vache a été homogénéisée, selon les différents ingrédients déjà cités. Les tiges sont coupées selon la longueur des modèles (14 cm), les feuilles des roseaux sont coupées et séchées.



Figure 93: Malaxage de la Bouse de vache et découpage des additifs (Source auteur, 2023)

- b) Les différents additifs des échantillons sont mesurés et malaxés manuellement avec la bouse de vache jusqu'à l'homogénéisation de la matière.



Figure 94 : mesurage des différents matériaux utiliser pour la préparation de l'isolant (Source auteur, 2023)



Figure 95 : malaxage des différents additifs avec la Bouse de vache (Source auteur, 2023)

- 1- La pâte de chaque échantillon est moulée dans le modèle en aluminium selon la composition voulue.



Figure 96 : moulage des éprouvettes dans les modèles en aluminium (Source, auteur, 2023)

- 2- Les échantillons ont été conservés dans le moule pendant 3 jours dans des conditions de journées ensoleillées.



Figure 97 : les moules des éprouvettes après le séchage (Source, auteur, 2023)

Méthode de détermination de la densité apparente

Selon la norme NF EN 1602 (AFNOR, juillet 1997) la densité apparente a été calculée (Laure Ducoulobier. 2014). Les échantillons ont été conditionnés pendant une durée déterminée à (23 °C) et (50 % HR). Les tests des matériaux moulés ont été effectués après leur séchage. Sur la base des masses et volumes mesurés des éprouvettes séchées, les densités apparentes ont été calculées. La densité ρ d'un objet ou d'un matériau se définit comme la masse M divisée par le volume V , soit la formule :

$$\rho = m/V$$

Détermination de la conductivité thermique et la chaleur spécifique par la méthode du thermo fluxmètre

Le coefficient de conductivité thermique λ des échantillons obtenus a été déterminé en utilisant l'appareil à flux de chaleur CT METRE par la méthode du thermo fluxmètre.

Le CT METRE est un nouvel appareil de mesure rapide avec des caractéristiques thermiques, des matériaux homogènes et isotropes. Il se compose de deux éléments : un organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester. Et la sonde chargée de transmettre la puissance de



Figure 98: Image sur l'appareil de CT METRE

chauffe et de recueillir la température induite, dont les caractéristiques des résultats de mesure de conductivité thermique 0.02 à 5 W/m.K, et une précision de +/- 5 % (CT METRE – guide d'utilisation).

Capacité d'absorption d'eau par immersion partielle

Le coefficient d'absorption d'eau par immersion partielle illustre la capacité qu'a le matériau à retenir l'eau lorsqu'il est en contact avec celle-ci. Il a été déterminé selon la norme NF EN ISO 15148 (AFNOR, Octobre 2003).

Le graphique illustre l'idée de base du test. Au milieu d'un bac rempli d'eau, un spécimen est posé sur des blocs. Les 5 mm inférieurs de l'éprouvette sont toujours immergés dans l'eau. L'échantillon est pesé après 30 minutes, 1 heure, 17 heures, 20 heures, 24 heures, 40 heures, 45 heures et 48 heures (Laure Ducoulobier, 2014). Le coefficient d'absorption d'eau W décrit la capacité d'une substance à absorber l'eau. Il est calculé comme le rapport entre la quantité d'eau absorbée (pesée avant et après) et le facteur composé de la surface et de la racine du temps :

$$\text{Formule: } w = m / (A \cdot \sqrt{t})$$
$$\text{Unité : } w = \text{kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$$

La courbe obtenue est alors soit une droite (A), soit une droite suivie d'une diminution soudaine de pente (graphe de type B). Dans le premier cas, le coefficient d'absorption d'eau ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$) est alors le coefficient directeur de la droite. Dans le second, le coefficient est déduit de la masse d'eau absorbée à 24 h.

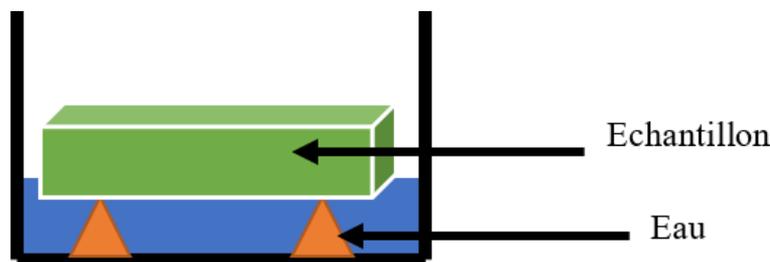


Figure 99: schéma représentatif de l'essai de mesure du coefficient d'eau par immersion partielle (source auteur, 2023)

Résistance au feu

Les examens d'orientation ont été effectués à la main et avant les évaluations les plus coûteuses et les plus longues. Ces tests ont été réalisés sur diverses éprouvettes. Ils ont permis d'augmenter les propriétés de l'isolant en termes de résistance au feu et de mieux comprendre le comportement du matériau.

Essais d'orientation de réaction au feu

Le test d'orientation a consisté à mettre en contact un brûleur avec l'échantillon pendant 10 secondes. Deux types d'attaques ont été effectués : une sur la face de l'échantillon (flamme perpendiculaire à la face de l'échantillon) et une sur le bord (flamme faisant un angle avec la face de l'échantillon).

La période de post-allumage est mesurée dans chaque cas. Il s'agit du temps où une flamme subsiste après l'extinction du brûleur. Cela démontre la propension du matériau à propager la flamme. En outre, les matériaux sont examinés visuellement après le test pour comparer les surfaces carbonisées. Pendant le test, des observations visuelles sont également

effectuées. Ces observations portent sur l'existence ou l'absence d'incandescence résiduelle, la formation d'un trou, la présence ou l'absence de débris fondus et la portée des bords de l'échantillon.

Essai de l'allumabilité

Le test d'allumabilité selon les normes (EN ISO 11925-2) et (AFNOR, novembre 2002) détermine l'inflammabilité d'un produit lorsqu'il est exposé à une petite flamme. Il couvre les grades B, C, D, E et F. Étant donné que la matière première de nos produits isolants est un combustible, il s'applique également à eux.

Le dispositif d'essai d'allumabilité est assez similaire au dispositif d'essai d'orientation. Il s'agit de mettre une flamme de brûleur en contact avec la face et le bord de l'échantillon pendant 30 secondes. On détermine ensuite s'il y a eu inflammation ou non, si la flamme s'est étendue à plus de 150 mm de l'échantillon.

2.3. Investigation numérique

2.3.1. Présentation du logiciel Design Builder

Design Builder est une interface graphique reposant sur le moteur de calcul Energy Plus. Il offre de nombreuses fonctionnalités non disponibles simultanément dans les logiciels existants :

- Calcul des déperditions/gains thermiques de l'enveloppe en hiver/été
- Dimensionnement du chauffage
- Dimensionnement du rafraîchissement par ventilation naturelle et/ou climatisation
- Simulation dynamique restituant des données de confort, de bilan thermique, ventilation, etc.
- Construction en 3D réaliste avec vue des ombres portées
- Modeleur du bâtiment incluant des assistants de création de fenêtre, composition de la construction, détection automatique du type de paroi qui vous évitent de nombreuses saisies ou dessin
- Gestion de l'occupation, de la ventilation mécanique, des ouvertures de fenêtre, de l'occultation des baies, des apports internes ... par planning paramétrable selon le type de jour, les mois, les heures (ou infra horaire)
- Economie d'énergie : free-cooling, récupérateur d'énergie sur air extrait, ventilation nocturne, gradation de l'éclairage selon la luminosité, régulation des températures d'air soufflé selon la demande, volume d'air variable ... déjà disponible en quelques clics.
- Plusieurs centaines de matériaux et exemples sont livrés en français
- Carte d'éclairement naturel, FLJ
- RT2012
- Module d'optimisation vous permettant de déterminer les paramètres du bâtiment offrant le meilleur compromis coût, confort, GES

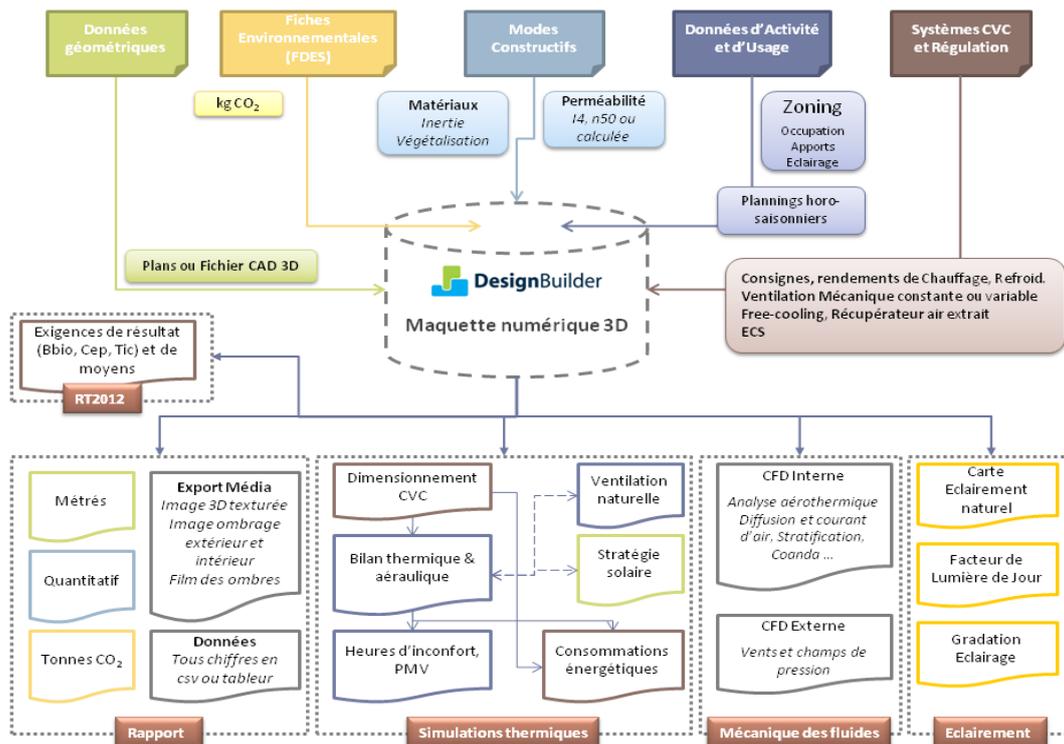


Figure 100: Présentation de système de fonctionnement du logiciel Design Builder

2.3.2. Déroulement de la modélisation

En établissant une simulation thermique, il ne faut pas oublier que les résultats sont des approximations et qu'ils sont étroitement liés à la configuration de l'utilisateur. Plus les données sont précises, plus l'analyse du bâtiment est poussée. Un certain nombre de facteurs doivent être pris en compte lors de l'élaboration de notre modèle, notamment les informations climatiques de l'étude de cas, les matériaux de construction, ainsi que l'environnement intérieur de la structure, qui ont tous une incidence sur les pertes de chaleur et, par conséquent, sur l'état thermique des maisons simulées.

2.3.3. Les entrées du programme

Afin de simuler un système thermique avec Design Builder, les éléments fondamentaux du système de modélisation doivent d'abord être définis. Un fichier DWG 2D est ensuite exporté ; à partir de ce fichier, le modèle géométrique 3D a été créé. On peut également visualiser le projet en 3D avec le logiciel Design Builder, qui offre de nombreuses possibilités

de représentation Tous les composants du bâtiment sont illustrés avec leurs volumes et leurs surfaces respectifs.

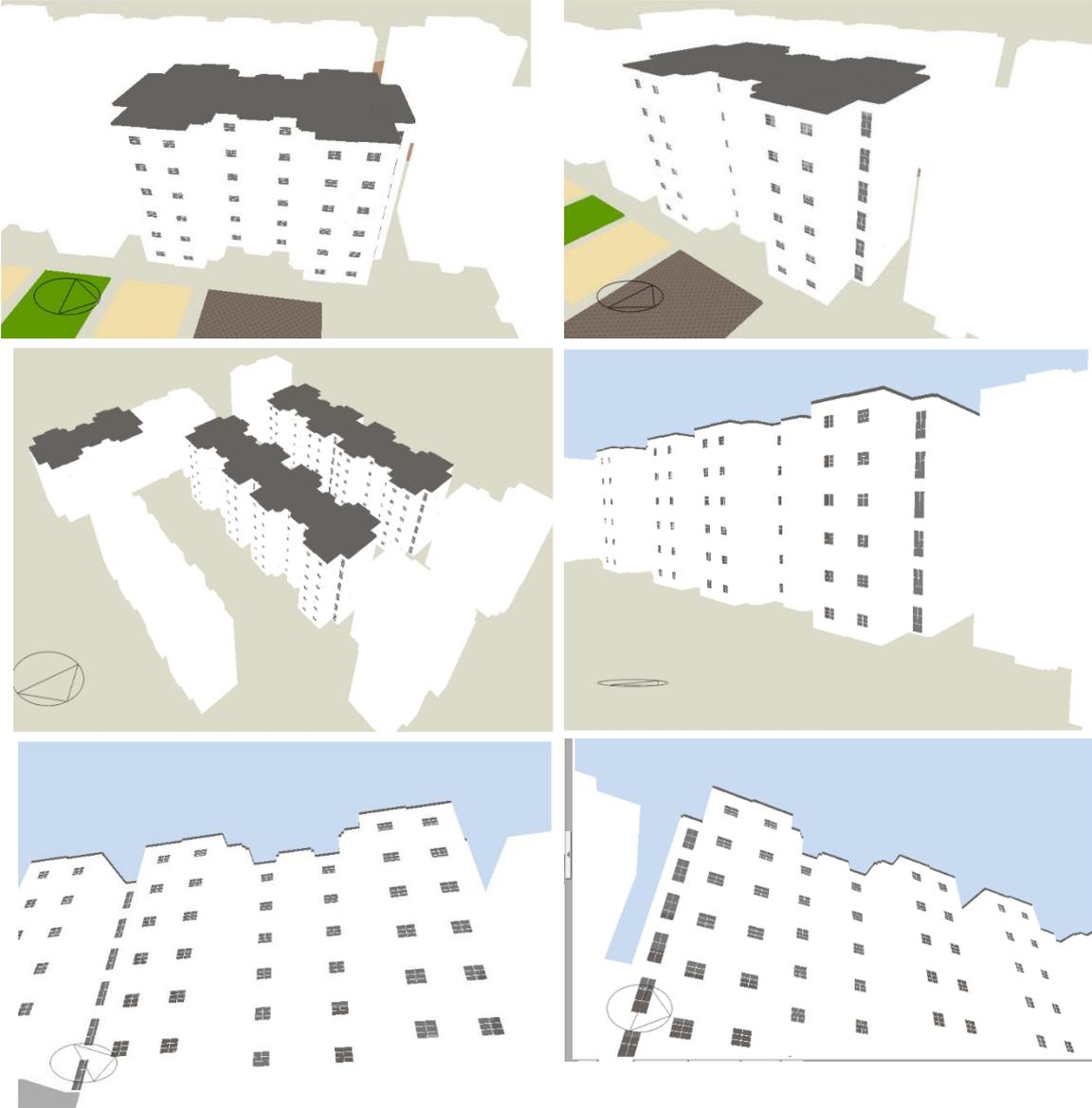


Figure 101 : Zones du bâtiment à simuler, (source: auteur, 2023)

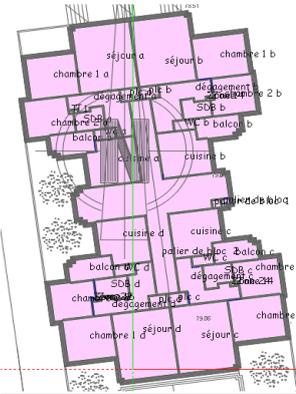


Figure 102 : Vue en plan. (source : auteur, 2023)

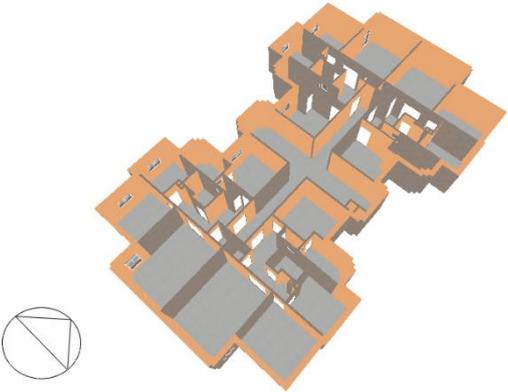


Figure 103: étage courant vu en 3D, (source, auteur, 2023)

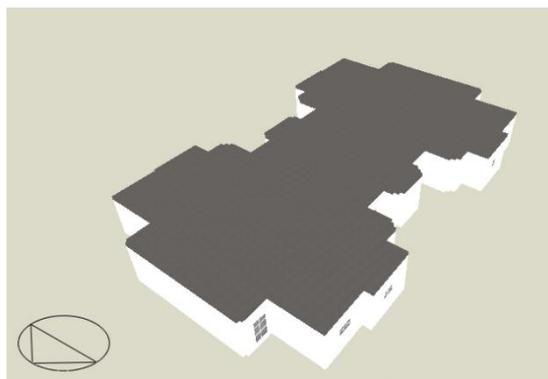


Figure 104 : forme de bâtiment, (source : auteur,2023)

De même, les types de murs, de planchers et de toits nécessaires au projet doivent être spécifiés lors de la sélection des éléments de construction. Les multiples couches de murs de chaque élément de construction doivent être identifiées dans l'ordre, de l'intérieur vers l'extérieur, soit pour l'état actuel ou l'état optimisé.

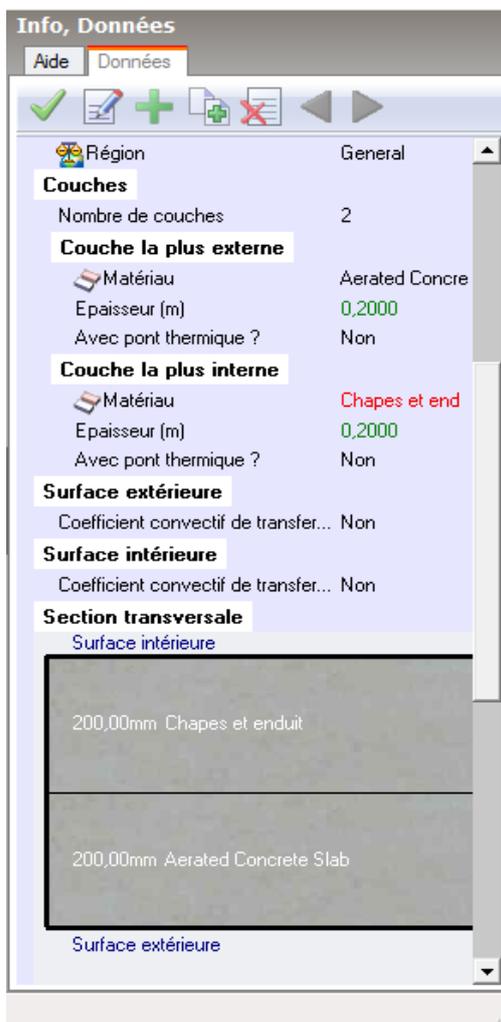


Figure 105 : Composants de plancher à l'état actuel (Source auteur par Design Builder)

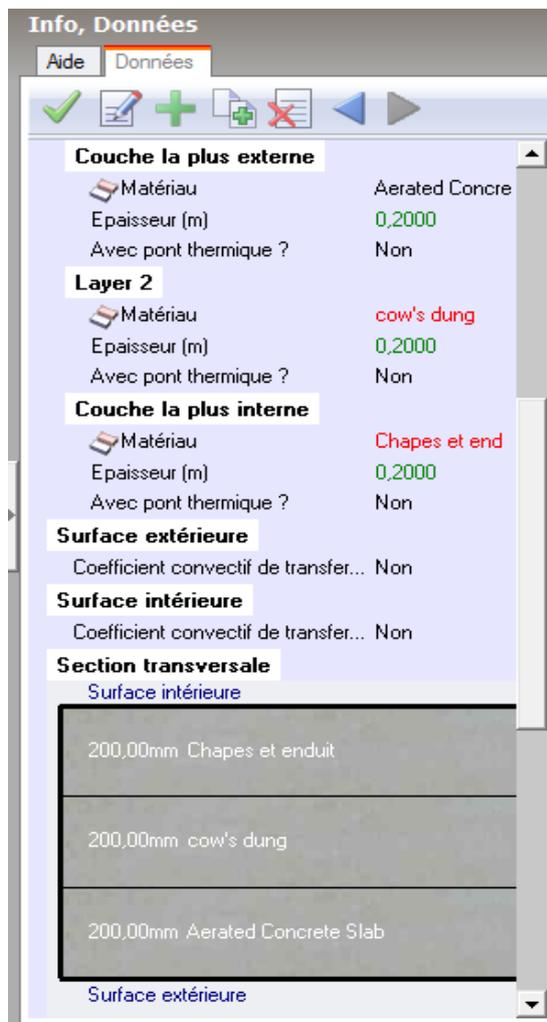


Figure 106 : composants de plancher à l'état optimisé (Source auteur par Design Builder)

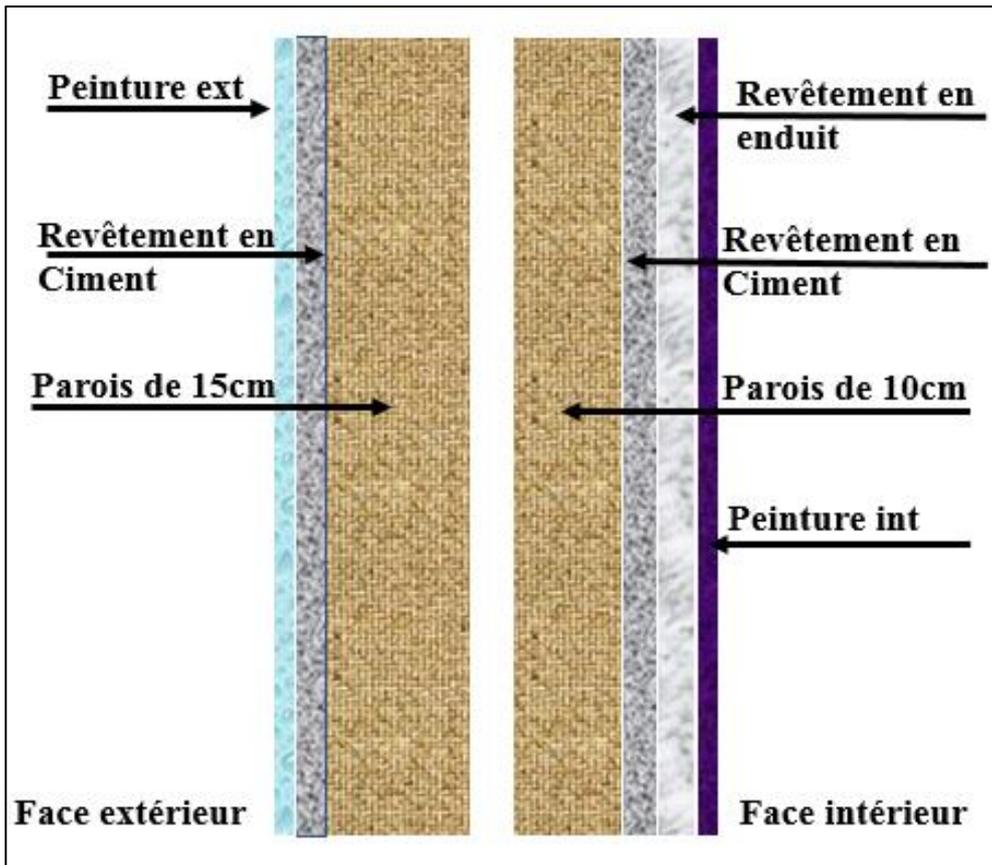


Figure 108 : schéma d'une coupe transversale de mur extérieur à l'état actuel (Source : auteur,2023)

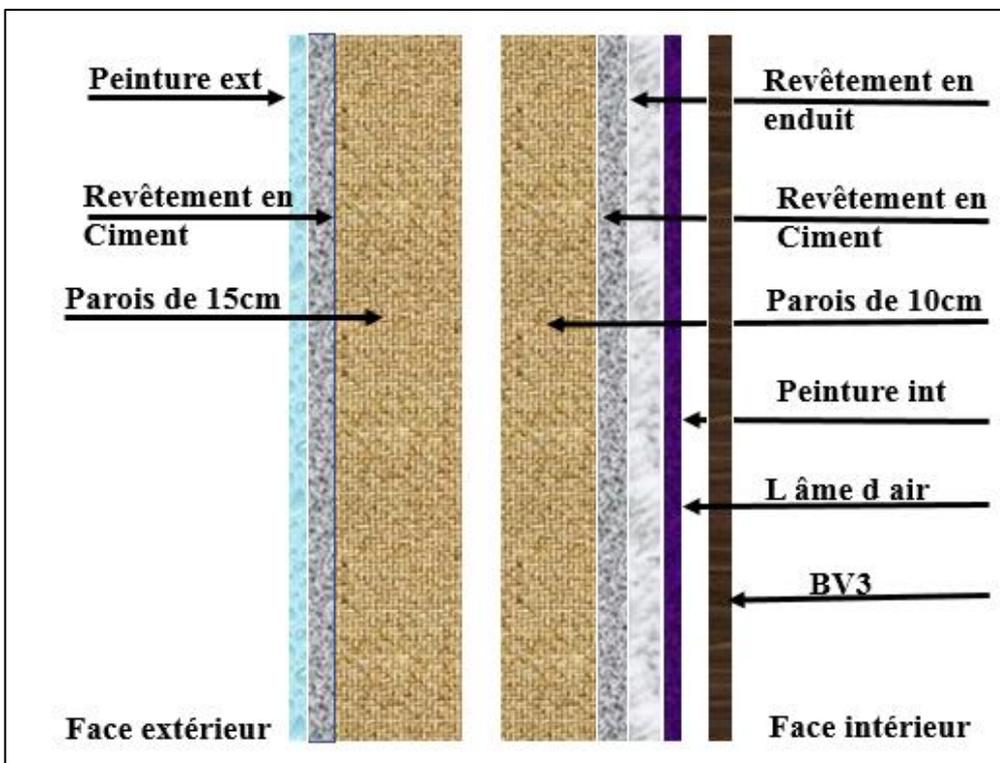


Figure 107 : Schéma d'une coupe transversale de mur extérieur à l'état optimisé (Source : auteur,2023)



Figure 112: composants de mur extérieur à l'état actuel (Source auteur par Design Builder)

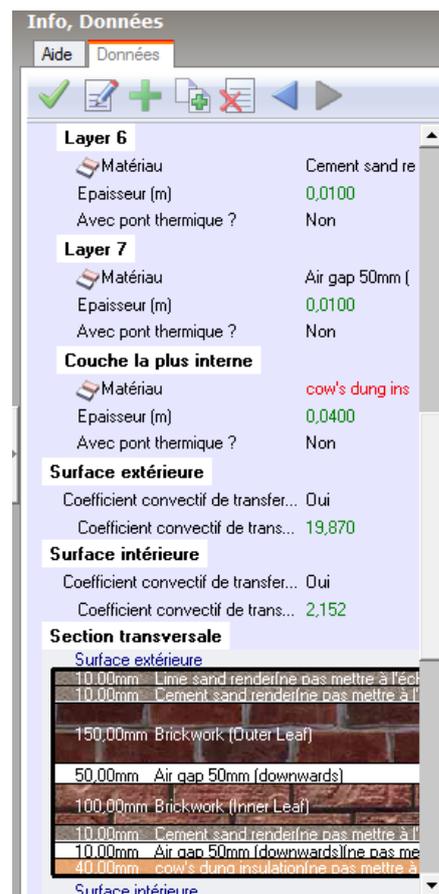


Figure 111: composants de mur extérieur à l'état optimisé ((Source auteur par Design Builder)

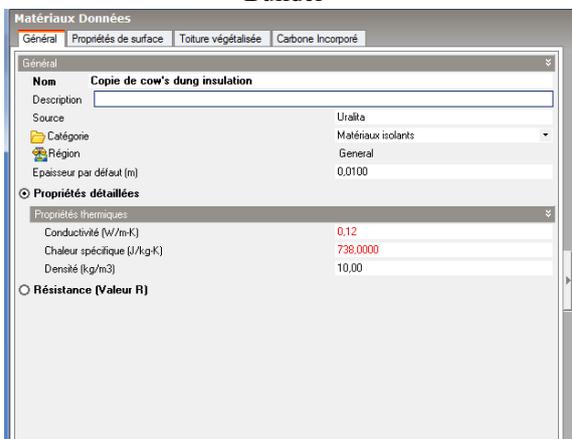


Figure 110: caractéristiques thermiques de l'isolant en bouse de vache obtenu (Source auteur par Design Builder)

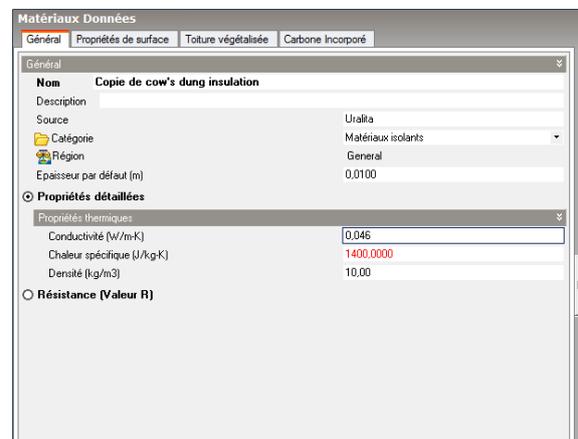


Figure 109: proposition des caractéristiques de l'isolant en bouse de vache amélioré (Source auteur par Design Builder)

2.3.4. Période de simulation

En raison de la difficulté rencontrée dans l'étape de mesurage, soit par l'indisponibilité des habitants ou l'insuffisance du matériel, on a choisi dans cette phase de simulation la nécessité de savoir les variations de la température opérative durant tout l'année. Donc la simulation est composée en deux périodes, l'une dans tout l'hiver qui se débute du 1^{er} octobre jusqu' au 30 mars et l'autre dans tout l'été qui se débute du 1^{er} avril jusqu' à 30 septembre.

2.3.5. Déroulement de simulation

On a d'abord commencé à régler des données météorologiques de la ville d'Annaba. Dans le fichier météo choisi doit figurer l'altitude du site, la latitude, la longitude, la période de la simulation... Ensuite, la description détaillée des différentes parois opaques, les fenêtres, les planchers... Selon leur composition réelle des différents composants de bâtiment déjà mentionnés.

En fonction des différentes commandes entrées dans le logiciel, on peut obtenir les résultats du besoin de chauffage et de climatisation, les températures (d'air, opérative...) ; les différents indices (PMV de Fanger...) ; on peut simuler thermiquement notre bâtiment heure par heure dans les différentes zones prédéfinies du bâtiment.

Plusieurs séries de simulations ont été effectuées dans le but de tester les performances thermiques de l'isolant à base de la bouse de vache et d'identifier les différences. Dans un premier temps, on a effectué des simulations du bâtiment à l'état actuel pour comparer les résultats de la simulation aux résultats des campagnes de mesure. Dans un deuxième temps, on a procédé aux changements de certains paramètres des murs et des planchers en ajoutant la couche de l'isolant pour évaluer les performances thermiques de l'enveloppe obtenues et évaluer l'état de confort intérieur à l'état amélioré.

Conclusion

L'intérêt principal dans ce chapitre est de bien exploiter la méthodologie dans les différentes phases de l'étude selon un protocole bien défini et qui obéit aux normes internationales. En premier lieu, il s'agit d'une méthode entièrement empirique basée sur des enquêtes de terrain dans lesquelles les jugements thermiques sont mesurés par le biais de questionnaires pendant que les occupants effectuent leurs activités habituelles.

La majorité des votes des occupants sont relevés sur des échelles de vote type ASHRAE et complétés par le traitement des données collectées par l'analyse multivariable à travers le logiciel SPSS. En deuxième lieu, la phase de mesurage de la température ambiante et de l'humidité relative est présentée de manière détaillée, conformément à la littérature de recherche.

Pour récapituler, il est à noter que ces paramètres sont effectués pendant trois jours dans la saison froide et la saison chaude conformément aux jours de référence calculés en utilisant l'instrumentation manuelle Dewpoint Hygrometer HI9564.HI9565 qui est placé à l'intérieur des cellules, au centre du séjour et d'une chambre à une hauteur de 1,20 m du sol de chaque pièce. En troisième lieu, un protocole bien défini pour faire les essais en laboratoire CNERIB et obtenir les différentes caractéristiques thermiques de l'isolant avec l'appareil à flux de chaleur CT METRE par la méthode du thermo-fluxmètre.

Ainsi que les autres protocoles sur mentionnés, on a déterminé la capacité d'absorption d'eau, la résistance au feu... etc. Par la suite, la phase de la simulation est établie par le logiciel Design Builder durant toute l'année sous forme de deux périodes, l'une froide et l'autre chaude.

CHAPITRE 3 : TRAITEMENT DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS IN SITU

Introduction

Ce chapitre est structuré en deux parties. La première partie concerne l'analyse des résultats de l'enquête effectuée auprès des habitants de la cité 172 logements à Bouzaaroura afin de déterminer leurs degrés de satisfaction en matière de confort thermique dans leurs espaces habités. La deuxième partie consiste à interpréter les mesures prises à l'intérieur des appartements. L'exploitation des questionnaires avec les mesures in situ obtenues donne la possibilité d'étudier la sensation et la satisfaction des usagers vis-à-vis des ambiances thermiques afin de mieux comprendre leurs besoins.

D'autre part, la campagne des mesures a été effectuée sur site, au niveau de quatre logements représentatifs, et a servi de support pour valider la parole des habitants dans notre étude. Les appartements sélectionnés présentent les mêmes caractéristiques constructives et architecturales, mais se différencient uniquement en termes d'orientation par rapport au soleil et de niveaux en élévations.

1. Investiguassions qualitative

1.1.Phase préliminaire : Interprétation des résultats de l'investigation qualitative

La première étape dans cette étude qualitative est d'élaborer un questionnement bref pour confirmer la pertinence du sujet et la présence du problème qu'on va traiter. Pour atteindre cet objectif, un interview a été effectué sur site, sur un échantillon représentatif de 40 personnes. Les résultats obtenus de cette préenquête sont mis dans les figures ci-dessous :

Le problème du bien-être thermique, soit en hiver ou en été, est très explicite et visible d'après les déclarations des répondants, avec 58 % qui ont déclaré qu'ils souffrent de l'inconfort thermique en hiver et en été et vu que les systèmes de chauffage et de refroidissement sont mis en fonction de façon continue : depuis le mois de novembre jusqu'à la fin du mois d'avril, les chauffages restent allumés pendant la nuit et le jour, pour atteindre un niveau de confort thermique acceptable.

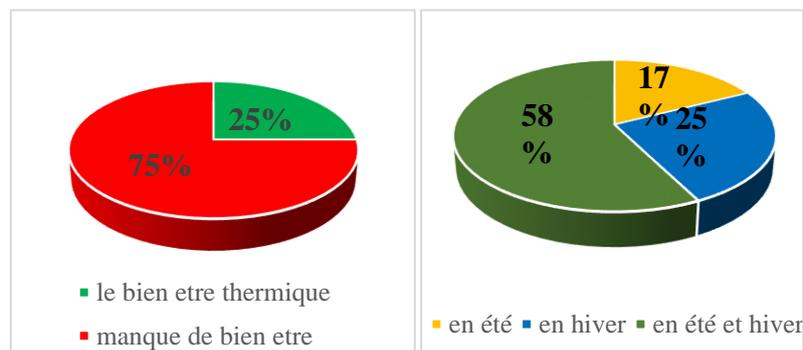


Figure 113 : utilisation de système de chauffage - phase préenquête (Source, auteur, 2022)

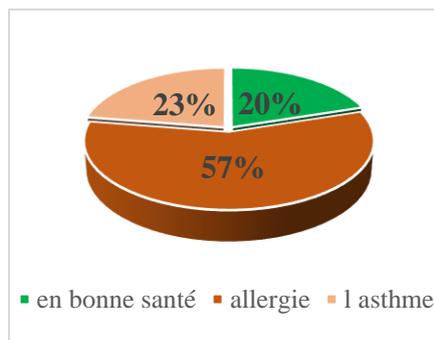


Figure 114 : les maladies constatés chez les répondants - phase préenquête (Source, auteur,2022)

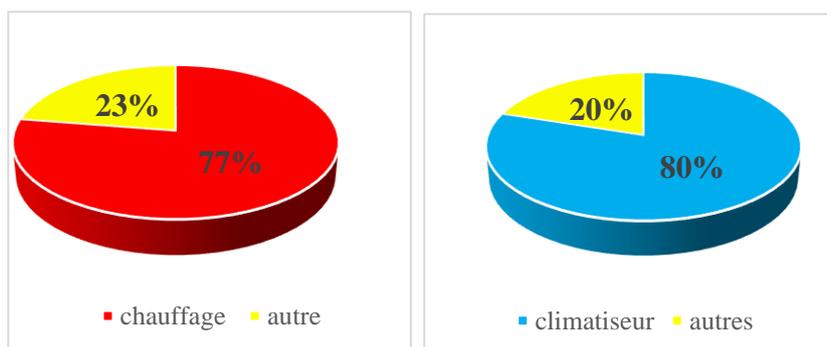


Figure 115 : utilisation de système de chauffage et climatisation - phase préenquête (Source, auteur, 2022)

1.2.Analyse des résultats de la phase principale

Selon la figure 116, la répartition des réponses aux appartements dans les différents blocs a montré que la majorité des réponses appartient au bloc 13, où les mesures et la simulation ont été effectuées. D'autre part, conformément aux typologies des immeubles, les personnes interrogées résident dans des appartements de type F3. De même, elles sont réparties sur les différents niveaux : du sous-sol au 5ème étage (Figure 117). Le taux de réponse entre les enquêtés en RDC et R+1 était identique (12 logements). Par contre, les réponses des trois derniers étages sont 16, 18 et 15 logements successivement. Nous avons essayé de conduire l'enquête avec un maximum d'enquêtés qui habitent en RDC et les derniers étages, parce que ce sont les étages les plus susceptibles d'être les plus endommagés.

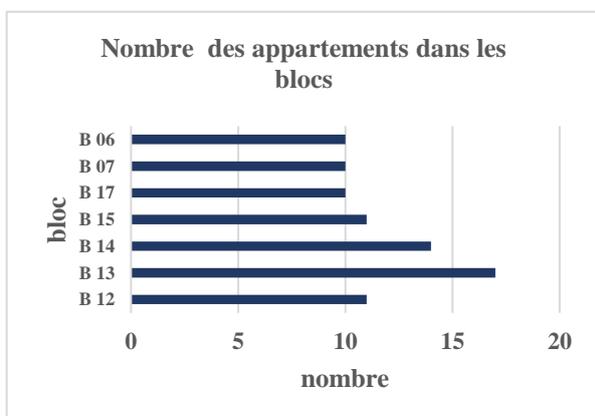


Figure 116 : Répartition des blocs de l'appartement des enquêtés (source, auteur, 2022)

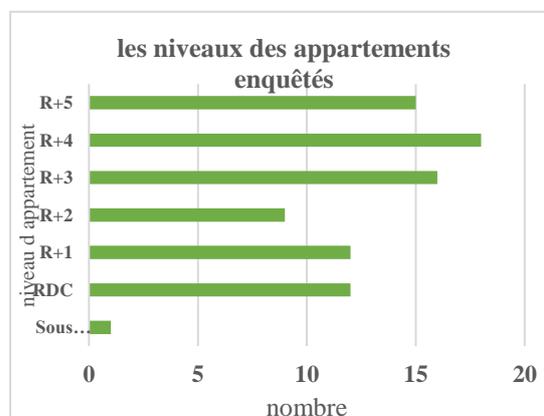


Figure 117 : Répartition de l'étage de l'appartement des enquêtés (source, auteur, 2022)

En moyenne, les enquêtés ont occupé leurs appartements majoritairement depuis plus de trois ans, ce qui explique que leurs déclarations ont été fondées sur une situation thermique de longue durée. Lors de l'enquête, certains habitants nous ont également indiqué que leurs occupations datent depuis la première distribution de l'habitat social en 2013 à Bouzaaroura. Or, peu d'entre eux ont changé d'appartement, mais sont restés dans la même cité, ce qui confirme la fiabilité des réponses des personnes interrogées (figure 118).

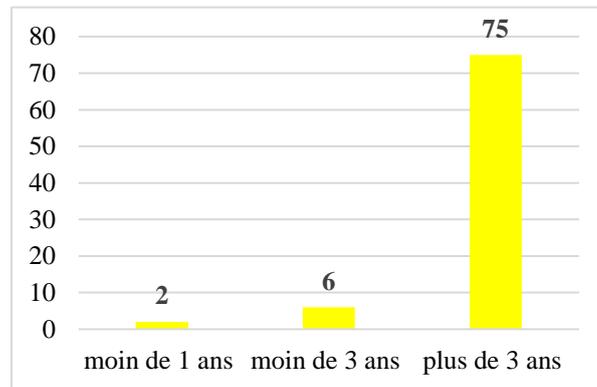


Figure 118 : Répartition de l'ancienneté des enquêtés dans leur logement (Source, auteur,2022)

La figure 119 présente les pourcentages des réponses de 83 participants par rapport à la consommation énergétique des logements. En se basant sur ces pourcentages, nous constatons que 87 % des enquêtés ont affirmé une forte consommation énergétique dans leurs habitations, causée principalement par l'utilisation intense des équipements techniques dans les deux périodes (froide et chaude) pour assurer le chauffage et le refroidissement, ce qui explique les répercussions sur les frais énergétiques à payer (figure 120).

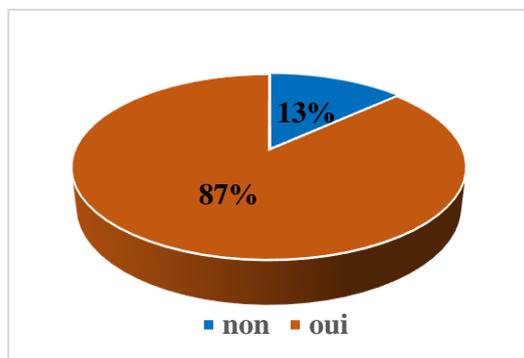


Figure 119: réponses des enquêtés sur la consommation énergétique (source, auteur, 2022)

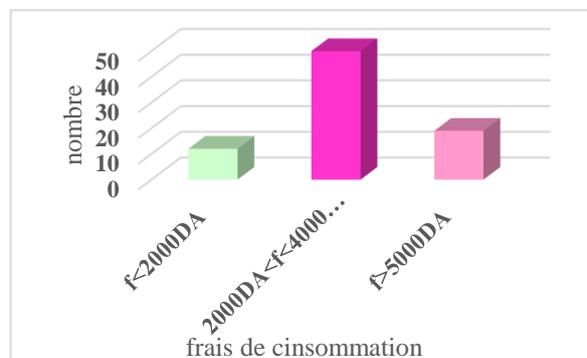


Figure 120: frais de consommation énergétique payés par les habitants (source, auteur, 2022)

Il est démontré dans la figure 121 que 92 % des habitants de la cité 172 logements à Bouzaaroura ont déclaré un manque de confort thermique dans leurs lieux habités, dû aux faibles performances thermiques des matériaux utilisés dans la construction de ces bâtiments, ainsi qu'à l'orientation des bâtiments mal étudiée par l'organisme responsable de la maîtrise d'œuvre, ce qui influence par conséquent sur les valeurs de température intérieure en été et en hiver.

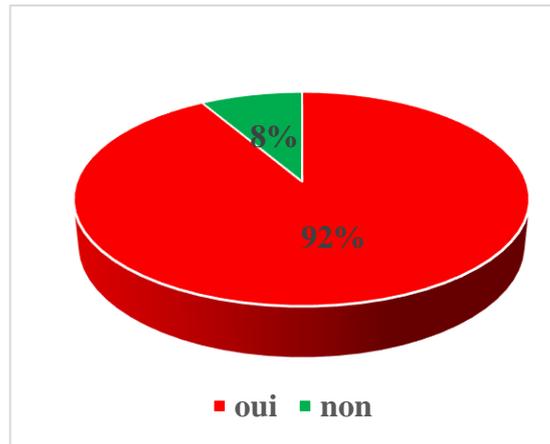


Figure 121 : état du confort thermique chez les habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur, 2022)

Par ailleurs, il est dénoté d'après la figure 122 ci-dessous que la majorité des habitants enquêtés n'étaient pas satisfaits de la situation thermique dans leurs espaces habités, quelle que soit l'orientation des bâtiments, dont 91,5 % précisait : très mauvais et mauvais, et seulement 8,5 % sont satisfaits. Cette souffrance de l'inconfort thermique est très importante, due principalement aux matériaux de construction utilisés, ayant une conductivité thermique élevée et le manque de concept de l'isolation thermique, ce qui nécessite une intervention règlementaire pour régler ce problème.

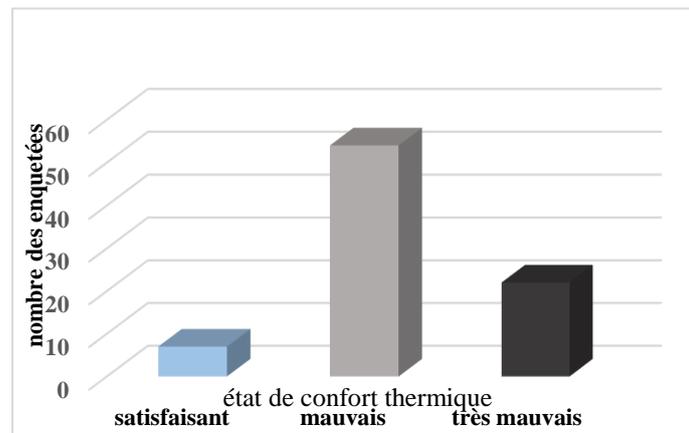


Figure 122: état de confort thermique chez les habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur, 2022)

En outre, les réponses des résidents enquêtés étaient convergentes, surtout en ce qui concerne les plaintes contre le froid. Un autre constat qui vise le degré de satisfaction thermique chez tous les répondants en hiver, d'où 59 personnes (71 %) ont déclaré qu'il faisait très froid, et 17 personnes (20,5) ont répondu qu'il fait le froid, et seulement 8,5 % déclarent que le froid d'hiver dans leurs logements est tolérable (figure 123). Deux hypothèses peuvent être avancées quant à cet inconfort : la première hypothèse suppose que le manque d'une isolation thermique performante. La seconde hypothèse cible le système constructif jugé comme désagréable.

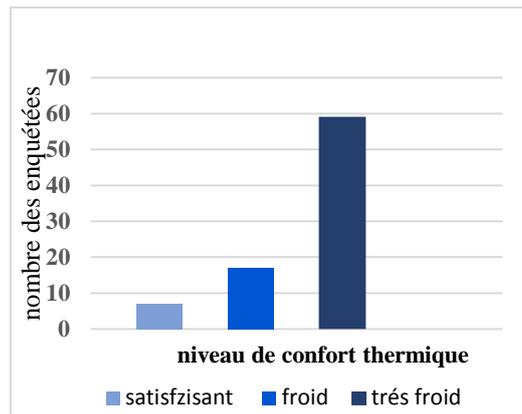


Figure 123 : Niveau du confort thermique en hiver (source, auteur, 2022)

La figure 124 illustre le pourcentage des pièces froides. D’après cette figure, nous constatons qu’il existe une forte gêne en matière de confort thermique hivernal dans les différentes pièces, dont 79,5 % et 48 % des habitants de la cité 172 logements sentaient qu’il faisait principalement froid dans le séjour et dans les chambres, respectivement. Cette situation insupportable peut provoquer une multitude de problèmes sanitaires.

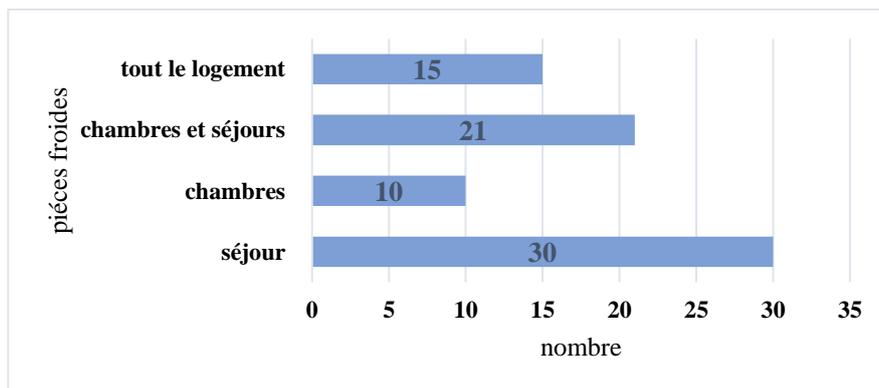


Figure 124 : Pièces froides en hiver des habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur ,2022)

La figure suivante 125 dévoile les pourcentages des réponses des habitants à propos du niveau du confort thermique dans les logements en période estivale. Nous avons observé en cela que la moitié des enquêtées (51,3 %) étaient thermiquement satisfaites, par contre 48,6 % d’entre elles ont exprimé leur mécontentement vis-à-vis de la situation thermique dans leurs logements, principalement dans les conditions météorologiques élevées en été (mois d’aout).

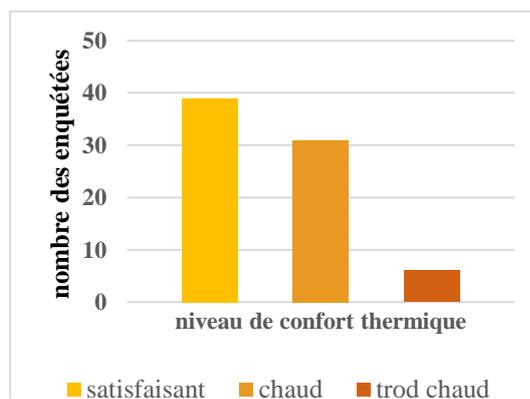


Figure 125: Niveau de confort thermique en période estivale, source, auteur, 2023

La figure 126 montre le pourcentage des pièces chaudes pendant la période d'été. D'après ces résultats, les habitants enquêtés ont déclaré qu'il existe un fort gêne en matière de confort thermique estival majoritairement dans les chambres.

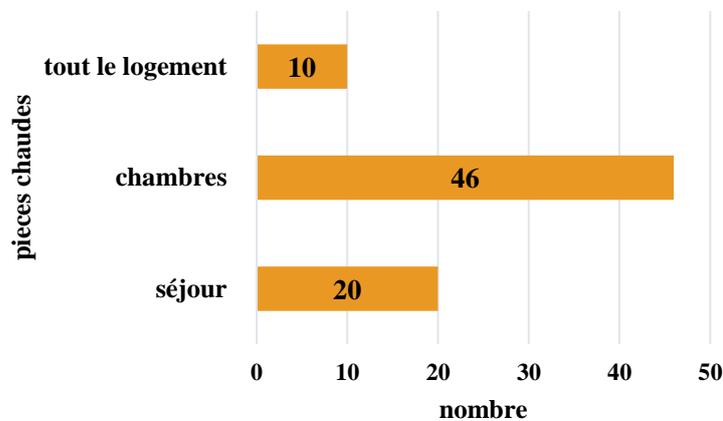


Figure 126 : Pièces froides en hiver des habitants enquêtés de la cité 172 logements (source, auteur, 2022)

D'après les figures 127 et 128, nous dénotons que le chauffage et le climatiseur étaient les deux installations techniques employées très fréquemment, avec un pourcentage de 93 % et 80 %, respectivement, pendant les deux saisons de l'année, par rapport aux autres (isolation des portes et fenêtres, plaque chauffante, isolation par plaque au plâtre, ventilateurs, ventilation naturelle,... etc.), vu leur disponibilité au marché. Ce résultat explique et confirme les résultats précédents (figures 119 et 120) de la surconsommation de gaz et d'électricité, de même, les frais élevés des factures. Cependant, ces installations qui s'avèrent comme solution rentable engendrent en contrepartie d'autres problèmes tels que l'humidité et la moisissure, et même provoquent des maladies chroniques qui menacent la dimension sanitaire des occupants.

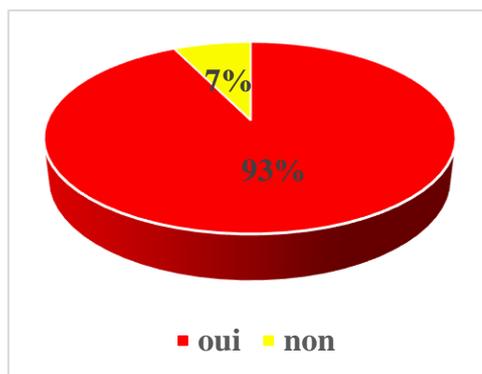


Figure 127 : utilisation de système de chauffage (Source, auteur, 2022)

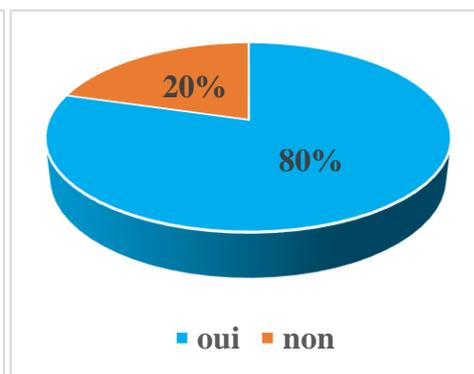


Figure 128 : utilisation de système de refroidissement (Source, auteur, 2022)

D'après les résultats de la figure 129, nous avons trouvé que la ventilation naturelle de la cité 172 logement à Bouzaaroura est performante avec 89 %, et qu'elle est bénéfique pour presque tous les appartements, sauf ceux qui se situent au niveau sous-sol. En addition, les réponses subjectives sur le dysfonctionnement ou bien sur la gêne constatée dans les logements sont présentées à la figure 130. Il a été noté que presque la moitié des occupants n'étaient pas à l'aise et que l'humidité relative n'était pas confortable pour la plupart des répondants, avec

32,5% qui ont voté contre la souffrance relative à l'humidité et 16,9 % d'entre eux ont souffert de l'humidité et de la condensation en même temps.

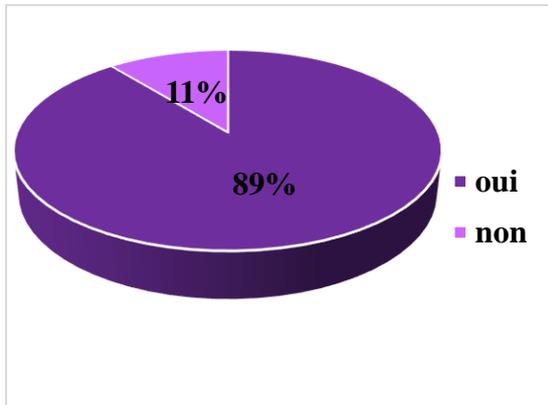


Figure 129 : répartition des réponses des enquêtés sur la ventilation naturelle (Source, auteur, 2022)

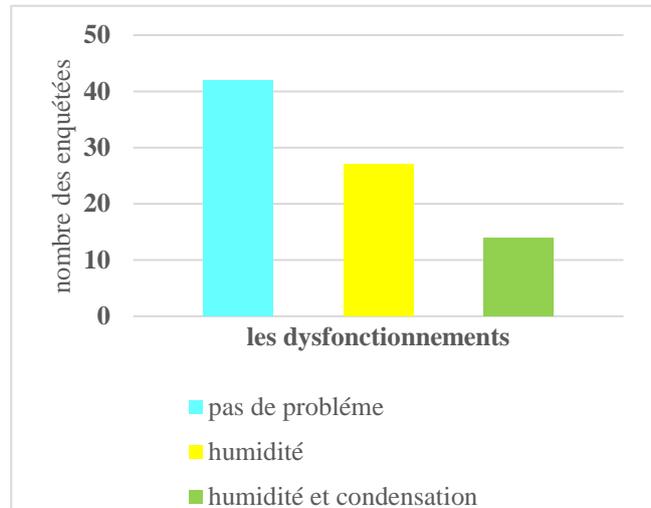


Figure 130 : répartition des réponses des enquêtés sur le dysfonctionnement ou la gêne constaté dans votre logement. Source, auteur, 2022)

De plus, une plage de confort température-humidité insuffisante avait un impact très dangereux sur la santé des occupants. D'après la figure 131, nous avons constaté que presque 2/3 des répondants se plaignaient des maladies chroniques (58 %), dont l'allergie, l'instabilité tensionnelle et le diabète étaient les principaux effets d'un mauvais confort thermique.

Aussi, les résultats de la figure 132 ont montré que plus de 39 répondants sur 83 ont déclaré avoir d'allergies et de troubles respiratoires, tandis que 20/83 répondants souffrent de diabète et 16 sur 83 répondants souffrent de tension artérielle. En revanche, les rhumatismes et l'arthrose sont des maladies provoquées par les basses températures en période hivernale, trouvées chez 8/83 des répondants. En prenant en considération la situation de la cité 172 logement dans la commune de ELbouni où s'installent les deux usines ASMIDAL et FERTIAL qui provoquent des problèmes sanitaires pour la population de la région. On peut dire aussi que la qualité des ambiances thermiques dans un bâtiment habité peut influencer la situation sanitaire de ses occupants.

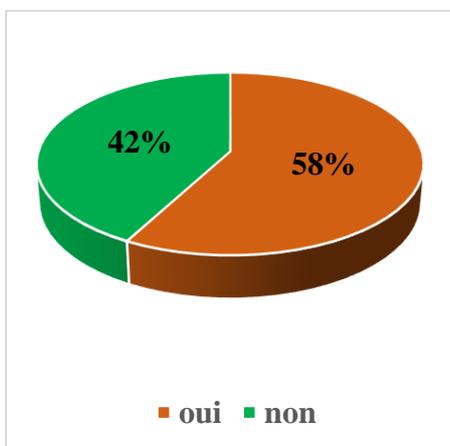


Figure 131 : évaluation de l'état sanitaire des habitants enquêtés (Source, auteur,2022)

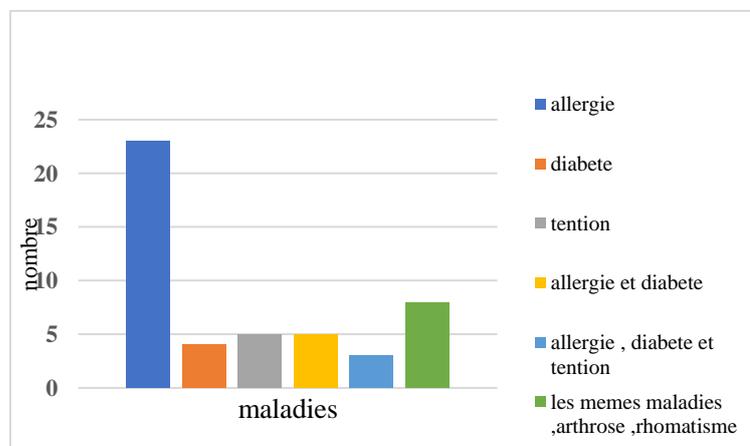


Figure 132: Nombre de maladies constatées des habitants enquêtés (source, auteurs, 2022)

1.3. Analyse factorielle des résultats

Dans l'analyse factorielle des correspondances multivariées AFCM1, on peut vérifier la cohérence interne des questions posées, si la valeur moyenne alpha de Cronbach $> 0,7$. Donc elle est $0,749 > 0,7$, ce qui confirme la fiabilité des résultats. Pour la deuxième condition de satisfaction des résultats, un pourcentage de 94,9 % d'inertie représente le pourcentage des deux facteurs importants dégagés de l'ensemble des facteurs multivariés analysés (tableau 32).

Tableau 32: représentation de alpha de Cronbach dans le récapitulatif des modèles de AFCM1 en SPSS (source auteur, 2023)

Récapitulatif des modèles				
Dimension	Alpha de Cronbach	Variance représentée		
		Total (Valeur propre)	Inertie	% de la variance
1	,790	2,715	,543	54,304
2	,634	2,028	,406	40,554
Total		4,743	,949	
Moyenne	,723^a	2,371	,474	47,429

Pour voir les variables les plus pertinentes dans cette analyse, on s'intéresse au graphe de mesures de discrimination (figure 133), qui montre que les deux variables les plus pertinentes et les plus significatives dans notre recherche sont l'état de confort des habitants (dimension 1), les maladies chroniques (dimension 2), parce qu'elles sont les dimensions les plus éloignées du centre. Pour déterminer le lien entre les différentes variables, on s'intéresse aussi aux angles entre les différentes dimensions tracées dans le graphe, dont plus l'angle est resserré, plus la corrélation est significative. On peut donc tirer de ce graphe une corrélation importante entre l'état thermique des habitants et l'apparition des maladies chroniques, ainsi qu'une forte corrélation entre le confort d'hiver et l'effet sur la santé.

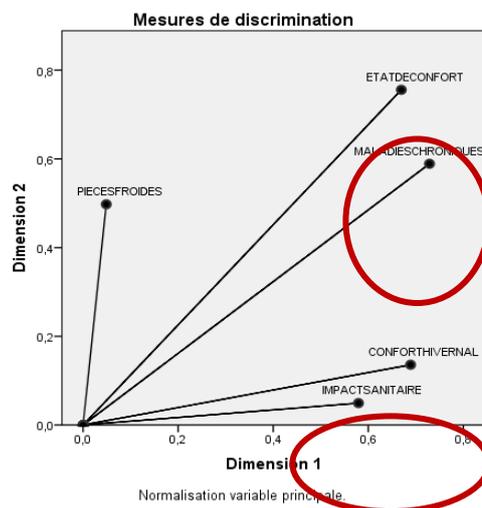
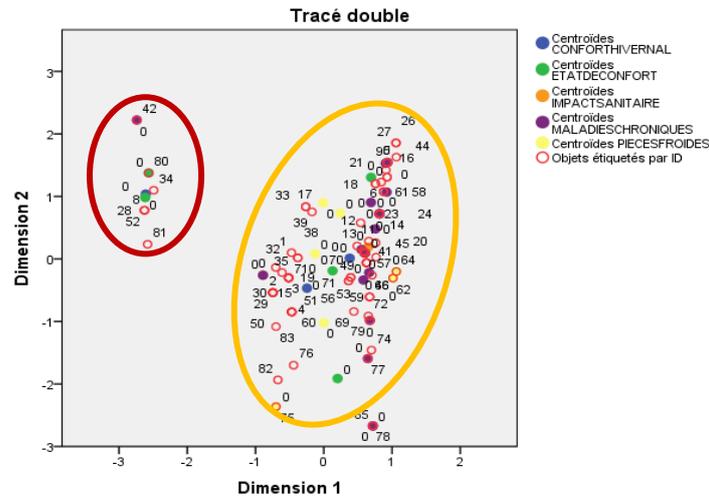


Figure 133 : mesure de discrimination de l'analyse des correspondances multivariées AFCM1 (source auteur, 2023)

Le double tracé de l'analyse factorielle multivariée des correspondances (AFCM1) présenté dans la figure 134, concerne la variable du confort thermique des habitants pendant la période hivernale (V1), leur état de confort (V2), l'impact sur la santé (V3), les pièces froides (V4) et les maladies chroniques (V5), montre deux zones des dimensions qui donnent un aperçu de la perception des habitants sur les différentes variables croisées. La première zone en jaune contient la majorité des variables croisées, ce qui indique une corrélation positive entre les

différentes variables mentionnées, et par conséquent, on peut dire que le manque de confort thermique ou un mauvais état thermique des habitants en hiver influe sur leurs qualités sanitaires et provoque la propagation des maladies chroniques.



Cependant, l’AFCM2 de la variable confort thermique pendant la période estivale (V6), leur niveau de confort (V2), l’impact sanitaire (V3) et l’apparition des maladies chroniques (V5), montre deux regroupements des dimensions, l’une en jaune avec un nombre important d’identifiants (ID), signifiant une forte convergence positive entre la variable qui concerne l’état de confort thermique des résidents en période estivale et leurs situations sanitaires. Ce qui explique que plus les habitants ressentent l’inconfort thermique, plus leur situation sanitaire est dégradée, plus les maladies chroniques apparaissent. L’autre groupe en rouge illustre la minorité des identifiants qui sont satisfaits par leur état thermique (figure 135).

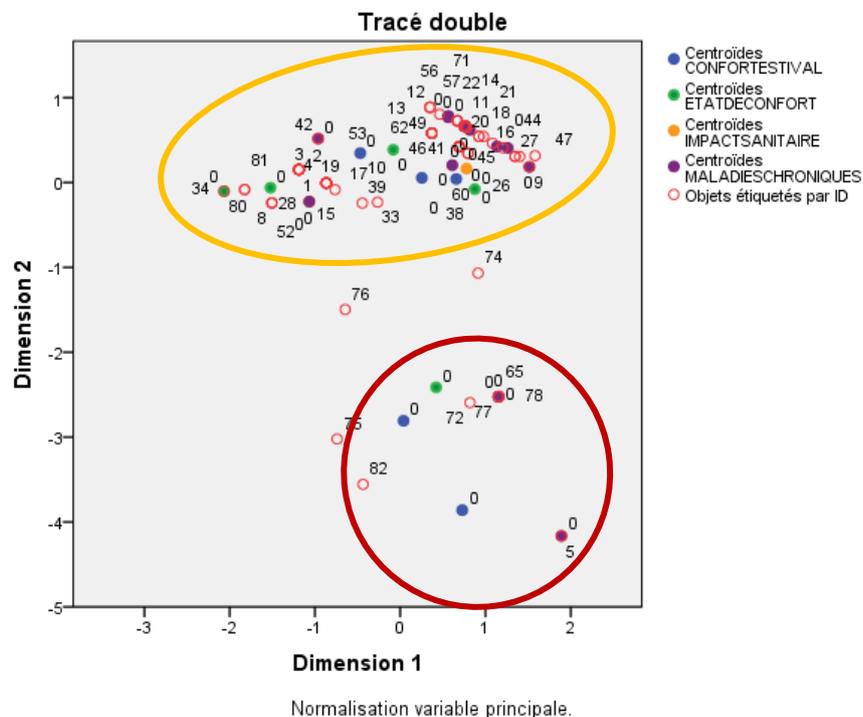


Figure 135 : Analyse factorielle des correspondances multivarié AFCM2 de V6, V2, V3, V5 (source auteur, 2023)

L'analyse factorielle des correspondances multivariées AFCM3 des variables suivantes montre une valeur moyenne alpha de Cronbach égale à 0,730 > 0,7, ce qui signifie la satisfaction des résultats. D'autre part, une valeur de 74,3 % concerne le total d'inertie qui est assez satisfaisant pour valider la satisfaction des résultats (tableau 33).

Tableau 33: représentation de alpha de Cronbach dans le récapitulatif des modèles de AFCM3 en SPSS (source auteur, 2023)

Récapitulatif des modèles				
Dimension	Alpha de Cronbach	Variance représentée		
		Total (Valeur propre)	Inertie	% de la variance
1	,730	2,402	,480	48,039
2	,297	1,311	,262	26,220
Total		3,713	,743	
Moyenne	,577 ^a	1,856	,371	37,129

Le graphe de mesure de discrimination dans ce deuxième croisement des variables montre que les deux variables les plus pertinentes et les plus significatives sont la consommation énergétique (dimension 1), les frais de consommation (dimension 2) parce qu'elles sont les dimensions les plus éloignées du centre. On peut aussi tirer de ce graphique une corrélation importante entre la consommation énergétique, les frais de consommation et le système de chauffage, ainsi qu'une forte corrélation entre l'état de confort et le système de climatisation (figure 136).

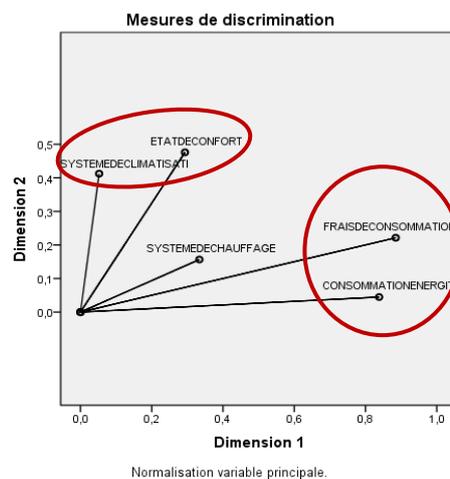


Figure 136 : mesure de discrimination de l'analyse des correspondances multivariées AFCM3 (source auteur, 2023)

D'après le graphe de l'AFCM3 (figure 137) illustre l'analyse croisée de consommation énergétique V7, l'état de confort V2 et les frais de consommation V8, on remarque une corrélation positive entre la majorité des variables analysées avec la dimension 1 qui concerne la consommation énergétique sur l'axe X (voir la zone jaune) ce qui confirme que l'état de confort dégradé provoque un excès de consommation énergétique et de frais de consommation plus élevée, cette information est confirmée par la corrélation positive des différentes variables déjà citée avec la dimension 2 qui concerne l'état de confort thermique des habitants (zone bleue).

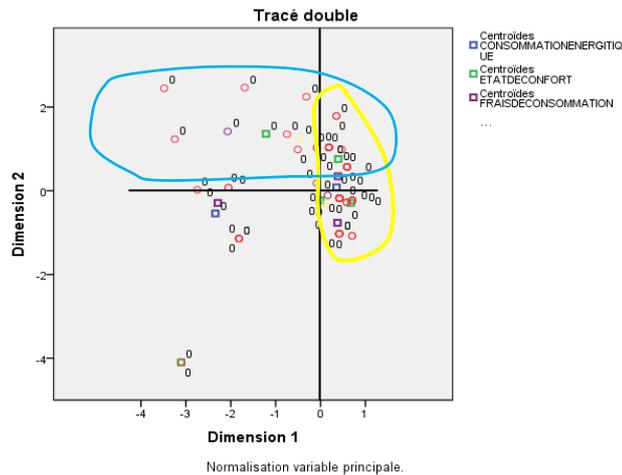


Figure 137 : Analyse factorielles des correspondances multivarié AFCM3 de V2, V7, V8 (5source auteur, 2023)

1.4.Synthèse des résultats de l'enquête

D'après le traitement des données de l'enquête et l'interprétation des cartes factorielles des correspondances multivariées, on constate que :

- Il y a une corrélation positive entre l'état de bien-être thermique, la surconsommation énergétique et les frais de consommation dont le manque de confort thermique provoque un excès de consommation énergétique à travers l'utilisation des systèmes de chauffage et de refroidissement et par la suite les frais des factures plus élevés.
- La présence de l'inconfort thermique pour les habitants enquêtés dans les deux périodes hivernale et estivale, mais il reste un peu tolérable en été. Cette situation alarmante de l'état thermique des résidents influence sur leurs qualités sanitaires, dont on trouve une forte propagation des maladies chroniques ; cela est bien confirmé par la méthode AFCM.

2. Interprétation et des résultats de l'investigation quantitative

2.1.Analyse des résultats de mesurage en hiver

Les résultats obtenus par la prise de mesures pendant la période froide sont représentés dans les figures ci-dessous pour les quatre cas d'étude : appartements N°94(A), N°96(B), N°109(C) et N°112(D). Les figures illustrent les températures mesurées pendant la semaine type de la période hivernale (le 13/01/2022). Dont la vitesse de l'air mesurée dans les différents appartements est située dans l'intervalle de 0,1 m/S et de 0,2 m/S, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable.

Résultats de mesure de l'appartement A (N°94) à en RDC

La figure 138 illustre la température ambiante de l'appartement A. Le graphe (a) représente les températures intérieures de la chambre (orienté Ouest) et le graphe (b) représente les températures intérieures du séjour (orienté Ouest) en hiver.

La lecture des graphes ci-dessous montre que les valeurs de la température extérieure (Text) sont faibles et présentent de fortes amplitudes qui varient entre un minimum de 5,5 °C à 4 h du matin et un maximum de 19 °C à 15 h. La température intérieure des pièces 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 soit dans leurs lieux habités.

On remarque que les valeurs des températures ambiantes (Ta) de la chambre dans le graphe (a) et du séjour dans le graphe (b) sont supérieures à la température externe, et que la courbe des températures intérieures suit la courbe des températures extérieures avec un léger déphasage de 5 h, de 14 h jusqu'à 19 h.

Mais elles restent toujours inconfortables, varient entre 9,8°C et 15,9°C pour la chambre et entre 9,1°C et 15,4°C pour le séjour, qui sont au-dessous de la plage de confort thermique selon la norme de confort adaptatif proposée (ACS) pour la norme ASHRAE 55, applicable aux bâtiments naturellement ventilés, qui est dans l'intervalle de 20°C à 23,6°C. Cette situation insupportable est en raison que les pièces n'arrivent pas à emmagasiner assez de chaleur pour la restituer dans les heures froides à cause du manque de l'isolation thermique et de l'utilisation des matériaux à faible performance thermique.

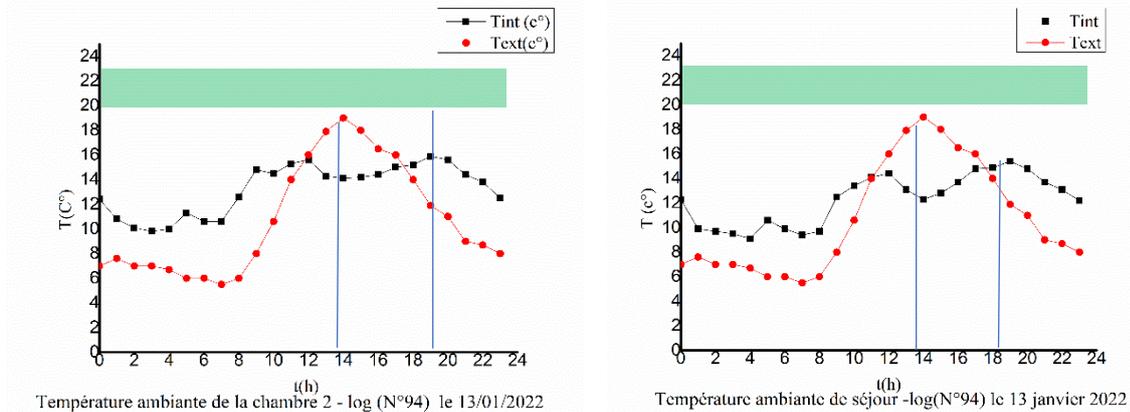


Figure 138 : Graphes de températures ambiantes mesurées la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022, appartement A (Source : Auteur, 2022)

Résultats de mesure de l'appartement B (N°96) en RDC

La figure 139 présente la température ambiante de l'appartement B, dont le graphe (a) est de la chambre (orienté Est) et le graphe (b) est du séjour (orienté Est) en hiver.

Les valeurs de la température extérieure (Text) ressentent de fortes amplitudes, qui changent entre 5,5 °C et 19°C. On remarque que les valeurs des températures ambiantes intérieures (Taint) dans les deux graphes suivent le même rythme que celle de l'extérieur, soit une différence d'environ 06°C. D'autre part, on voit qu'elles augmentent lentement, mais qu'elles restent toujours des températures inconfortables (au-dessous de la plage de confort thermique). Ces valeurs s'expliquent par la situation de cet appartement sur plancher froid constitué de la dalle en béton en RDC et par le manque d'isolation thermique.

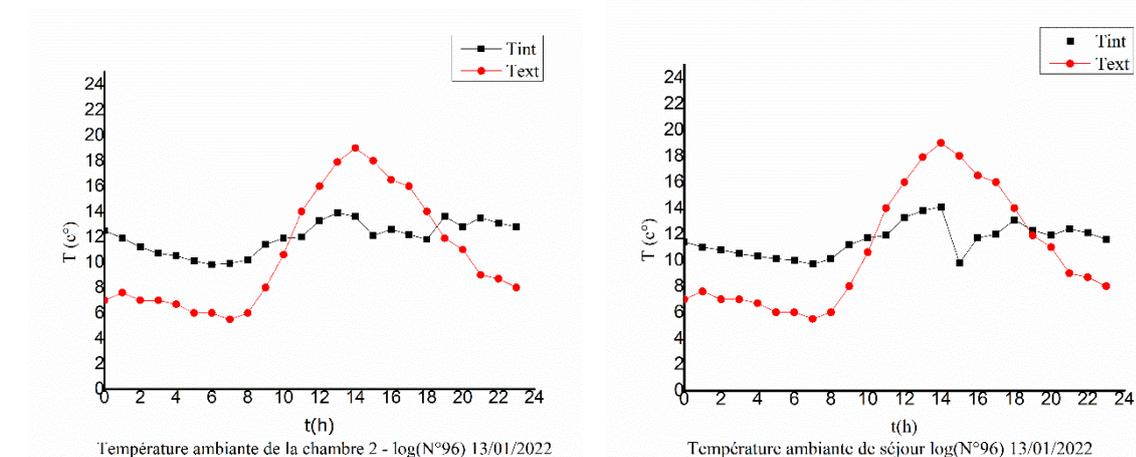


Figure 139 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022 appartement B (Source : Auteur, 2022)

Résultats de mesure de l'appartement C (N°109) à l'étage R+5

La figure 140 présente la température ambiante de l'appartement C. Le graphe (a) représente la chambre (orientée Ouest) et le graphe (b) représente le séjour (orienté Ouest) en hiver. Nous constatons que les courbes de températures intérieures des deux pièces suivent l'évolution des courbes des températures externes durant la matinée. Les courbes sont presque parallèles avec un écart d'environ 5 °C.

Par la suite, on remarque qu'à partir de 8 h, la température extérieure augmente au fur et à mesure que le soleil s'élève et qu'elle atteint sa valeur maximum de 19 °C à 14 h. Par contre, on trouve que les températures ambiantes intérieures augmentent lentement et qu'elles atteignent leurs valeurs maximales de 13 °C à 19 h pour la chambre et 12 °C à 17 h pour le séjour, qui sont toujours au-dessous de la température de bien-être thermique. Donc, il y a un temps de déphasage de 5 h qui ne permet pas de restituer la chaleur à l'intérieur.

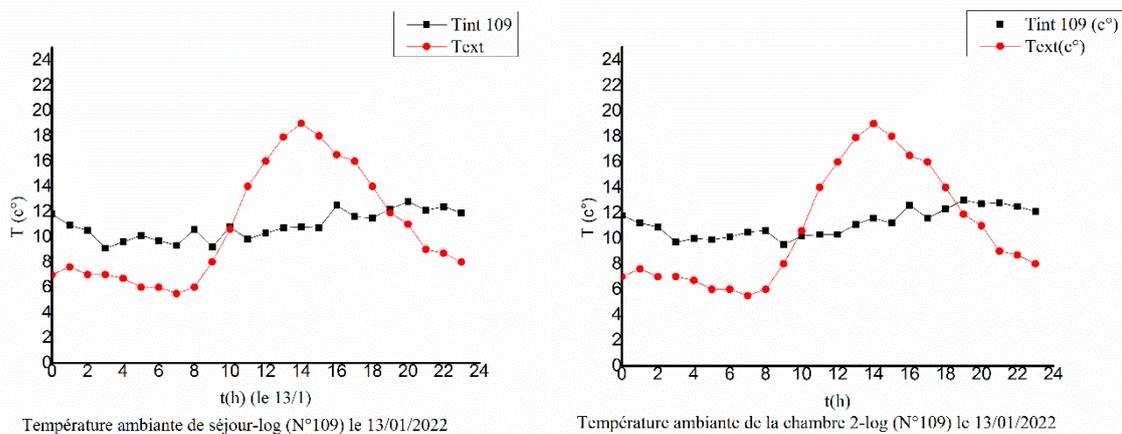


Figure 140 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022 appartement C (Source : Auteur, 2022)

Résultats de mesure de l'appartement D (N°112) à l'étage R+5

La figure 141 présente la température ambiante de l'appartement D. Le graphe (a) représente les températures intérieures de la chambre (orienté Est) et le graphe (b) représente celle du séjour (orienté Est) en hiver.

La lecture des graphes fait sortir que les courbes de température intérieure suivent celle de température extérieure, mais qu'elle augmente lentement par rapport à cette dernière. D'autre part, on remarque que les températures intérieures sont variées entre 9.1°C et 13.3°C pour la chambre et 9.5°C et 12.5°C pour le séjour. Ces intervalles sont largement inconfortables. Cela est dû au flux solaire reçu par le toit en cette saison qui n'est pas emmagasiné pour restituer la nuit aux espaces intérieurs. Ce qui induit une régulation thermique défavorable.

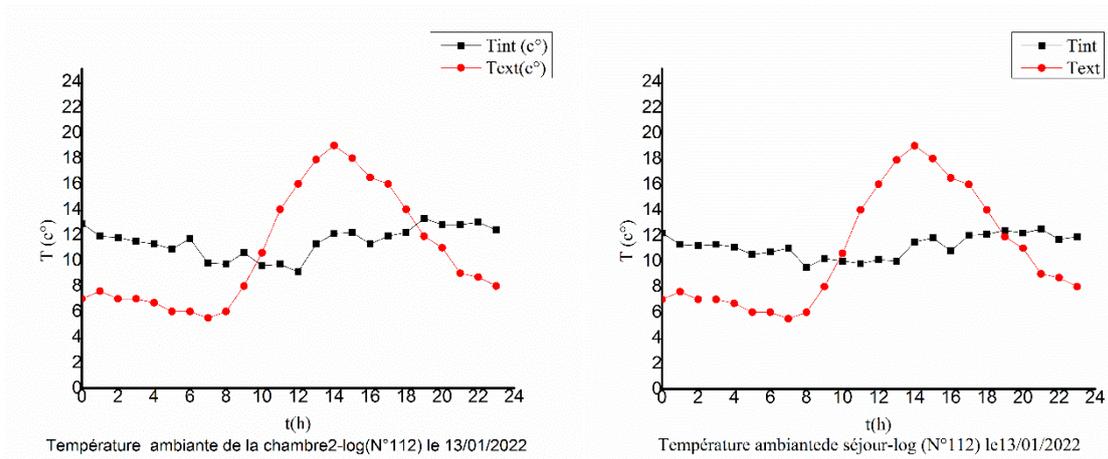


Figure 141 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 13 Janvier 2022 appartement D (Source : Auteur, 2022)

2.2.Comparaison des résultats de mesurage entre appartements en hiver

La figure 142 représentant l'humidité relative des chambres et séjours pour les quatre appartements comparés avec l'humidité relative dans la commune d'El-Bouni à Annaba, le graphe ci-dessous montre qu'il est très élevé jusqu'à 10 h du matin et à partir de 16 h après-midi. D'autre part, on trouve que les pourcentages de l'humidité relative moyenne à l'intérieur des pièces sont parallèles et stables pour tous les appartements (A, B, C et D) et qu'ils sont bas par rapport à celle de l'extérieur. Elles varient entre 50 % et 65 %, ce qui fait que le taux de l'humidité relative intérieure en hiver est acceptable. D'après Alain Liébard, pour que les pièces soient confortables, il faut que l'humidité relative atteigne une valeur entre 30 % et 70 %.

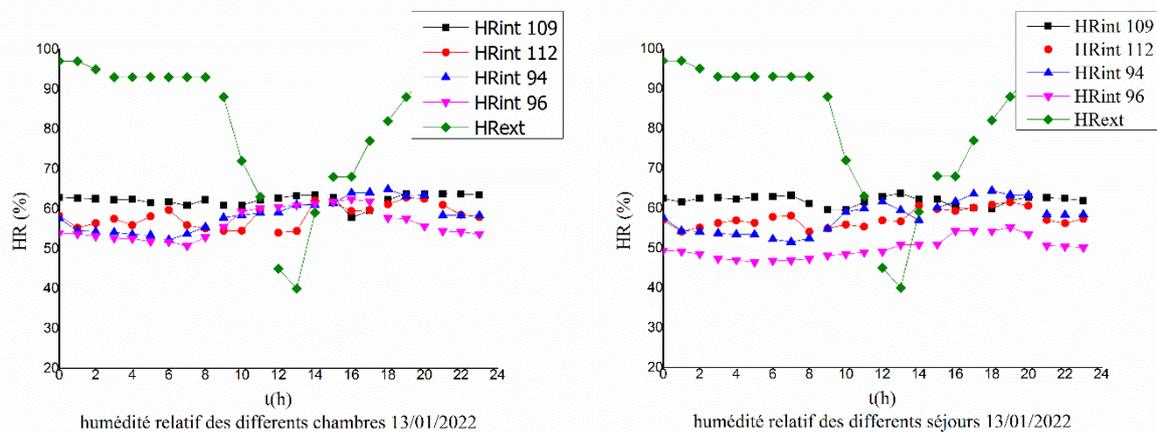


Figure 142 : comparaison des variations de l'humidité relative de la chambre (a) et le séjour (b) des différents appartements, le 13 janvier 2022, (Source auteur,2022)

D'après les résultats de la figure 143 qui présente une comparaison des températures intérieures des chambres et séjours pour les quatre appartements, on remarque que les T_i des appartements A et B en RDC sont identiques, et même les appartements de dernier étage C et D. Et que ces derniers sont plus bas que T_{int} de la RDC. On peut expliquer cette baisse de T_{int} par l'exposition directe de la toiture, sujette aux manifestations de gains et déperditions.

Dans le cas du RDC (appartements A et B), les usagers ont souligné qu'en plus de l'effet de la paroi froide en hiver, il y a aussi la sensation du sol froid même quand il fait chaud, ce qui

contribue à augmenter leur sensation d'inconfort en saison froide, et cela est bien apparu par ces basses températures pas loin du T_i de dernier étage (appartements C et D) malgré que les appartements de dernier étage ont la toiture qui est l'élément constructif majeur de déperdition

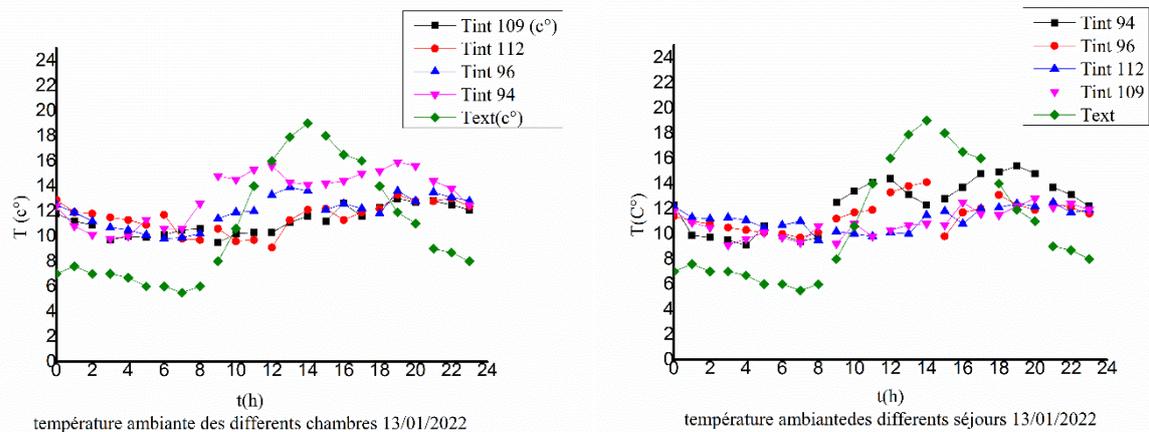


Figure 143 comparaison des variations des températures intérieures des chambres (a) et séjours (b) des différents appartements, le 13 janvier 2022, (Source auteur,2022)

2.3.Analyse des résultats de mesurage en été

Les résultats obtenus par l'établissement des mesures pendant la période chaude sont représentés dans les figures ci-dessous dans les quatre cas d'étude appartement N°94(A), N°96(B), N°109(C) et N°112(D). Les figures illustrent les températures ambiantes mesurées pendant la semaine type de la période estivale (le 5 et le 6/08/2022).

Résultats de mesure de l'appartement A (N°94) en RDC

La lecture du graphe de la figure 144 fait sortir que l'évolution de la courbe des températures à l'intérieur de la chambre et du séjour (orientée Ouest) suit celle des températures extérieures. Ou elle atteint sa valeur maximale de 30,9°C pour la chambre et 29,9°C pour le séjour à 17 h et sa valeur minimale de 26,5°C pour la chambre et 26,4°C pour le séjour à 5 h heures. La température de l'air extérieur présente une amplitude de 12,5 °C.

De 5 h jusqu'à 17 h, la courbe de température intérieure évolue lentement où elle varie entre 26,5°C et 30,9°C pour la chambre et 26,4°C et 29,9°C pour le séjour avec une amplitude de 4,3 °C sous l'effet de la radiation solaire directe et de l'inertie faible de la paroi exposée sur la façade Est.

Ces valeurs sont entrées dans la plage de la température de bien-être thermique, qui varie entre 24,6 °C et 28,3 °C selon la norme de confort adaptatif pendant la journée, sauf la période de 13 h à 18 h où on trouve que les valeurs ne sont pas loin de la plage du confort souhaité.

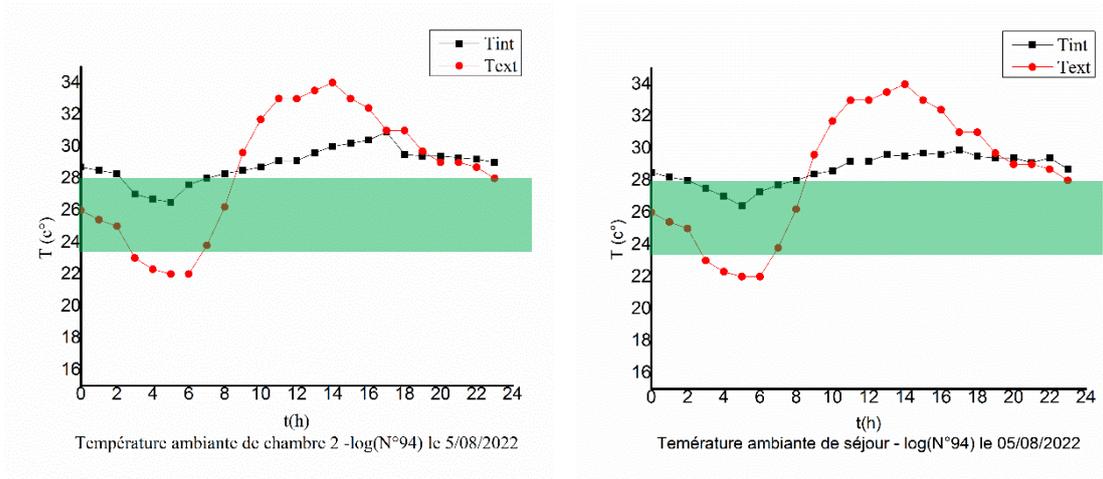


Figure 144 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 5 Aout 2022 appartement A (Source : Auteur, 2022)

Résultats de mesure de l'appartement B (N°96) à l'étage RDC

La figure 145 présente la température ambiante de l'appartement B. Le graphe (a) de la chambre (orienté Est) et le graphe (b) du séjour (orienté Est) pendant l'été.

L'analyse des résultats des pièces orientées vers l'Est montre que la température intérieure suit la température externe, malgré qu'elle augmente et diminue lentement. De plus, le maximum de la température intérieure est de 30,7 °C pour la chambre et 30,4 °C pour le séjour enregistré à 13 h. Cette augmentation s'explique par l'augmentation de la température extérieure qui atteint son maximum à 34,00 °C à 14.00 heures, et par la restitution de la chaleur emmagasinée par la paroi de la façade exposée « surface externe » aux rayons solaires du matin, plus les gains solaires entrant par les fenêtres.

La température de l'air allant de 24,6 °C à 28,3 °C reste confortable pendant la journée d'après les limites calculées selon la norme ASHRAE 55 Mise à part la période de 10 h jusqu'à 18 h où on trouve un léger écart (2.4° C) par rapport à la plage de confort thermique

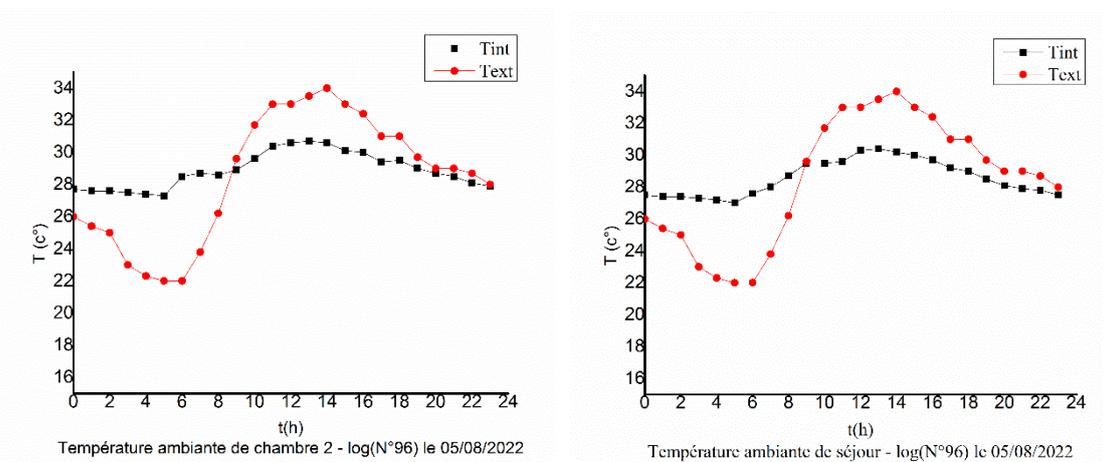


Figure 145 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 5 Aout 2022 appartement B (Source : Auteur, 2022)

Résultats de mesure de l'appartement C (N°109) à l'étage R+5

La figure 146 illustre la température ambiante de l'appartement C. Dont le graphe (a) présente la chambre (orientée Ouest) et le graphe (b) présente le séjour (orienté Ouest) pendant l'été.

Durant cette journée, le graphe montre une augmentation lente de la température intérieure à partir de 9 h du matin jusqu'à 18 h où elle atteint une valeur maximum d'environ 31 °C après que la température extérieure atteinte 31 °C l'après-midi. Cela s'explique par la restitution de la chaleur stockée durant le jour vers l'intérieur par la paroi verticale ainsi que l'horizontale, ce qui engendre une augmentation de la température intérieure par rapport à celle extérieure pendant la période nocturne.

D'autre part, on trouve que ces températures intérieures sont à la limite de la zone confortable de mi-nuit à 9 h et en dehors de la plage de confort calculée à partir de 10 h du matin jusqu'à 00 h à cause du problème de surchauffe de la façade Ouest.

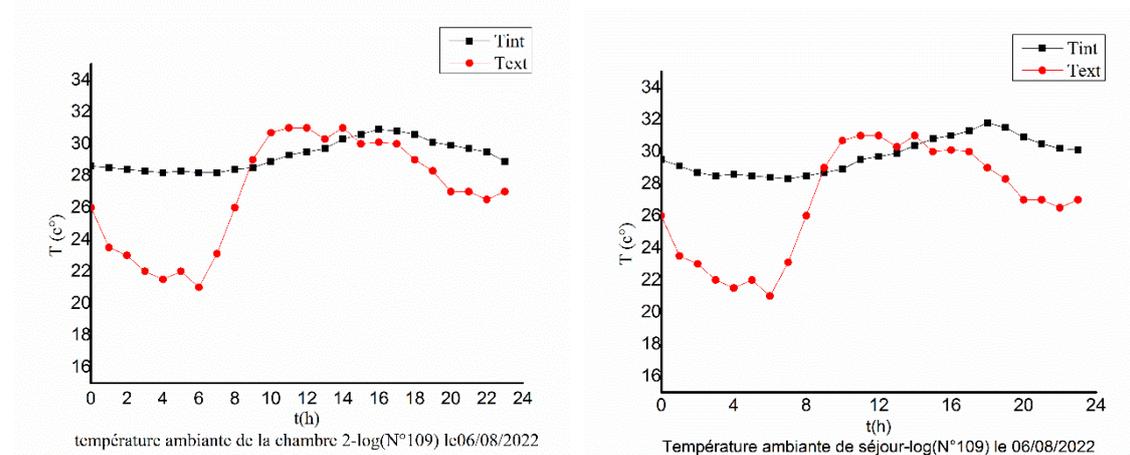


Figure 146 Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 6 Aout 2022 appartement C (Source : Auteur, 2022)

Résultats de mesure de l'appartement D (N°112) à l'étage R+5

La figure 147 présente la température ambiante de l'appartement D. Le graphe (a) représente les températures intérieures de la chambre (orienté Est) et le graphe (b) représente les températures intérieures du séjour (orienté Est) pendant l'été.

Le graphe ci-dessous montre que la température intérieure reste stable pendant le matin, elle commence à s'élever doucement à partir de 9 h du matin et elle atteint sa valeur maximale de 32,5°C dans la chambre et 31,9°C dans le séjour à 14 h, à cause des rayonnements solaires directs de la façade Est. On explique cette augmentation par rapport à celle de l'extérieur pendant la période nocturne par la restitution de la chaleur par la toiture et les murs extérieurs.

De plus, on voit que la température d'air intérieure est à la limite maximale de la température du confort thermique calculée la matinée jusqu'à 9 h, mais le reste de la journée, elle devient en dehors de la plage souhaitée.

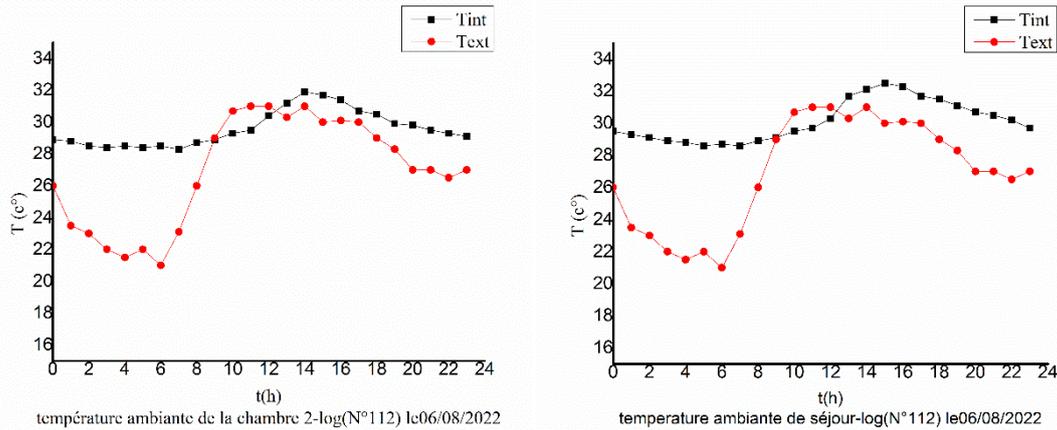


Figure 147 : Graphes de températures ambiantes mesurée la chambre (a) et le séjour (b), le 6 Aout 2022 appartement D (Source : Auteur, 2022)

2.4. Comparaisons des résultats de mesurage entre appartements en été

La figure 148 illustre le taux d'humidité relative journalière de El-Bouni et les différents appartements dont le graphe (a) présente les chambres et le graphe (b) présente les séjours pendant l'été.

Durant la période estivale, le taux d'humidité dans l'air est un facteur très important qui influe sur notre sensation de bien-être ou d'inconfort. Contrairement aux conditions hivernales, l'air extérieur en été est généralement aussi humide que l'air intérieur. Par conséquent, la ventilation des pièces habitées par l'ouverture des portes et des fenêtres n'aura pas un grand effet sur le taux d'humidité de ces espaces.

D'après les graphes suivants, on remarque que les taux de l'humidité relative des appartements A (N°94) et B (N°96) situés en RDC sont entre 50 % et 70 %, ils sont dans l'intervalle recommandé et affectent un peu la sensation de confort thermique. Par contre, pour les appartements C (N°109) et D (N°112) du dernier étage, on trouve que le taux de l'humidité relative intérieure varie entre 63 % et 76 % ou qu'elle dépasse 70 % à 10 :00 h, ce qu'explique la hausse de température intérieure qui commence à évoluer sur la plage de la température de confort à partir de 9 h et que l'ambiance thermique interne est très inconfortable pour les appartements du dernier étage .

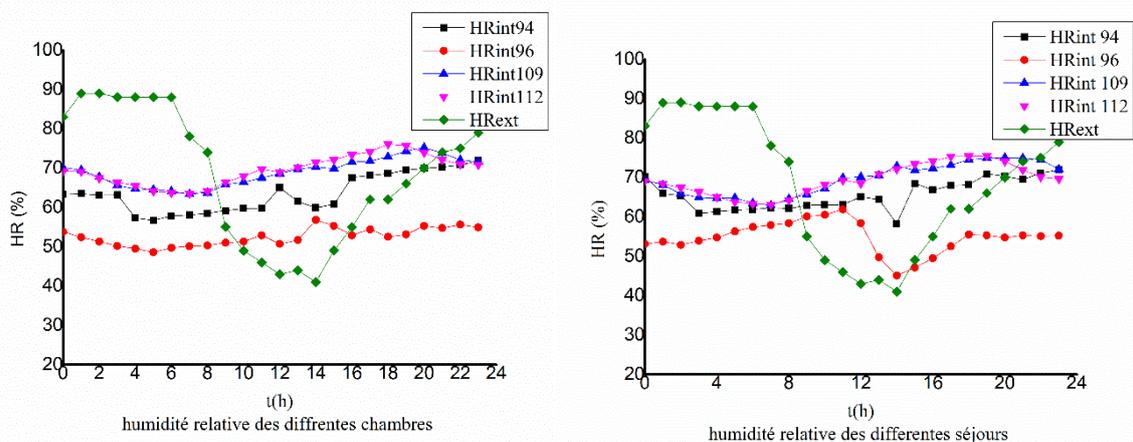


Figure 148 : comparaison des variations de l'humidité relative de la chambre (a) et le séjour (b) des différents appartements, le 05 aout 2022, (Source auteur,2022)

La figure 149 ci-dessous montre une comparaison de température de l'air intérieur pour les quatre appartements dont le graphe (a) présente les chambres et le graphe (b) présente les séjours pendant l'été.

En se basant sur les graphes ci-dessous, on trouve que les différentes courbes sont parallèles et on note que les profils des températures de l'air intérieur enregistrées des appartements C (N°109) et D (N°112) en dernier étage sont plus élevés que les logements A (N°94) et B (N°96) en RDC. Cela est expliqué par l'influence des températures de l'air extérieur qui agissent sur le flux de chaleur à travers la dalle. Selon Liébard et De Herde, les apports thermiques de la toiture peuvent représenter jusqu'à 2/3 des transferts de chaleur vers l'intérieur de l'habitat.

De même, l'effet de la paroi horizontale et de l'orientation de la paroi extérieure du bâtiment et l'absence de masques environnementaux favorisent l'absorption des apports solaires durant la journée ; ces résultats sont déjà confirmés par bon nombre de chercheurs (Givoni., Yakubu et Sharples 1992, Louafi. 2005).

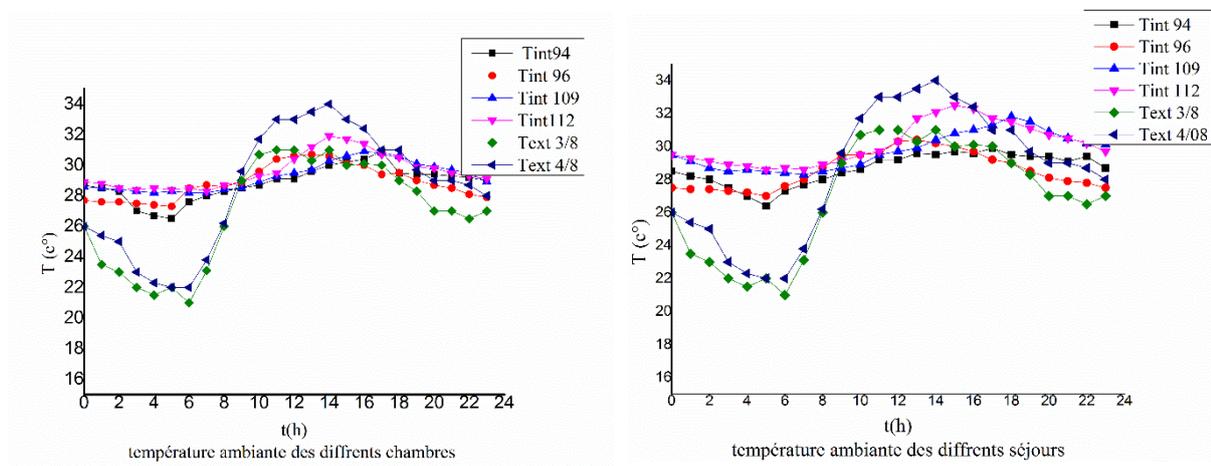


Figure 149 : comparaison des variations des températures intérieures des chambres (a) et séjours (b) des différents appartements, le 5 et 6/aout 2022, (Source auteur,2022)

2.5.Synthèse des résultats de mesurage

Globalement, l'étude quantitative fait sortir que le comportement thermique des appartements étudiés est inacceptable pendant la période hivernale et que les résultats des températures mesurés en, hiver sont en dehors de la plage de température du confort thermique adaptatif proposé pour la norme ASHRAE 55 qui varie entre 20 et 23,6 °C, ce qui provoque l'inconfort thermique absolu. En été, malgré les résultats des températures de l'air intérieur sont situées aux limites maximales de Tconf ou s'approchent d'elles. Mais elles restent tolérables par rapport à la période hivernale.

D'autre part, le confort thermique est compromis dans les quatre appartements, mais les appartements du dernier étage C et D demeurent les plus affectés jour et nuit, quelle que soit la période. Celle-là est due aux déperditions assez importantes en hiver et la conséquence de la paroi horizontale, qui est fortement exposée à l'irradiation solaire très intense dans le mois d'aout. En outre, la courbe de l'humidité relative interne dépasse 76 % dans la période chaude, dont cette valeur est suffisamment élevée pour créer une ambiance thermique inconfortable. Cela est confirmé par l'étude d'Amer (2006) : En été, la chaleur provient principalement des toits des bâtiments.

En outre, la loggia vitrée ne peut pas garantir un taux élevé de renouvellement de l'air, ce qui rend l'évacuation de la chaleur récupérée et le refroidissement naturel du bâtiment difficile. On peut déduire aussi que l'enveloppe du bâtiment, ne possède pas une bonne inertie thermique, et que l'épaisseur de 30 cm ne protège pas le bâtiment des agents climatiques externes, et que le matériau utilisé pour la réalisation des murs extérieurs ne possède aucune isolation thermique.

Conclusion

Nous retenons de ce chapitre l'existence de problèmes de l'inconfort thermique pour les habitants de la cité 172 logements à Bouzaaroura, dont les logements étudiés, présentent des insuffisances en matière de prise en charge du bien-être thermique à l'intérieur, surtout dans la période froide, où la majorité des enquêtés ont déclaré que le froid dans leurs habitations est insupportable. Par contre, leurs réponses en termes d'inconfort thermique restent tolérables avec 51.3% satisfaisant.

En effet, les conditions vécues par les habitants enquêtés dans leurs lieux habités sont déterminées par l'enquête sur terrain, qui met en évidence l'état de confort thermique. Cet état est confirmé à travers l'utilisation de la méthode d'analyse factorielle des correspondances multivariées. De même, il est validé par la campagne de mesures et se résume par :

- La température de l'air en dehors de la zone du confort calculée est la première manifestation de l'inconfort thermique, notamment en hiver où les habitants souffrent de très basses températures dans leurs appartements. Ce qui nous impose de chercher des actions d'adaptation pour améliorer leurs confort.
- Le taux d'humidité élevé en été est la deuxième manifestation de l'inconfort thermique selon l'examen des résultats de mesures.
- Une faible inertie thermique de l'enveloppe du bâtiment.
Le problème de surchauffe en été qui résulte des températures un peu élevées pendant la journée.

CHAPITRE 4 : TRAITEMENT DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES

Introduction

Ce chapitre est consacré aux résultats de l'étude et à l'optimisation de l'utilisation d'un isolant propre et naturel à travers des essais expérimentaux et par des simulations numériques à l'aide du logiciel Design Builder. Il présente dans sa première partie l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus depuis les essais en laboratoire (CNERIB). Ensuite, c'est la deuxième partie qui concerne les résultats de la simulation à l'état standard des appartements choisis. Par la suite, une autre interprétation des résultats à l'état optimisé afin de déterminer l'impact de l'isolation naturelle sur l'état thermique du bâtiment et de l'occupant.

1. Résultats des essais en laboratoire

Détermination de la densité apparente, la conductivité thermique et la chaleur spécifique

Les masses volumiques des différentes éprouvettes préparées sont calculées et présentées dans les tableaux ci-dessous :

Échantillon N°1 : La Bouse de vache pure 500g

Tableau 34 : représentation de la masse volumique de la BV1 (source auteur ,2023)

Poids massique	Éprouvette 1	Éprouvette 2	Éprouvette 3
Masse sèche (g)	161	214	125
Volume (cm ³)	16*7*2	14*7*2.5	14*7*2.5
Masse volumique (kg/m ³)	718.7	873.4	510.2

Échantillon N°2 : La Bouse de vache pure 300g

Tableau 35 : représentation de la masse volumique de la BV2 (source auteur ,2023)

Poids massique	Éprouvette 1	Éprouvette 2	Éprouvette 3
Masse sèche (g)	92	95	104
Volume (cm ³)	14*7*1.5	14.5*7*1.5	14.5*7*1.5
Masse volumique (kg/m ³)	625.8	758.48	683.08

Échantillon N°3 : La Bouse de vache 300g + le plâtre 37g (1/8 du poids)

Tableau 36 : représentation de la masse volumique de la BVpl (source auteur ,2023)

Poids massique	Éprouvette1	Éprouvette 2	Éprouvette 3
Masse sèche (g)	151	150	152
Volume (cm ³)	14.5*7*2	15*7*2.5	14*7*2
Masse volumique (kg/m ³)	743.84	571.42	775.51

Échantillon N°4 : La Bouse de vache 200g + le plâtre 25g (1/8 du poids) + tige de roseau (deux étages)

Tableau 37 : représentation de la masse volumique de la BV3 (source auteur ,2023)

Poids massique	Éprouvette1	Éprouvette 2	Éprouvette 3
Masse sèche (g)	144	133	147
Volume (cm ³)	15.5*7*3	15.5*7*3	15*7.5*3
Masse volumique (kg/m ³)	442.39	408.6	435.55

Échantillon N°5 : La Bouse de vache 200g + le plâtre 25g (1/8 du poids) +feuilles de roseau coupées 25g

Tableau 38 : représentation de la masse volumique de la BV4 (source auteur ,2023)

Poids massique	Éprouvette1	Éprouvette 2	Éprouvette 3
Masse sèche (g)	133	130	119
Volume (cm³)	15.5*8*2	15*7.5*2	15*7.5*1.7
Masse volumique (g/cm³)	536.29	577.77	622.22

Échantillon N°6 : La Bouse de vache 225g + le plâtre 28g (1/8 du poids) +feuilles de roseau coupées 50g

Tableau 39 : représentation de la masse volumique de la BV5 (source auteur ,2023)

Poids massique	Éprouvette1	Éprouvette 2	Éprouvette 3
Masse sèche (g)	183	169	/
Volume (cm³)	15.5*8*2	15*7.5*2	/
Masse volumique (g/cm³)	737.9	751.1	/

Les résultats de la densité, de la conductivité thermique, de la chaleur spécifique des échantillons préparés sont présentés dans le tableau 40. D'après la comparaison des résultats de la masse volumique calculée avec celle de conductivité thermique des différents échantillons obtenus, on remarque l'influence de la densité des spécimens étudiés sur la conductivité thermique, donc on constate que leur conductivité thermique apparente augmente tant que la densité apparente.

À titre d'exemple, on a observé que pour une densité d'environ 400 kg/m³, la valeur de la conductivité thermique est d'environ 0,16 W/m.k et qu'elle passe à 0,388 W/m.k avec une augmentation de densité jusqu'à 873,4 kg/m³. Ceci est dû au fait que, d'une part, les pores des matériaux se referment en air, ce qui diminue leur conductivité thermique par rapport à celle des matrices solides. D'autre part, plus un matériau est compact (dense), plus il contient de particules élémentaires conductrices d'énergie thermique. Ce résultat est conforme avec les études de (Sotehi, 2010) et (Muthuraj,2019).

En outre, les échantillons sont examinés dans la salle de mesure dans leurs conditions environnementales naturelles de température et d'humidité. Dans cet état, leur teneur en eau n'est pas nulle. En effet, la présence de cette teneur en eau résiduelle se vérifie lorsque nous mettons les échantillons à l'étuve. Par conséquent, les échantillons maintenus à l'extérieur ont pu capter la vapeur d'eau de l'atmosphère environnante, ce qui influe sur le résultat de conductivité thermique.

De même, le tableau 40 présente les résultats des mesures de conductivité thermique réalisées à une température d'essai de 24,2 °C sur les différents échantillons élaborés. Pour chaque isolant, trois résultats de mesure (mesure 1), (mesure 2) et (mesure 3) est donné. Dont les trois éprouvettes de chaque échantillon présentant des valeurs de conductivité thermique similaires confirment la validité des résultats du test de laboratoire. Les conductivités thermiques mesurées pour une température de 24,2 °C sont respectivement de 0.380, 0,388 et 0,306 W/m.K pour la BVP1, et de 0,268, 0,278 et 0,270 W/m.K pour la BVP2. Elles sont respectivement de 0,239, 0.235 et 0,242 W/m.K pour la BVPL, et de 0,165, 0.176 et 0.168

W/m.K pour la BV3, tandis qu'elles sont 0,305, 0,304, 0,323 W/m.K pour la BV4 et 0,264, 0,268 W/m.K pour la BV5.

Les différences obtenues en termes de conductivité thermique d'un isolant à l'autre sont observées, cela est dû aux différentes compositions de chaque spécimen. Le BV3 en particulier a des valeurs de conductivité plus faibles que les autres matériaux, ce qui confirme la performance thermique de la bouse de vache avec les tiges de roseau. Ce résultat conforme à l'étude menée par Hamza (2017) qui montre que l'addition de la bouse de vache augmente la porosité ouverte.

C'est ce qui a eu pour effet de diminuer la densité apparente et d'améliorer les propriétés d'isolation thermique de l'argile. Bamogo en 2020 a trouvé que la conductivité thermique des enduits terreux est réduite par l'utilisation de la bouse de vache grâce à la fibre cellulosique à caractère isolante thermique et les études menées par Mahamat en 2015 qui confirment la diminution significative de la conductivité thermique du matériau à base de la bouse de vache par rapport au matériau à base d'argile simple.

De plus, on a remarqué que la conductivité thermique des BV5 est diminuée par rapport à celle de BV4 grâce à l'augmentation du dosage des feuilles de roseau coupées, ce qui explique l'influence des fibres naturelles sur la diminution de conductivité thermique et la performance de l'isolant thermique.

Les résultats mesurés de la chaleur massique des six isolants étudiés sont présentés dans le (Tableau 40). Ils sont respectivement de 1395.9, 1370.4 et 983.2 (j/kg.k) pour la BVP1 qui est proche de celle du polystyrène expansé et de la mousse, ce qui confirme la bonne capacité thermique de la matière pure. Les BVP2 et BV3 ont des valeurs de chaleur massique assez similaires et plus faibles que les autres. Elles se varient entre 644.4 et 699.9 j/kg.k et cela est dû aux faibles densifications des deux échantillons. On constate notamment que la chaleur massique de la BVpl, BV4, et BV5 est proche, elles varient entre 937 et 1076.7 (j/kg.k).

Étant donné que les deux isolants sont fabriqués à partir de bouse de vache et de 1/8 de plâtre et que l'ajout de feuilles de roseau n'a aucun impact sur l'augmentation de la chaleur spécifique, il semble logique que ces valeurs de chaleur massique soient identiques.

Tableau 40: tableau récapitulatif des différentes caractéristiques thermique des échantillons élaborés (source Auteur, 2023)

Echantillons	Densité (kg/m ³)	N° éprouvettes	Conductivité thermique λ (W/m.k)	Chaleur spécifique (j/kg.k)
(BVP1)	718.7	Mesure 1	0,380	1395,9
	873.4	Mesure 2	0,388	1370,4
	510.2	Mesure 3	0,306	983,2
(BVP2)	625.8	Mesure 1	0,268	698,0
	758.48	Mesure 2	0,278	699,9
	683.08	Mesure 3	0,270	670,2
(BVpl)	743.84	Mesure 1	0,239	1011,9
	751.42	Mesure 2	0,235	1022,8
	775.51	Mesure 3	0,242	1012,9
(BV3)	442.39	Mesure 1	0,165	645,7
	408.6	Mesure 2	0,176	738,2
	435.55	Mesure 3	0,168	644,4
(BV4)	536.29	Mesure 1	0,305	937,7
	577.77	Mesure 2	0,304	934,8
	622.22	Mesure 3	0,323	1076,7
(BV5)	737.9	Mesure 1	0,264	1064,0
	751.1	Mesure 2	0,268	1037,7

Capacité d'absorption d'eau par immersion partielle

Les résultats de mesure du coefficient d'absorption d'eau présentés dans le tableau ci-dessous sur l'échantillon le plus performant (BV3), (Bamogo, 2020) expliquent la bonne résistance à l'eau de la bouse de vache, d'où les enduits en terre ainsi élaborés avec cette dernière permettent de fournir des logements résistants à l'eau et offrant un bon confort thermique.

Tableau 41: Résultats des mesures des coefficients d'absorption d'eau par immersion partielle (source auteur, 2023)

$\Delta m t$ (kg/m²)	14,7	16,19	17,9	18,09	19,03	18,9	19,04	20	20,09
\sqrt{t} (h^{0,5})	0,7	1	2,82	4,12	4,47	4,89	6,32	6,7	6,92

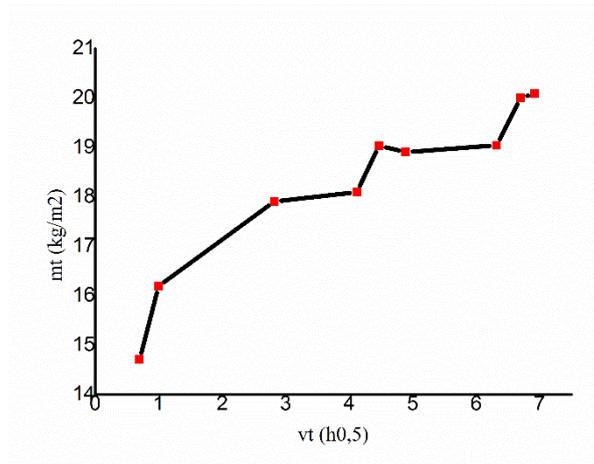


Figure 150: Détermination du coefficient d'absorption d'eau par immersion du BV3, source : auteur, 2023

Orientation au feu

Les résultats d'essai d'orientation au feu réalisés sur l'isolant le plus performant sont donnés dans le tableau 41. Ils portent deux essais avec attaque sur la surface et sur la tranche. On donne la durée de post-inflammation et l'on fait des observations visuelles lors de l'essai. Ces observations portent sur la présence ou non d'incandescence résiduelle, la formation ou non de trous, la chute ou non de débris fondus et l'atteinte ou non des bords de l'éprouvette. Les observations visuelles lors de l'essai sont les mêmes (voir tableau 42) et la figure 151 montre deux photos de l'attaque, soit sur la face (a) ou sur la tranche (b). D'après ces résultats, on confirme que cet échantillon n'a pas le risque de propagation du feu.

Tableau 42 : essais orientation de réaction à feu de l'échantillon BV3 (source auteur, 2023)

Attaque	Durée de post-Inflammation	Incandescence résiduelle	Formation de trou	Chutes ou débris fondus	Bords atteints
En surface	0s	Non	Non, observation d'une tache noire	Non	Non
En tranche	0s	Non	Non, observation d'une tache noire	Non	Non

Essai Allumabilité

Les résultats des essais d'allumabilité sont présentés dans (figure 151). Pour une attaque sur le bord et sur la surface de l'échantillon, il est noté s'il y a eu inflammation ou non, si la flamme s'est propagée à plus de 150 mm. Il est constaté que dans tous les cas, il y a eu inflammation, mais la flamme n'est pas propagée à plus de 150 mm (voir le tableau 43 et 44). Bien que la bouse de vache soit un matériau inflammable, l'isolant élaboré est intrinsèquement incombustible en raison de l'inclusion du plâtre comme liant, puisque son système lui permet de n'émettre que de la vapeur d'eau lorsqu'il est chauffé.

Tableau 43 : Résultat des essais d'allumabilité (attaque sur le bord)

	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3
Inflammation	Oui	Oui	Oui
La flamme atteint 150mm	Non	Non	Non

Tableau 44 : Résultat des essais d'allumabilité (attaque sur la surface)

	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3
Inflammation	Oui	Oui	Oui
La flamme atteint 150mm	Non	Non	Non



Figure 151: Résultats des essais d'allumabilité et à la résistance au feu par surface et tranche (source: auteur, 2023)

2. Simulation du bâtiment à l'état actuel

2.1. Analyse et interprétation des résultats en hiver

Résultats de simulation de l'appartement A (N°94) en RDC

La figure 152 illustre la température opérative de la chambre 2 et le séjour de l'appartement A (N°94) qui se situe en RDC. La lecture des graphes montre que la TO¹⁰ suit le graphe de la température extérieure. À partir du 18 novembre, on remarque que la TO s'abaisse au-dessous de la plage de confort thermique recommandée dans la norme ASHRAE, 18,74°C pour la chambre 2 et 18°C pour le séjour et qu'elle atteint leur valeur minimum, environ 12,7°C pour la chambre 2 et 12°C pour le séjour entre le 5 et le 19 janvier.

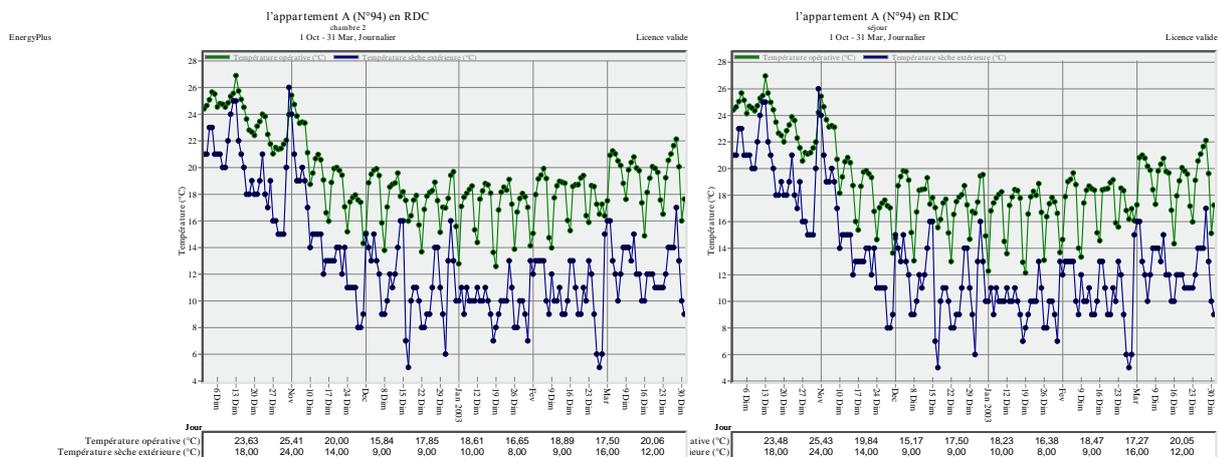


Figure 152 : Graphes de températures opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement A (Source : Auteur, 2022)

¹⁰ TO : température opérative

D'autre part, les résultats de la simulation qui concerne les heures d'inconfort¹¹ des occupants présentés dans la figure 153 démontrent que presque la moitié de la journée (12 heures) du 25 novembre jusqu'au 7 février sont des heures inconfortables du point de vue thermique, soit pour la chambre 2 ou le séjour, sauf des petites différences dues à la variation des surfaces des pièces et à l'exposition des murs vers l'extérieur. De même, la lecture des variations de l'indicateur PMV (Vote moyen prévisible, par Fanger calculé selon la norme ISO 7730) révèle qu'à partir du 15 novembre, ce dernier s'abaisse au-dessous de (-1) qui exprime la sensation légèrement froide et il dépasse (-2.5), c'est-à-dire froid et très froid du 8 décembre jusqu'au 9 février. Et elle atteint leur valeur maximale (-2.8) pour le séjour et (-2.7) pour la chambre le 19 janvier.

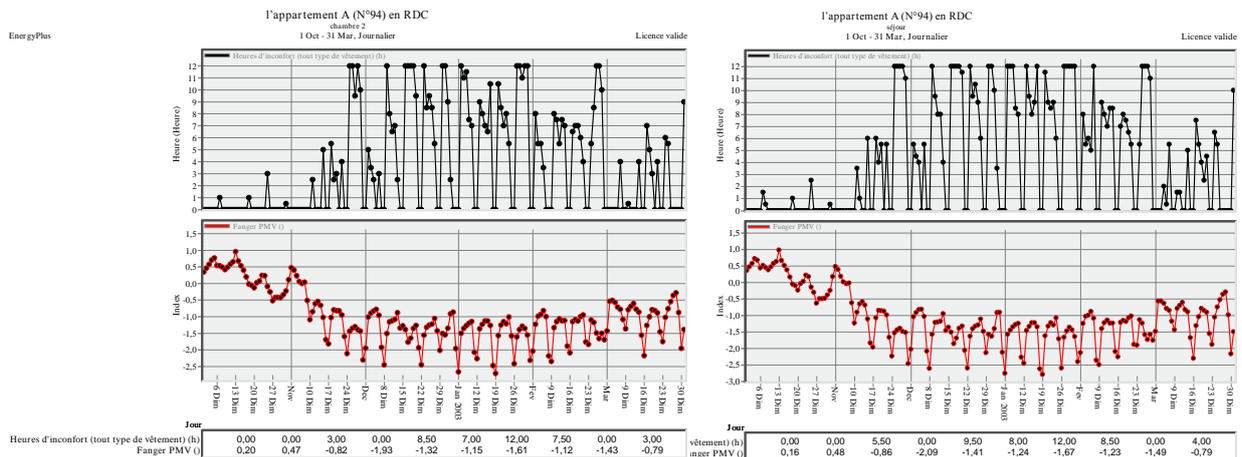


Figure 153 : graphe des heures d'inconfort et l'indicateur PMV pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement A (Source : Auteur, 2022)

Résultats de simulation de l'appartement B (N°96) en RDC

La figure 154 présente la température opérative de la chambre 2 et le séjour de l'appartement B (N°96) qui se situe en RDC. D'après les graphes, on remarque qu'à partir du 15 novembre, les valeurs de la TO s'abaissent au-dessous de la plage de confort thermique adaptée par la norme ASHRAE 55 qui correspond de 20 à 24 °C, soit pour la chambre 2 ou le séjour. Dont elle atteint leur valeur minimale de 12,78 °C pour la chambre et 12,5 °C pour le séjour les 5 et 19 janvier.

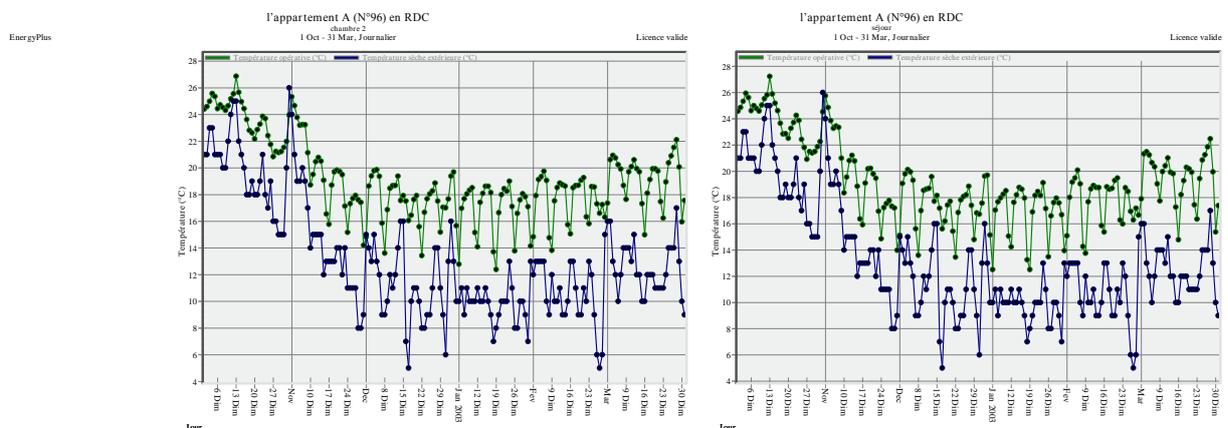


Figure 154 : Graphes de température opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement B (Source : Auteur, 2022)

¹¹ HI : Heures d'inconfort

En outre, la figure 155 présente les heures d'inconfort et le degré de satisfaction des habitants obtenus par simulation. Les graphes observés montrent que les deux pièces suivent le même rythme de courbe d'inconfort qui prend presque la moitié de la journée (12 heures) du 25 novembre jusqu'au 30 janvier. À partir du 1 février, ces valeurs se varient entre 9 et 7 h/j, mais on trouve que les HI du séjour sont plus importantes que celle de chambre 2. Concernant l'indicateur PMV, on remarque qu'il est au-dessous de l'intervalle de sensation de la satisfaction thermique (-1/+1), c'est-à-dire légèrement frais et légèrement chaud à partir du 6 décembre. Cet indicateur reste toujours proche de (-2.5) jusqu'à début fév. Et il atteint leur valeur maximale (-2.6) pour la chambre et (-2.75) pour le séjour les 5 et 19 janvier.

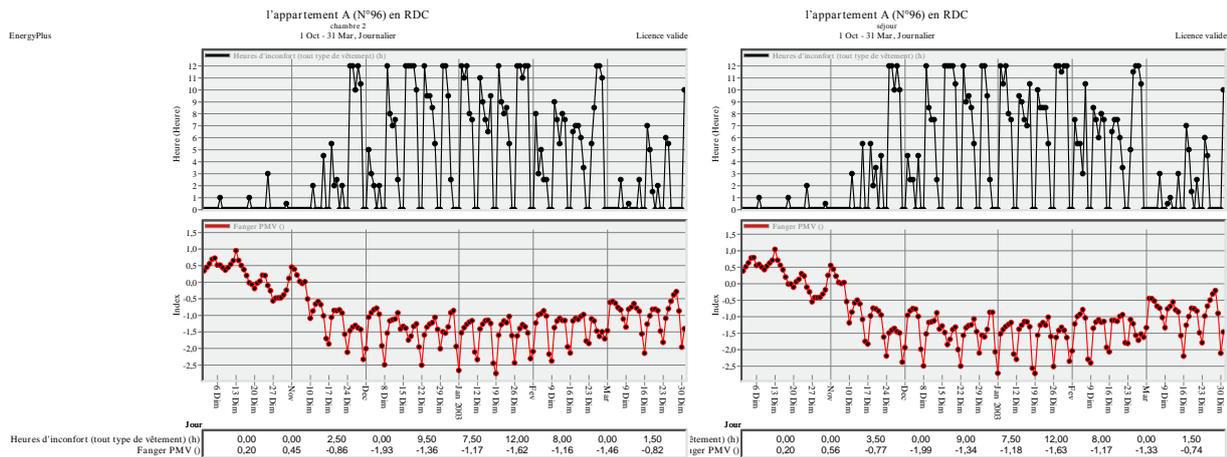


Figure 155 : graphe des heures d'inconfort et l'indicateur PMV pour la chambre (a) et le séjour (b) en hiver, appartement B (Source : Auteur, 2022)

2.2. Analyse et interprétation des résultats en été

Résultats de simulation de l'appartement A (N°94) en RDC

En premier temps, relativement à l'exécution de la simulation, la figure 156 présente la TO obtenue pour la chambre 2 et le séjour de l'appartement A (n°94) qui se situe en RDC. D'après ces graphes, on trouve que les deux pièces suivent le même rythme des fluctuations de la TO, avec seulement des petites différences. Depuis le 1 avril jusqu'au 30 juin, on remarque que cette température est dans la zone de confort thermique adaptatif déclarée par la norme ASHREA 55 (24,6-28,3 °C). À partir du 1 juillet, on voit que cette température monte lentement au-dessous de la plage de confort et qu'elle atteint leur valeur maximum le 4 et le 25/8/2022 : environ 31,57°C pour la chambre 2 et 32°C pour le séjour.

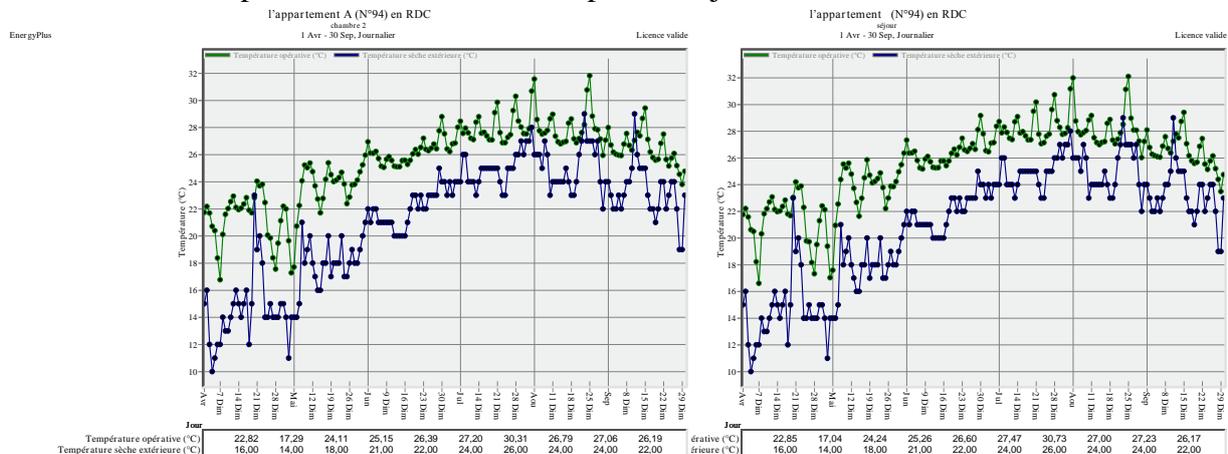


Figure 156 : Graphes de températures opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en été, appartement A (Source : Auteur, 2022)

En deuxième temps, la figure 157 illustre les HI des deux pièces obtenues par la simulation ainsi que le PMV. Dont le graphe des HI démontre que le nombre de ces derniers est plus important dans le séjour que dans la chambre. Cela est expliqué par la grande surface de mur exposée à l'extérieur. Ainsi, on remarque que le nombre le plus grand des HI thermiques des habitants se focalise dans les mois de juillet et d'août. D'autre part, d'après la figure, on trouve qu'à partir du début du mois de juillet, l'indicateur PMV dépasse le (+0.5) et il atteint leur valeur maximum (+2.22) le 4 août, ce qui correspond à l'indicateur PPD (Pourcentage d'insatisfaction prédit) reflétant 80 % d'insatisfaction des habitants face au bien-être thermique dans leurs logements.

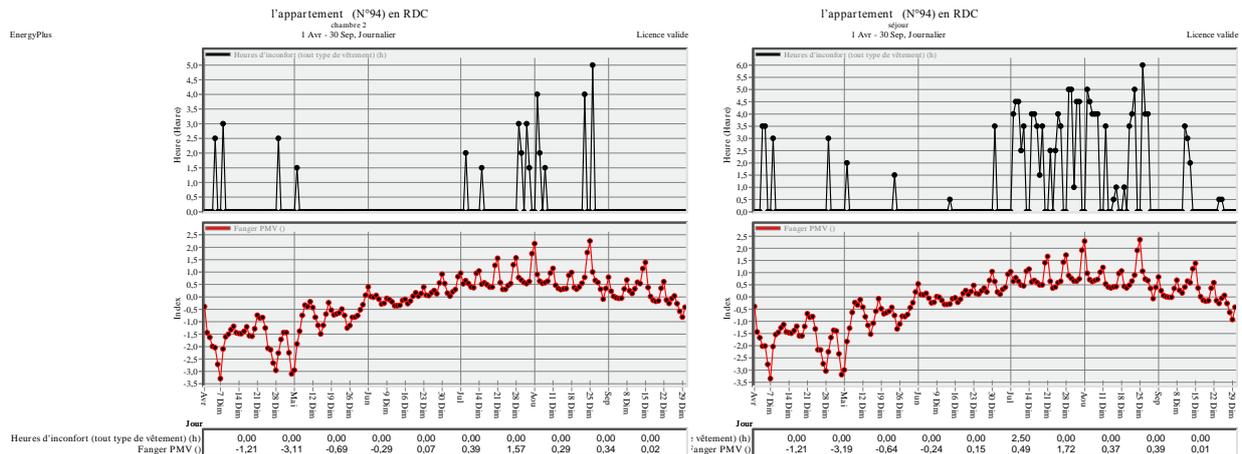


Figure 157 : graphe des heures d'inconfort et l'indicateur PMV pour la chambre (a) et le séjour (b) en été, appartement A (Source : Auteur, 2022)

Résultats de simulation de l'appartement B (N°96) en RDC

La figure 158 dévoile les degrés de température opérative des deux pièces habitables de l'appartement B (N°96) qui se situe en RDC. On observe que la TO est au-dessous de la plage de confort thermique à partir du 6 juillet jusqu'au 14 septembre, où elle atteint leur valeur maximum, environ 32,34 °C pour le salon et 31,6 °C pour le séjour les 4 et 25/8.

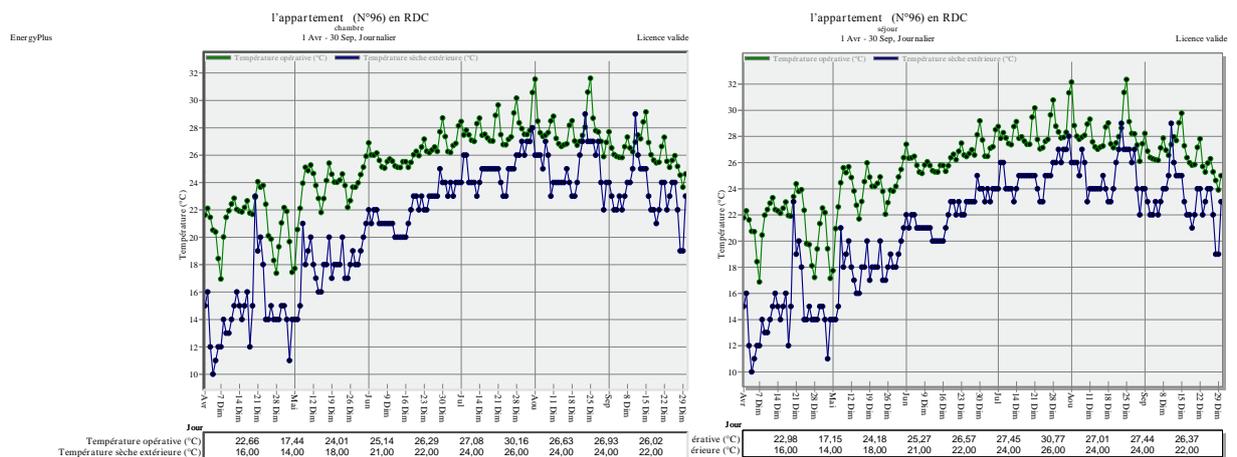
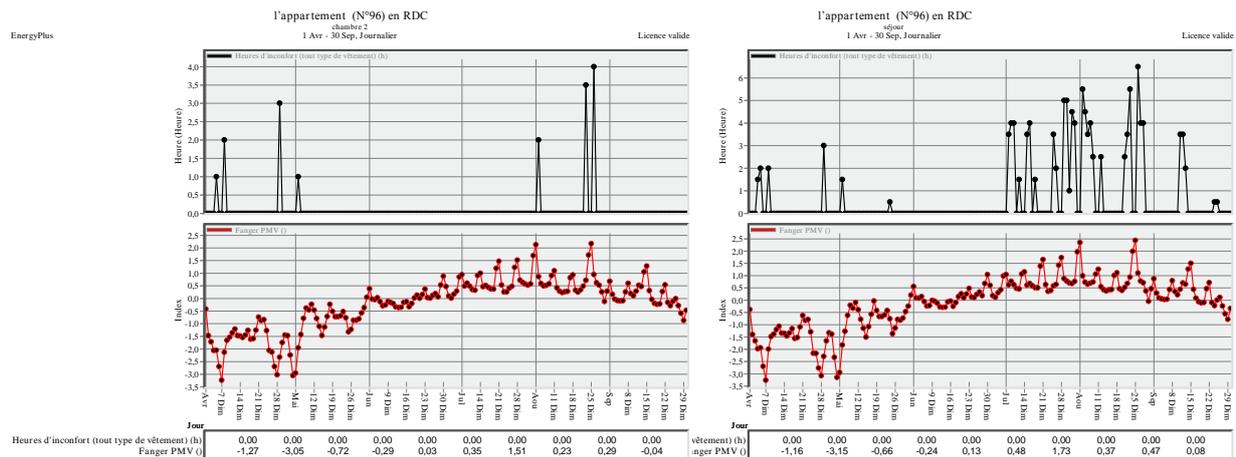


Figure 158 : Graphes de températures opérative simulé pour la chambre (a) et le séjour (b) en été, appartement B (Source : Auteur, 2022)

En outre, la figure 159 présente les heures d'inconfort et l'indicateur PMV des deux pièces de l'appartement (N°96). Le graphe des heures d'inconfort indique que ces heures sont très réduites dans la chambre 2, par contre elles sont plus importantes pour le séjour. Dont elles

se concentrent en avril et aout pour la chambre 2 et en avril, juillet et aout pour le séjour. Cela est expliqué par l'exposition d'une surface de mur plus importante du séjour au rayon de soleil que la chambre 2.

La lecture de graphe de l'indicateur PMV nous a permis de distinguer deux zones. Durant le mois d'avril, la sensation de température est plus basse que la plage de confort thermique, pendant la période chaude (fin juillet et aout), la sensation thermique des occupants est plus élevée par rapport à la plage de confort (sensation chaude et très chaude), pendant le mois de septembre, on remarque que la sensation thermique est moyenne, variant entre (-1 et +1), c'est-à-dire entre légèrement frais et légèrement chaud.



3. Simulation du bâtiment à l'état optimisé

Dans cette phase, notre étude est consacrée à savoir l'impact de l'utilisation de l'isolant thermique naturel à base de la bouse de vache et des tiges de roseaux (BV3) qui a la conductivité thermique la plus faible parmi les différents échantillons testés. Pour cela, on présente les résultats obtenus par la simulation numérique analysés et interprétés. Dans cette phase, on a choisi un seul appartement parce que nous avons remarqué dans l'état actuel que les variations de températures opératives, PMV et les heures d'inconfort des appartements sont proches les unes des autres.

3.1. Isolation des murs extérieurs en BV3

Effets de l'isolation naturelle en BV3 des murs extérieurs de l'appartement A (94°) en hiver

Pour avoir la performance d'isoler seulement les murs extérieurs de l'appartement par une isolation naturelle en BV3 avec une épaisseur égale à 4 cm, une conductivité thermique égale à 0.12 (W/m.k) et une chaleur spécifique égale à 738 (J/kg.k), on doit établir la simulation en créant l'isolant BV3 avec ses caractéristiques en le mettant sur la face intérieure des murs extérieurs de l'appartement.

Les figures 160 et 161 illustrent la température opérative de la chambre 2 et le séjour de l'appartement A (N°94). Dont les résultats montrent que la TO des deux pièces est variée entre 17.5°C et 24°C, au lieu d'entre 12 °C et 18 °C. La comparaison des deux intervalles confirme

l'augmentation de cette température de 5 °C par rapport à la simulation de l'état actuel, ce qui valide l'impact positif d'isolation des murs extérieurs.

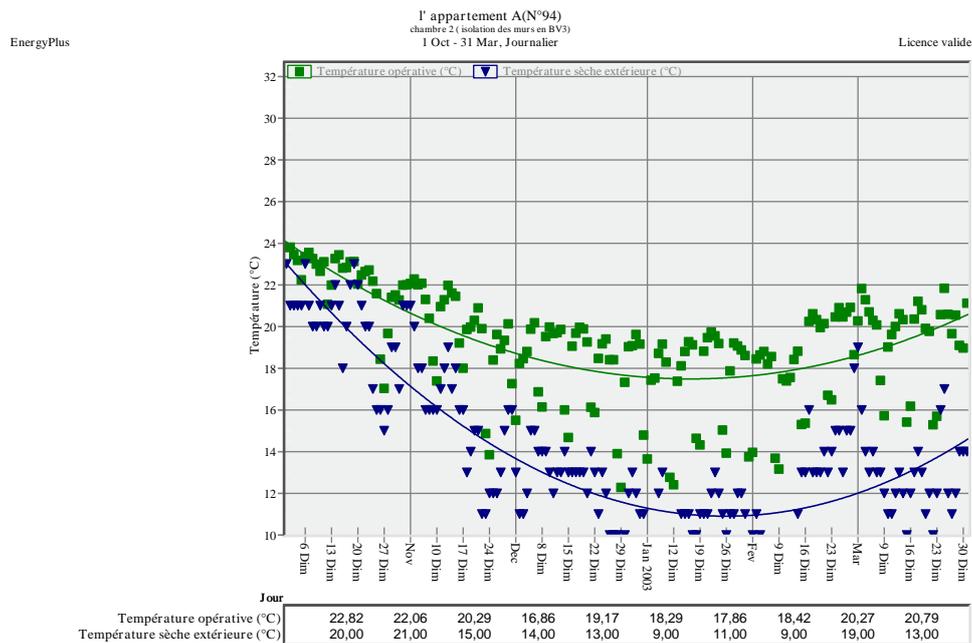


Figure 160 : TO de la chambre 2 de l'appartement A en BV3 - cas de l' isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder)

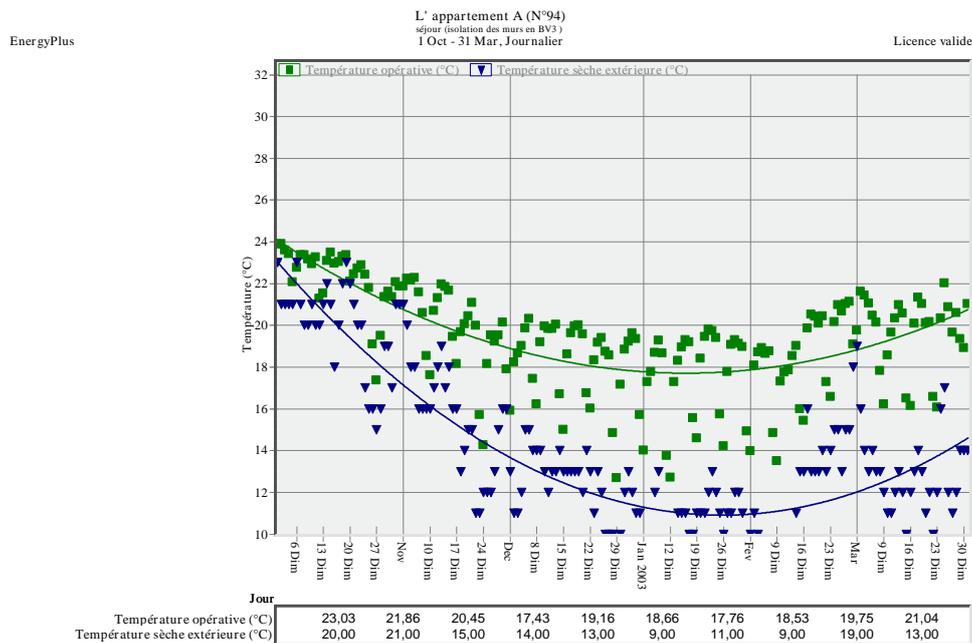


Figure 161 : TO du séjour de l'appartement A en BV3 en hiver - cas de l'isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder)

D'autre part, les figures 162 et 163 présentent les HI et l'indicateur PMV des mêmes pièces. D'après ces graphes, on voit que les HI des deux pièces sont diminuées par rapport à celles de l'état actuel. De même, l'indicateur PMV est varié dans l'intervalle $[-0.5, -1.5]$. Il est très amélioré par rapport aux PMV de l'état actuel qui s'abaissent jusqu'à (-3).

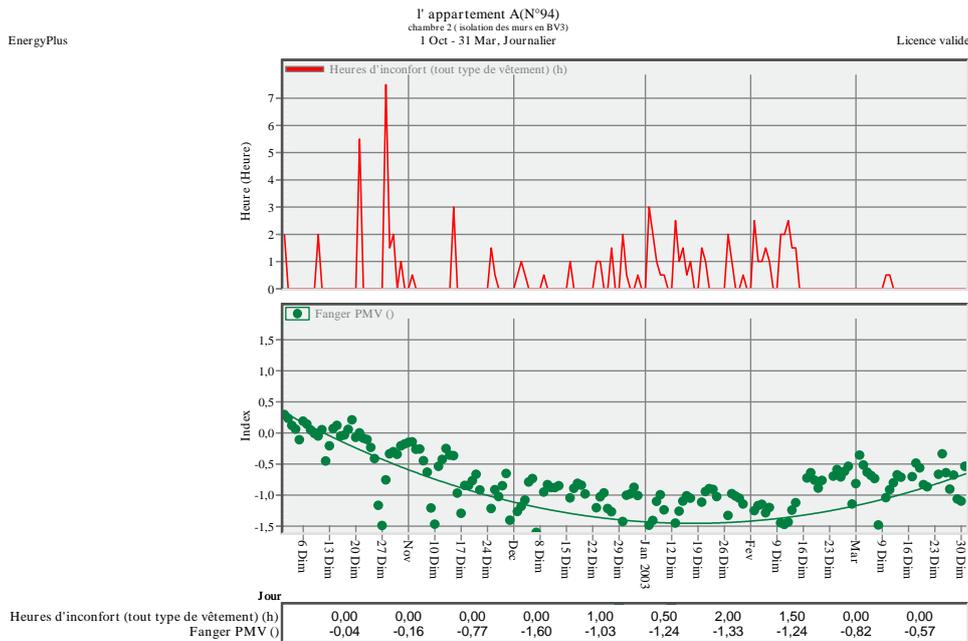


Figure 163 les heures d'inconfort et le PMV de la chambre 2 de l'appartement A en hiver - cas de l'isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder)

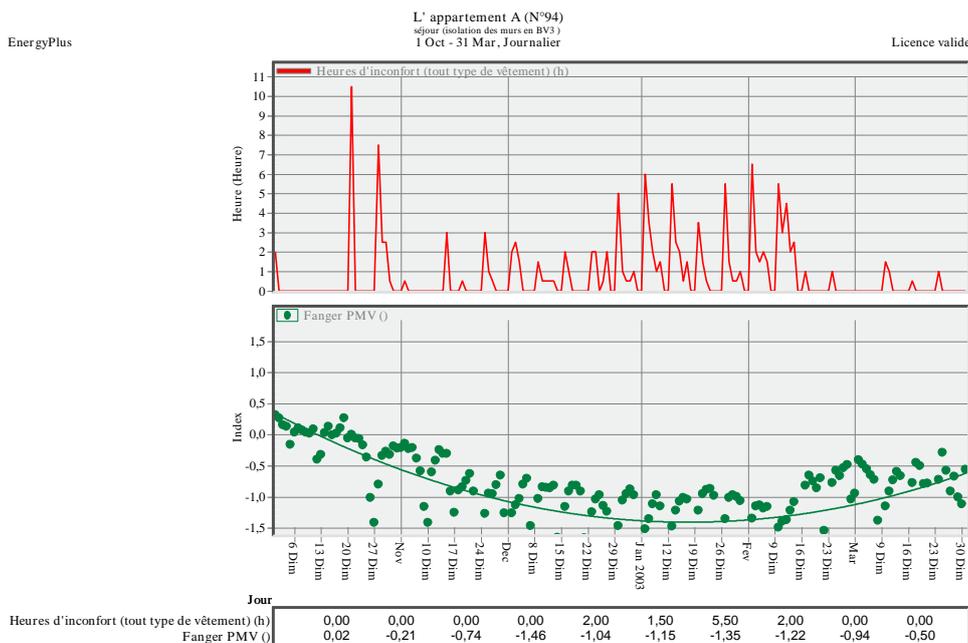


Figure 162 : : les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en hiver - cas de l'isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder)

Effets de l'isolation naturelle en BV3 des murs extérieurs de l'appartement A (94°) en été

La figure 164 et 165 démontre que la température opératoire de la chambre 2 et du séjour se varie dans l'intervalle [19.7°C-26°C]. En comparant ce résultat avec celui de la simulation à l'état actuel, on trouve qu'il y a une amélioration significative du degré de TO, d'où elle s'abaisse de 6 °C, elle est dans l'intervalle (19.7°C-26°C) au lieu de (24°C-32°C). Donc, on peut dire que le bien-être thermique est assuré.

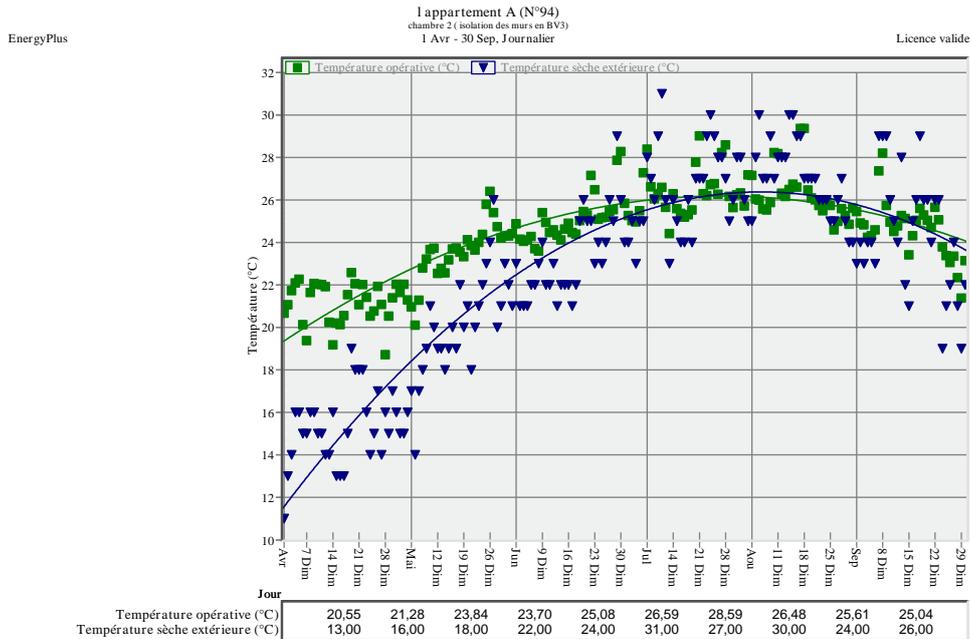


Figure 164 : TO de la chambre 2 de l'appartement A en BV3 en été -cas de l'isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder)

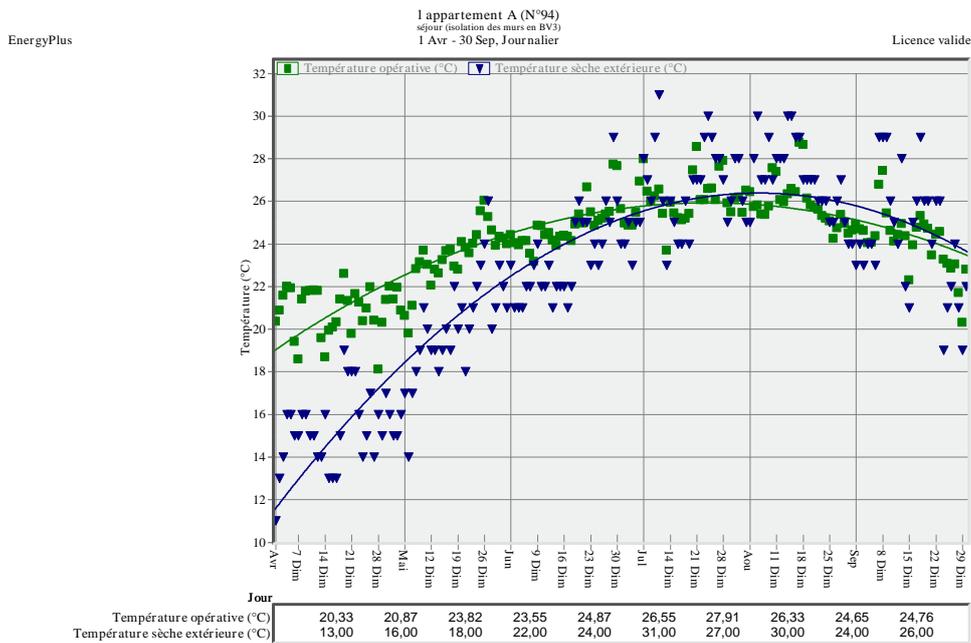


Figure 165 : TO du séjour de l'appartement A en BV3 en été – cas de l'isolation des murs extérieurs (source : auteur par design Builder)

De même, la figure 166 et 167 dévoile les heures d'inconfort et l'indicateur PMV des deux pièces simulées. Les résultats présentés démontrent la diminution des heures d'inconfort en utilisant l'isolation thermique des murs extérieurs par le BV3. D'autre part, on remarque que le PMV dans les deux pièces est varié entre 0 et -1. 5 reste acceptable par rapport à celle de l'état actuel où cet indicateur peut dépasser le seuil recommandé et atteindre jusqu'à [-3].

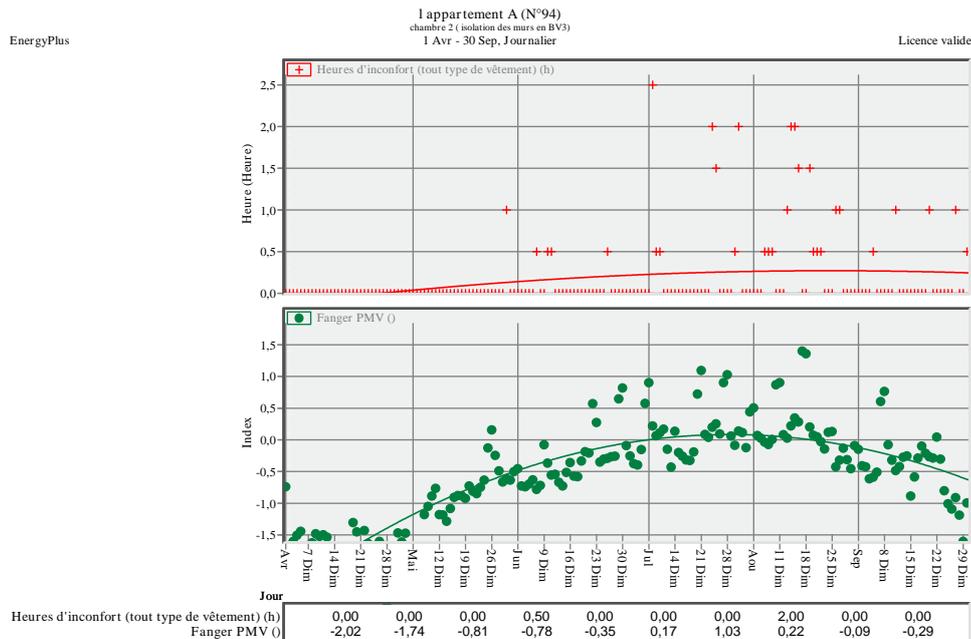


Figure 166: les heures d'inconfort et le PMV de la chambre 2 de l'appartement A en été – cas isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder)

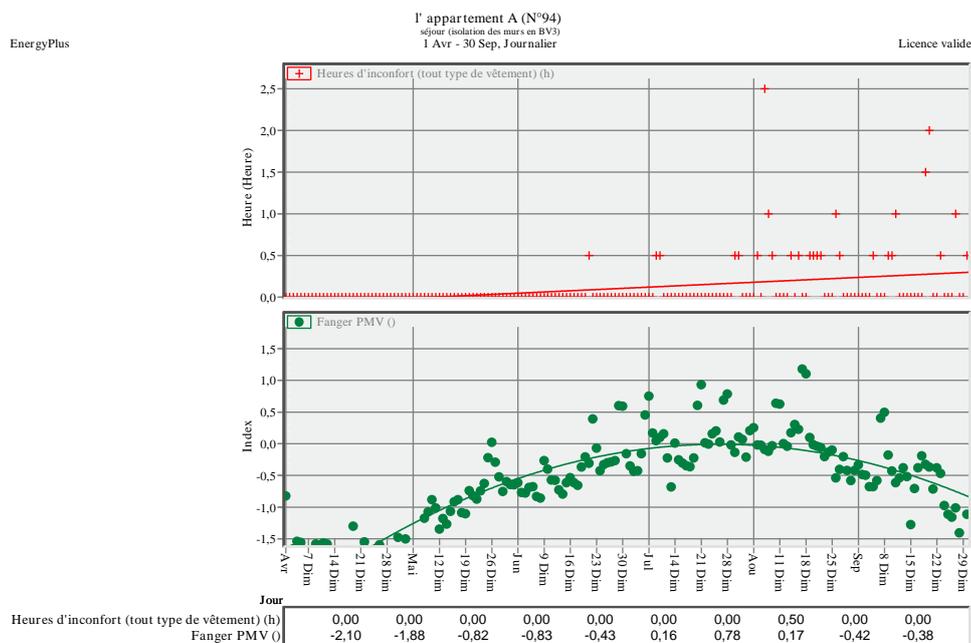


Figure 167:les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en été - cas de l'isolation des murs extérieurs (Source : auteur par Design Builder)

3.2.Isolation de l'enveloppe complète

L'impact de l'isolation naturelle en BV3 de l'enveloppe, le toit et le double vitrage sur l'état thermique des habitants en hiver de l'appartement A (N°94)

La lecture de la figure 168 et 169 qui illustre les graphes de TO obtenus par la simulation numérique des deux pièces avec une isolation naturelle de l'enveloppe complète confirme la performance thermique de ce modèle proposé, dont on trouve qu'elle varie entre 19,7 °C et 25,6 °C. Ces valeurs s'insèrent dans les intervalles proposés par la norme NF EN 15251 et la norme de confort adaptatif proposée (ACS) pour la norme ASHRAE 55, applicable aux bâtiments naturellement ventilés. Donc, on peut dire qu'avec ce modèle d'isolation proposé, on peut assurer une satisfaction optimale des habitants en matière de confort thermique.

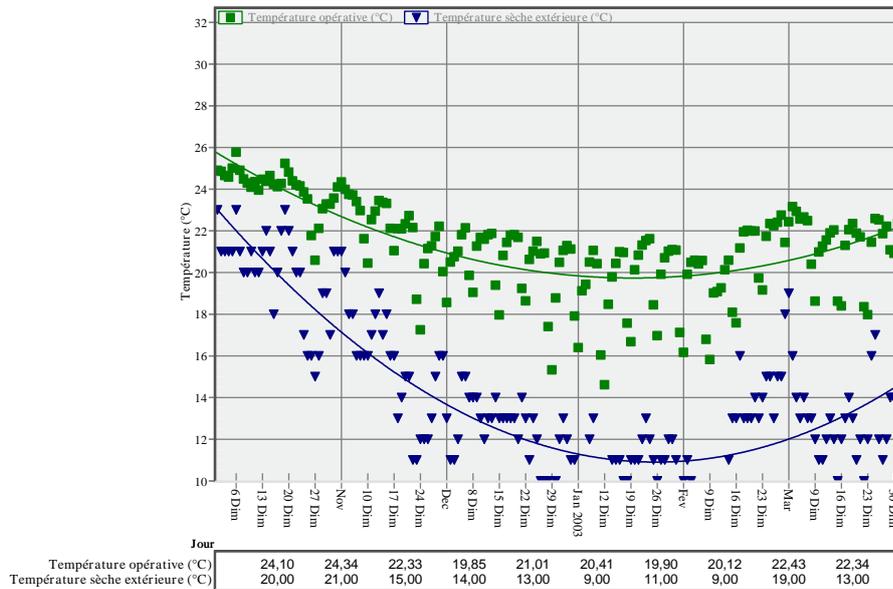


Figure 168 : TO de la chambre de l'appartement A en BV3 en hiver – cas de l'isolation complète de l'enveloppe (source : auteur par design Builder)

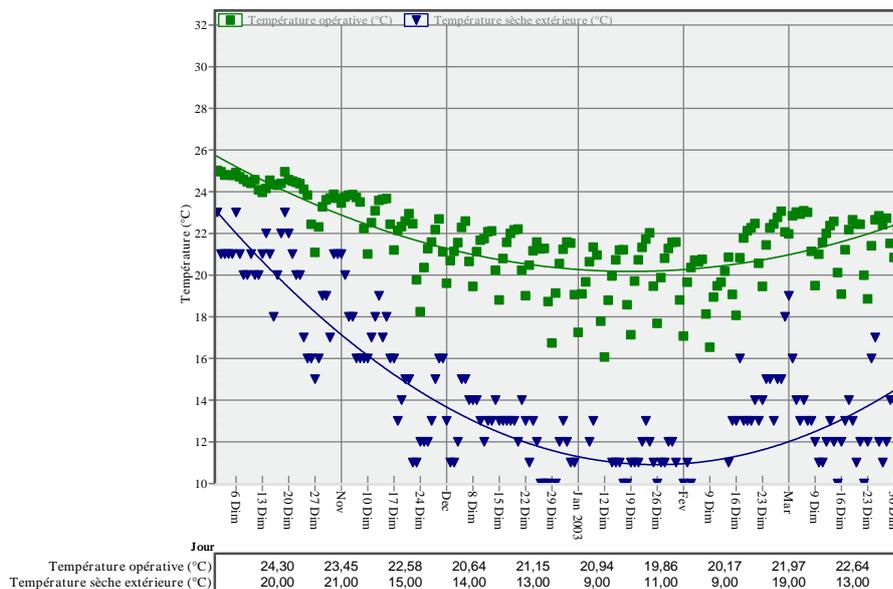


Figure 169 : TO du séjour de l'appartement A en BV3 en hiver – cas de l'isolation complète de l'enveloppe (source : auteur par design Builder)

D'après la figure 170 et 171 qui illustre les heures d'inconfort et le PMV des deux pièces simulées de l'appartement A en été à travers une isolation complète de l'enveloppe, on trouve l'inexistence des heures d'inconfort thermique, ainsi que le PMV qui fluctue dans un écart de $[+0.5, -0.7]$ c'est-à-dire la zone neutre ni froid ni chaud. Ces interprétations prouvent la validité des graphes de TO obtenus par la simulation numérique et confirment la fiabilité du modèle suggéré concernant leur adaptabilité aux normes recommandées.

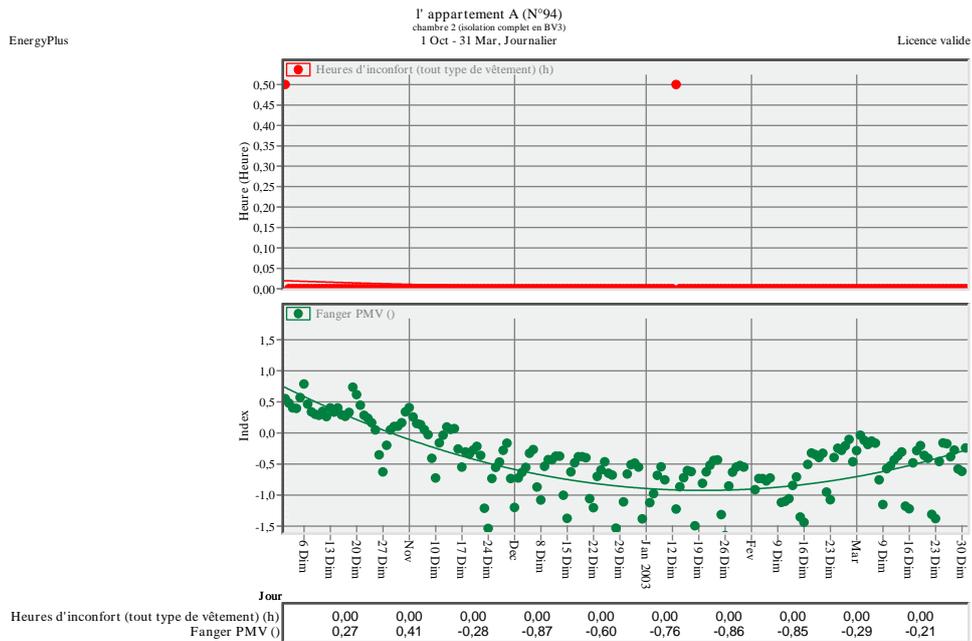


Figure 171 : les heures d'inconfort et le PMV de la chambre 2 de l'appartement A en hiver- cas de l'isolation complète de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder)

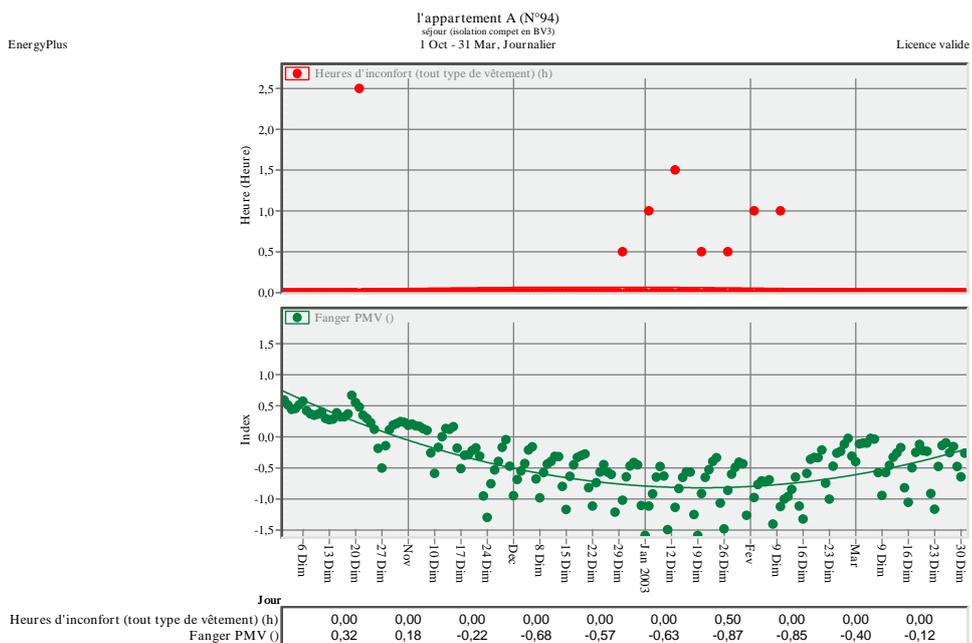


Figure 170 : les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en hiver - cas de l'isolation complète de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder)

L'impact de l'isolation naturelle de l'enveloppe, le toit et le double vitrage sur l'état thermique des habitants en été de l'appartement A (N°94)

En analysant le graphe de TO dans la figure 172 et 173, on note qu'elle est située dans l'intervalle de [23°C-26°C]. Ce résultat paraît plus performant que celui obtenu dans la variante qui sert à l'isolation seulement des murs extérieurs. Dont les valeurs de TO sont adaptées à la plage de confort thermique souhaitable recommandée par les normes susmentionnées.

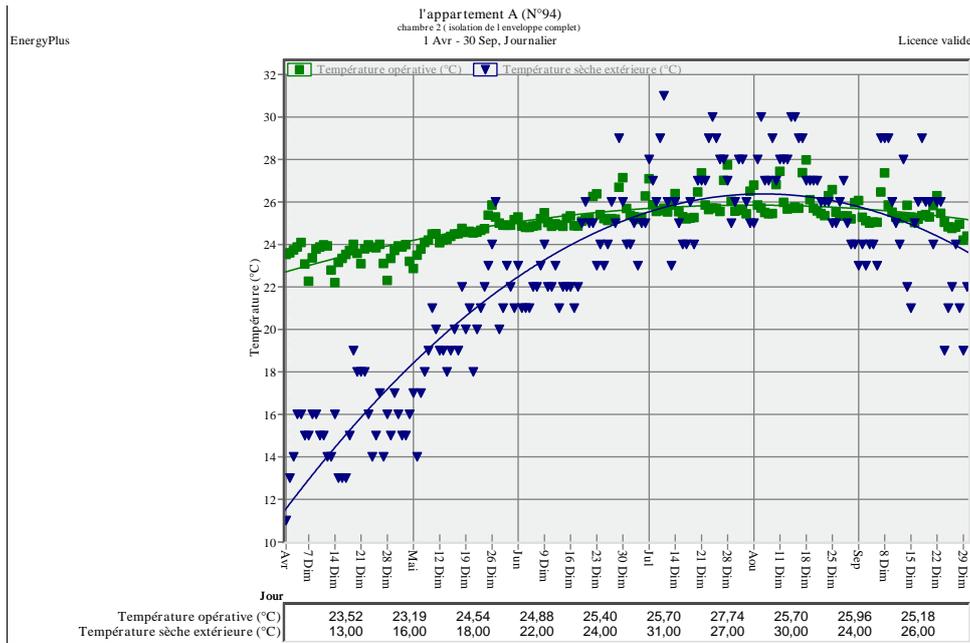


Figure 172:TO de la chambre de l'appartement A en BV3 en été – cas de l'isolation complète de l'enveloppe (source : auteur par design Builder)

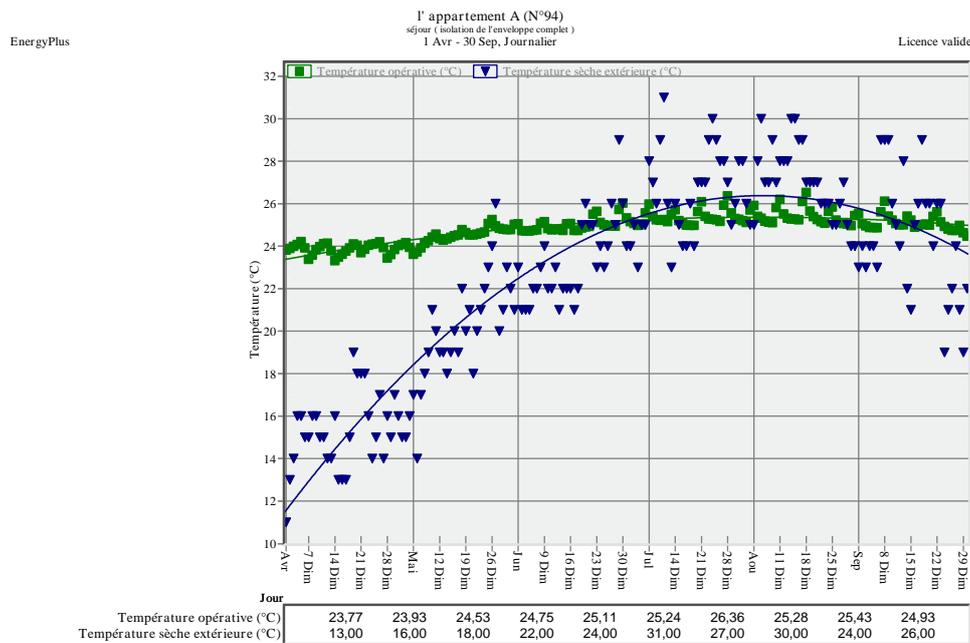


Figure 173:TO du séjour de l'appartement A en BV3 en été – cas de l'isolation complète de l'enveloppe (source : auteur par design Builder)

D'après les graphes de la figure 174 et 175, on constate que les heures d'inconfort thermique sont nulles, ce qui valide l'existence d'un bien-être thermique optimal dans les pièces simulées en été. Ainsi que les valeurs de PMV qui se situent dans la plage idéale de [0,-1] conforme aux valeurs recommandées : une zone ni chaude ni froide.

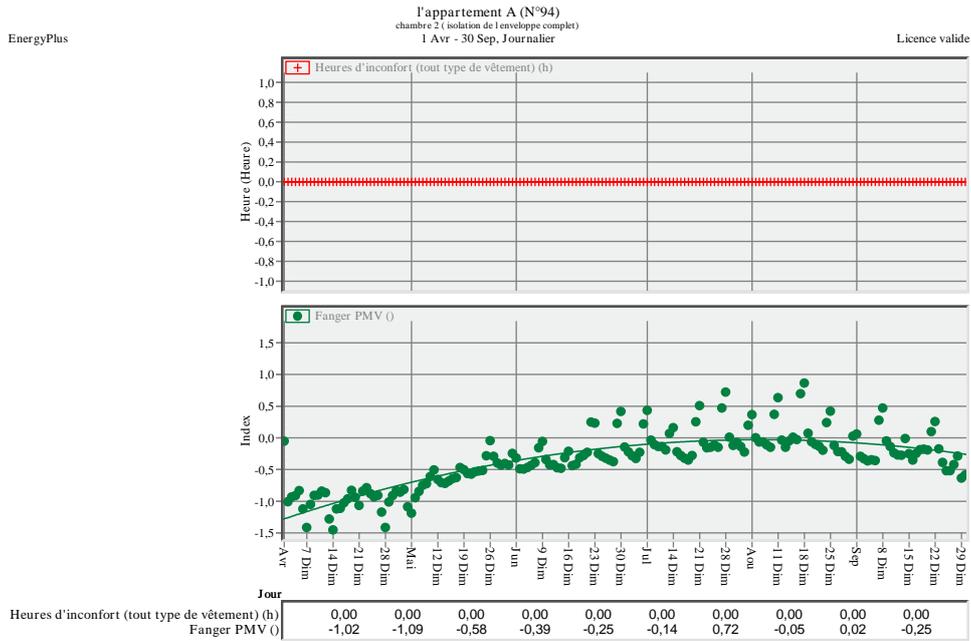


Figure 174 : Heures d'inconfort et le PMV de la chambre de l'appartement A en été - cas de l'isolation complète de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder)

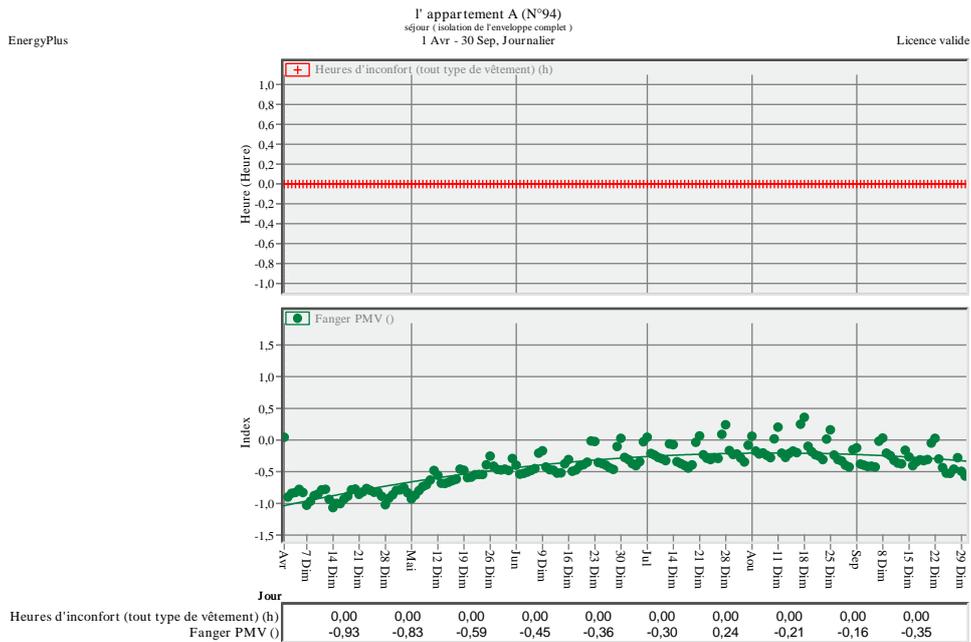


Figure 175 : les heures d'inconfort et le PMV du séjour de l'appartement A en été - cas de l'isolation complète de l'enveloppe (Source : auteur par Design Builder)

3.3.Recommandations souhaitées

Dans cette variante, on a proposé que la conductivité thermique de BV3 soit améliorée à 0.04 (W/m.k) et la chaleur spécifique égale à 1400 (j/kg.k) et une épaisseur égale à 0.01 m pour avoir les performances thermiques de ce matériau.

L'impact de l'isolation naturelle de l'enveloppe, le toit et le double vitrage sur l'état thermique des habitants en hiver de l'appartement A (N°94)

La lecture de la figure 176 qui illustre les graphes de la température opérative obtenus par la simulation numérique des deux pièces nous a permis de confirmer l'impact positif de l'isolant naturel élaboré sur l'état thermique idéal des occupants, dont on remarque que la courbe de TO suit celle de l'extérieur, mais avec un écart très important, presque de 8 °C. D'autre part, on trouve qu'elle s'abaisse et augmente lentement avec le temps et qu'elle atteint leur valeur minimum de 20 °C au mois de janvier. Mais ces valeurs sont dans la plage de confort thermique adaptée par la norme ASHRAE 55 et la norme NF EN 15251. Cela est expliqué par la performance thermique de l'isolant naturel adopté pour cette réhabilitation thermique numérique qui agit positivement sur la sensation de confort thermique.

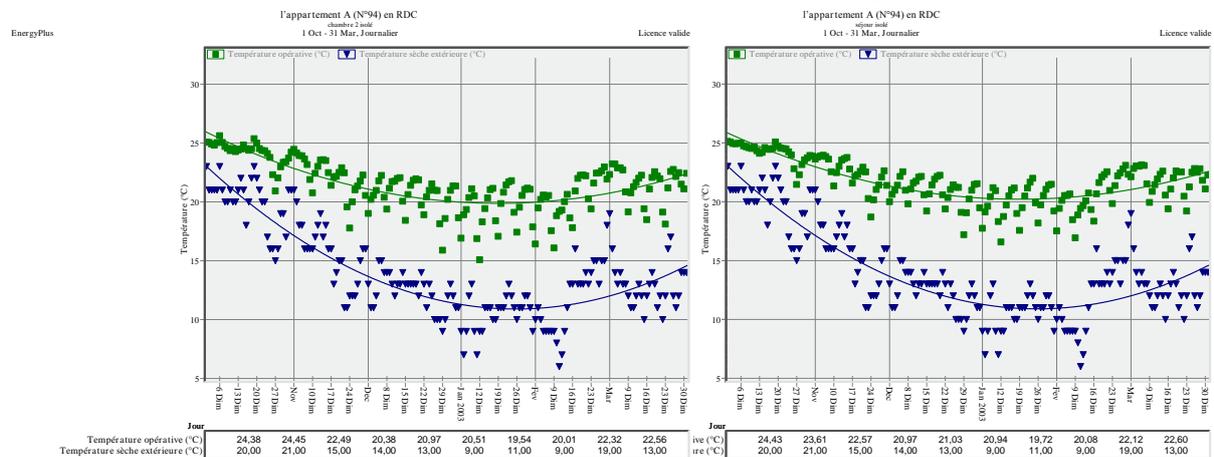


Figure 176: TO de la chambre 2 et du séjour en hiver - cas : isolation de l'enveloppe complète en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER)

L'analyse de la figure 177 qui montre le graphe des HI et l'indicateur PMV de l'appartement A (N°94) prouvent le bien être thermique optimale ressenti, dont on trouve que ces heures sont presque nulles pour les deux pièces. D'autre part on remarque que la valeur de l'indicateur PMV (-0.9, +0.5) c'est à dire entre légèrement frais et légèrement chaud, autrement dit une sensation thermique satisfaisante grâce au températures acceptables durant cette période.

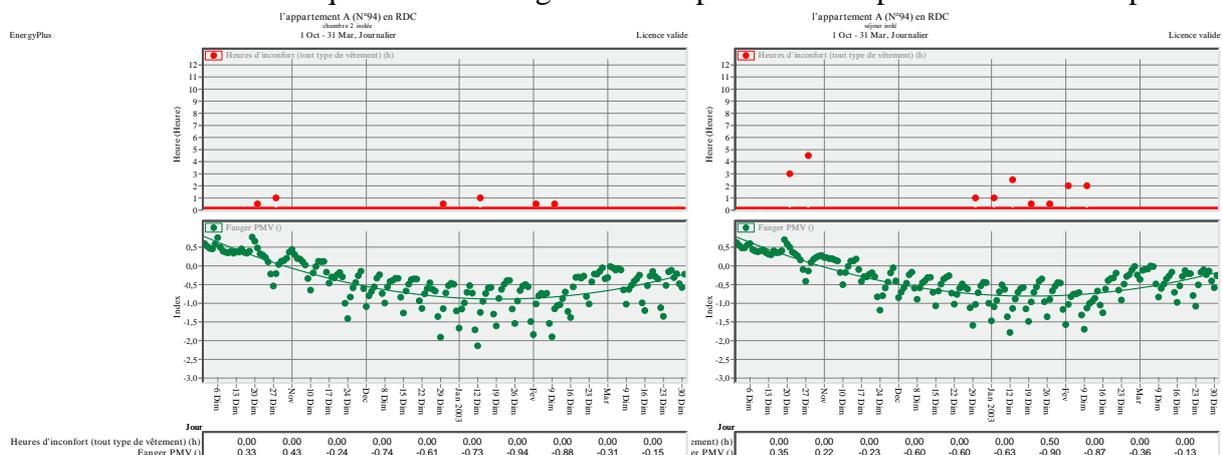


Figure 177: heures d'inconforts et PMV de la chambre 2 et du séjour en hiver - cas : isolation de l'enveloppe complète en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER)

L'impact de l'isolation naturelle de l'enveloppe, le toit et le double vitrage sur l'état thermique des habitants en été de l'appartement A (N°94)

La figure 178 illustre les degrés de TO simulés pour les deux pièces de l'appartement N°94. On remarque que cette température augmente progressivement. Elle se varie approximativement entre 22 et 26 °C pour les deux pièces dans la période du 1er avril jusqu'à la fin mai et elle atteint sa valeur maximale de 27,4 °C au mois d'août. Étant donné que l'intervalle de confort thermique recommandé par la norme NF EN 15251 est (23°C-26°C) et entre (24.6°C-28.3°C) selon la norme de confort adaptatif proposée pour la norme ASHRAE 55, on peut dire que la sensation thermique des habitants reste acceptable et dans la plage de confort thermique recommandée.

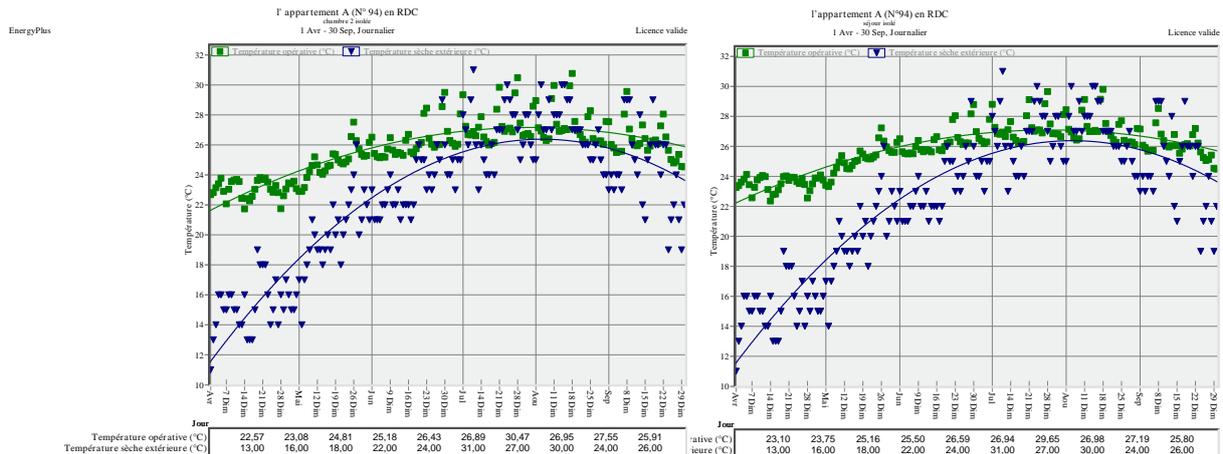


Figure 178 : TO de la chambre 2 et du séjour en été - cas : isolation de l'enveloppe complète en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER) /

D'autre part, les résultats des heures d'inconfort et le graphe du vote moyen prévisible (PMV) qui sont indiqués dans la figure 179 confirment la situation favorable de confort thermique simulé, où on trouve que les HI sont nulles, soit dans la chambre ou le séjour. De même, on dénote que l'indicateur PMV pour les deux pièces se situe dans l'intervalle idéal recommandé [-0.5, +0.5] durant tout l'été. Seulement au mois d'avril, on trouve qu'il s'abaisse jusqu'à -1.7 pour la chambre et -1.5 pour le séjour, mais ces valeurs restent acceptables.

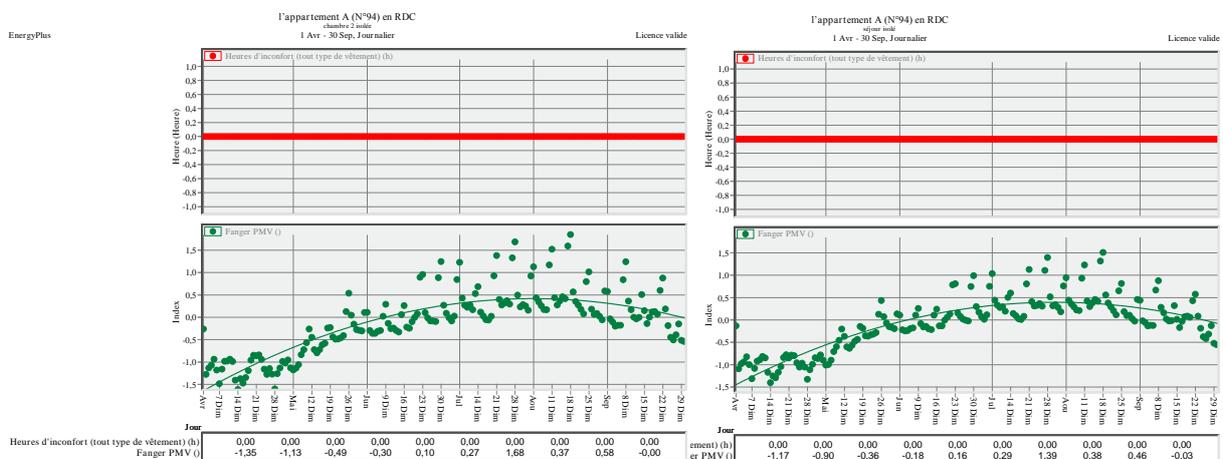


Figure 179: heures d'inconforts et PMV de la chambre 2 et du séjour en été - cas : isolation de l'enveloppe complète en BV3 recommandé (source ; auteur par DESIGN BUILDER)

Conclusion

Le travail qui a été présenté ci-dessus est une étude expérimentale qui a pour objectif de caractériser les principales propriétés thermiques et hygrométriques de l'isolant proposé en tant que matériau naturel et propre, produit à la base de la bouse de vache. La caractérisation de ce matériau a porté sur la masse volumique, la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la capacité d'absorption d'eau et la résistance au feu qui ont été réalisées selon les normes adaptées aux produits. L'exploitation des résultats expérimentaux obtenus permet de déterminer le comportement thermique des différents isolants proposés et de détecter le plus performant entre eux.

Les résultats expérimentaux montrent les différences entre les six échantillons proposés et leurs performances. Les éprouvettes de l'isolant BV3 (composées de la bouse de vache, de plâtre et de tiges de roseau coupées) présentent la densité relative la plus faible, comprise entre 408 et 442 kg/m³, et la conductivité thermique la plus faible, comprise entre 0,165 et 0,176 W/m.K.

Cette étude expérimentale exprime que l'isolant développé se distingue par sa faible adsorption d'eau en milieu humide et sa faible ignition en cas d'incendie, mais sa faible chaleur spécifique par rapport aux autres isolants thermiques naturels nécessite une amélioration.

Par ailleurs, l'isolant produit dans le cadre de cette thèse est unique en termes de composition et de préparation. Comme il est partiellement recyclé, il devrait avoir une énergie intrinsèque inférieure à celle d'un isolant standard.

À cet effet, l'isolation naturelle représente par excellence la solution la plus efficace pour assurer l'état thermique équilibré des occupants et offrir un environnement intérieur sain et agréable pour lutter contre la propagation des morbidités chroniques.

Les différentes simulations entreprises réaffirment le rôle prépondérant de l'isolation naturelle dans le maintien de l'équilibre hygrothermique intérieur. Il en résulte de cette opération que toutes les solutions proposées permettent de régler les ambiances thermiques intérieures. Néanmoins, le modèle le plus justifié est l'isolation des planchers associée à une isolation naturelle par l'intérieur des murs extérieurs de l'enveloppe avec une épaisseur d'isolant égale à 4 cm et l'utilisation du double vitrage peu émissif. L'isolation des murs est pertinente, mais elle reste moins performante que la première.

Dans le cas où on améliore la conductivité thermique à une valeur égale à 0,04 W/m.k, on peut appliquer l'isolation naturelle de l'enveloppe complète en utilisant l'isolant avec une épaisseur de 1 cm.

Conclusion générale

Nous tenons à rappeler d'abord que l'essentiel de cette recherche était de tenter de répondre à la question soulevée par la problématique en mettant en œuvre une étude in situ soutenue par la littérature de recherche sur le sujet et vérifiée par le logiciel Design Builder.

Cette étude empirique a été effectuée sur les bâtiments résidentiels de la cité 172 logements de Bouzaaroura à El-Bouni, et qui a apporté quelques éclaircissements sur les conséquences de la négligence de l'isolation thermique en tant qu'élément principal dans la conception architecturale, liée aux spécificités climatiques et environnementales. Ces pratiques architecturales inappropriées engendrent des ambiances thermiques inconfortables.

La présente recherche constitue une contribution dont l'objectif est d'évaluer l'état thermique de l'enveloppe habitée située dans un climat méditerranéen à Annaba afin de maîtriser et d'optimiser les performances thermique et énergétique, assurer le bien-être thermique des habitants et favoriser la production des logements collectifs ayant un confort thermique agréable, atteint via l'emploi des matériaux constructifs en matière d'isolation thermique. Pour ce faire, différentes méthodes de recherche ont été exploitées (quantitatives et qualitatives).

En premier lieu, nous avons appuyé sur la richesse de la littérature dans la première partie théorique, qui a consisté à mettre en évidence l'isolation naturelle, ses techniques constructives performantes, y compris les différents isolants naturels développés et les réglementations et les normes appropriées à l'isolation et à l'état thermique équilibré ainsi qu'à l'aspect de l'habitat en Algérie, et le problème de la production en masse sans qualité.

Cela nous a permis de bien comprendre le concept de l'isolation naturelle et ces paramètres. Et bien définir la notion de satisfaction thermique des habitants et comment l'évaluer, à travers la lecture approfondie des différents travaux scientifiques, documents techniques, livres et normes internationales.

En deuxième lieu, nous avons entamé l'analyse du milieu physique par les deux approches méthodiques, en employant plusieurs outils afin de qualifier et quantifier la situation thermique dans l'espace habité de la cité 172 logements à Bouzaaroura. Nous avons établi une enquête sociale auprès de 83 habitants qui ont accepté de collaborer et de participer à cette enquête, en répondant à notre questionnaire contenant des variables qualitatives. Cette étape a offert la possibilité de collecter les avis des habitants envers leurs sensations thermiques qu'ils subissent à l'intérieur de leurs logements.

En effet, l'étude sur terrain a démontré le manque de confort thermique intérieur des habitants, surtout dans la période hivernale, où l'on trouve que presque la totalité des occupants questionnés sont insatisfaits par leurs sensations thermiques et l'influence de cet état désagréable sur la santé des habitants et l'apparition des maladies chroniques.

Pour valider leurs avis, des campagnes de mesurage hygrothermique à l'aide de l'appareil hygro-thermomètre ont été effectuées pendant les journées calculées dans la période hivernale et estivale en 2022 suivant un protocole bien défini selon la littérature de recherche. Cette phase était indispensable pour renforcer les résultats de l'enquête et pour déterminer la zone d'insuffisance thermique matériellement.

Les résultats de ces campagnes de mesurages ont montré que la température ambiante est au-dessous de la plage de confort thermique recommandée selon la norme de confort adaptatif proposée (ACS) pour la norme ASHRAE 55, applicable aux bâtiments naturellement ventilés et la norme NF EN 15251, avec une température ambiante variant entre 9 °C et 15 °C en hiver et entre 26 °C et 31 °C en été. À partir de ces résultats, on peut déduire la fiabilité des réponses de la phase de l'enquête sociologique.

Par la suite, l'étude expérimentale pour fabriquer un isolant naturel sain a été effectuée à travers la réalisation des échantillons à différents composants et les testés en laboratoire CNERIB afin de déterminer les différentes caractéristiques (masse volumique, conductivité thermique, chaleur massique, résistance à l'eau et résistance au feu). Les résultats obtenus au sein de CNERIB démontrent que la conductivité thermique de l'échantillon qui est composé de la bouse de vache et des deux étages de roseaux est égale à 0.12 W/m.k. Selon cette valeur, ce matériau est considéré comme isolant selon la réglementation thermique algérienne. En outre, les essais ont montré une forte résistance de l'isolant proposé à l'eau et au feu.

De même, la simulation numérique effectuée sur l'enveloppe des appartements choisis a pour objet de déterminer en premier lieu l'état critique des bâtiments résidentiels existants en matière de performance thermique, ainsi que l'influence de l'isolation naturelle des éléments du bâtiment sur la situation thermique des habitants et leurs satisfactions. Lors de cette simulation, nous avons présenté différentes solutions (isolation seulement des murs extérieurs et isolation de l'enveloppe complètement) pour obtenir une meilleure qualité des ambiances thermiques.

Cette étude a été réalisée avec le logiciel de simulation « Design Builder », et les différentes solutions ont été comparées. Les résultats obtenus montrent que la maîtrise d'une bonne isolation thermique naturelle se répercute directement sur l'efficacité thermique. Dont la proposition qui sert à l'isolation naturelle par intérieur des murs extérieurs en utilisant l'isolant choisi (BV3) se caractérise par une conductivité thermique de 0,12 W/m.k. Déduite d'une amélioration remarquable des variations de température opérative hivernale qui augmente avec 5 °C à celle de l'état actuel, elles se varient entre 17.5°C et 24°C au lieu d'entre 12°C et 18° par rapport aux simulations de l'état existant des bâtiments simulés. La même chose pour la période chaude, on trouve que la température opérative s'abaisse de 6 °C, elle est dans l'intervalle (19.7°C-26°C) au lieu de (24°C-32°C).

D'autre part, la simulation thermique totale de l'enveloppe bâtie avec le même matériau nous montre une efficacité plus performante que le modèle de l'isolation naturelle seulement des murs extérieurs, d'où on remarque que la température opérative se varie entre 19,7 °C et 25,6 °C dans la période froide et entre 23°C et 26°C dans la période chaude. Nous pouvons confirmer que ce résultat est le cas du confort thermique adaptatif optimal selon les normes recommandées.

De plus, un autre modèle de simulation numérique a été effectué en supposant l'amélioration des caractéristiques thermiques de BV3. Les résultats obtenus confirment que l'isolation naturelle de l'enveloppe du bâtiment complètement par le BV3 amélioré qui a une conductivité thermique égale à 0,04 et une épaisseur de 1 cm montre une isolation thermique optimale de l'espace habité et offre un environnement intérieur confortable du point de vue thermique.

Les résultats de la présente recherche ont été positifs, dissipant l'ambiguïté sur l'effet de l'isolation naturelle des bâtiments résidentiels en utilisant un isolant naturel qui se compose de la bouse de vache et des tiges de roseaux en deux étages. Par conséquent, à partir de cette étude, on peut recommander l'utilisation de BV3 avec une épaisseur de 4 cm pour l'isolation naturelle des murs extérieurs par la face intérieure. Ou une autre solution qui sert à l'isolation naturelle de l'enveloppe bâtie totale en utilisant le même matériau, mais avec une épaisseur de 1 cm.

Limites de recherches

Comme tous les travaux de recherche scientifique, notre étude a dû surmonter beaucoup de difficultés liées aux conditions de faisabilité, premièrement à propos de l'enquête à cause de l'indisponibilité des habitants. Aussi, la possibilité de mesure dans les conditions naturelles (sans chauffage et climatisation) pendant une seule journée dans les logements choisis, surtout dans la période hivernale, car les logements sont occupés et donc utilisant les appareils de chauffage, est indispensable.

En plus, le manque de l'instrumentation de mesures qui permettent d'enregistrer les valeurs pendant toute la journée afin de comprendre la situation thermique des bâtiments habités et de rendre les résultats plus précis. Le manque des moyens et des outils de fabrication de matériau isolant est considéré comme une limite qui influe grandement sur la qualité et l'état des échantillons fabriqués, et par la suite sur les essais et les résultats de laboratoire qui peuvent être plus pertinents à ceux obtenus.

Perspectives de recherches

En guise de recherches futures à développer, les résultats obtenus s'apparentent au premier pas d'un long parcours et font partie des rudiments qui pourraient ouvrir la voie aux nouvelles perspectives de recherche relatives à la question de l'isolation naturelle :

- Développement des caractéristiques de l'isolant thermique, proposé dans des conditions de fabrication plus agréables.
- Détermination des paramètres mécaniques caractérisant l'isolant.
- L'étude de l'influence de l'isolation naturelle sur la face extérieure et faire une comparaison entre les deux techniques en exploitant les données de l'isolant proposé.
- L'étude de l'impact de l'isolant proposé contre les nuisances sonores.

Références bibliographiques

- ABDERRAHMANE, B., & ZINELABIDINE, M, 2017, Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation. <http://depot.umc.edu.dz/handle/123456789/6359>.
- ABDUL MUJEEBU, M., ASHRAF, N., & ALSUWAYIGH, A, 2016, Energy performance and economic viability of nano aerogel glazing and nano vacuum insulation panel in multi-story office building. *Energy*, 113, 949–956. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.136>
- ABU YUSUF YA'QUB Ibn Ishāq Al Kindi 8001- 8739, L'optique et la catoptrique, tome 1. Œuvres philosophiques et scientifiques d'Al Kindi. Roshi Rashed. Leiden, Brill, 1997.
- AFNOR ISO 8996, 1994, Ergonomie - Détermination de la production de chaleur métabolique. Paris : AFNOR, 17pages.
- AFNOR. 2007. NF EN 15251 Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique.
- AFNOR. NF ISO 9920 : ergonomie des ambiances thermique – Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une vestimentaire. Paris : AFNOR, 1995, 54p.
- Agence National pour l'Amélioration de l'Habitat (ANAH). Fiche technique « confort thermique ». Paris, mars 2004.
- ALAM, M., SINGH, H., SURESH, S., & REDPATH, D. A. G, 2017, Energy and economic analysis of Vacuum Insulation Panels (VIPs) used in non-domestic buildings. *Applied Energy*, 188, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.115>
- ALAOUI Mohamed, SAIDI Hassani, 2016, Modélisation Analytique et Simulation Numérique de l'Evaluation de l'Efficacité Énergétique des Bâtiments. Thèse de doctorat présenté par université de Mohamed V, Rabat., Maroc.
- ALEXANDROFF Georges, Alexandroff Jeanne-Marie, 1982, Architectures et climats. Soleil et énergies naturelles dans l'habitat, Paris, bonte-Levrault, 379 pages.
- ALI ABAKAR Moussa, Dadi Mahamat Abdallah, Ban-Nah Abdallah, 2023, Mesure des conductivités thermiques de matériaux argileux stabilisés par un liant mixte. *Revue Internationale des sciences physiques*, Vol. 27(3), p. 1-8. DOI : 10.9734/psij/2023/v27i3790
- ANDERSON, G. B., DOMINICI, F., WANG, Y., MCCORMACK, M. C., BELL, M. L., & PENG, R. D, 2013, Heat-related emergency hospitalizations for respiratory diseases in the Medicare population. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 187(10), 1098–1103.
- ARNAL Etienne, 2013, Modélisation et commande hiérarchisées du bâtiment pour l'amélioration des performances énergétiques, thermiques et optiques, *Énergie et Systèmes*, INSA Lyon, N° d'ordre 2013-ISAL-xxxx
- ÅSTRAND, Å., BESSADI Lynda, JOHANSSON Erik, LAÏD Saadia, TEGGOUR Hocine, & TOUMI Nadjia, 1994, Matériaux thermiquement isolants: Béton mousse: Panneaux en laine de bois Åstrand, Johnny; Bessadi, Lynda; Johansson, Erik;
- BACHELARD Gaston, 2005, La poétique de l'espace, Paris, Publication universitaire de France.
- BAMOGO, H., OUEDRAOGO, M., SANOU, I., OUEDRAOGO, K. A. J., DAO, K., AUBERT, J.-E., & MILLOGO, Y. (2020). Improvement of water resistance and thermal comfort of earth renders by cow dung: An ancestral practice of Burkina Faso. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 42–51 Banque Mondiale, 2018, Communiqué de presse, Lisbonne, 2 mai 2018.
- BATIER Cécile, 2016, Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen : d'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales. Thèse de doctorat soutenue sous la direction du Professeur Jean-François Dubé, Université de Montpellier, France,
- BEKKOUCHE Sidi Mohamed El Amine, BENOUAZ Tayb, CHEKNANE Ali, 2009, Influence de l'isolation thermique intérieure et extérieure d'un bâtiment en pierre situé à Ghardaïa. Communication présentée au 1st International Conférence on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.
- BERGER Xavier, 1995, Thermal comfort Study and code - Pascool report, Athènes: University of Athens 1995, 69p

BERKOWICZ Michel, (2009), Isolation naturelle : une solution en plein essor. Futura-Science, Journal en ligne.

BERNSTEIN Daniel, CHAMPETIER Jean-Pierre, SIMONIN-ADAM Christine, VIDAL Thierry, 1997, Anatomie de l'enveloppe des bâtiments, Construction et enveloppes lourdes. Paris, Eyrolles, 280 pages.

BERNSTEIN Daniel, CHAMPETIER Jean-Pierre, PEIFFER François, 1982, La maçonnerie sans fard : méthodes récentes de maçonnerie apparente. Paris, le Moniteur, 222 pages.

BONTE Mathieu, 2014, Influence du comportement de l'occupant sur la performance énergétique du bâtiment, Énergétique et transferts, thèse de doctorat, université de Toulouse III Paul Sabatier.

BOUAMAMA Wahiba, 2013, Au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : approche systémique pour un développement durable cas de : programme Eco-Bat. Thèse de DE Magister soutenue sous la direction du professeur Allal Mohamed Amine, Université Abou-Bakr Belkaid – Tlemcen.

BOUFASSA Sami, 2021, Autour des projets d'habitat pour « Indigènes » en Algérie. Revue Al-Sabil N°9 du 16 février 2021.

BOUKLI Mohammed El Amine, CHABANE Nasr Eddine, SARI Hacène, 2012, L'habitat écologique et ses différents aspects : Aspects énergétiques, économiques et environnementaux d'une Habitation, Laval, Presses Académiques Francophones, 172 pages.

BOULEMAREDJ Ali, GHAZEL Soumaia, 2009, La réhabilitation d'une habitation arabo-turque. Analyse urbaine, travaux dirigés, Département d'Architecture, Université Badji Mokhtar Annaba.

BOULEMAREDJ, Ali. (2023). La rénovation acoustique des logements collectifs – Cas de la cité Champs de Manœuvre, Guelma [thèse de doctorat, université 8 mai 1945 Guelma]. <https://hal.science/tel-04180709>

BOURARA Rima, 2020, L'habitat du soleil. Cas de Guelma. Mémoire de Master 2, soutenu au Département d'architecture de Guelma, sous la direction du professeure Fatma-Zohra Haridi et la docteure Amina Chouahda, Département d'Architecture, Université 8 mai 1945, Guelma.

BOURSAS Abderrahmane, 2013, Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation. Thèse magistère, Université Constantine 1.

BOUZERIBA Mohamed Salah, 2014, Efficacité énergétique - Algérie : un projet dénommé Eco-bât pour instiller l'efficacité énergétique. Publication de l'Agence ECOFIN.

BOUZIANE Aimad Eddine, BAROUK Ilhem, BAMOUNE Douaa, CHIKH Moustapha Amine, 2018, L'habitat à Oued Fourcha, Annaba. Lecture urbaine encadrée par Messieurs Harat et Chaoui, Département d'architecture, Université Badji Mokhtar, Annaba.

BRAGER, GAIL S., et DE Dear Richard John, 1998, Thermal adaptation in the built environment : a literature review ». Energy and Buildings. Vol. 27, n°1, p. 83-96.

BRUCE Roy, VILANE Thulane, 2010, Assessment of stabilization of adobes by confined compression tests , Biosystems Engineering. Vol 106(4), p. :551-558

CANDAS Victor, 1998, Confort thermique. In : génie énergétique. vol. BE 4. Paris : Technique de l'ingénieur, 1998 p. BE 9085.

CANTIN Richard, MOUJALLED Bassam et GUARRACINO Gérard, 2005, Complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6ème congrès européen de science des systèmes, tenu à Paris du 19 au 22 septembre 2005.

Centers for Disease Control and Prevention and U.S. Department of Housing and Urban Development. Healthy housing reference manual. Atlanta: US Department of Health and Human Services; 2006.

Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions et Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer (2003) – Mémento technique du bâtiment pour le chargé d'opération de constructions publiques. Confort thermique.

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment CSTB (2016) Impact de l'humidité dans le bâtiment : diagnostics et retours d'expériences Partie 1 – bâtiments : typologies et pathologies. Collection Recherche – Expertise. ISBN 978-2-86891-648-8

CHAOUI Nabil, 2021, Les nouvelles cités à Annaba : Du neuf à la clochardisation. Journal Le Jeune indépendant EN LIGNE.

- CHERIER Mohamed Kamel, 2010, Etude Théorique et Expérimentale de l'Isolation Thermique Intérieure d'une Pièce d'un Habitat dans la région de Ghardaïa. Thèse de Magister soutenue à l'université Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen - Faculté des sciences Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables Ecole Doctorale Energies Renouvelables
- CHIKHI, A., & BELHAMRI, A, 2016, Etude du comportement thermo-hydrigue des parois des bâtiments. [Thesis, Université Frères Mentouri - Constantine 1].
- Cobîrzan, N., Aciu, C., Balog, A, 2013, Local Resources Used in the Manufacturing of Sustainable Building Materials. *ProEnvironment*, 6, pp. 484 – 488.
- COBÎRZAN, N., ACIU Claudiu, & BALOG Andreea, 2013, Local Resources Used in the Manufacturing of Sustainable Building Materials *Semantic Scholar*.
- COLLARD Fabienne, 2018, La politique énergétique en Europe. Article dans *Courrier hebdomadaire du CRISP* 2018/38-39 (n° 2403-2404), pages 5 à 66.
- COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, 2006, La conception bioclimatique : des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation, Paris, Terre vivante.
- COURTINE Jean-François, 1990, Heidegger et la phénoménologie, Paris, Vrin, Avant-propos : Husserl, Heidegger, phénoménologie » p. 7-9 ; Haridi, 2012.
- MAHAMAT, A. D., ALI, A., TANGUIER, J. L., DONNOT, A., & BENELMIR, R, 2020, Mechanical and thermophysical characterization of local clay-based building materials. 2020 5th International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC), 1–6.
- MAHAMAT, A., Hamid, O., SOULTAN, M., KHAYAL, M., ELHAMDOUNI, Y., GAROUM, M., & GAYE, S. ,2015, Effect of Cow's Dung on Thermophysical Characteristics of Building Materials Based on Clay
- DAS, P., VAN GELDER, L., JANSSEN, H., & ROELS, S, 2017, Designing uncertain optimization schemes for the economic assessment of stock energy-efficiency measures. *Journal of Building Performance Simulation*, 10(1), 3–16.
- DE DEAR Richard John, GAIL Brager, 2002, Thermal comfort in naturally ventilated building to ASHAE Standard 55. *Energy Building*, volume 34, n° 6, 549-561.
- De Dear, Richard John, Gail Brager, Donna Cooper, 1997. Developing an Adaptative Model of Thermal Comfort and Preference [En ligne]. Australie : 312 p.(ASHRAE RP-884).Jing LIU, Yao Runming, McCloy Rachel, 2012, A method to weight three categories of adaptive thermal comfort. *Energy and Buildings*. Vol. 47, p. 312-320.
- Department for Communities and Local Government: London (2006) – Housing Health and Safety Rating System – Guidance for Landlords and Property Related Professionals.
- DERAEDT Bruno, 2021, Le spécialiste de l'isolation : les caractéristiques principales d'une isolation. *Journal Habitos*, Journal en ligne. DOI : <https://doi.org/10.1128/jb.00126-16>.
- DIXIT, M. K., FERNANDEZ-SOLIS, J. L., LAVY, S., & CULP, C. H, 2010, Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42(8), 1238.
- DRUMMOND, Didier, 1982, *Architectes des favelas*, Paris, Dunod.
- DUMITRIU-VALCEA Eugèarnalne, 1986, *Isolation thermique des constructions en Algérie*, Les presses de l'Entreprise Nationale des Arts Graphiques Unité Ahmed zabana – Alger., p. 31.
- EL-KADI Galila,1986, la division sociale de l'espace au Caire : ségrégations et contradictions, *Maghreb Machrek*.
- ENDRAVADAN Mala, 2006, Régulation des systèmes de chauffage et de climatisation basée sur la sensation thermique humaine : impact sur la consommation d'énergie dans les bâtiments. Thèse en Énergétique. Toulouse : Université Paul Sabatier, 161 pages.
- FARIA NETO Antonio, BIANCHI Inácio, WURTZ Frederic, DELINCHANT Benoit, 2016, Thermal comfort assessment Communication présentée au final ELECON Workshop, Floria-nopolis, Brazil.
- FAUCONNIER Roland, 1992., L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires. *Revue Chauffage, ventilation, conditionnement*, vol. 10, 57-62.
- FAURE Thierry, 2009, *Loi Scellier : entre incertitudes juridiques et performance fiscale*. En ligne Editions Publibook, p. 56.
- FEDERATION PACT, 2010, *Cahier pratique : Prendre en compte le risque santé dans l'habitat existant*. Repères et outils d'intervention.

FERRADJI Kenza, 2017, Évaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : Cas des logements HPE de l'OPGI de Blida. Thèse de de magister, Université Mohamed Khider – Biskra.

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

FLOREA, I., & MANEA, D. L, 2019, Analysis of Thermal Insulation Building Materials Based on Natural Fibers. *Procedia Manufacturing*, 32, 230–235.

FOURA Samir, 2008, Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie.

FRIEDMAN Yona, 1978, L'architecture de survie, une philosophie de la pauvreté. Paris, L'Eclat.

FURFARI Samuel, 2007, Le Monde et l'énergie. Enjeux géopolitiques. Paris, Editions TECHNIP.

GACEM Mohamed, 2011, Comparaison Entre l'Isolation Thermique Extérieure et Intérieure d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaïa. Thèse de magister soutenue sous la direction du professeur Taieb Benouaz, Université Abou-Bekr Belkaid, Tlemcen.

GAGGE Anne, NISHI Yoshio, GONZALEZ Rogiolo, 1972, Standard effective temperature-a single temperature index of temperature sensation and thermal discomfort, in Proceedings of the CIB Commission W45 (human requirements) symposium held at the Building Research Station.

GALLAUZIAUX Thierry, FEDULLO David, 2011, Le grand livre de l'isolation. Solutions thermiques, acoustiques, écologiques et hautes performances. Paris, Eyrolles.

GIBILISCO, S, 2006, Alternative Energy Demystified. McGraw Hill Professional.

GIVONI Baruch, 1978, L'Homme, l'architecture et le climat / traduction de Izard, Jean-Louis, Paris, Ed. Moniteur, 460 pages.

GOUJA, Y, 2023, July, Marseille: Des logements à la manufacture « la Tulipe » - Cahiers Techniques du Bâtiment (CTB). CTB: Cahiers Technique du Batiment; www.cahiers-techniques-batiment.fr.

GUERIN Hugo, 2010, Histoire de la recherche sur l'enveloppe du bâtiment. De l'habitat bioclimatique au bâtiment à énergie positive, Rôle de l'ADEME. Direction de la recherche et technologies avancées, ADEME, 60 pages.

GUIBERT Aliénor, 2023, Comment choisir une isolation thermique performante. Hello Watt ? Journal en ligne.

GUIDE expert du confort thermique, 2022, Isolation : définition. ClimaMaison en ligne.

GUIDE Expert du confort thermique, 2023, Isolant thermique. ClimaMaison, Journal en ligne.

GUIDE Isolation, 2023, Isolation naturelle. Samse Matériaux de construction, journal en ligne.

GUIDE Isolation, 2023, Les divers aspect de l'isolation. Samse journal en ligne

GUIDENR HQE, l'information Haute Qualité Environnementale. L'approche adaptative du confort thermique : Les modèles adaptatifs, 2010.

Gupta Kartikey Kumar, Rai Aneja Kamal, Rana, 2016, Statut actuel de la bouse de vache en tant que bioressource pour le développement durable. *Bioresources and Bioprocessing*. DOI : 10.1186/s40643-016-0105-9

GUPTA Kuldeep KUMAR Ramnaresh, SHANTINATH Indi, DIPANKAR Chatterji, 2016, Régulation de la croissance, de la forme cellulaire, de la division cellulaire et de l'expression génique par les seconds messagers (p) ppGpp et le Di-GMP cyclique chez *Mycobacterium smegmatis*. *Journal ASM-Journal de bactériologie*. Vol. 198, n° 9.

HALIDOU Bamogo, OUEDRAOGO Moussa, SANOU Issiaka, AUBERT Jean-Emmanuel, MILLOGO Younoussa. Physical, Hydric, 2022, Thermal and Mechanical Properties of Earth Renders Amended with Dolomitic Lime. *Materials*. Vol. 15 (11), pp.4014. [ff10.3390/ma15114014ff](https://doi.org/10.3390/ma15114014). [ff10.3390/ma15114014ff](https://doi.org/10.3390/ma15114014ff).

HALL Matthew, R, .2010, *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings* (1er éd).

HARIDI Fatma-Zohra, 2013, Cours sociologie de l'habitat, 2ème année architecture, Département d'Architecture, Université 8 mai 1945, Guelma, Algérie.

HARIDI Fatma-Zohra, 2016, *Forme de ville. Rencontre des formes de vie et de l'imaginaire de l'habiter*, Editeur Atelier National des Reproductions des thèses, Université Lille 3, Lille France.

HARIDI Fatma-Zohra, Burgel Guy, 2007, *La quête de cohésion sociale et d'intégration spatiale des cités d'habitat collectif est-elle réelle ?* Communication, présentée, colloque international, Séminaire International : Comment lire la ville aujourd'hui ? Morphologie urbaine et Transformations socio-spatiale, 24 & 25, Université Badji Mokhtar Annaba

HARUNA, A. C., MUHAMMAD, U. D., & ORAEBUNE, O. M, 2018, *Analysis of Indoor Thermal Comfort Perception of Building Occupants in Jimeta, Nigeria*. *Civil and Environmental Research*, 10(4), 11.

HAUGLUSTAINE, J.-M., & FRANCY, S, 2018, *Guide pratique pour les architectes. La rénovation et l'énergie [2018] (numérique)*. Ediwall.

HAUT, P. de. (2007). *Chauffage, isolation et ventilation écologiques*. Eyrolles.

HEGGER Manfred, 2011, *Construction et énergie : architecture et développement durable*. Lausanne, PUR Presses polytechniques Romande.

HERNANDEZ, O, 2014, *Étude et analyse de la ventilation et de la qualité des environnements intérieurs (QEI) dans les bâtiments de bureau à faible de Montigny City le cas de la tour élithe à Dijon (thèse de doctorat)*. Université de La Rochelle, France.

HOLCROFT, N., & SHEA, A, 2013, *Heat of Sorption and Moisture Buffering Properties of Building Insulation Materials*.

HOUTMAN, I., DOUWES, M., DE JONG, T., MEEUWSEN, J. M., JONGEN, M., BREKELMANS, F., WEEGH, M., BROUWER, D., BOSSCHE, S., ZWETSLOOT, G., REINERT, D., NEITZNER, I., HAUKE, A., FLASPÖLER, E., ZIESCHANG, H., KOLK, A., NIES, E., PRIESHOF, H., ROMAN, D., & CORRAL, A, (2008, *New Forms of Physical and Psychosocial Health Risks at Work*.

Human thermal environment the effect of hot moderate and called environment on human health, comfort and performance (3eme éd). Etats-Unis : CRC Press.

HUMPHREY Michael, NICOL Fergus, 2002, *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments* ». *Energy and Buildings*. Vol. 34, n°6, p. 667-684

HUMPHREY Michael, NICOL Fergus, 2010, *Dérivation des équations adaptatives pour le confort thermique dans les bâtiments à circulation libre dans la norme européenne EN15251*. *Bâtiment et environnement*, vol. 45, n° 1, p. 11-17.

HUSSERL Edmond, 1923, *Idées directrices pour une phénoménologie*. Collaboration et traduction de Ricoeur Paul, 1950, Paris, Gallimard p. 96 – Haridi, 2012.

IDMAISON, 2014 : *Isolation Naturelle en chanvre*, Journal en ligne.

IMESSAD Khaled, KHARCHI Razika, BOUCHAIB Said, CHENAK Abdelkhrim, HAKEM Samir, HAMIDAT Abderrahmene, LARBI-YOUCHEF Samir, SAMI Samia, SAHNOUNE Fatah, 2017, *Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment*. *Revue des Energies Renouvelables*. Vol. 20 N°4 (2017) 591 - 597 591, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER.

INGRAO, C., LO GIUDICE, A., BACENETTI, J., TRICASE, C., DOTELLI, G., FIALA, M., SIRACUSA, V., & MBOHWA, C, (2015), *Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 29–42.

Institut national de santé publique Québec, direction de la santé environnementale et de la toxicologie, 2014, *Mon habitat : plus qu'un simple toit. Résultats du projet pilote de Baie-Saint-Paul*

ISOPROC, C. 2021, *Projet pionnier: Immeuble de bureaux circulaire (Kamp C)—La cellulose garde l't Centrum au chaud (Westerlo)—Projets—ISOPROC SOLUTIONS*. ISOPROC: Solutions Constructives d'avenir.

ISSAADI Nouara, 2016, *Contribution à la réhabilitation thermique d'un immeuble collectif*. *Essai d'évaluation de la conformité à la réglementation thermique en Algérie*. Mémoire Master 2 soutenu sous la direction Mme Naima Guerrah Abbassene, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

STOLWIJK, J. A., *A mathematical model of physiological temperature regulation in man*, vol. 1855. National Aeronautics and Space Administration, 1971.

- JAAKKOLA, M., QUANSAH, R., HUGG, T., HEIKKINEN, S., & JAAKKOLA, J. (2013). Association of indoor dampness and molds with rhinitis risk: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.07.028>
- JACQUEMET-BOUTES Benjamin, Wittendal Carolyn, 2005, *L'Architecture Verte Américaine : une utopie remise au goût du jour par la crise de l'énergie*. CyberArchi. En ligne Consulté le 04/10/2019.
- JEAN-DAMIEN Christophe, 2016, *La Bouse de vache : historique, Importance et Ecosystème*. Thèse de doctorat soutenue sous la direction du professeur Bodin, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse-France, p. 4.
- JEDIDI Malek, BENDJEDDOU Omrane, 2016. *La thermique du bâtiment du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation 1^{er} édition* Paris : Dunod.
- JODIDIO Philip 2009 ; 2012, *Green Architecture Now*, Volume 1-2, Cologne, Taschen.
- MCCARTNEY K. J. and J. F. NICOL, 2002, Developing an adaptive control algorithm for europe, *Energy and Buildings*, vol. 34, no. 6, pp. 623–635.
- KADRI Nassima, MOKHTARI Abderrahmane 2011, Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 14 N°2 (2011) 301 – 311
- KAMIR, T., & ROZA, A. S, 2017, *La politique sociale de l'habitat en Algérie: Impacts sur le développement économique et social*.
- KARTIKEY Kumar Gupta , Kamal RAI ANEJA, DEEPANSHU Rana, 2016, Current status of cow dung as a bioresource for sustainable development 2016, *Bioresources and Bioprocessing*.
- KHADRAOUI Med Amine, 2019, *Étude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique (Cas des bâtiments tertiaires dans un climat chaud et aride)*. Thèse de doctorat, Spécialité Architecture environnement et patrimoine, Université Mohamed Khider Biskra.
- KOCI, V., KOCI, J., MADERA, J., PAVLIK, Z., Gu, X., ZHANG, W., & ČERNÝ, R, 2018, Thermal and hygric assessment of an inside-insulated brick wall: 2D critical experiment and computational analysis. *Journal of Building Physics*, 41(6), 497–520.
- KORJENIC, A., PETRÁNEK, V., ZACH, J., & HROUDOVÁ, J, 2011, Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43(9), 2518–2523.
- KULDEEPAKUMAR Ramnaresh Gupta, PRIYANKA Baloni , Shantinath S. INDI , DIPANKAR Chatterji, 2016, Régulation de la croissance, de la forme cellulaire, de la division cellulaire et de l'expression génique par les seconds messagers (p) ppGpp et le Di-GMP cyclique chez *Mycobacterium smegmatis*. *Journal ASM- Journal de bactériologie*, vol. 198. n° 9.
- KULSHRESHTHA Y, VARDON PJ, MEESTERS G, VAN LOOSDRECHT MCM, MOTAJA, JONKERS HM, 2022, Qu'est-ce qui rend le bloc de terre stabilisé à la bouse de vache résistant à l'eau. *Technologies et architecture de la construction*, vol. 1, p' 540-548
- L'Agence internationale de l'énergie (AIE, en anglais International Energy Agency, IEA) est une organisation internationale fondée à l'OCDE en 1974, basée à Paris.
- Laboratoire CERMA, UMR CNRS 1563 École d'Architecture de Nantes cedex 2, France. Laboratoire de recherche en architecture et aménagement, créé en 1971.
- LANGLAIS Catherine, 2004, Thermal insulation at ambient temperature. Classification of insulating materials; Isolation thermique a température ambiante. Classification des isolants. *Techniques de l'ingénieur. Génie énergétique*.
- LASSALLE Jean-Charles, 2019, *Le principe physique de l'isolation thermique*. Publication en ligne.
- LAURENTIUS Joannes, HENSEN Maria., 1991, *On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System*, Thèse de doctorat. PhD thesis, Technische Universiteit Eindhoven.
- LAVIGNE L, 1994, «Architecture climatique : une contribution au développement durable, concepts et dispositifs » tome 2, page 16.
- LAVOYE Frédéric, BOEUF Frédéric, THELLIER Françoise, 2015, *Qualité des ambiances dans les bâtiments (1^{er} édition)* Paris : presse des mines collection développement durable.
- LE CORBUSIER, 1925, *Urbanisme*, Paris, Crès, 1925, p. 219
- LE PETIT LAROUSSE, 2022, Editeur Larousse, 2048 pages.

LIEBARD Alain, De HERDE André, 2005, Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Éditions du Moniteur, Paris, France, p, 16

LIEBARD, Alain, DE HERDE André, 2005, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique (1er éd) Paris observ'ER

Loi n° 99-09, 28-07-1999 relative à la maîtrise de l'énergie. Journal Officiel de la République Algérienne n° 51.

LUCUIK Marc, 2005, Analyse de rentabilité pour les bâtiments écologiques au Canada. Rapport n°2052223.00. Morrison Hershfield, Ottawa, 64 pages.

LUTAŞ, A., BALO, F., & TOPAL, A, 2023, Identifying the Most Efficient Natural Fibre for Common Commercial Building Insulation Materials with an Integrated PSI, MEREC, LOPCOW and MCRAT Model. Polymers, 15(6), 1500.

MARCHETEAU Géraldine, 2021, Isolation thermique : qu'est-ce-que c'est l'isolation ? Publication en ligne

MARENCA Bruno, DUJIN Anne, et PICARD Romain, 2009, La consommation d'énergie dans l'habitat, entre recherche de confort et impératif écologique [En ligne]. (CREDOC).

GALEOU Margerita, 1991, La sensation thermique de l'homme dans son habitat : des grandeurs physiques et physiologiques aux sensations. PhD thesis, Université de Toulouse, France.

MAZARI Mohammed, 2012., Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public carte du département d'architecture de Tamda Tizi Ouzou Mémoire de Magister, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.

MÉBÉROUK Hayet, 2006, La gestion et la mise en œuvre d'espaces urbains publics, une multitude d'acteurs en interaction ? cas de l'agglomération d'El-Bouni, Communication présentée à la Conférence, 2ème Séminaire International sur la gestion des villes, université de M'Sila, 07, 08, 09, Novembre 2006. Extrait p. 5-7.

MERLEAU-PONTY Maurice, 1945, Phénoménologie de la perception. Paris, Gallimard, p. 9-11.

MESSAOUDI, M. T., DOKKAR, B., KHENFER, N., & BENZID, M. C, 2021, 3D investigation of semi-underground room comfort in a desert climate. Journal of Thermal Engineering, 1590–1590.

MEZRAG Abdelkader, 2010, La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie. Thèse de Magister, soutenue sous la direction du professeur Mohamed Dahli, Université Mouloud Mammeri – Tizi Ouzou

MILLOGO Younoussa, AUBERT Jean-Emmanuel, DOUANI SERE Ahmed, Fabbri Antonin, Jean-Claude Morel, 2016. Blocs de terre stabilisés par de la bouse de vache. Journal Matériaux et Structures, vol. 49, Springer Pays-Bas, p. 4583-4594.

MILLOGO Younoussa, Mohamed Hajjaji, Raguilnaba Ouedraogo, 2008, Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks. Construction et matériaux de construction, 2008, vol. 22, n° 12, p. 2386-2392.

MINISTERE de l'Écologie, de l'Énergie et du Développement Durable et de la Mer - MEEDDM : Réglementation thermique, Grenelle de l'environnement 2012, 06 juillet 2010.

MISHRA, A.K., LOOMANS, M.G.L.C., HENSEN, J.L.M, 2016, thermal comfort of heterogeneous and Dynamic indoor conditions On overview. building and environment, 109,82-100.

MOHAMAD HATA, R., HASSAN, R., ARSHAD, F., & IDAYU, H, 2016, Effect of solar radiation to the building materials properties: A review / Raihana Mohamad Hata ...[et al.]. Scientific Research Journal, 13(2).

MOSER Gabriel, 2009. Psychologie environnementale, les relations homme-environnement. Bruxelles : de Boeck, 298 p. ISBN : 978-2-8041-1753-5.

MOUJALLED Bassam, 2007, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés [En ligne]. Thèse en Génie Civil. Lyon : Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 330 p.

MOUJALLED.Bassam., CATIN,R.,GUARRACINO,G, 2008, Dynamic modeling of thermal comfort in buildings. communication présentée au Congress systems, France.

MOUSSANEF Chahrazed, 2006, Résorption de l'habitat précaire dans l'agglomération de Annaba (Algérie). Intégration ou épreuve de l'exclusion? Thèse de doctorat, soutenue sous la direction Mohamed El-Hadi Larouk, Département d'Architecture, Université Constantine 1.

MUTHURAJ Rajendran, LACOSTE Clément, LACROIX Patrick, BERGERET Anne, 2019, Bio-composites d'isolation thermique durable à base de balle de riz, de balle de blé, de fibres de bois et de fibres de déchets textiles : élaboration et évaluation des performances. Journal Cultures et produits industriels, Elsevier Volume 135, Pages. 238-245

NAIT Nadia, 2011, La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants cas du climat semi-aride de Constantine. Thèse de Magister, soutenue sous la direction du Professeur Bourbia Fatiha, Université Mentouri, Constantine

NARÇON Sandrine, 2001, Caractérisation des perceptions thermique au régime transitoire Contribution à l'étude de l'influence des interactions sensoriales sur le confort. Thèse Neurosciences et comportement Paris : école pratique des hautes études.

NÄYHÄ, S., RINTAMÄKI, H., DONALDSON, G., HASSI, J., JOUSILAHTI, P., LAATIKAINEN, T., JAAKKOLA, J., & IKÄHEIMO, T, 2013, Heat-related thermal sensation, comfort and symptoms in a northern population: The National FINRISK 2007 study.

NEUF, 1978, Climat intérieur/ confort, Santé, confort visuel Revue européenne d'architecture N°77, novembre - décembre 1978.

NGOWI Alfred B, 1997, Améliorer la construction traditionnelle en terre : une étude de cas du Botswana. Construction et matériaux de construction. Vol. 11, n° 1, p. 1-7.

NJIKE Manette, 2015, Potential of Quarry Dust and Cow Dung as stabilisers for Black Cotton soil Eco-blocks for Housing, Civil and Environmental Research.

OLIVA Jean-Pierre, COURGEY Samuel, 2023, L'isolation thermique écologique - Conception, matériaux, mise en œuvre. Paris, Maison écologique.

OMER, A. M., 2009, Energy use and environmental impacts: A general review. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 1(5), 053101.

ORTIZ, O., CASTELLS, F., & SONNEMANN, G, 2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. Construction and Building Materials, 23(1), 28–39.

OYAWA Walter O, NJIKE Manette, MUSIOMI Timothy, 2015, Développement d'une maison écologique modèle à étages Ato à partir de terre pisée. Presses de l'École de génie civil, Université du Queensland, Australie, p. 1609-1618

PANERAI Philippe, DEPAULE Jean-Charles, DEMORGON Marcelle, 1999, Analyse urbaine, Paris, Parenthèses, 189 pages

PARSONS Ken, 2003, Human thermal environment. 2nd Edition. London: Taylor and Francis, 527 pages.

PEREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J., & POUT, C, 2008, A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 40(3), 394–398.

PERRINE Claire, 2021, Comment évaluer la performance d'un isolant ? Journal Tout sur l'isolation en ligne

PIHELO, P., KIKKAS, H., & KALAMEES, T, 2016, Hygrothermal Performance of Highly Insulated Timber-frame External Wall. Energy Procedia, 96, 685–695.

POQUET Guy, DUJIN Anne, 2008, Pour les ménages, la recherche du confort prime sur les économies d'énergie [En ligne]. 4 p. CREDOC, n°210.

PRESSES DE L'EHESP ,2011, Pour un habitat favorable à la santé – Les contributions des villes. Santé environnementale – éléments de préconisations.

Quicherat Louis, 1836, Thesaurus poeticus linguae latinae : ou dictionnaire prosodique et poétique de la langue latine. Paris, Hachette, p. 1104.

RAHMOUNI Sofiane, 2020, Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National d'Efficacité Energétique, thèse de doctorat, spécialité : Gestion des Risques, Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2.

RANCAYOLO Marcel, 1989. Propriété, intérêt public, urbanisme après la Révolution. Les avatars de la législation impériale. Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 43, p.85-94.

RANCK Louise, 2009, Maisons écologiques. Cas pratiques, Paris, Eyrolles, 136 pages.

- ROBERT Jean-Louis, 1998, Ville vécue et ville imaginée. *Le Mouvement social*, No. 182, sous le thème : L'habitat du Peuple de Paris. Paris, La découverte, p. 3-7.
- ROBILLART, M, 2015, étude des stratégies de gestion en temps réel pour les bâtiments énergétiquement performants (test de doctorat). École nationale supérieure des mines de Paris, France.
- ROSHAN, Gh. R., FARROKHZAD, M., & ATTIA, S, 2017, Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements. *Building and Environment*, 121, 168–189.
- ROSSI, F., MARIGLIANO, M., MARINO, C., & MINICHIELLO, F, 2016, A Technical and Economic Analysis on Optimal Thermal Insulation Thickness for Existing Office Building in Mediterranean Climates. *International Journal of Heat and Technology*, 34, S561–S568.
- ROULET Claude-Alain, 2008, Conditions de confort et de logement sain [En ligne]. EPFL, 70 p.
- SAEKI, K., OBAYASHI, K., IWAMOTO, J., TONE, N., OKAMOTO, N., TOMIOKA, K., & KURUMATANI, N, 2014, The relationship between indoor, outdoor and ambient temperatures and morning BP surges from inter-seasonally repeated measurements. *Journal of Human Hypertension*, 28(8), 482–488.
- SAINT GOBAIN, 2016, Introduction à la thermique du bâtiment. Rapport.
- SALOMON Thierry, BEDEL Stéphane, 2004, La maison des [méga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi. Ed. Terre vivante. Mens 2004.
- SAMBOU, V, 2008, Transferts thermiques instationnaires: Vers une optimisation de parois de bâtiments [These de doctorat, Toulouse 3].
- NARÇON Sandrine., 2001, Caractérisation des perceptions thermique au régime transitoire Contribution à l'étude de l'influence des interactions sensoriales sur le confort. Thèse Neurosciences et comportement Paris : école pratique des hautes études
- SANTAMOURIS, M. SYNNEFA, A. KARLESSI, T, 2011, Using Advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal Comfort conditions solar energy, 85(12), 3085-3102.
- SASSINE Emilio. 2017, Analyse typologique et Thermique des maisons anciennes De Lille. Etude expérimentale et Numérique des parois verticales, sciences pour l'ingénieur, université d'Artois, France.
- SCHS de Bourg-en-Bresse (2018) – Document de travail sur l'habitat favorable à la santé.
- SEGAUD Marion, 2010, Anthropologie de l'espace. Paris, Armand Colin, pages 70-103.
- SEMAHI Samir, 2013, Contribution méthodologique à la conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie. Développement d'une approche de conception dans les zones arides et semi-arides, Outil d'aide à la conception. Mémoire de magister, École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme EPAU - Hocine Ai Ahmed, Alger.
- SOTEHI Nassima, 2010, Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation. Thèse de doctorat soutenue sous la direction du professeur Chaker, Département de physique, Université Mentouri – Constantine.
- THELLIER Françoise, MONCHOUX Françoise, BEDRUNE Jean-Pierre. 2012, Le confort dans le bâtiment : n'oublions pas l'habitant. *Revue Bâtiment-Énergie* [En ligne]. JEEA 2012. Université de Cergy Pontoise.
- TURBIN Michèle, 2009, L'architecture verte - Atelier Architecture verte. Michèle et Jérôme Turbin, Rennes, France.
- VAUTHEROT Audrey, 2008, Isolant thermique : les différents matériaux et leurs caractéristiques. Gralon .net.
- VITRUVÉ, 2004, De Architectura. Texte latin. Mouzeuil-Saint-Martin, Bès. Traduction française par CH. L. Maufra. Paris 1847.
- VITTONÉ René, 2010, Bâtir : manuel de la construction. Lausanne, PPUR Presses polytechniques, 1015 pages.
- VU, B, 2007, isoler écologique. Eyrolles.
- WHO Regional Office for Europe (2011) – Environmental burden of disease associated with inadequate housing summary report
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/145511/e95004sum.pdf
- WINES James, 2000, L'architecture verte, Cologne, Taschen, 240 pages.

WOODHOUSE, P. R., KHAW, K. T., & PLUMMER, M, 1993, Seasonal variation of blood pressure and its relationship to ambient temperature in an elderly population. *Journal of Hypertension*, 11(11), 1267–1274.

World health organization WHO (2018) – Housing and health guidelines. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Geneva. ISBN 978-92-4-155037-6. <http://www.who.int/sustainable-development/publications/housing-health-guidelines/en/>

YALLEY Peter Paa-Kofi, Manu Dorothy, 2013, Strength and durability properties of cow dung stabilised earth brick. *Civil and Environmental Research*, 2013, vol. 3, no 13, p. 117-125.

ZOUIDEN, F, 2022, Le bâtiment « phare » MASEN - Ouarzazate. *aemagazine*. <https://aemagazine.ma/masen-batiment-phare-ouarzazate/>

Webographie

<http://bone-la-menadia.over-blog.com/2016/06/entree-en-matieres-histoire-du-quartier-de-la-menadia.html>

<http://bone-la-menadia.over-blog.com/2016/06/entree-en-matieres-histoire-du-quartier-de-la-menadia.html>

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:nRPGsDYcMNwJ:ipco-co.com/ESMB/vol9/Issue2/189.pdf&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=dz>

<http://www.ideesmaison.com/Le-Mag-de-la-Maison/A-la-Une/Construction-materiaux/>

<http://www.made-in-algeria.com/news/programme-eco-bat-7371.html>

<http://www.secheresse.info/spip.php?rubrique6>

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1927667>

<https://ana.fibladi.com/>

<https://annaba-patrimoine.org/dar-laouabdia-sellami/>

<https://annaba-patrimoine.org/hotel-de-ville/>

<https://annaba-patrimoine.org/immeuble-laussat/>

<https://annaba-patrimoine.org/immeuble-laussat/>

https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/isolants-et-pare-vapeur/types-d-isolants-generalites/#Les_grandes_categories_d%E2%80%99isolants

https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/isolants-et-pare-vapeur/types-d-isolants-generalites/#Les_grandes_categories_d%E2%80%99isolants

<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>

<https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>

<https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/annaba/annaba-3685/#climate-graph>

<https://fr.db-city.com/Alg%C3%A9rie--Annaba--Annaba--Annaba>

<https://fr.weatherspark.com/y/55178/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Annaba-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Agence_internationale_de_l'energie

https://fr.wikipedia.org/wiki/El_Bouni

<https://isolation-thermique.org/financer-isolation-thermique/tout-savoir-sur-la-reglementation-de-lisolation/>

https://m.facebook.com/people/Dar-El-Diaf-Ghardaia/100064007171844/?locale=en_GB

<https://mapio.net/pic/p-75160336/>

<https://mapio.net/pic/p-75160336/>

<https://planificateur.a-contresens.net/afrique/algerie/annaba/annaba/2506999.html>

<https://shs.hal.science/halshs-0575923/document>

[https://top10entreprises.fr/01242112/Atelier_Architecture_Verte.](https://top10entreprises.fr/01242112/Atelier_Architecture_Verte)
https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/sdg7-report2023-ch4._energy_efficiency.pdf
<https://twitter.com/maelassal/status/1137349373015351298/photo/1>
<https://www.3615devis.com/travaux/preparation/architecte/architecture-ecologique.html>
https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/VIP/VIP12_Adaptive_Comfort.fr.pdf
<https://www.alec-grenoble.org/5981-1-isolation-thermique.htm>
<https://www.build-green.fr/quest-ce-quun-habitat-ecologique-selon-build-green/>
<https://www.cairn.info/revue-courrier-hebdomadaire-du-crisp-2018-38-page-5.htm>
<https://www.climamaison.com/lexique/isolant-thermique.htm>
<https://www.climamaison.com/lexique/isolation.htm>
<https://www.climamaison.com/lexique/isolation.htm>
<https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/annaba>
<https://www.ecohabitation.com/guides/2458/les-isolants-naturels/>
<https://www.ecohabitation.com/guides/2458/les-isolants-naturels/>
<https://www.eco-logis.com/comparatif-isolants-ecologiques/>
<https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-isolation-thermique-10731/>
<https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/isolation-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/>
<https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/isolation-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/>
<https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-isolant-thermique---les-differents-materiaux-et-leurs-caracteristiques-1328.htm>
<https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-isolant-thermique---les-differents-materiaux-et-leurs-caracteristiques-1328.htm>
<https://www.guidebatimentdurable.brussels/isolants-thermiques-frac>
<https://www.habitatnaturel.fr/espace-ressources/4-Definitions/12-Les-7-piliers-de-lecoconstruction/>
<https://www.habitos.be/fr/construire-et-renover/le-specialiste-de-l-isolation-les-caracteristiques-principales-d-une-isolation-4436>
<https://www.hellowatt.fr/isolation/isolant-thermique/>
<https://www.hellowatt.fr/isolation/isolant-thermique/>
<https://www.hellowatt.fr/isolation/isolant-thermique/>
<https://www.hellowatt.fr/isolation/isolant-thermique/>
<https://www.hqe.guidenr.fr/cible-8-hqe/confort-thermique-modele-adaptatif.php>
<https://www.hqe.guidenr.fr/cible-8-hqe/confort-thermique-modele-adaptatif.php>
<https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2021/annaba/valeurs/60360.html>
<https://www.instagram.com/p/Cj0qGpwLR4v/>
https://www.isoproc.be/fr/solutions/referenties/detail/projet_pionnier_immeuble_de_bureaux_circulaire_kamp_c_-_la_cellulose_garde_t_centrum_au_chaud_westerlo/14474?search_category_1=&search_category_2=
<https://www.jeune-independant.net/logements-attribues-a-annaba-du-neuf-a-la-clochardisation/>
<https://www.lisolation.fr/isolation-definition/>
<https://www.pinterest.fr/pin/345229127694965636/>
<https://www.samse.fr/guide-isolation/isolation-naturelle>
<https://www.samse.fr/guide-isolation/isolation-naturelle>
<https://www.seformeravecsaintgobain.com/medias/>

<https://www.snic-liege.com/isolation-thermique/le-principe-physique-de-lisolation-thermique/>
<https://www.toutsurlisolation.com/lambda-isolation-performance-thermique>
<https://www.toutsurlisolation.com/reglementation-thermique-2005>
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/rgveda-rig-veda/>
<https://www.u-run.fr/61507-la-thermoregulation-et-ses-mecanismes-de-regulation>
https://www.viamichelin.fr/web/Cartes-plans/Carte_plan-El_Bouni_-_Annaba-Algerie
<https://www.vitamedz.com/photos/113/113434-b-timent-sonatiba.jpg>
https://fileadmin/documents/RT2012/06_07_2010_generalisation_des_batiments_a_basse_consomption.pdf

ANNEXES

ANNEXE A : LES DONNEES METEOROLOGIQUES DE LA VILLE DE ANNABA.

Les valeurs des températures de la station météorologique de la ville en question ont été exploitées dans cette étude. Le tableau 1 illustre les températures moyennes mensuelles de la ville d'Annaba pendant 10 ans (entre 2012 et 2021).

Tableau 45 : Les températures moyennes mensuelles de la station météorologique à Annaba entre 2012 et 2021 (Source : - adaptée par l'auteur, 2022)

année / mois	janvier	fevrier	mars	avril	mais	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	decembre	moyenne
2013	12,4	10,6	14,6	15,6	18,5	20,2	24,5	25,4	23,5	22,9	15,8	12,5	18,04
2014	12,9	13,1	12,6	15,8	18	23	24,5	25,8	25,3	22,2	18,5	12,8	18,70
2015	11,7	10,8	13,5	15,3	20	22,5	25,8	26,6	24,2	21,5	16,3	12,9	
2016	13	13,1	13,2	16	18,6	22	24,7	24,2	23,5	22,1	17,3	14	
2017	10,8	fqq	14,3	15,6	18,8	23,8	25,9	27,3	22,9	19,7	15,1	12	18,74
2018	13,2	11,1	14,2	16,3	18,3	21,9	26,2	25,6	25,1	20,3	16,3	13,4	18,49
2019	10,8	11,5	13,4	15,5	17,3	22,8	26,2	27,2	23,8	21,1	15,3	14,2	18,25
2020	12,4	13,4	13,7	16,2	19,8	22,1	25,1	26,9	23,5	19	17,1	13	18,51
2021	12,7	14,5	13,3	15,7	19,3	23,9	26,5	27,3	25,9	19,9	16,2	12,9	19,00
2022	10,7	12,3	14,1	15,6	19,8	24,8	26,9	27,2	26,4	22,6	17,6	15,9	19,49
moyenne	12,06	12,2333333	13,69	15,76	18,84	22,7	25,63	26,35	24,41	21,13	16,55	13,36	18,55

À travers l'exploitation des valeurs de ce tableau, le mois représentatif de chaque saison est le mois de janvier pour la saison froide et le mois d'aout pour la saison chaude. Après la détermination des mois d'étude, les valeurs des températures moyennes journalières des mois de janvier et d'aout ont été utilisées afin de calculer la semaine représentative « design week » de chaque période et, par la suite, la sélection de la journée type « design day » pour la prise de mesures sur terrain.

Le calcul de la semaine type « design week » et la sélection de la journée type de la prise de mesures "design day" du mois le plus froid (janvier) pour l'étude sur terrain (tableau 46).

Tableau 46 : Le calcul de la semaine type "design week" et la sélection de la journée type de la prise de mesures "design day" du mois le plus froid Janvier (source : adapté par l'auteur,2023)

janvier	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	moyenne
1	14,2	12,2	11,1	7,7	15,1	9,8	13,7	12,9	10,3	10,2	11,72
2	13,1	9,6	11,3	10,5	15,4	10,6	12,1	12,8	12,3	10,6	11,83
3	13	9,9	13,2	13,1	15,3	11,8	16,2	12,7	9,3	8	12,25
4	12,5	12,8	16,3	12,1	17	13,8	16,7	8,4	10,5	9,7	12,98
5	14,1	13,1	13,9	14,6	17,1	14	15,7	9,4	11,8	9,2	13,29
6	14,6	13,6	12,9	11	12,2	10,5	14,7	13	13,3	8	12,38
7	11,8	13,2	13	11,4	13,8	9,9	18,1	12,2	11,4	14	12,88
8	14,2	13,6	13,1	10,9	16,6	10,3	14,6	9,8	11,8	12,7	12,76
9	12,1	12,2	14,5	12,4	15,3	11,9	12,8	12,2	12,7	16,8	13,29
10	11,8	11,5	15,2	13,8	15,6	10	11,5	8,7	11	14,5	12,36
11	12,4	14,9	13,5	14	13,9	10,8	12,3	8,6	11,5	12,6	12,45
12	10,2	12,3	13,6	14	12,8	9,9	10,8	8	12,7	10,3	11,46
13	11,4	13,6	14,1	1,8	13,2	11,7	11	9,8	11,5	12,3	11,02
14	9,9	11,8	12,2	16,2	12,9	8,8	11,2	12,4	11,6	12,1	11,91
15	11,8	9,4	12,7	13,6	12,7	7,2	11,2	14,4	11,4	12,6	11,7
16	10,7	10,5	11,7	17,7	9,2	7,3	12,5	12,4	10,6	11,2	11,38
17	10,2	18,9	13,5	12,6	8,2	6,7	13,3	11	9,8	12	11,62
18	11,3	10,7	15,5	10,1	11	7,5	12,4	9,7	12,3	12,1	11,26
19	9,9	17	14,6	11	11	8,3	10,9	11,2	11,2	9,9	11,5
20	10	15	13,1	11,4	11,2	8,6	12,8	11,2	13,8	13,4	12,03
21	11,6	10,8	10,7	11,8	12,3	13,2	14,3	13,2	16,6	14,4	12,89
22	13,7	11,6	11,5	10,8	13,4	12,7	16,8	10,6	14,5	14,9	13,05
23	12,6	9,8	12,8	10,5	12,2	12	14,6	8,4	15,3	13,3	12,15
24	11,9	9,8	11,7	10,5	12,8	10,8	13,1	7,7	12,9	13,1	11,43
25	13,2	9,4	12,4	8,8	10,9	10,9	13,7	8,7	12,7	14,5	11,52
26	12,2	9	15	9,5	10,2	10,7	13,4	11,3	13,5	13,2	11,8
27	10,1	10,4	12,1	8,7	11,4	13,5	12,6	13,1	14	11,5	11,74
28	11,5	10,4	10,7	11,5	10,7	12,1	10,8	10,4	12,4	17,3	11,78
29	8,8	13,4	10,2	12,1	12,4	12,2	13,3	10	14,3	17,8	12,45
30	9,1	12	12,2	13,8	12,5	12,5	12	11,8	13,9	17	12,68
31	12,1	13	10,6	15,3	13	12,7	13	11,2	13,8	14,7	12,94

Le calcul de la semaine type « design week » et la sélection de la journée type de la prise de mesures « design day » du mois le plus chaud (aout) pour l'étude sur terrain (Tableau 47)

Tableau 47 : Le calcul de la semaine type "design week" et la sélection de la journée type de la prise de mesures "design day" du mois le plus chaud (aout)

1												
2	28,6	24,9	28,2	28,1	24,6	30,5	26	32,6	28,2	26,7	27,88	27,84
3	27,9	24,8	26,1	27,5	22,8	31,3	26,1	27,2	26,1	27,5	26,73	26,73
4	27,8	25,5	24,9	24,6	23,4	30,3	27,6	27,1	27,4	27,6	26,62	26,62
5	27,9	28,1	27,5	26,1	25,1	28,6	25,4	27,9	24,1	26,7	26,74	26,74
6	28,4	28,2	25	27	25,6	28,2	26,3	31,9	24,5	25,9	27,1	27,1
7	28,2	30,6	24,6	27,8	23,9	28,1	26,6	31,8	24,1	31	27,67	27,67
8	29	30,5	24,5	26,9	23	28,5	26,5	28,5	24,3	27,4	26,91	26,91
9	28,8	27,6	27,6	27,6	23,6	29	26,1	26,8	25,9	27,1	27,01	27,01
10	27	25,8	32,1	27,2	23,6	28,9	28,5	27,5	24,6	34,9	28,01	28,01
11	26,8	25,6	27,8	26,9	23,7	26,4	27,6	27,7	27,8	31,5	27,18	27,18
12	28,5	24,1	25,3	25,3	22,9	24,5	26,8	27,8	29,4	30,3	26,49	26,49
13	27,5	23,5	28,1	26,2	21,7	23,4	28,4	27,1	30,7	31,4	26,8	26,8
14	27	24,7	25,6	27,2	22,5	26,3	26,5	24,6	30,1	27,6	26,21	26,21
15	25,9	25,4	24,3	25,1	23,4	28,1	26,5	24,5	28,9	27,5	25,96	25,96
16	26,7	23,6	24	25,9	24,1	27,5	25,4	23,8	27,7	29,7	25,84	25,84
17	26	23,9	23,6	24,5	25,2	27,3	24,9	24,5	26,3	26,7	25,29	25,29
18	25,6	25,1	23,6	25,8	23,7	26,9	24,2	25,4	25,6	25,2	25,11	25,11
19	26,9	24,9	30,8	26	26,4	26,2	26,1	26,5	25,4	24	26,32	26,32
20	27,8	25,4	27,3	24,9	26,1	25,9	24,8	26,9	26,2	26	26,13	26,13
21	26,7	25,3	24,9	23,1	25	25,2	23,9	27,1	28,5	25,8	25,55	25,55
22	27,8	24,2	24,4	23,6	24,3	23,9	25,1	26,5	28,6	24,5	25,29	25,29
23	28,2	23,7	26,7	28,9	23,2	23,1	25	27	27,6	24,9	25,83	25,83
24	29	24,1	25,1	26,5	22,8	25,1	26,2	25,5	25,8	26,8	25,69	25,69
25	29,7	24,4	23,1	25,8	22,3	27,2	25,8	26,5	24,8	26,1	25,57	25,57
26	26,2	26,2	26,1	26,2	24,1	28,3	24,3	27,1	23,5	26,3	25,83	25,83
27	25,6	25,9	25,9	26,8	25,4	28,3	23,4	28,8	24,6	25,4	26,01	26,01
28	23,7	24,7	25,1	27,5	24,7	27,9	23	26,8	25,8	27,2	25,64	25,64
29	25,4	24,2	23,9	28,7	26,1	27,3	22,9	26,2	31,2	26,6	26,25	26,25

ANNEXE B : ENQUETE SUR LE CONFORT DE L'HABITAT COLLECTIF A ANNABA.

Le présent questionnaire a pour objectif d'aider notre travail d'évaluation énergétique dans un îlot résidentiel constitué de bâtiments collectifs situés à la cité Bouzaaroura, ELBOUNI à Annaba. Les résultats des enquêtes réalisées nous ont permis de mettre le doigt sur le problème d'augmentation de la consommation énergétique et sa relation avec le confort thermique par rapport au type de ventilation existante : dans l'habitat collectif, pour formuler des solutions de maîtrise de l'énergie qui contribueront également, à l'amélioration du confort dans le bâtiment habité.

QUESTIONNAIRE :

IDENTITE DE REPANDANT :

Nom :
Prénom :
Age :
Statut :

ADRESSE DE REPANDANT :

Bâtiment :
Etage :
Numéro de logement :

ETAT DE LIEU :

III.1 BILAN ENERGITIQUE DES LOGEMENTS ENQUETES :

Question 1-a :

Est-ce que vous avez un excès de consommation énergétique dans votre logement ?

Oui non

Question 1-b :

Si oui, pouvez-vous préciser le coût de votre facture énergétique chaque trimestre ?

Cout de consommation d'électricité et gaz	C<2000da	2000<C<4000	C>5000da
---	----------	-------------	----------

III.2 CONFORT THERMIQUE ADAPTE AUX BIEN ETRE DES HABITANTS :

Question 1 :

Trouvez-vous que votre logement est inconfortable du point de vue thermique ?

Oui non

Si oui, précisez l'état de confort :

Très mauvais mauvais satisfaisant

Remplir le tableau svp :

	Comment qualifieriez-vous le confort de votre logement en HIVER ? par rapport à l'orientation géographique.	<input type="checkbox"/> très froid <input type="checkbox"/> Froid <input type="checkbox"/> satisfaisant		
	(Le cas échéant) Quelles sont les pièces « froides » ?	Très froid		Froid
		<input type="checkbox"/> Séjour <input type="checkbox"/> Chambres <input type="checkbox"/> Cuisine <input type="checkbox"/> Salle de bain	<input type="checkbox"/> Séjour <input type="checkbox"/> Chambres <input type="checkbox"/> Cuisine <input type="checkbox"/> Salle de bain	
	Comment qualifieriez-vous le confort de votre logement en ETE	<input type="checkbox"/> Frais	<input type="checkbox"/> Chaud	<input type="checkbox"/> Trop chaud
	(Le cas échéant) Quelles sont les pièces « chaudes » ?	Trop chaud		Chaud
		<input type="checkbox"/> Séjour <input type="checkbox"/> Chambres	<input type="checkbox"/> Séjour <input type="checkbox"/> Chambres	
	Utilisez-vous un système de chauffage	<input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui Si oui, citez-le et précisez la localisation		
	Utilisez-vous un système de climatisation ?	<input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui Si oui, citez-le et précisez la localisation		

LES PREVISIONS DES HABITANTS :

Question 1 :

Trouvez-vous que le système de ventilation naturelle fonctionne bien ?

Oui non

Question 2 :

Pouvez-vous préciser le dysfonctionnement ou la gêne constaté dans votre logement ?

Question 3 :

Souffrez-vous des maladies chroniques ?

Non Oui

Si oui, citez-les ?

UN COMMENTAIRE, CETTE PARTIE EST A VOUS :

Question 1 :

Merci de nous faire part des commentaires en relation Avec ce questionnaire ou qui vous semblent importants pour la suite de notre étude

Question 2 :

L'analyse détaillé de votre appartement nous intéresse ; acceptez-vous de poursuivre l'étude de votre appartement.

ANNEXE C : TEXTES LEGISLATIFS EN MATIERE D'HABITAT ET D'URBANISME EN ALGERIE

La législation en matière d'habitat¹²

L'Algérie a été confrontée, dès le début de l'indépendance, à une situation léguée par héritage de la politique coloniale dont les conséquences portent sur la redistribution des populations, la reconstruction des zones rurales pour limiter l'afflux sur les grandes villes des grandes masses de sans travail. En effet, au cours de la période 1962 à 1970, la législation en matière d'habitat s'est donc relativement limitée à des rappels des textes en usage avant l'indépendance. C'est enfin ce qui a introduit de nouvelles données à la problématique de l'organisation et du démarrage du développement du pays.

En 1962 a été introduit le plan de redressement ayant pour but d'encadrer le développement et organiser l'urbanisation des communes déjà pourvues d'un plan directeur d'urbanisme. Ainsi, nous avons eu une suite d'ordonnances étalées sur cette période qui sont notamment :

- L'ordonnance n° 63 – 276 du (26 juillet 1963) relative aux biens spoliés et séquestrés par l'administration coloniale.
- L'ordonnance n° 65 – 182 du (10 juillet 1965) qui confirme l'utilisation de la législation et la réglementation d'urbanisme antérieure à l'indépendance, sous réserve de procéder au changement des lois françaises progressivement - 1975.
- L'ordonnance n° 66 – 102 du (6 mai 1966) portant dévolution à l'État de la propriété des biens vacants.
- L'ordonnance n° 67 – 653 du (18 janvier 1967) concernant le code communal.
- L'ordonnance n° 68 – 653 du (30 décembre 1968) relative à l'autogestion agricole.
- L'ordonnance n° 69 – 653 du (30 décembre 1969) relative au code de wilaya.

Période (1970 – 1977) : Période de la politique de la maîtrise du sol et la création des zones urbaines nouvelles d'habitat

Cette période continue à régir la politique du foncier par la réglementation laissée par l'état colonial parce qu'aucun texte fondamental n'est venu marquer ce secteur jusqu'en 1974, à part :

- l'ordonnance n° 71 - 73 du (8 septembre 1971) relative à la révolution agraire.

C'est en effet, l'apparition de :

- l'ordonnance n° 74 – 26 du 20 février 1974 portant sur la constitution des réserves foncières au profit des communes qui a changé. Cette réglementation pour répondre à la demande des terrains nécessaires à l'implantation des projets publics et collectifs. Mais ce n'est qu'après une année que son application est rendue possible par la promulgation du **décret n° 75 - 103 du (20 août 1975)**.

L'ordonnance n° 74 – 26 du 20 février 1974 et les textes législatifs avaient consacré une importance capitale à la commune. Or ceux-ci ont été détournés de cet objectif prioritaire, car, lors de leurs applications concernant surtout le domaine de l'aménagement du territoire et l'urbanisme, l'usage fait de ces attributs n'a pas produit les effets attendus pour l'intérêt des communes.

Cette situation s'est traduite aussi par une série de textes, comme notamment :

12 Extrait de la thèse de doctorat de Fatma-Zohra HARIDI : Autorisé

- L'ordonnance n° 75 - 74 du (12 novembre 1975) portant établissement du cadastre et du livre foncier,
- le décret n° 76 – 27 du (7 février 1976) qui fixe les modalités financières de cession, par la commune, des terrains faisant partie des réserves foncières et l'ordonnance n° 76 – 48 du (25 mai 1976) qui est venue donner les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique.

C'est enfin là que les actes d'urbanisme promulgués par :

- L'ordonnance n° 75 – 67 du 26 septembre 1975, définissant les règles de l'acte de construire, ne relatifs que pour le territoire déterminé par un périmètre d'extension et par notamment :
- Le décret n° 75 - 56 du 26 septembre 1975 portant sur la réglementation des constructions de l'ordonnance sous-visée.

Les contenus et procédures des instruments d'urbanisme étaient cependant définis, principalement, par des circulaires : d'une part, il s'agit de :

- la circulaire 00582 DP.U / 76 du (12 mars 1976), relative aux instructions de permis de construire. Et d'autre part, la circulaire du 19 février 1975 portant sur la création de zones d'habitat nouvelle, tout en définissant également leurs conditions de création et de réalisation.

La constitution de 1989 dans son deuxième chapitre, en son article 16, stipule que « la propriété individuelle des biens à usage personnel ou familial, est garantie... ». Cependant, ce n'est que par l'instruction interministérielle n° 001 du 02 janvier 1993 qu'il y a eu l'établissement du titre de propriété.

La législation de l'urbanisme et de l'habitat

Période (1977 – 1987) : Période de rupture

- Le décret n° 79 – 106 du 23 juin 1979 relatif à la modification du décret n° 76 – 29 du 7 février 1976 qui déterminait les prix de cession des terrains faisant partie des réserves foncières communales.
- La loi n° 81 – 01 du 07 février 1981 modifiée et complétée, portant sur la cession des biens immobiliers à usage d'habitation
- La loi n° 82 – 02 du 06 février 1982 portant sur le permis de construire et le permis de lotir, modifiée et complétée
- La loi n° 83 – 18 du 31 août 1983 relative à l'accession à la propriété foncière agricole.
- Loi n° 84 - 12 du 23 juin 1984 portant sur le régime général des forêts.
- La loi n° 85 – 08 du 12 novembre 1985 concernant les constructions illicites, portant approbation de l'ordonnance n° 85 – 01 du 15 août 1985, fixant à titre transitoire les règles d'occupation des sols, en vue de leur conservation et protection.
- La loi n° 86 – 07 du 04 mars 1986 relative à la promotion immobilière.
- La loi n° 87 – 03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire.
- Décret n°87 – 91 du 21 avril 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire.

Période (1987 –1998) : Naissance de la promotion immobilière

- La loi n° 87 – 03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire.
- Décret exécutif n° 90 – 78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.
- La loi n° 90 - 08 du 07 avril 1990 relative à la commune.

- La loi n° 90 - 08 du 07 avril 1990 relative à la wilaya
- La loi n° 90 - 09 du 07 avril 1990 relative à l'orientation foncière, la publication de cette loi dans le journal officiel n° 49, abrogeant les dispositions de l'ordonnance n°74 – 26 du 16 février 1974 relative à la constitution des réserves foncières communales, mais elle n'a pas pour autant clarifié les modalités pratiques de gestion du sol urbanisable.
- La loi n° 90 – 30 du 01 décembre 1990 relative à l'aménagement du territoire et l'urbanisme
- La loi n° 90 – 30 du 01 décembre 1990 portant sur la loi domaniale
- Décret n° 90 – 405 du 22 décembre 1990 fixant les règles de création et d'organisation des agences locales de gestion et régularisation foncière urbaine.
- La loi n° 93 - 186 du 27 juillet 1993 déterminant l'application de la loi n° 91 – 11 du 27 avril 1991 portant sur les nouvelles modalités concernant l'expropriation pour cause d'utilité publique.
- La loi n° 91 – 175 du 28 mai 1991 définissant les règles générales d'aménagement, d'urbanisme et de construction.
- La loi n° 94 – 07 du 16 mai 1994 relative aux conditions de la production de l'architecture.

L'instruction interministérielle n°1 du 31 mai 1994 » relative à la relance de l'habitat

La période 1994 -2005 : la législation du logement social

- Décrets n° 93 du 1^{er} mars 1993 relatif à l'activité immobilière.
- Décret exécutif n° 04 – 308 du 04 octobre 1994 définissant les règles d'intervention de la CNL.
- Arrêté interministériel du 15 novembre 2000 fixant les modalités d'application des règles d'intervention de la CNL

La législation de la promotion immobilière

- La loi n° 86-07 du 04 Mars 1986 relative à la création de la promotion immobilière en Algérie.
- Le décret législatif n° 93-03 du 1^{er} Mars 1993 relatif à l'activité de la promotion immobilière.
- Le décret exécutif n° : 94-308 du 04 octobre 1994 définissant les règles d'intervention de la Caisse Nationale du Logement, en matière de soutien financier des ménages.
- L'arrêté interministériel du 15 novembre 2000 fixant les modalités d'application du décret exécutif n° 94-308 du 04 Octobre définissant les règles d'intervention de la caisse nationale de logement en matière de soutien financier.

La relation promoteur – acquéreur

- Décret législatif n° : 93 – 03 du 1/03/199313
- Article 8 : « Avant toute livraison de l'immeuble à l'acquéreur est tenu d'exiger des architectes et entrepreneurs chargés de la réalisation des ouvrages, l'attestation d'assurance répondant de leur responsabilité civile décennale édictée par les dispositions du code civil, notamment son article 554, est conformément à la loi aux assurances, notamment ces articles 94 à 99 ».
- Article 9 : « Un promoteur immobilier peut céder à un acquéreur, un immeuble ou une fraction d'immeuble avant l'achèvement. Dans ce cas, la transaction est formalisé par un contact de vente sur plans ».

13 Cf. Les sources proviennent du code du foncier et de l'urbanisme, chapitre-1- articles de (1à19).

- Article 10 : « Le contrat de vente sur plan, dont modèle est déterminé par voie réglementaire, doit à peine de nullité, comporter :

La description et la consistance de l'immeuble ou fraction d'immeubles vendus ;

Les délais de livraison et les pénalités de retards y afférentes en cas de non-respect ;

Les prix prévisionnels et les modalités de sa révision éventuelle.

La nature des garanties légales, garanties de bonne fin et autres garanties données par le promoteur à l'acquéreur en contre partie des avances en comptes et paiement fractionnés, prévus au contrat et à l'appui des autres engagements contractuelles.

- Article 11 : « pour les opérations de vente sur plans, le promoteur est tenu de couvrir ses engagements par une assurance obligatoires prise au près du fonds de garanties et de caution mutuelle prévus par la législation en vigueur ».
- Article 12 : « le contrat de vente sur plan porte à la fois sur la construction et le terrain sur lequel l'ouvrage est édifié ».
- Article 13 : « le contrat est complété par un procès- verbal dressé contradictoirement, en la même étude notariale, pour constater la prise de possession par l'acquéreur et la livraison de l'immeuble achevé par le promoteur en conformité avec les engagements contractuels. Lorsque la vente porte sur un immeuble divisé en fraction, le procès-verbal est accompagné du descriptif de division de la copropriété établie, à la diligence du promoteur, conformément à la réglementation en vigueur ».
- Article 14 : « la prise de possession de l'immeuble ou de la fraction d'immeuble par l'acquéreur ne peut avoir qu'après délivrance du certificat de conformité prévu par la loi n° 90-29 du 19 Décembre 1990, susvisée. La prise de possession et le certificat de conformité n'ont cependant par l'effet exonératoire de la responsabilité civile encourue, ni de la garantie de parfait achèvement de l'ouvrage à laquelle est tenu le promoteur pendant un délai d'un an.
- Article 15 : « les délais nécessaires à l'exécution des travaux de réparation des vices apparents et au bon fonctionnement des éléments d'équipement du bâtiment soit fixe par le contrat ».
- Article 19 : « Le promoteur immobilier est tenu par ailleurs de se garantir contre tous risques dont il doit répondre en sa qualité de promoteur ».

ANNEXE D : LOIS REGLEMENTAIRES DE L'ISOLATION THERMIQUE EN ALGERIE

Les lois relatives à l'isolation thermique sont :

Loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie :

Chapitre 1 : Normes et exigences d'efficacité énergétique

Section 1 : Isolation thermique des bâtiments neufs

Art. 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 et de rendement énergétique qui favorisent les économies d'énergie* ».

Art. 11. – « *La réglementation thermique dans les bâtiments neufs, s'appliquant à la conception et à la construction des bâtiments, détermine : les catégories de bâtiments et les normes de rendement énergétique y afférentes, selon les données climatiques des lieux où sont situés les bâtiments ;*

- *Les normes techniques relatives à la construction se rapportant à la résistance thermique, à l'étanchéité des ouvertures de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, à la qualité des matériaux d'isolation et leur mode d'installation, à la fenestration, aux dispositifs des systèmes de chauffage ou de climatisation ;*
- *Les modalités relatives à la certification et au contrôle de conformité les normes d'efficacité énergétiques et d'économie d'énergie* ».

Contrôle et sanctions

Art. 40.- « *La non-conformité aux normes établies par la réglementation d'isolation thermique dans les bâtiments neufs expose les bénéficiaires des travaux aux mesures et sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur en matière de construction et d'urbanisme* ».

Décret exécutif n°2000-90 de 24 avril 2000 :

Il porte la réglementation thermique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation. (JORA, 2000).

Art. 1. – « *En application des dispositions des articles 11 et 12 de la loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 susvisée, le présent décret a pour objet de fixer la réglementation thermique dans les bâtiments neufs* ».

Art. 2. « *Pour l'application des dispositions du présent décret, il est entendu par bâtiments neufs :*

Les bâtiments neufs à usage d'habitation.

- Les bâtiments neufs à un usage autre que l'habitation.

La partie de construction réalisée comme extension du bâtiment existant ».

Art. 3. « *Pour l'application des dispositions du présent décret, il est entendu par bâtiments individuels, les bâtiments neufs individuels à usage d'habitation* ».

Art. 4. – « *Le maître d'ouvrage est tenu de s'assurer que la conception et la construction des bâtiments neufs obéissent aux principes suivants :*

Les caractéristiques thermiques des bâtiments neufs doivent être telles que les transferts de chaleur par transmission thermique, à travers les parois constituant l'enveloppe de ces bâtiments, soient en adéquation avec les niveaux de transfert de chaleur requis :

- Les systèmes de ventilation dans les bâtiments neufs doivent être tels que le renouvellement d'air soit en adéquation avec le niveau de renouvellement d'air requis ;

- Les systèmes de chauffage d'hiver et de climatisation d'été dans les bâtiments doivent comporter des dispositifs automatiques de régulation ».

Art. 5. – « Les caractéristiques d'isolation thermique dans les bâtiments neufs doivent répondre à l'une au moins des deux conditions ci-après : Les déperditions calorifiques calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une limite appelée "déperdition de référence"; Les apports calorifiques calculés pour la période d'été doivent être inférieurs à une limite appelée "apport de référence" ».

Art. 6. « Les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à usage d'habitation sont fixées dans des documents techniques réglementaires (D.T.R) approuvés par arrêté du ministre chargé de l'habitat ».

Art. 7. « Les valeurs de références relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à un usage autre que d'habitation sont fixées dans des documents techniques réglementaires (D.T.R) approuvés par arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat, du ministre chargé de l'énergie et des ministres concernés ».

Art. 8. – « Sont également définies dans les documents techniques réglementaires (D.T.R.) visés dans les articles 6 et 7 ci-dessus : les méthodes relatives au calcul des déperditions et des apports calorifiques ; les zones climatiques correspondant aux périodes d'hiver et d'été ainsi que les valeurs des paramètres du climat extérieur associés aux zones climatiques ; les valeurs limites pour le climat intérieur des locaux ».

Art. 9. « Le débit de renouvellement d'air induit par le système de ventilation doit être inférieur à une limite appelée débit d'air neuf de référence supérieur ou égal à un débit minimal d'air neuf ».

Art. 10. « Le débit minimal d'air neuf et le débit d'air neuf de référence des bâtiments neufs à usage d'habitation sont définis dans des documents techniques réglementaires (D.T.R) approuvés par arrêté du ministre chargé de l'habitat ».

Art. 11. « Le débit minimal d'air neuf et débit d'air neuf de références des bâtiments neufs à usage autre que d'habitation sont définis dans des documents techniques réglementaires (D.T.R) approuvés par arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat, du ministre chargé de l'énergie et des ministres concernés ».

Art. 12. – « Sont également définies dans les documents techniques réglementaires visés dans les articles 10 et 11 ci-dessus, les méthodes relatives au calcul du débit de renouvellement d'air ».

Art. 13. « Les ouvrants, entre un local climatisé et l'espace extérieur ou entre un local climatisé et un local non climatisé, doivent avoir une perméabilité à l'air inférieure à la valeur de référence définie dans des documents techniques réglementaires (D.T.R) approuvés par arrêté du ministre chargé de l'habitat ».

Art. 14. « Les systèmes de chauffage d'hiver, à l'exception des installations individuelles dont le principe de fonctionnement n'autorise que le réglage manuel, doivent comporter des dispositifs automatiques qui régulent la fourniture de chaleur en fonction, soit du climat intérieur, soit du climat extérieur ».

Art. 15. « *Les systèmes de climatisation d'été doivent comporter des dispositifs automatiques qui régulent la fourniture du froid en fonction, soit du climat intérieur, soit du climat extérieur* ».

Art. 16. « *Les modalités d'application des articles 14 et 15 ci-dessus sont précisées par arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat, du ministre chargé de l'énergie et des ministres concernés* ».

Art. 17. « *La période transitoire pendant laquelle le caractère obligatoire de l'isolation thermique ne s'applique pas aux bâtiments neufs individuels est fixée à cinq (5) ans à compter de la date de publication du présent décret au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire* ».

La loi 04 – 09 du 14 Août 2004 :

Elle est relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable. (JORA, 2004).

Le décret exécutif 04- 149 du 19 Mai 2004 :

Il fixe les modalités d'élaboration du programme national de la maîtrise d'énergie.

Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005 :

Il fixe les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers.

Arrêté interministériel du 29 Novembre 2008 :

Il définit la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique pour ceux qui fonctionnent à l'énergie électrique. (JORA, 2009).

A partir de cette réglementation, le CNERIB a enrichie ce domaine par des documents techniques réglementaires. Ces DTR8 sont initiés par le ministère du l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB. Ils sont destinés aux bâtiments à usage d'habitation, spécifiquement à la nature d'enveloppe des constructions (Ferradji, 2017).

L'arrêté du 31 décembre 2012, portant approbation du cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente :

Article 10. « *La conception des logements doit répondre au double objectif de la fonctionnalité et du bien-être des occupants selon les exigences et les spécificités locales et culturelles du lieu d'implantation du projet tant sur le plan du mode de vie que du confort thermique et acoustique* ».

Article 50. « *Quelques soit les choix arrêtés, le système adopté et les matériaux utilisés doivent répondre parfaitement aux normes et règlements en vigueur en matière de sécurité, stabilité, résistance, durabilité et aux conditions de confort thermique et acoustique* ».

Article 60. « *La menuiserie doit être exécutée avec des matériaux de qualité, 1er choix, suivant les règles de l'art ; les dispositions pour un réglage et une mise en place parfaite sont exigées. Dans tous les cas, le type du matériau utilisé doit répondre à l'ensemble des exigences techniques en matière de résistance, de comportement, de durabilité, d'étanchéité, et de performances thermiques et acoustiques* ».

Arrêté du 30 juillet 2016 portant approbation du document technique réglementaire DTR.C3.2/4 intitulé « réglementation thermique du bâtiment »

Article 1er. « *Est approuvé le document technique réglementaire DTR.C3.2/4 intitulé « réglementation thermique du bâtiment » annexé à l'original du présent arrêté ».*

Art. 2. « *Le centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB), est chargé de l'édition et de la diffusion du document technique réglementaire, objet du présent arrêté ».*

Art. 3. « *Sont abrogées, les dispositions de l'arrêté du 10 Chaâbane 1418 correspondant au 10 décembre 1997 portant approbation du document technique réglementaire relatif à la réglementation thermique des bâtiments « règles de calcul des déperditions calorifiques » et de l'arrêté du 25 Rabie Ethani 1419 correspondant au 18 août 1998 portant approbation du document technique réglementaire relatif aux règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments - climatisation - Fascicule 2, sont abrogés) ».*

D.T.R. C 3.2/4 : Règles de calcul des déperditions calorifiques

Conçu pour réduire de 25 % la consommation de l'énergie pour le chauffage des logements, ce document approuvé par arrêté ministériel, fixe les déperditions de référence à ne pas dépasser ainsi que les conventions de calcul pour le dimensionnement des installations de chauffage ainsi que les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments ainsi que la méthode de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments. Il s'applique à la plupart des locaux, entre autres ceux à usage d'habitation, d'hébergement, de bureaux, d'enseignement, d'accueil, de réunion, de vente, de restauration, artisanal, etc.

Les objectifs recherchés par les concepteurs du D.T.R. C 3.2/4 sont :

- La détermination des déperditions calorifiques des bâtiments ;
- La vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique ;
- Le dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments ;
- La conception thermique des bâtiments.

Les déperditions calorifiques d'un bâtiment, telles que présentées dans le D.T.R. C3.2/4 sont :

- Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois
- Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois en contact avec le sol
- Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés
- Déperdition linéique à travers les ponts thermiques.
- Déperdition par infiltration et renouvellement d'air.

Les apports calorifiques d'un bâtiment telles que présentées dans le D.T.R. C3.2/4 sont répartie en trois familles :

- Par introduction d'air extérieur (débit d'air neuf et débit d'air dû aux infiltrations).
- Apports de chaleur internes (gains dus : à l'évaporation, à l'éclairage, aux appareils à gaz, aux machines électriques, aux occupants ...).
- A travers les parois opaques et vitrées (Issaadi, 2016).

Recommandations de DTR C3.2/4 : les recommandations qui doivent respecter lors de la construction des bâtiments résidentiels sont les suivants :

- *Température intérieure de bases c'est la température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage, sauf spécification particuliers on prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base de l'immeuble d'habitation, maison individuelle.*

Pièce principale, pièce de service... 21°C
 Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu... 18°C
 Bureau chauffé en continu... 21°C
 Magasin chauffé en continu... 21°C
 Local artisanal chauffé ... 21°C

- On distingue trois types de parois à isolation intérieure, à isolation extérieure, à isolation répartie. Une paroi est dite à isolation intérieure ou extérieure si les trois conditions suivantes sont remplies simultanément : la fonction d'isolation est assurée par un feuillet de matériau isolant dont la conductivité thermique est inférieure à 0,12 W/m.°C et l'épaisseur du feuillet isolant assure une résistance thermique supérieure à 0,5 m². °C/W; ainsi que l'isolant est placé soit sur la face intérieure du mur extérieur, soit sur la face extérieure de mur extérieur et doit constituer à lui seul au moins 80% de la résistance thermique total de la paroi.
- Pour les conditions intérieures de base deux niveaux de confort sont prévus par le présent DTR un niveau de confort dit normal qui concerne les applications courantes et un niveau de confort dit amélioré lorsque le confort est privilégié par rapport à l'aspect économique La température sèche de base de l'air intérieur TS_{bi} (en °C) et l'humidité relative de base de l'air intérieur HR (en %).
- La différence de température équivalente $A_{te}(t)$ peut être positive (apports dans le local considéré), ou négative (déperditions). Dans le cas où la différence de température équivalente est négative, on n'en tiendra pas compte dans les calculs.

Tableau 48: Fixation des valeurs des conditions intérieures de base, source : DTR C3.2/4

Application	Niveau de confort amélioré		Niveau de confort normal		
	Température sèche °C	Humidité relative %	Température sèche °C	Humidité relative %	Accroissement toléré de la température °C
Séjour de longue durée Logement, hôtel, bureaux, hôpital, école, etc.	24	43	27	50	2
Séjour courte durée Magasin, banque, bureaux de poste, salon de coiffure, etc.	24	45	27	50	2
Séjour de durée limitée avec gains latents importants, Amphithéâtre, salle spectacle, lieu de culte, salle de restauration, cuisine, etc.	24	50	27	60	1

L'arrêté du 30 janvier 2018, définissant les spécificités techniques applicables à la réalisation du logement promotionnel aidé :

Article 16. « La conception des logements doit répondre au double objectif de la fonctionnalité et du bien-être des occupants selon les exigences et les spécificités locales et culturelles du lieu d'implantation du projet, tant sur le plan du mode de vie que du confort thermique et acoustique ».