

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider-Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département d'architecture
Réf. :



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

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de :

Doctorat en Architecture

Spécialité : Architecture, habitat et ville durable

**La performance énergétique et le confort thermique
dans l'espace habitable. Cas de l'habitation individuelle
à BÉJAIA**

Présentée par :

BENKACI Lydia.

Soutenue publiquement le :

11/02/2024.

Devant le jury composé de :

M. BADA Yassine	Professeur	Président	Université de Biskra
M. BENABBAS Moussadek	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
M. MOUMMI Abdelhafid	Professeur	Examineur	Université de Biskra
M ^{me} . HAMOUDA Abida	Professeur	Examinatrice	Université de Batna
M. KAMEL Youcef	MCA	Examineur	Université de Biskra

Dédicaces

À mon cher papa, qui m'a toujours soutenue et encouragée tout au long de ce voyage. Tes conseils et ta présence ont été une source d'inspiration inestimable.

À ma chère maman, ma source infinie d'amour et de tendresse. Ta force et ta bienveillance ont façonné la personne que je suis aujourd'hui.

À mon cher grand père, tes conseils et tes prières ont été une bénédiction dans ma vie.

Puisse DIEU vous procurer santé, bonheur et longue vie.

À la mémoire de ma grand-mère bien-aimée. Que le paradis soit ta demeure éternelle.

À mon frère, mes sœurs et leurs petites familles. Vous avez partagé avec moi tant de moments précieux et de souvenirs joyeux. Que Dieu préserve vos enfants.

À toute ma famille, pour votre amour et votre soutien constants.

À mon mari. Ta compréhension, ton soutien m'ont donné la force pour finaliser ce travail.

À ma fille Léa.

Remerciements

Dieu merci de m'avoir donné la vie, puis la faculté d'accomplir la noble tâche d'apprendre et d'aimer le savoir.

Mes remerciements les plus sincères vont à mon directeur de thèse **Pr BENABBAS Moussadek** pour son aide, ses conseils, son assistance, et sa confiance.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

J'exprime ma reconnaissance au **Pr MOUMMI Abdelhafid** pour ses encouragements depuis le début de ce travail.

Je tiens à remercier **M^{me} ELKHALEF Aya** pour son aide précieuse.

Je remercie également **Dr SARAoui Selma**, la personne qui a éveillé en moi un amour ardent pour la recherche scientifique.

Je remercie tous les enseignants du département d'architecture de **Biskra** ainsi que tous les membres du laboratoire **LACOMOFA**. Également tous les enseignants du département d'architecture de **Béjaia**.

Et toutes personnes qui m'ont aidé de près ou de loin pour mener à terme ce travail.

Résumé

La dépense énergétique des bâtiments a diminué au cours de ces dernières années, suite aux progrès considérables qui ont été faits par la politique énergétique, sans oublier l'application des normes et des standards qui ont contribué à cette diminution, mais cela reste toujours insuffisant vu la demande énergétique croissante de nos jours.

Dans ce contexte, notre travail de thèse s'inscrit dans une réflexion visant à traiter la question de la performance énergétique et du confort thermique dans les espaces habitables individuels, avec un accent particulier sur la ville de Béjaïa.

Notre étude se concentre également sur la création de constructions économes et performantes, en mettant l'accent sur la durabilité à long terme et le bien-être des occupants dans le contexte spécifique de Béjaïa. Pour ce faire, nous avons entrepris une première phase d'analyse approfondie des concepts clés, suivie d'une étude empirique sur le terrain appuyée par des simulations à l'aide de logiciels générateurs de bilans thermiques estivaux et hivernaux.

L'objectif principal de notre recherche est de parvenir à des recommandations pratiques en vue d'améliorer l'efficacité énergétique et le bien-être des occupants des habitations individuelles à Béjaïa. Nous aspirons à proposer des solutions vitales, voire existentielles, concernant la création d'un modèle type de maison confortable, conforme aux pratiques du développement durable, tout en minimisant l'utilisation d'énergies et en préservant la santé humaine et l'environnement dans le contexte spécifique de cette ville.

Mots clés

Performance énergétique, confort thermique, bioclimatique, développement durable, habitat individuel.

ملخص

تراجع الإنفاق الطاقى للمباني خلال السنوات الأخيرة، نتيجة للتقدم الكبير الذي تحقق في سياسات الطاقة، دون نسيان تطبيق المعايير والمواصفات التي ساهمت في هذا التراجع، لكنه ما زال غير كافٍ مع الطلب المتزايد على الطاقة في الوقت الحالي.

في هذا السياق، يندرج عملنا في الرسالة العلمية ضمن تفكير يهدف إلى معالجة مسألة الأداء الطاقى والراحة الحرارية في المساحات السكنية الفردية، مع التركيز الخاص على مدينة بجاية.

تركز دراستنا أيضًا على إنشاء مبانٍ اقتصادية وذات أداء عالٍ، مع التركيز على الاستدامة على المدى الطويل وراحة سكانها. ولتحقيق هذا الهدف، قمنا بمرحلة أولى من التحليل العميق للمفاهيم الرئيسية، تلتها دراسات ميدانية تجريبية مدعومة بمحاكاة باستخدام البرمجيات التي تنشئ ميزانيات حرارية صيفية وشتوية.

الهدف الرئيسي لأبحاثنا هو تقديم التوصيات العملية لتحسين كفاءة الطاقة وراحة سكان المساكن الفردية في بجاية. نهدف إلى اقتراح حلول حيوية، ربما موجودة، فيما يتعلق بإنشاء نموذج من المنازل المريحة التي تتماشى مع ممارسات التنمية المستدامة، مع تقليل استخدام الطاقة والحفاظ على صحة الإنسان والبيئة في السياق الخاص بهذه المدينة.

الكلمات المفتاحية :

الأداء الطاقى، الراحة الحرارية، البيومناخية، التنمية المستدامة، السكن الفردي.

Abstract

The energy expenditure of buildings has decreased in recent years, following considerable progress made by energy policies, not forgetting the implementation of norms and standards that have contributed to this decrease, but it still remains insufficient given the growing energy demand of today. In this context, our thesis work is part of a reflection aimed at addressing the issue of energy performance and thermal comfort in individual living spaces, with a particular focus on the city of Béjaïa. Our study also focuses on the creation of economical and high-performing constructions, emphasizing long-term sustainability and the well-being of occupants in the specific context of Béjaïa. To achieve this, we have undertaken a first phase of in-depth analysis of key concepts, followed by empirical field studies supported by simulations using software that generates summer and winter thermal balance sheets. The main objective of our research is to provide practical recommendations to improve the energy efficiency and well-being of occupants of individual residences in Béjaïa. We aim to propose vital, even existential solutions, regarding the creation of a model of comfortable homes that align with sustainable development practices, while minimizing energy use and preserving human health and the environment in the specific context of this city.

Keywords

Energy performance, thermal comfort, bioclimatic, sustainable development, individual housing.

Table des matières

Résumé.....	i
Table des matières.....	iv
Liste des figures.....	xi
Liste des tableaux.....	xvi
Nomenclature.....	xviii
Chapitre introductif.....	1
Introduction.....	1
Problématique.....	2
Hypothèse.....	3
Objectifs de la recherche.....	4
Méthodologie et outils de la recherche.....	5
Structure de la thèse.....	6
Organigramme de la structure de la thèse.....	7
PREMIÈRE PARTIE : CONCEPTS THÉORIQUES.....	8
1. Chapitre I. La performance énergétique dans un bâtiment : établir un background conceptuel.....	8
Introduction.....	8
I.1. L'énergie.....	8
I.1.1. Formes d'énergie.....	9
I.1.1.1. Énergie mécanique.....	9
I.1.1.2. Énergie thermique.....	9
I.1.1.3. Énergie électrique.....	9
I.1.1.4. Énergie chimique.....	10
I.1.1.5. Énergie nucléaire.....	10
I.1.1.6. Énergie rayonnante.....	10
I.2. La performance énergétique.....	10
I.3. Les facteurs de performance énergétique.....	12
I.4. L'efficacité énergétique.....	12
1.4.1. L'efficacité énergétique passive.....	13
I.4.2. L'efficacité énergétique active.....	13
I.5. La performance énergétique et l'efficacité énergétique.....	14

I.6. La consommation énergétique	15
I.7. Le bilan de consommation énergétique	15
I.8. La consommation énergétique mondiale	15
I.9. La consommation énergétique en Algérie	17
I.10. Le bilan énergétique et le bilan thermique des bâtiments.....	18
I.10.1. Amélioration du comportement énergétique d'un bâtiment	18
I.10.2. Les facteurs à considérer pour une performance énergétique optimale.....	19
I.11. Évolution de l'efficacité énergétique des bâtiments à travers le temps.....	21
I.12. Les différents labels et certifications pour une meilleure efficacité énergétique.....	22
I.12.1 définition du label	22
I.12.2. Les labels d'efficacité énergétique, panorama et évolution	22
I.12.2.1. Labels français	22
I.12.2.2. Labels européens.....	24
I.12.2.3. Labels internationaux.....	26
I.13. L'approche bioclimatique	27
I.13.1. L'architecture bioclimatique	27
I.13.2. Principes de l'architecture bioclimatique.....	28
I.13.2.1. L'implantation du bâtiment.....	28
I.13.2.2. L'orientation et la distribution des espaces intérieurs.....	29
I.13.2.3. La forme de la construction.....	30
I.13.2.4. Le choix des matériaux de construction.....	30
I.13.2.5. La ventilation	31
I.13.3. Stratégies et techniques bioclimatiques	32
I.13.3.1. La stratégie du chaud en hiver	32
I.13.3.2. La stratégie du froid en été.....	33
I.13.3.3. La stratégie de l'éclairage naturel	33
I.14. L'espace habitable individuel	35
I.14.1. L'espace habitable	35
I.14.2. La notion d'habiter.....	35
I.14.3. L'espace habitable individuel, contexte algérien.....	37
I.14.3.1. Les maisons modernes	37
I.14.3.2. Les maisons kabyles	37
Conclusion.....	41
2. Chapitre II. Le confort thermique.....	42

Introduction	42
II.1. Le confort thermique intérieur, définition et concepts clés	42
II.1.1. Qu'est-ce que le confort ?.....	42
II.1.2. Un peu d'histoire	43
II.1.3. Le confort une notion en perpétuelle redéfinition	43
II.2. Dimension du confort	44
II.2. 1. La dimension physiologique.....	44
II.2. 2. La dimension psychologique	44
II.2. 3. La dimension physique	44
II.3. Formes de confort.....	44
II.3.1. Le confort acoustique	44
II.3.2. Confort visuel	46
II.3.3. Confort olfactif	47
II.3.4. Confort thermique.....	48
II.4. Élément affectant le confort thermique	50
II.4.1. La température de l'air	51
II.4.2. La température moyenne des parois	51
II.4.3. L'humidité.....	51
II.4.4. La vitesse de l'air	52
II.4.5. Le métabolisme.....	53
II.4.6. L'habillement.....	53
II.5. Indices du confort thermique	55
II.5.1. L'indice PMV (Predicted Mean Vote).....	55
II.5.2. L'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)	56
II.5.3. La température effective corrigée (CET).....	56
II.5.4. La chaleur équivalente (EW).....	56
II.5.5. La température opérative (TO).....	57
II.5.6. La température moyenne radiante (Tmrt).....	57
II.6. Évaluation du confort thermique	57
II.6.1. Enquête in situ	57
II.6.2. Les outils graphiques pour l'évaluation du confort thermique.....	57
II.6.2.1. Diagramme d'Olgyay	57
II.6.2.2. Diagramme de Givoni :	58
II.6.2.3. Tables de Mahoney :.....	59

II.6.3. Le bilan thermique	59
II.6.3.1. Le bilan thermique d'hiver	60
II.6.3.2. Le bilan thermique d'été	62
II.6.3.3. Objectif du calcul des bilans thermiques d'un bâtiment	62
II.6.4. La simulation par logiciel	63
II.6.4.1. Les avantages de la simulation par logiciels	63
II.6.4.2. La simulation STD	63
II.6.4.3. Logiciels de la STD	64
II.6.4.3.1. Design Builder	65
II.6.4.3.2. TRNSYS	66
II.6.4.3.3. Pleiades	67
II.7. Comment assurer un confort thermique dans un bâtiment ?	68
II.7.1. Enveloppe architecturale	68
II.7.2. Isolation thermique	70
II.7.3. Les ponts thermiques	70
Conclusion	71
3. DEUXIEME PARTIE : PRATIQUE	72
Chapitre III. État de l'art et positionnement épistémologique	71
Introduction	71
III.1. État de l'art sur l'optimisation de l'énergie à travers l'enveloppe architecturale	71
III.2. Les recherches antérieures	73
III.2.1 Études antérieures nationales	73
III.2.1.1. Étude de KADRAOUI Hichem, 2019	73
Objectif	73
III.2.1.2. Étude d'AMRAOUI Khaoula, 2021	79
Objectif	79
III.2.1.3. Étude de N. Benradouane et B. Benyoucef, 2006	80
III.2.1.4. Étude de N. Fezzioui1, B. Draoui1, M. Benyamine et S. Larbi, 2008	82
III.2.1.5. Étude Khechiba, A ; Djaghrouri, D ; Benabbas, M ; Leccese, F ; Rocca, M et Salvadori, G, 2023	83
Objectif	83
III.2.2 Études antérieures internationales	84
III.2.2.1. Étude de Issam SOBHY, Abderahim BRAKEZ, Brahim BENHAMOU, 2014.	84

III.2.2.2. Étude de Didier GOSSARD, Mathieu BONTE, Bérangère LARTIGUE, Françoise THELLIER, 2012.	86
III.2.2.3. Étude de :M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias, 2007.	88
III.3. La démarche méthodologique	88
III.3.1. La méthode expérimentale	89
III.3.2. L'étude sur terrain	91
III.3.2.1. Évaluation qualitative.....	91
III.3.2.2. Évaluation quantitative.....	91
III.3.2.3. Évaluation combinée	92
III.3.3. La méthode numérique.....	92
III.3.3.1.La Simulation thermique dynamique (STD).....	92
III.3.3.2. La Simulation énergétique dynamique (SED)	92
III.4. Positionnement épistémologique.....	93
III.4.1.L'étude in situ.....	93
III.4.2.La simulation.....	94
Conclusion.....	94
4. Chapitre IV. Étude empirique de l'espace habitable individuel à Béjaia.....	95
Introduction	95
IV.1 Contexte climatique de la ville de Béjaia.....	95
IV.1.1 Situation géographique	95
IV.1.2. Topographie et morphologie.....	96
IV.1.2.1. Les montagnes.....	96
IV.1.2.2. La plaine.....	96
IV.1.2.3. Les piémonts	96
IV.1.2.4. Les cours d'eau	96
IV.1.3. Le climat	96
IV.1.4. Les données climatiques	97
IV.1.4.1. La température	97
IV.1.4.2. Les précipitations	98
IV.1.4.3. L'ensoleillement.....	98
IV.1.4.4. Le taux d'humidité	98
IV.1.4.5. Température de la mer	98
IV.1.4.6. La vitesse moyenne du vent.....	99

IV.2. Présentation des cas d'étude	99
IV.2.1. La maison kabyle	100
IV.2.1.1. Village Ait Garet, présentation, savoir-faire vernaculaire et mode de vie.....	100
IV.2.1.2. La maison en question.....	101
IV.2.2. La maison moderne	105
IV.2.2.1. Situation du quartier.....	105
IV.2.2.2. La maison en question.....	106
IV.3.Évaluation qualitative	110
IV.3.1. Maison traditionnelle	111
IV.3.2. Maison moderne.....	112
IV.4. Stratégie de prise de mesure.....	113
IV.4.1. Design day.....	114
IV.4.2. Instruments de prise de mesure	116
IV.5. Résultats de prise de mesures.....	117
IV.5.1. Analyse des résultats de la période froide.....	117
IV.5.1.1. La maison kabyle	117
IV.5.1.2. La maison moderne	119
IV.5.2. Analyse des résultats de la période chaude	120
IV.5.2.1. La maison kabyle	120
IV.5.2.2. La maison moderne	121
Conclusion.....	123
5. Chapitre V. Simulation numérique.	124
Introduction	124
V.1. La simulation thermique dynamique	124
V.2. Présentation du logiciel de simulation numérique PLEIADES-Comfie	124
V.2.1. PLEIADES + COMFIE.....	124
V.2.2. METEONORM	125
V.3. Déroulement de la simulation.....	126
V.3. 1. Simulation de la maison kabyle (vernaculaire)	126
V.3.1.1. Phase de génération des données climatiques dans le logiciel Meteonorm	126
V.3.1.2. Phase de Traitement des données climatiques Meteocalc.....	126
V.3.1.3. Phase de saisie du projet sur PLEIADE+COMFIE.....	128
V.3.1.4. Lancement de la simulation.....	133
V.4. Détermination de la plage de confort thermique à Béjaia	133

V.5. Validation du modèle numérique	135
V.6. Interprétation des résultats.....	136
V.6.1. Diagnostic de la performance énergétique	136
V.6.2. Comparaison des bilans énergétiques avec les normes	136
V.6.3. Les heures d'inconfort.....	138
V.6.4. Les graphes de températures	139
V.6.4.1. La maison kabyle.....	139
V.6.4.2. La maison moderne :	141
V.7. Optimisation énergétique de l'espace habitable individuel moderne :.....	142
V.7.2. Deuxième amélioration de la maison moderne :	145
V.8. Récapitulatif	149
Conclusion.....	151
6. Conclusion générale.	152
7. Bibliographie.	156
8. Annexes	163
Annexe A.....	163
Annexe B.....	164
Annexe C.....	167
Annexe D.....	195
Annexe E.....	208

Liste des figures

Figure 0.1 : Organigramme de la démarche adoptée pour élaborer le travail.....	7
Figure I.1 : les aspects d'un bâtiment performant.....	11
Figure I.2 : Les facteurs de performance énergétique.....	12
Figure I.3 : Efficacité énergétique passive et active.....	14
Figure I.4: La consommation énergétique mondiale en 2018.....	16
Figure I.5 : Augmentation de la consommation énergétique au niveau mondial (1990 – 2018).	16
Figure I.6 : Exemple de la consommation d'énergie selon différents secteur en France.....	17
Figure I.7: Consommation finale par secteur 2016-2017.....	18
Figure I.8 : Étiquette d'énergie.	19
Figure I.9: Exemple d'exigence minimale (valeurs garde-fous) pour l'isolation thermique...	20
Figure I.10 : représentation des principes d'une maison passive.....	24
Figure I.11 :Évolution de la consommation des maisons neuves en Suisse.	25
Figure I.12 : Critères pris en compte par BREEM.....	27
Figure I.13: principe d'implantation d'une construction bioclimatique.....	29
Figure I.14: Zonage bioclimatique pour les différents espaces d'une maison.	30
Figure I.15 : Matériaux de construction locaux.	31
Figure I.16 : Ventilation par effet de cheminée et ventilation par effet du vent.	31
Figure I.17 : Stratégie du chaud (Capter- stocker- distribuer- conserver).	32
Figure I.18 : Stratégie du froid (Protéger- éviter- dissiper- rafraîchir- minimiser).....	33
Figure I.19 : l'éclairage comme stratégie bioclimatique.....	34
Figure I.20 : L'homme à l'intérieur de sa bulle fermée.	36
Figure I.21: Destruction de la bulle.....	36
Figure I.22 : Exemple de quelques constructions modernes.....	37
Figure I.23 : Maison kabyle (Axxam).....	38
Figure I.24: Groupement de maisons autour d'une cour (El hara).....	38
Figure I.25 : Espace de vie d'une maison kabyle (village Djebbla, Bejaia).	39
Figure I.26: Trace d'el kanoun.	39
Figure I.27 : Vue sur Adaynine et Takanna.	39
Figure II.1 : Différents niveaux de bruits.....	45
Figure II.2 : Différents types de bruits.	46
Figure II.3 : Critères du confort visuel.....	47

Figure II.4 : la ventilation mécanique contrôlée (VMC).....	48
Figure II.5 : Température de confort dépend de la température de l'air et des parois.	49
Figure II.6: Les paramètres du confort thermique.....	50
Figure II.7: Le taux d'humidité d'un point de vue hygiénique.	52
Figure II.8 : La plage de confort température-humidité.....	52
Figure II.9 : La température de confort en fonction de la vitesse de l'air.	53
Figure II.10 : Degré d'isolement vestimentaire.	54
Figure II.11: Échelle de sensation thermique d'ASHRAE.	55
Figure II.12 : PPD en fonction de PMV.....	56
Figure II.13: Le diagramme d'Olgay	58
Figure II.14: Diagramme bioclimatique du bâtiment.....	59
Figure II.15 : gains et déperditions de chaleur.	60
Figure II.16: Influence des caractéristiques architecturales sur le chauffage.	69
Figure II.17: Influence des caractéristiques architecturales sur La climatisation.	69
Figure II.18: exemple d'isolants thermique.	70
Figure II.19: Ponts thermiques entre les murs et les planchers.....	70
Figure III.1: Composants et fonctions de l'enveloppe du point de vue de la performance énergétique.	72
Figure III.2 : Zones bioclimatiques de l'Algérie.....	74
Figure III.3: maison en question avec ses propriétés thermo physiques.....	75
Figure III.4: Coordonnées géographiques des trois sites.	75
Figure III.5: Température, humidité (Tlemcen).....	75
Figure III.6: Température, humidité (Alger).....	75
Figure III.7 : Température, humidité, Ghardaia.	76
Figure III.8 : Variations de température extérieure.....	76
Figure III.9 : Variations des degrés-jours.....	76
Figure III.10 : Les besoins énergétiques sans et avec isolation thermique.	78
Figure III.11 : Températures internes et externes, humidité relative mesurée pour les deux bâtiments.	80
Figure III.12 : Bilan énergétique de la maison.....	81
Figure III.13 : différence de température simple et double vitrage (mur simple et mur double).	81
Figure III.14: Plan de la villa avec découpage de zone thermique.	85
Figure III.15 : Réduction des besoins en refroidissement.....	86

Figure III.16 : I_{sum} en fonction de Q tôt (Nancy)	87
Figure III.17 : I_{sum} en fonction de Q tôt (Nice)	87
Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Béjaia.	96
Figure IV.2 : Moyennes mensuelles des températures et des précipitations, période (1991-2020).....	97
Figure IV.3: Les maisons individuelles en majorité (commune et ville de Béjaia).	100
Figure IV.4 : Situation du village d'Ait Garet.	101
Figure IV.5: situation de la maison kabyle.	101
Figure IV.6 : Plan de la maison kabyle.	102
Figure IV.7 : Les murs opaques en pierre de la maison.....	103
Figure IV.8 : Taqaât pièce principale de la maison.....	103
Figure IV.9: Trace d'El Kanoun.	103
Figure IV.10 : Vue sur Adaynine.....	104
Figure IV.11 : Vue sur Takanna ou Taâricht.	104
Figure IV.12 : Vue sur la cuisine d'été avec un zoom sur El Kanoun.	105
Figure IV.13 : Situation du quartier tazeboujt.....	105
Figure IV.14 : Situation de la maison moderne.	106
Figure IV.15 : Plan RDC de la maison.....	106
Figure IV.16 : Plan Étage.....	106
Figure IV.17 : vues sur l'extérieur de la maison.	108
Figure IV.18 : Les différents espaces composant le rez-de-chaussée.	109
Figure IV.19 : Chambre 1, légères moisissures.	110
Figure IV.20 : Chambre 02, pleine de moisissures.	110
Figure IV.21 : moisissures (chambre 02).....	113
Figure IV.22 : Graphe de moyennes températures et humidité (2017).....	114
Figure IV.23 : Graphe de moyennes températures et humidité (2016).....	115
Figure IV.24: Appareils utilisés pour la prise de mesure.	117
Figure IV.25 : Graphe des températures mesurées de toutes les pièces de la maison kabyle (période hivernale).Source : Auteur, 2018.	117
Figure IV.27 : Graphe de l'humidité relative mesurée de toutes	118
Figure IV.26 : État de la porte-W.C.....	118
Figure IV.28: Graphes de températures mesurées des espaces de la maison moderne (période hivernale). (RDC à gauche, Étage à droite + extérieur).....	119

Figure IV.29: Graphes du taux d'humidité des espaces de la maison moderne (période hivernale). (RDC à gauche, Étage à droite + extérieur).....	120
Figure IV.30 : Graphe des températures mesurées de toutes les pièces de la maison kabyle (période estivale).....	120
Figure IV.31 : Graphe de l'humidité relative mesurée de toutes les pièces de la maison kabyle (période estivale).....	121
Figure IV.32 : Graphes de températures mesurées des espaces de la maison moderne (période estivale).....	122
Figure IV.33 : Graphes du taux d'humidité des espaces de la maison moderne (période estivale).....	122
Figure V.1 : Organigramme représentatif des outils de simulations intégrés dans PLEIADES.....	125
Figure V.2 : Génération des données climatiques de la ville de Béjaia dans Meteonorm.	126
Figure V.3:Création de la station Meteo Calc.....	127
Figure V.4 : Export des données climatiques du site vert PLEIADES.....	127
Figure V.5 : Préparation de la saisie en choix du module.....	128
Figure V.6 : Insertion des matériaux avec leurs caractéristiques thermophysiques.....	128
Figure V.7 : intégration des caractéristiques thermo physiques à la bibliothèque de PLEIADES.....	129
Figure V.8 : Insertion de la menuiserie.....	129
Figure V.9 : Insertion des différents scénarios de fonctionnement du bâtiment.....	130
Figure V.10 : L'insertion des données de la maison kabyle à la bibliothèque de PLEIADES.....	130
Figure V.11 : 3D de la maison kabyle en question (Revit).....	131
Figure V.12 : Plan de la maison kabyle en question (PLEIADES).....	131
Figure V.13 : Zonage des espaces.....	132
Figure V.14 : Zonage thermique des espaces (scénarios de chauffage et de refroidissement).....	132
Figure V.15 : Lancement de la simulation thermique.....	133
Figure V.16: Zone de confort adaptif de Béjaia selon la température moyenne extérieure mensuelle.....	134
Figure V.17 : Superposition des graphes des températures simulées et mesurées.....	135
Figure V.18 : Étiquette de classement des bâtiments selon DPE 2021.....	137
Figure V.19 : Température de la journée la plus chaude (maison kabyle).....	139

Figure V.20 : Température de la journée la plus froide (maison kabyle).	140
Figure V.21 : Température de la semaine la plus chaude (maison kabyle).	140
Figure V.22 : Température de la semaine la plus froide(maison kabyle).	141
Figure V.23 : Température de la journée la plus chaude (maison moderne).	141
Figure V.24 : Température de la journée la plus froide (maison moderne).	141
Figure V.25 : Températures de la journée la plus chaude (1ère amélioration)	144
Figure V.26 : Températures de la journée la plus froide (1ère amélioration).....	144
Figure V.27: La température ambiante intérieure, après la 1èreamélioration.....	145
Figure V.28 : Températures de la journée la plus chaude (2ème amélioration).	147
Figure V.29 : Températures de la journée la plus froide (2ème amélioration).	147
Figure V.30: La température ambiante intérieure, après la 2èreamélioration.....	148
Figure V.31 : Réduction du taux (%) d'inconfort dans la maison moderne.	150

Liste des tableaux

Tableau II.1 : L'influence de l'activité sur le métabolisme.	53
Tableau II.2 : Valeurs d'isolement vestimentaire en fonction des tenues portées.	54
Tableau II.3 : La sensation thermique exprimée selon l'échelle de l'ASHRAE.....	55
Tableau II.4 : Déperditions et besoins de chaleur.	60
Tableau II.5 : Avantage et inconvénients du logiciel Design Builder.	65
Tableau II.6 : Avantage et inconvénients du logiciel TRNSYS.	66
Tableau II.7 : Avantage et inconvénients du logiciel Pleiades.	67
Tableau III.1 : Besoin énergétique dû à l'enveloppe, cas de Tlemcen.....	77
Tableau III.2 : Besoin énergétique dû à l'enveloppe, cas d'Alger.....	77
Tableau III.3 : Besoin énergétique dû à l'enveloppe, cas de Ghardaïa.....	77
Tableau III.4: Propriétés thermophysiques de l'enveloppe de la villa (Marrakech).....	85
Tableau III.5 : propriétés thermophysiques au point A, B, C, A', B', C'.	87
Tableau III.6 : Avantages et inconvénients des cellules tests à échelles réelle et réduite.....	90
Tableau III.7 : Avantages et inconvénients de la simulation numérique.	92
Tableau IV.1 : Moyennes mensuelles des températures (1991-2020).	97
Tableau IV.2 : Moyennes mensuelles des précipitations (1991-2020).	98
Tableau IV.3 : Moyennes annuelles d'heures d'ensoleillement (1991-2020)	98
Tableau IV.4 : Taux d'humidité (1991-2020).....	98
Tableau IV.5 : Température moyenne de la mer (1991-2020).....	99
Tableau IV.6 : Température moyenne de la mer (1991-2020).....	99
Tableau IV.7 : Température moyenne de la mer (1991-2020).....	99
Tableau IV.8 : Résultat de l'enquête.	111
Tableau IV.9 : Tableau récapitulatif sur le confort thermique et la performance énergétique.	113
Tableau IV.10 : moyennes températures et humidité relative (2017).	114
Tableau IV.11 : moyennes températures et humidité relative (2016).	115
Tableau IV.12 : Sélection du design month (1988-2017).	116
Tableau V.1 : La température moyenne mensuelle à Béjaïa.....	133
Tableau V.2 : La température de confort adaptif de la ville de Béjaïa.	134
Tableau V.3 : Besoin en chauffage et en climatisation de la maison kabyle.	136
Tableau V.4 : Besoin en chauffage et en climatisation de la maison moderne.....	136

Tableau V.5: Besoin en chauffage et en climatisation annuelle par mètre carré des deux maisons.....	137
Tableau V.6 : Heures et taux d'inconfort dans la maison kabyle.....	138
Tableau V.7 : Heures et taux d'inconfort dans la maison moderne.	138
Tableau V.8 : Caractéristiques thermophysiques de la pierre.....	142
Tableau V.9: Besoins en chauffage et en climatisation (première amélioration)	143
Tableau V.10 : Réduction des besoins en chauffage et en climatisation.	143
Tableau V.11 : Réduction du taux d'inconfort.....	144
Tableau V.12 : Besoins en chauffage et en climatisation (2ème amélioration).....	146
Tableau V.13 : Réduction des besoins en chauffage et en climatisation.	146
Tableau V.14 : Réduction du taux d'inconfort.....	147
Tableau V.15 : Tableau récapitulatif sur la performance énergétique.	149
Tableau V.16 : Tableau récapitulatif sur l'amélioration de la température moyenne ambiante.	150

Nomenclature

Abréviation

ASHRAE : American Society of Heating, Refirifating and Air-Conditioning Engineers.

APRU : Agence Nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

BREEAM : Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CF : Coefficient de forme

DEP : Diagnostic de Performance énergétique.

GTB : Gestion technique du bâtiment.

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sue l'Evolution du Climat.

HPE : Haute Performance Energétique.

HQE : Haute Qualité Environnementale.

LEED : Leadership in Energy and Environmental Design

PMV : Predicted Mean Vote (Vote moyen Prévisible).

PPD : Predicted Percentage Dissatisfied (Pourcentage prévisible d'insatisfits).

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

RT : Réglementation thermique.

STD : Simulation Thermique Dynamique.

THPE : Très Haute Performance Energétique.

Paramètres physiques et mathématiques :

λ : Coefficient de conductivité thermique (W/mK)

U : Coefficient de transmission thermique de la paroi (W/m²K)

CLO : Unité d'isolement vestimentaire.

M : Le métabolisme (w/m²)

R_{tot} : Résistance thermique totale d'une paroi ou d'un ensemble de parois (W /m².K).

R_{si} : Résistance thermique de la surface intérieure de la paroi (m².K/W).

R_{se} : Résistance thermique de la surface extérieure de la paroi (m².K/W).

ΣR_i : Somme des résistances thermiques des couches intermédiaires entre les surfaces intérieure et extérieure de la paroi ($m^2.K/W$).

S : la surface (m^2)

T_{rs} : Température résultante sèche ($^{\circ}C$).

T_a : Température de l'air (ambiante) ($^{\circ}C$)

T_p : Température des parois ($^{\circ}C$)

HR : Humidité relative (%)

V_{air} : Vitesse de l'air (m/s)

Q_0 : Flux de chaleur perdue par la paroi (w).

K : coefficient de transmission globale de la chaleur ($w/m. ^{\circ}C$).

Q_v : Déperdition calorifique par ventilation (w).

G : débit d'air (m^3/s).

T_i : Température intérieure ($^{\circ}C$)

T_e : Température extérieure ($^{\circ}C$)

Q_t : Les besoins de chaleur (w).

Chapitre introductif.

Introduction

La question de la durabilité de la ville est devenue une préoccupation majeure pour les architectes et les urbanistes, car elle est fortement liée à la notion de développement durable. Cette durabilité est considérée comme étant l'un des garants d'un développement urbain harmonieux pour les générations futures. Pour cela il faut prendre en compte plusieurs facteurs tels que : la performance énergétique, le confort thermique et la qualité de vie des habitants.

L'évolution d'un certain nombre de concepts et de notions liées aux usagers de l'espace a participé à la naissance de nouveaux préceptes en architecture telle que les innovations dans le domaine formel, la réalisation de plusieurs projets, variétés de tendances..., mais cette évolution se produit sans tenir compte des consommations énergétiques considérables, ayant abouti à un épuisement d'énergies sans contrepartie vis-à-vis du développement durable.

Afin de réussir la construction de la ville de demain, les architectes et les urbanistes doivent trouver des solutions innovantes pour améliorer la performance énergétique et la qualité environnementale des bâtiments. Par exemple : l'utilisation de matériaux durables, la mise en place de systèmes de chauffage et de climatisation économes en énergie. Pour réussir à garantir un développement durable urbain et une qualité de vie pour les habitants, il faut prendre en considération tous les enjeux environnementaux et sociaux.

Habiter, c'est l'action d'être dans et avec le monde, c'est avoir une relation avec le monde extérieur. Le mot habiter dépasse le fait d'avoir un logement, l'utilisateur est inclus et dans une relation tripartite irréductible par la dynamique existentielle de l'habitation. Être au monde, c'est accepter le monde dans ses différentes dimensions spatiales, temporelles et co-existentielles, c'est-à-dire il ne faut pas se limiter dans une seule dimension, il faut s'élargir et approfondir dans toutes les dimensions. Cela permettra à l'habitant de vivre en harmonie avec son environnement et de sentir pleinement son existence.

Donc un espace habitable est un espace à usage bien défini qui est l'habitation, mais de manière à être avec le monde et non seulement être dans un monde ; c'est donc la coexistence : être dans et avec le monde.¹

¹ S.CHEVRIER , « L'inhabitable est notre site, habiter l'inhabitable comme éthique de l'architecture », 2008.

Chaque espace de vie possède une ambiance propre à lui qui contribue à le rendre attractif ou non, en fonction de la qualité de cette dernière. En effet, l'ambiance est un élément clé qui influence la perception et la satisfaction de l'habitant vis-à-vis de son environnement. Une ambiance de qualité peut ainsi contribuer à créer un sentiment de bien-être et de confort et un espace habitable désirable, tandis qu'une ambiance médiocre peut avoir l'effet inverse en créant un sentiment d'inconfort et rendre l'espace habitable indésirable.

Le contexte dans lequel se trouve un individu, un groupe est défini par un ensemble des caractères qui se résument à un seul mot qui est l'ambiance, cette ambiance renvoie à une atmosphère qui rassemble l'ensemble des conditions thermométriques et hygrométriques dans un espace habitable.²

L'homme vit dans certaines conditions d'ambiance et consomme de grandes quantités d'énergie pour atteindre un certain confort. Le confort optimal qu'il soit thermique, visuel, olfactif ou sonore implique une énorme consommation d'énergie, ce qui est nocif pour l'environnement. Améliorer de la performance énergétique dans les espaces habitables est un enjeu majeur pour réduire notre empreinte environnementale et assurer un développement durable pour les générations futures.

Problématique

De nos jours, la volonté de réduire ces consommations énergétiques polluantes et respecter tout ce qui a trait au développement durable est affirmée dans tous les domaines, en particulier dans le secteur de l'habitat qui se révèle le plus énergivore du système urbain. L'idée c'est d'appliquer cette volonté de réduction énergétique aux espaces urbains et ruraux, en particulier l'habitat individuel, ce type d'habitat, vu les avantages qu'il présente en matière de confort, d'intimité ou d'indépendance, s'avère le plus demandé. En réduisant la consommation énergétique dans les espaces urbains et ruraux, nous pouvons dire qu'on a contribué à l'amélioration de la qualité de vie des habitants et à la diminution des coûts de la consommation énergétique.

L'enveloppe architecturale de chaque espace habitable comprend des éléments qui jouent un rôle dans la consommation de l'énergie soit d'une manière positive ou négative, plus celle-ci

² <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ambiance/2711>. Consulté le 27/09/2014 à 16h30min.

est performante énergétiquement, moins elle consomme de l'énergie, que ce soit en milieu rural ou urbain.

En effet, la performance énergétique de l'enveloppe architecturale a un impact direct sur la consommation d'énergie du bâtiment. Si l'enveloppe est conçue pour être performante énergétiquement, elle peut réduire la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer ou refroidir l'espace habitable, ce qui se traduit par des économies financières et une réduction de l'impact environnemental.

Cependant, il convient de noter que la demande en énergie pour les zones rurales est souvent négligeable par rapport à celle des zones urbaines. Les zones urbaines ont tendance à avoir des bâtiments plus grands et plus denses, ce qui augmente la demande en énergie. De plus, les habitants des zones urbaines ont souvent un accès plus facile aux sources d'énergie, ce qui peut augmenter leur consommation d'énergie.

Béjaia est une ville méditerranéenne, son climat se caractérise par un taux d'humidité très élevé, un hiver doux et pluvieux et un été chaud et ensoleillé. Elle est connue avec ses variations climatiques tout au long de l'année, pour cela il est très important de concevoir des enveloppes architecturales performantes, afin d'assurer un confort optimal, une ambiance désirable, une qualité de vie meilleure, un environnement sain avec une dépense énergétique minimale.

De ce qui précède, de multiples questions s'imposent :

Comment aboutir à une performance énergétique de l'enveloppe pour un meilleur confort thermique dans les espaces habitables ?

Quels sont les facteurs sur lesquels on peut agir pour atteindre ces performances énergétiques ?

Hypothèse

Nous supposons que le secteur résidentiel est l'élément urbain le plus important et le plus énergivore, sa composante principale est l'habitation, étant ainsi, on peut agir sur cette composante pour réduire ses besoins énergétiques. En adoptant une approche bioclimatique, qui prend en compte à la fois les aspects architecturaux, les matériaux de construction, les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, nous pouvons aboutir à une performance énergétique optimale de l'enveloppe des espaces habitables, offrant ainsi un confort thermique optimal pour les occupants.

L'enveloppe architecturale a une influence considérable sur le fonctionnement du bâtiment, sa performance énergétique et thermique. L'optimisation de la performance énergétique au niveau de l'enveloppe des espaces habitables nécessite une approche globale et intégrée de l'étape de la conception jusqu'à la construction. Cette approche prend plusieurs facteurs indépendants.

Le secteur résidentiel représente une partie très importante de la consommation énergétique globale dans les zones urbaines, cela est dû aux besoins énergétiques liés à l'habitat. Il est possible de réduire ces consommations énergétiques énormes en agissant sur l'enveloppe architecturale et cela en améliorant sa performance énergétique. Nous pouvons également réduire significativement les besoins d'énergie du secteur d'habitat en réalisant des conformations architecturales économiques en matière de consommation d'énergie, et qui prennent en considération l'environnement, pourquoi pas énergétiquement autonome.

La durabilité et en particulier le développement durable dans l'espace habitable, sont étroitement liés à la question énergétique, ou plus précisément au problème de l'augmentation croissante de la consommation d'énergie. Les déperditions et les gains d'énergie dans les bâtiments sont deux éléments sensibles qui nécessitent une réflexion pour atteindre un confort estimé pour les usagers de l'espace.

Ce confort peut être atteint en minimisant les consommations énergétiques, en utilisant des sources d'énergie issues des énergies renouvelables et en utilisant des matériaux isolants qui peuvent réduire les déperditions d'énergie vers l'extérieur.

On doit donc penser des espaces habitables d'une manière à avoir une très bonne performance énergétique par une utilisation des opportunités offertes par le voisinage et le site dans lequel se retrouve l'espace habitable tout en réalisant des conformations architecturales qui seront conçues pour être dans et avec l'environnement.

Objectifs de la recherche

Notre étude a pour objectif de traiter la question de performance énergétique et de confort thermique dans les espaces habitables individuels. L'objectif principal de cette thèse est d'arriver à des constructions économes et performantes. Dans cette étude, nous allons tout d'abord développer une compréhension approfondie des concepts clés et des principes fondamentaux liés à notre sujet de recherche, à savoir la performance énergétique et le confort thermique dans les habitations. Dans une seconde étape, nous mènerons une enquête sur le terrain afin de mettre en évidence la corrélation entre la performance énergétique et le confort

thermique, en nous appuyant sur des simulations pour obtenir des résultats optimaux et concrets et, en fonction des résultats obtenus, nous allons proposer des recommandations susceptibles d'améliorer le fonctionnement de l'espace habitable. Le but c'est d'arriver à des résultats qui seront utilisés par les concepteurs pour réussir à créer des projets plus performants, efficaces, qui ne nuisent ni à l'homme ni à l'environnement.

Il existe plusieurs modes d'évaluation de la performance énergétique :

- Le diagnostic de performance énergétique (DEP), est un dispositif réglementaire qui a pour objectif d'améliorer la performance énergétique de la conformation architecturale. Ce dispositif est accompagné de recommandations de travaux afin de réduire la consommation en matière d'énergie.
- La simulation énergétique, Il s'agit d'utiliser des logiciels de simulation énergétique pour modéliser la performance énergétique d'un bâtiment en fonction de différents scénarios. Cela permet d'évaluer la consommation d'énergie estimée en fonction des caractéristiques du bâtiment, des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que des comportements des occupants.
- Le bilan thermique d'été et d'hiver du bâtiment qui consiste à faire l'inventaire de toutes ses pertes de chaleur (déperditions), et de tous ses gains (apports), il est conseillé de le réaliser avant d'entreprendre des travaux de rénovation énergétique pour améliorer la performance énergétique globale.

Méthodologie et outils de la recherche

Il est essentiel d'adopter une approche méthodique et une structuration rigoureuse du sujet de recherche afin d'atteindre les objectifs fixés. Ainsi, cette étude sera divisée en deux parties distinctes. La première partie abordera les aspects théoriques de la performance énergétique, du confort et de la notion d'habiter. La deuxième partie consistera en une démarche pratique basée sur l'analyse de deux cas d'étude l'un traditionnel et l'autre moderne sélectionnés pour constituer un corpus d'études.

Nous avons utilisé deux méthodes de recherche pour arriver à nos objectifs. La première méthode c'est la prise des mesures in situ à l'aide d'instruments, à savoir la température ambiante et le taux d'humidité relative. Ces mesures seront renforcées par un questionnaire destiné aux habitants des conformations architecturales constituant le corpus d'étude.

Structure de la thèse

Selon notre méthodologie, la présente recherche se compose de deux parties :

1- Partie théorique

Dans cette première partie, nous allons définir et éclaircir les concepts théoriques les plus importants en relation avec le thème de recherche, afin de construire un background conceptuel pour bien démarrer ce travail de recherche et atteindre ses objectifs. Elle est composée de deux chapitres ;

Chapitre I

Vise à approfondir la connaissance des exigences, normes et recommandations relatives à la performance énergétique, l'efficacité énergétique et sa réglementation, la consommation énergétique et l'espace habitable individuel vernaculaire et moderne.

Chapitre II

Se concentre sur le deuxième concept qui est le confort, en particulier le confort thermique, ses paramètres, ses indices, évaluation, etc.

2- Partie pratique

C'est le cœur de ce travail de recherche, c'est la partie la plus importante, elle se compose de trois chapitres :

Chapitre III

C'est l'état de l'art, les recherches antérieures et le positionnement épistémologique. C'est le chapitre intermédiaire entre la partie théorique et la partie pratique.

Chapitre IV

Ce quatrième chapitre est consacré à l'étude des cas d'étude dans leur contexte (la ville de Béjaïa en question), une évaluation qualitative des deux conformations architecturales composant le corpus d'étude, un questionnaire et la prise de mesure sur le terrain.

Chapitre V

Concerne la modélisation et la simulation avec le logiciel Pléiades et Comfie. Pour obtenir toutes les informations nécessaires concernant les consommations énergétiques et l'état du confort thermique dans les maisons. Ensuite l'interprétation des résultats et l'amélioration du cas d'étude.

Enfin, le travail de recherche s’achèvera avec une conclusion générale qui est la synthèse du travail avec des recommandations appropriées qui seront formulées pour répondre aux besoins des habitants et promouvoir le développement durable.

Organigramme de la structure de la thèse

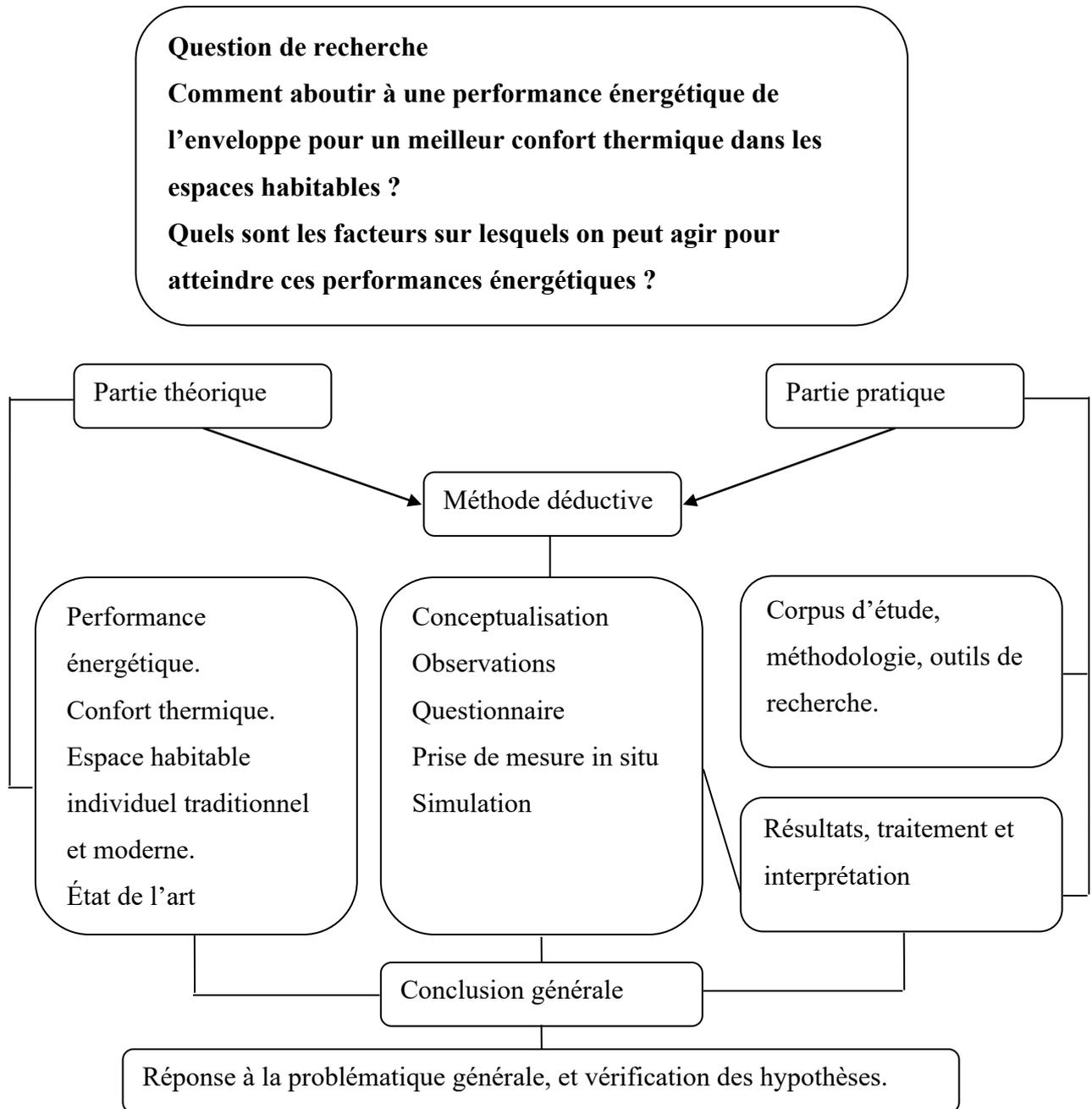


Figure 0.1 : Organigramme de la démarche adoptée pour élaborer le travail.
 Source: Auteur, 2017.

PREMIÈRE PARTIE : CONCEPTS THÉORIQUES.

Chapitre I. La performance énergétique dans un bâtiment : établir un background conceptuel.

Introduction

« La maîtrise de l'énergie n'est pas un médicament que l'on prend en période de crise, de maladie, mais une hygiène de vie qui permet de rester en bonne santé »³, Pierre Radanne.

L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments contribue à la réduction de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre. Elle améliore également la qualité du confort des occupants et elle réduit les coûts d'exploitation à long terme.

Ce premier chapitre traitera essentiellement les notions fondamentales liées à la performance, la consommation et le bilan énergétique. Ces notions constitueront le point de départ de ce sujet de recherche. Nous traiterons aussi les réglementations et les normes relatives à la performance énergétique dans les bâtiments, les avantages et les défis liés à l'amélioration de cette dernière.

Les bâtiments sont les plus grands consommateurs d'énergie. La réduction des consommations énergétiques est un sujet d'actualité, c'est aussi un défi majeur de notre temps. Alors un simple recours aux énergies renouvelables est devenu primordial.

Selon l'agence internationale de l'énergie, environ 40% de la consommation énergétique mondiale est dédié au secteur du bâtiment en 2019. C'est pour cela qu'il est considéré comme un sujet crucial.

« Il ne sert de rien à l'homme de gagner la lune s'il parvient à perdre la terre. » (François Mauriac, 1885/1970).

I.1. L'énergie

L'énergie est une grandeur physique essentielle qui permet de réaliser un travail, qu'il soit mécanique, chimique ou autre. L'énergie existe sous diverses formes, telles que l'énergie thermique ou calorifique (liée à la chaleur), l'énergie électrique (liée à l'électricité), l'énergie mécanique, l'énergie chimique ou encore l'énergie nucléaire.⁴

Dans notre contexte de la performance énergétique des bâtiments, l'énergie fait référence à l'énergie utilisée pour alimenter les différents équipements et systèmes énergétiques des bâtiments, tels que le chauffage, la climatisation, l'éclairage, la ventilation, les appareils

³Pierre Radanne(spécialiste dans le domaine de l'énergie et de l'environnement, ancien délégué interministériel au développement durable).

⁴ <https://www.climamaison.com/lexique/energie.htm>, consulté le 12-04- 2018 à 23h25min.

électriques et autres. L'énergie dans le bâtiment peut provenir de différentes sources, telles que l'électricité, le gaz naturel, le fuel, le bois, le solaire, le géothermique, etc.

I.1.1. Formes d'énergie

L'énergie est omniprésente dans notre environnement, elle se présente sous différentes formes. L'énergie peut se transformer, se décomposer, elle peut également rester constante dans un système isolé. Dans ce qui suit, les différentes formes d'énergie.

I.1.1.1. Énergie mécanique

L'énergie mécanique se compose de deux autres énergies (cinétique et potentielle). L'énergie cinétique est l'énergie associée au mouvement d'un objet. Elle dépend de la masse et de la vitesse de l'objet. L'énergie potentielle c'est l'énergie accumulée en emmagasinée dans un objet en raison de sa position ou de sa forme.

I.1.1.2. Énergie thermique

L'énergie thermique est synonyme de chaleur et est générée par l'agitation des molécules et des atomes à l'intérieur de la matière. Afin d'exploiter l'énergie thermique, il est possible de la convertir en énergie mécanique ou électrique. Elle peut également être utilisée pour produire du chauffage ou de l'électricité.⁵

I.1.1.3. Énergie électrique

L'énergie électrique est généralement associée au mouvement des électrons dans un conducteur. Elle peut être produite par différentes sources d'énergie telles que l'énergie hydraulique, éolienne, solaire, nucléaire, thermique ou chimique, qui sont ensuite transformées en électricité pour alimenter les différents besoins en énergie, tels que l'éclairage, les appareils électroménagers, les industries et les transports.⁶

⁵ <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/differentes-formes-denergie>, consulté le 12-04-2018 à 23h05.

⁶ <https://www.choisir.com/energie/articles/158904/quelles-sont-les-differentes-formes-denergie>, consulté le 13-05-2021 à 4h42 min.

I.1.1.4. Énergie chimique

L'énergie chimique est l'énergie potentielle stockée ou accumulée dans la disposition des atomes au sein des molécules. Elle peut être libérée sous diverses formes : chaleur, lumière ou électricité lors des différentes réactions qu'elle peut subir.

I.1.1.5. Énergie nucléaire

L'énergie nucléaire est l'énergie produite lors de réactions nucléaires, elle est utilisée dans plusieurs domaines tels que la médecine et l'industrie. Elle est utilisée également pour la production de l'électricité dans les centrales nucléaires.

I.1.1.6. Énergie rayonnante

L'énergie rayonnante se réfère à l'énergie transportée par le biais des rayonnements, tels que la lumière et le rayonnement infrarouge. Ces rayonnements sont émis par diverses sources, telles que le soleil, il est possible d'exploiter l'énergie des rayonnements solaires pour générer de l'électricité (énergie photovoltaïque) ou de la chaleur solaire récupérée (solaire thermique).

I.2. La performance énergétique

« La conception d'un bâtiment performant ne commence par le contrôle des pertes thermiques des gains solaires et l'utilisation de la lumière naturelle ». Boudreau, 2011.

Dans le cadre d'une utilisation normale du bâtiment, la quantité d'énergie consommée ou estimée fait correspondre à la performance énergétique ; l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement, l'éclairage et la ventilation sont aussi inclus.⁷C'est la quantité d'énergie consommée pour maintenir un certain niveau de confort. Plus la quantité d'énergie nécessaire est faible, meilleure est la performance énergétique dans l'espace habitable.

Après le choc pétrolier de 1973, plusieurs éléments ont changé et plusieurs initiatives ont été prises pour assurer le confort tout en minimisant les dépenses énergétiques.

Velázquez-Romo (2015), pense que du point de vue énergétique, la construction performante est celle qui est conçue de la bonne manière et prend en compte l'efficacité selon quatre

⁷http://www.profil-environnemental.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/accueil/glossaire?&id_gloss=31_570, Consulté le 27/09/2017 à 14h05min.

aspects : la géométrie, les matériaux, l'enveloppe, et les systèmes de chauffage, ventilation...etc.

L'aspect géométrique concerne le volume du bâtiment, son orientation, ses dimensions et la répartition intérieure des espaces. L'enveloppe qui est un élément très important parce que c'est à son niveau que les échanges thermiques se font (déperditions et gains).

Les matériaux aussi sont un aspect important, car il faut bien maîtriser leurs caractéristiques thermiques. Les systèmes (ventilation, refroidissement, chauffage...) doivent être efficaces.

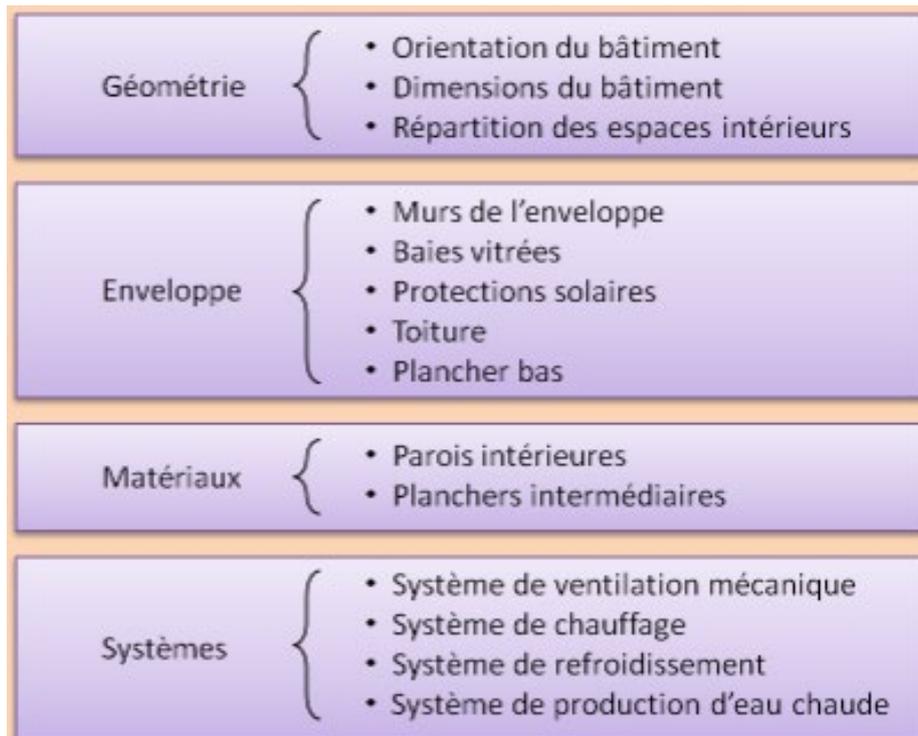


Figure I.1 : les aspects d'un bâtiment performant.

Source : Romo, Processus de conception énergétique de bâtiments durables, thèse de doctorat, Paris, 18 septembre 2015.

Il est important de réduire les consommations d'énergie, particulièrement dans le secteur de la construction qui représente une part considérable de cette consommation. Une performance énergétique accrue découle directement d'une réduction de la demande énergétique

I.3. Les facteurs de performance énergétique

Selon Morillon et al (2011), la performance énergétique repose sur cinq facteurs.

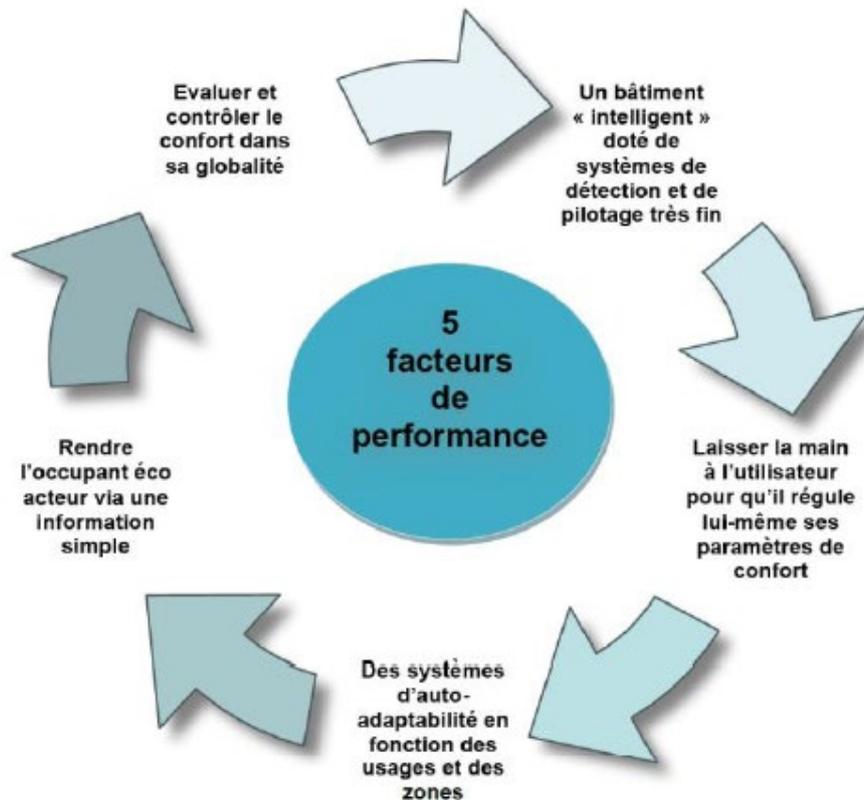


Figure I.2 : Les facteurs de performance énergétique.
Source : Khadraoui M A, 2019.

Pour Morillon (2011), le premier facteur de la performance énergétique c'est la conception des bâtiments intelligents, deuxièmement il faut donner la liberté aux utilisateurs afin de réguler eux-mêmes leurs paramètres de confort. Le troisième facteur concerne l'intégration des systèmes d'auto adaptabilité en fonction des usagers et des zones. Le quatrième facteur consiste à faire participer l'occupant en tant qu'éco-acteur, et le dernier facteur consiste à évaluer et à contrôler le confort dans sa globalité.

I.4. L'efficacité énergétique

En physique, on appelle « efficacité énergétique » le rapport entre l'énergie produite par un système qui est réellement utilisée pour effectuer une tâche utile et l'énergie totale

consommée par le système pour fonctionner⁸. Dans un système donné l'efficacité énergétique est le rapport entre deux énergies utiles qui sont : énergie utile en sortie et celle qui est fournie par l'utilisateur en entrée de ce système.

L'efficacité énergétique dans le domaine du bâtiment signifie la capacité de ce dernier d'assurer les services énergétiques tels que : chauffage, climatisation, éclairage...etc. tout en consommant le minimum d'énergie possible. Afin d'arriver à ce but, il est indispensable pour les occupants d'adopter un comportement écoresponsable, pour une utilisation rationnelle des équipements. Il est nécessaire aussi de bien choisir les matériaux de construction de l'enveloppe architecturale.

L'objectif principal est de réduire la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre et les coûts énergétiques, tout en maintenant un niveau de confort adéquat pour les occupants.

Afin d'améliorer la performance énergétique dans le secteur de la construction, on peut appliquer les solutions passive et active.

1.4.1. L'efficacité énergétique passive

L'efficacité énergétique passive est une approche de conception de bâtiments qui concerne le bâti, c'est-à-dire l'enveloppe du bâtiment. Elle se rapporte à l'isolation et aux matériaux de construction (elle utilise des techniques bioclimatiques). Parmi les avantages de cette approche, nous pouvons citer : la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'économie d'énergie et le confort des occupants. Cette méthode favorise l'utilisation des ressources naturelles.

1.4.2. L'efficacité énergétique active

L'efficacité énergétique active est une approche qui a pour but l'optimisation de l'utilisation de l'énergie, et pour cela elle utilise des technologies avancées.

Son objectif est d'optimiser les flux énergétiques à travers l'utilisation d'appareils performants et de systèmes intelligents de mesure et de régulation.

⁸ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>, consulté le 15-03-2018 à 6h30min.

Elle touche aussi la gestion de l'énergie, la domotique et la gestion technique du bâtiment.

L'efficacité énergétique active est plus coûteuse que la passive, mais elle offre aussi des avantages tels que des économies d'énergie, une réduction des émissions de gaz à effet de serre et un confort optimal pour les habitants.

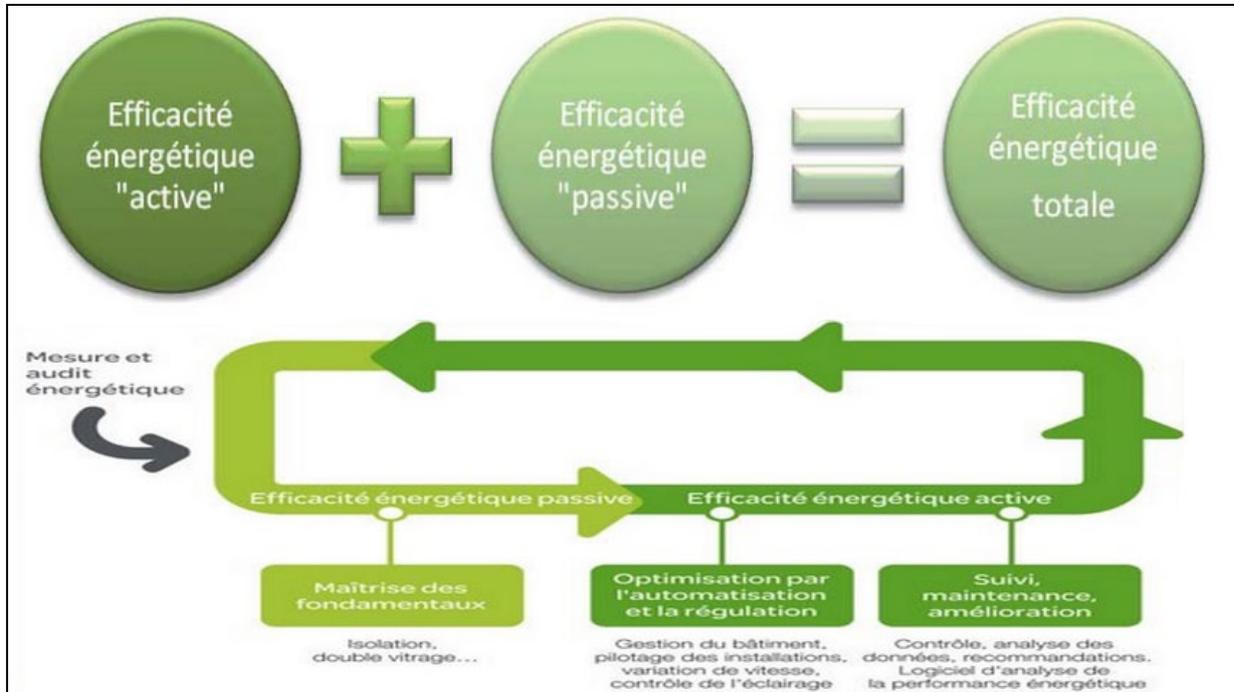


Figure I.3 : Efficacité énergétique passive et active.

Source : <https://www.domotique.tn/media/efficacite.energetique.batiment2.png>, consulté le 16-06-2018 à 16h35min.

I.5. La performance énergétique et l'efficacité énergétique

La performance énergétique désigne la quantité d'énergie consommée pour maintenir un certain niveau de confort, tandis que l'efficacité énergétique se définit par le rapport entre le niveau d'énergie utile que délivre un système et celui de l'énergie consommée nécessaire à son fonctionnement. Nous pouvons dire aussi que c'est une mesure de la quantité d'énergie minimale nécessaire pour maintenir ce confort.

En améliorant l'efficacité énergétique d'un bâtiment, on peut améliorer sa performance énergétique en réduisant la quantité d'énergie nécessaire pour atteindre les niveaux de confort et de services souhaités. La performance énergétique d'un bâtiment est liée à l'efficacité énergétique de chacun des équipements ainsi qu'à l'usage que l'on fait au quotidien ; notre comportement est donc essentiel pour optimiser la performance énergétique de l'espace habitable.

I.6. La consommation énergétique

La consommation énergétique d'un bâtiment désigne la quantité d'énergie que le bâtiment consomme pour fonctionner, en tenant compte de l'énergie nécessaire pour l'éclairage, le chauffage, la ventilation, la climatisation, les appareils électriques, etc.

Les normes adaptées aux réglementations thermiques déterminent la consommation énergétique dans les habitations, et visent à réduire de manière significative l'empreinte environnementale des constructions en termes d'émissions de CO₂.

La consommation énergétique peut être valorisée à partir d'un bilan sur une échelle nationale. L'unité de mesure est le (kW/m²/an), c'est l'unité de mesure de la consommation d'énergie primaire par l'unité de surface/an.

I.7. Le bilan de consommation énergétique

Le bilan énergétique joue un rôle essentiel en fournissant une perspective complète de l'efficacité énergétique d'une construction. Il représente l'outil principal pour évaluer la consommation d'énergie d'un bâtiment. Il exprime le résultat de l'évaluation de l'ensemble des flux d'énergie entrants et sortants du bâtiment sur une période précise. Il prend en compte non seulement la consommation énergétique du bâtiment, mais également la production d'énergie à partir de sources renouvelables (panneaux solaires, éoliennes, etc.) et les pertes énergétiques (par exemple, par le biais de l'isolation, des fenêtres, des portes, etc.). Le bilan énergétique permet de déterminer si un bâtiment est énergétiquement efficace ou non, et s'il produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.

Le bilan énergétique global est généralement quantifié en kilowattheures (kWh). Il peut être calculé en prenant en compte la surface des références énergétiques et/ou le nombre des occupants.

I.8. La consommation énergétique mondiale

La consommation d'énergie mondiale a augmenté de 2,8% en 2018, cela est dû à la demande croissante d'électricité et de gaz. Depuis 2009, la Chine est le plus grand consommateur d'énergie dans le monde, ensuite viennent les États-Unis : leur consommation en énergie augmente travers les années. En revanche la consommation énergétique de l'Union

européenne a baissé. En 2019, la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 1,3 %, une augmentation qui a diminué de moitié par rapport à celle de 2018 (2,8 %).⁹

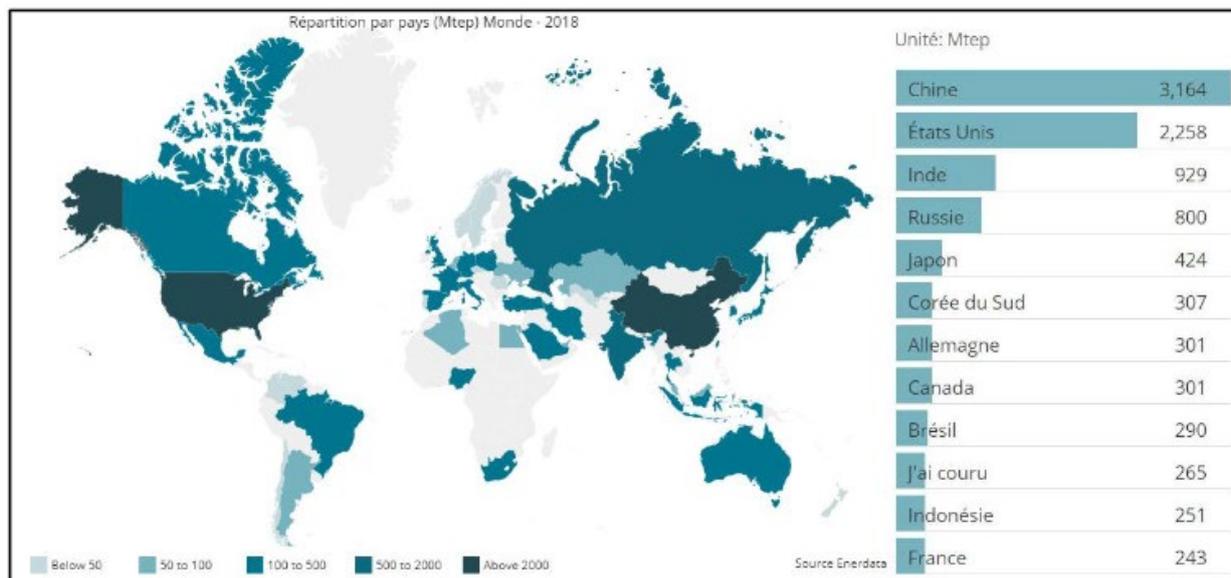


Figure I.4: La consommation énergétique mondiale en 2018.
Source : The global Energy Statistical Yearbook, 2019.

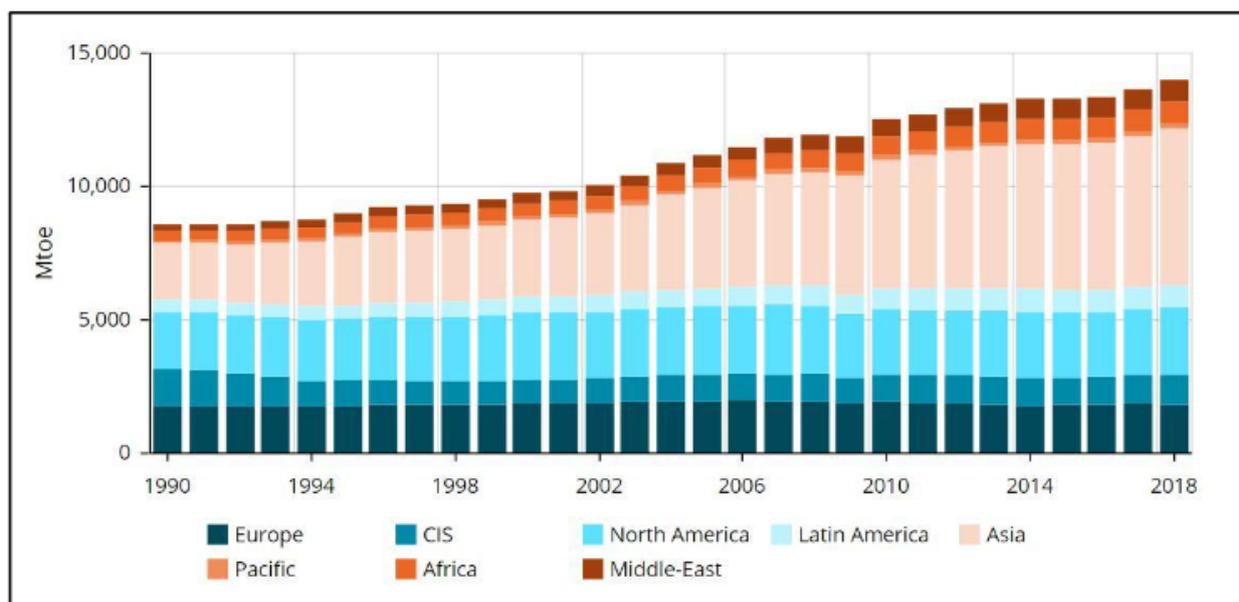


Figure I.5 : Augmentation de la consommation énergétique au niveau mondial (1990 – 2018).
Source : The global Energy Statistical Yearbook, 2019.

⁹ <https://www.planete-energies.com/fr/media/chiffres/consommation-mondiale-denergie-en-2019>

- Durant ces trente dernières années, le secteur du bâtiment représente plus de la moitié de la consommation d'énergie à l'échelle mondiale, et cette consommation continue d'augmenter malgré les recommandations et les initiatives qui ont été prises. L'empreinte écologique de la consommation énergétique dans ce secteur est constamment en évolution.

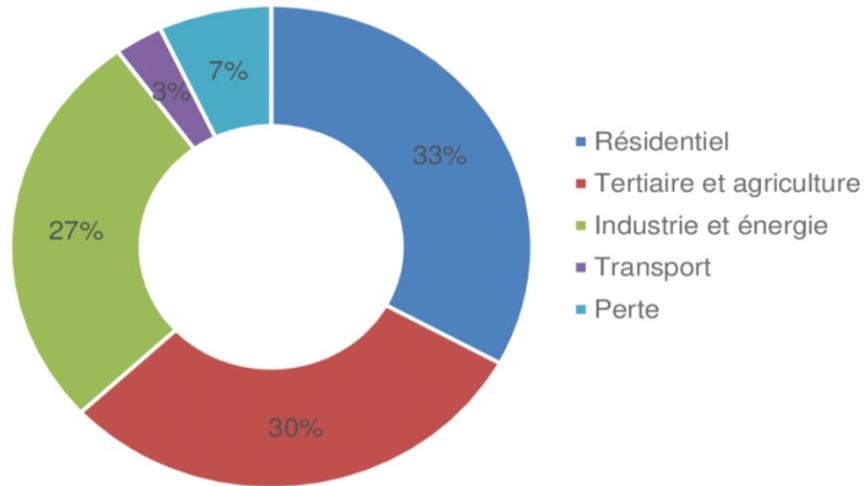


Figure I.6 : Exemple de la consommation d'énergie selon différents secteurs en France.
Source : RTE – bilan électrique 2017

I.9. La consommation énergétique en Algérie

L'Algérie fait face à une demande énergétique significative, cela est dû à plusieurs facteurs tels que l'augmentation de niveau de vie de sa population qui demande toujours plus de confort, ainsi que la croissance continue des activités industrielles.

Selon l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie APRU, en 2015 le secteur **du bâtiment consomme 38% de l'énergie finale**. Ce pourcentage élevé est dû à la forte demande en chauffage et en climatisation.

Unité : K Tep	2016	2017	Evolution	
			Quantité	(%)
Industrie et BTP, dont :	9 242	9 943	701	7,6
• Matériaux de construction	4 065	4 370	305	7,5
• ISMME	524	765	241	45,9
• BTP	470	441	-29	-6,2
• Industries Manufacturières :	1 070	1 134	64	6,0
(Dont : Agroalimentaires)	953	1 011	58	6,0
• Chimie	327	338	11	3,4
• Autres industries	2 786	2 895	109	3,9
Transport, dont :	15 057	14 895	-162	-1,1
• Routier	14 293	14 138	-155	-1,1
• Aérien	482	496	14	2,9
Ménages et autres, dont :	18 584	19 808	1 224	6,6
• Résidentiel	14 196	15 003	808	5,7
• Agriculture	416	440	24	5,7
Total	42 883	44 646	1 763	4,1

Figure I.7: Consommation finale par secteur 2016-2017.

Source : www.energy.gov.dz, ministère de l'énergie et des mines, adapté par l'auteur (2020).

I.10. Le bilan énergétique et le bilan thermique des bâtiments

Le bilan énergétique global d'un bâtiment prend en compte les flux d'énergie entrants et sortants pour évaluer sa consommation énergétique totale, en tenant compte de toutes les utilisations d'énergie. Tandis que le bilan thermique se concentre spécifiquement sur les flux de chaleur entrants et sortants d'un bâtiment. Il permet d'analyser la performance thermique d'un bâtiment, en évaluant les pertes de chaleur à travers les murs, les fenêtres, le toit, etc. Il prend en compte les caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction, les conditions climatiques locales, ainsi que les systèmes de chauffage et de refroidissement du bâtiment. Il permet également de déterminer la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir un certain niveau de confort thermique, ainsi que d'évaluer l'efficacité de l'enveloppe thermique et de relever ses défauts.

Ainsi, on peut dire que le bilan thermique est un élément important du bilan énergétique.

I.10.1. Amélioration du comportement énergétique d'un bâtiment

En général, le bilan énergétique implique une analyse détaillée des caractéristiques du bâtiment, des équipements et des systèmes, ainsi que des habitudes des occupants. Les données recueillies sont ensuite utilisées pour évaluer la consommation énergétique totale du bâtiment et pour élaborer des stratégies d'efficacité énergétique visant à réduire la

consommation énergétique. L'objectif de cette amélioration est de diminuer le gaspillage énergétique, diminuer la dépense énergétique, réduire les émissions de gaz à effet de serre et minimiser les pollutions qu'elle engendre.

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique d'une construction, il faut d'abord bien maîtriser les solutions d'améliorations existantes. Ces solutions peuvent être classées en deux catégories distinctes : les solutions passives qui se rapportent à l'isolation, la ventilation et les matériaux de construction et les solutions actives qui incluent des domaines tels que la régulation, la gestion de l'énergie, la domotique et la Gestion Technique du Bâtiment (GTB).

L'étiquette A à G de performance énergétique est un outil utilisé pour informer sur la consommation énergétique du bâtiment. Elle est établie à partir du bilan énergétique du bâtiment et prend en compte des critères tels que l'isolation thermique, la ventilation, le système de chauffage, etc. Plus l'étiquette est proche de A, plus la consommation énergétique est faible, et plus elle est proche de G, plus la consommation énergétique est élevée. Ainsi, le bilan énergétique est à la base du calcul de l'étiquette énergétique et permet de déterminer la classe de performance énergétique d'un bâtiment.

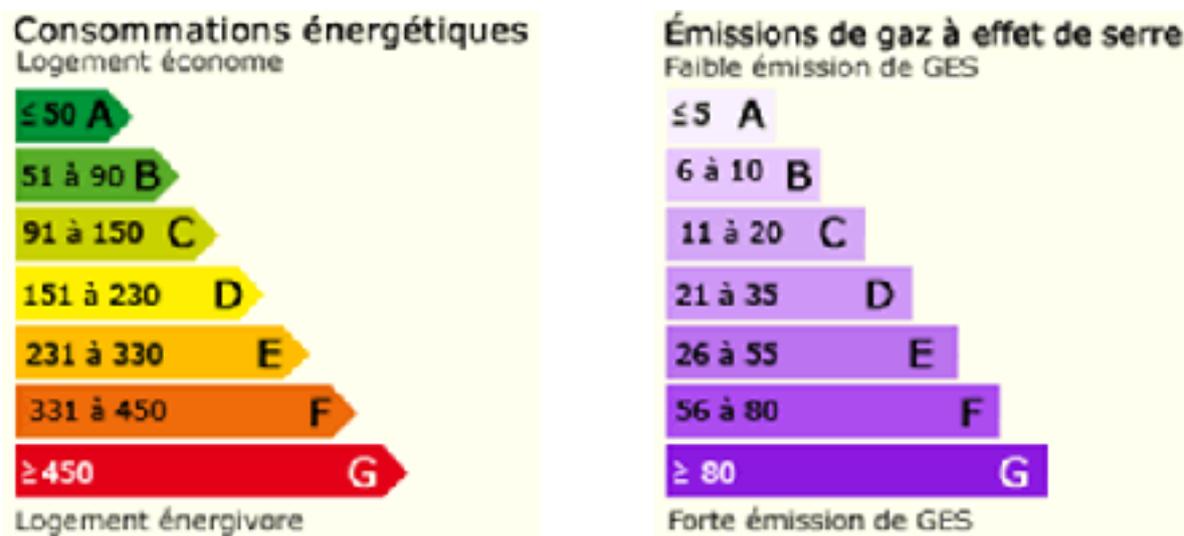


Figure I.8 : Étiquette d'énergie.

Source : <https://data.ademe.fr/datasets/dpe-france>, consulté le 19-06-2018 à 17h05min.

I.10.2. Les facteurs à considérer pour une performance énergétique optimale

Le coefficient de conductivité thermique : Le coefficient de conductivité thermique noté K ou λ , est une mesure de la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Il représente la quantité de chaleur qui traverse un matériau d'une épaisseur d'un mètre, pour une différence de température d'un kelvin, et est exprimé en $W/(m.K)$. Plus le coefficient K est faible, plus le matériau est isolant thermique. Chaque matériau possède son propre λ .

Coefficient de transmission thermique de la paroi (U) : Le coefficient de transfert thermique, abrégé en « coefficient U », permet de quantifier les déperditions thermiques d'un matériau isolant. Plus concrètement, ce coefficient indique la quantité de chaleur traversant une paroi par unité de temps et de surface, pour une différence de température donnée entre les deux milieux séparés par la paroi. Il s'exprime en $W/m^2.K$. La formule de calcul est :

$$U = 1/R_{tot}, \text{ avec } R_{tot} = R_{si} + R_{se} + \Sigma R_i$$

R_{tot} : résistance thermique totale d'une paroi ou d'un ensemble de parois ($W /m^2.K$).

R_{si} : résistance thermique de la surface intérieure de la paroi ($m^2.K/W$).

R_{se} : résistance thermique de la surface extérieure de la paroi ($m^2.K/W$).

ΣR_i : somme des résistances thermiques des couches intermédiaires entre les surfaces intérieure et extérieure de la paroi ($m^2.K/W$).

Plus la valeur de U est faible, meilleure est l'isolation de la construction.

Parois	U maximal [$W/m^2.K$]
Murs en contact avec l'extérieur ou avec le sol	0,45
Murs en contact avec un local non chauffé	0,45/b*
Planchers bas donnant sur l'extérieur ou sur parking collectif	0,36
Planchers bas donnant sur un vide sanitaire ou un volume non chauffé	0,40
Planchers hauts en béton ou en maçonnerie, et toitures en tôles métalliques étanchées	0,34
Planchers hauts en couvertures en tôles métalliques	0,41
Autres planchers hauts	0,28
Fenêtres et portes-fenêtres prises nues donnant sur l'extérieur	2,60
Façades rideaux	2,60
Coffres de volets roulants	3,0

Figure I.9: Exemple d'exigence minimale (valeurs garde-fous) pour l'isolation thermique.

Source : Jérôme Bertin et al, bâtiment et performance énergétique, éditions Lamy, France, 2011.

L'isolation thermique R : L'isolation thermique R, également appelée résistance thermique, mesure la capacité d'un matériau ou d'un système à résister à la transmission de la chaleur. Elle s'exprime en mètre carré par watt ($m^2.K/W$) et est calculée en divisant l'épaisseur du matériau par sa conductivité thermique (λ). Plus la valeur de R est élevée, plus le matériau ou le système est isolant et moins la chaleur peut s'en échapper ou y pénétrer facilement.

Niveau de consommation annuelle d'énergie : C'est une grandeur qui mesure la quantité d'énergie consommée annuellement pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la climatisation, l'éclairage et les équipements électriques dans un bâtiment. Elle s'exprime en kWh/m².an. La formule de calcul est : Consommation annuelle d'énergie = Surface du bâtiment x Besoins énergétiques spécifiques x Nombre d'heures d'utilisation annuelle.

I.11. Évolution de l'efficacité énergétique des bâtiments à travers le temps

Il y a eu de nombreuses initiatives dans le monde entier visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Parmi les événements les plus marquants, on peut citer :

1973 : premier choc pétrolier, qui a conduit à une prise de conscience mondiale sur l'importance de la consommation d'énergie et son impact sur l'environnement

1974 : Création du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), et la première réglementation thermique pour les logements a été mise en place.

1975 : Mise en place de la première réglementation thermique française pour les bâtiments neufs.

1976 : La première réglementation thermique pour les bâtiments tertiaires a été instaurée, imposant l'ajout d'isolant extérieur.

1988 : La réglementation thermique a élargi son champ d'application pour inclure non seulement l'enveloppe du bâtiment, mais également la performance des équipements de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire. Plus la création du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Le GIEC est une organisation scientifique internationale qui a pour but d'évaluer les informations scientifiques, techniques et socio-économiques relatives au changement climatique.

1997 : Protocole de Kyoto, premier accord international pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

2002 : Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments.

2005 : La réglementation thermique française a connu une évolution importante avec l'introduction de la RT 2005, qui a renforcé les exigences en matière de performance énergétique des bâtiments neufs. Cette nouvelle réglementation a imposé des critères plus stricts pour le coefficient de transmission thermique (U) des parois, ainsi que des exigences pour la qualité de l'isolation, la ventilation, l'éclairage et la gestion de l'énergie dans les bâtiments. Elle a également introduit la notion de besoin bioclimatique pour encourager la conception de bâtiments qui utilisent les conditions climatiques locales pour réduire leur consommation d'énergie.

2010 : Mise en place du label BBC-Effinergie, qui vise à encourager la construction de bâtiments à basse consommation d'énergie

2012 : Mise en place de la réglementation thermique RT2012 en France, qui impose des exigences de performance énergétique plus strictes pour les bâtiments neufs. La RT 2012 prévoit que toute maison individuelle devra recourir à une source d'énergie renouvelable.

2015 : Accord de Paris sur le climat, qui vise à limiter le réchauffement climatique à 2°C maximum

2018 : Lancement de la stratégie nationale bas-carbone en France, qui vise à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

I.12. Les différents labels et certifications pour une meilleure efficacité énergétique

I.12.1 définition du label

Selon le dictionnaire le Robert, un label veut dire : « *Étiquette ou marque sur un produit (pour en garantir l'origine, la qualité)* ». ¹⁰

Dans le contexte de l'efficacité énergétique des bâtiments, les labels sont attribués aux bâtiments qui ont des performances énergétiques considérables et qui répondent à des exigences précises en matière de consommation énergétique, d'isolation, de ventilation, etc. Les labels sont souvent utilisés pour promouvoir les bâtiments à haute efficacité énergétique et encourager leur construction. Ils peuvent également être utilisés pour informer les acheteurs ou les utilisateurs sur les performances environnementales et énergétiques d'un produit ou d'un service.

I.12.2. Les labels d'efficacité énergétique, panorama et évolution

I.12.2.1. Labels français

- **RT 2005 :**

Le but de la réglementation Thermique 2005 (RT 2005) est de limiter la consommation d'énergie des nouvelles constructions. Elle fixe des exigences minimales pour les éléments constitutifs de l'enveloppe architecturale du bâtiment, tels que les murs, les fenêtres, les portes et les toitures, ainsi que pour les équipements de chauffage, de refroidissement et de ventilation. La RT 2005 a introduit plusieurs labels pour l'efficacité énergétique des

¹⁰ <https://dictionnaire.lerobert.com/>, consulté le 15-01-2020 à 20h36min.

bâtiments, notamment le label HPE (Haute Performance Energétique) et le label THPE (Très Haute Performance Energétique). Le label HPE est attribué aux bâtiments respectant les critères de performance énergétique de la RT 2005, mais avec une consommation énergétique inférieure de 10% par rapport à la réglementation. Le label THPE, quant à lui, est attribué aux bâtiments avec une consommation énergétique inférieure de 20% par rapport à la réglementation. Ces labels sont un moyen pour les constructeurs de se démarquer sur le marché en proposant des bâtiments plus performants sur le plan énergétique.¹¹

- **RT 2012 :**

La réglementation thermique RT2012, applicable depuis le 1er janvier 2013 en France, a pour objectif de limiter la consommation énergétique des bâtiments neufs à un maximum de 50 kWhEP/m²/an en moyenne, en conformité avec les engagements de la France en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cette réglementation intègre plusieurs labels et certifications visant à promouvoir l'efficacité énergétique des bâtiments, tels que le label BBC Effinergie 2012, le label E+C-, ou encore la certification NF Habitat HQE. Pour y parvenir, la RT2012 impose des critères de performance pour l'isolation thermique, la ventilation, le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, ainsi que pour l'intégration d'énergies renouvelables. La RT2012 encourage également l'utilisation de matériaux écologiques et la conception bioclimatique des bâtiments pour minimiser leur impact environnemental.¹²

- **Label Effinergie :**

Le label Effinergie a été créé en 2006 en France pour encourager les bâtiments à faible consommation d'énergie. Il vise à promouvoir la construction de bâtiments neufs à très faible consommation d'énergie, ainsi que la rénovation énergétique des bâtiments existants. Le label Effinergie se décline en plusieurs variantes selon la typologie du bâtiment (maison individuelle, logement collectif, bâtiment tertiaire, etc.) et le niveau de performance énergétique visé (Effinergie, Effinergie +, Bepos Effinergie). Les critères d'obtention du label portent notamment sur la performance énergétique, l'étanchéité à l'air, l'isolation thermique et acoustique, le confort d'été, ainsi que la qualité de l'air intérieur. Les bâtiments labellisés

¹¹ et ¹²Pascale Maes, Labels d'efficacité énergétique, HQE, BBC EFFINERGIE, MAISON PASSIVE, RT 2005/2012, QUALITEL, édition EYROLLES, Paris, 2010.

Effinergie consomment en moyenne 50% d'énergie en moins que les bâtiments conformes à la réglementation thermique en vigueur.

I.12.2.2. Labels européens

- **Passivhaus:**

Le Passivhaus est un label européen créé en 1996 en Allemagne, qui s'applique aux bâtiments à très faible consommation d'énergie. Le concept repose sur l'idée de minimiser les besoins en chauffage, en refroidissement et en ventilation des bâtiments en utilisant des techniques de construction passives, telles que l'isolation thermique renforcée, l'étanchéité à l'air, les fenêtres à triple vitrage, la ventilation mécanique contrôlée avec récupération de chaleur, etc. Les critères d'obtention du label Passivhaus sont très exigeants et portent sur la performance énergétique globale du bâtiment, ainsi que sur la qualité de l'air intérieur et le confort thermique et acoustique. Les bâtiments labellisés Passivhaus consomment en moyenne 75% d'énergie en moins que les bâtiments conformes à la réglementation thermique en vigueur. Le label est devenu une référence internationale en matière de bâtiments à haute performance énergétique.

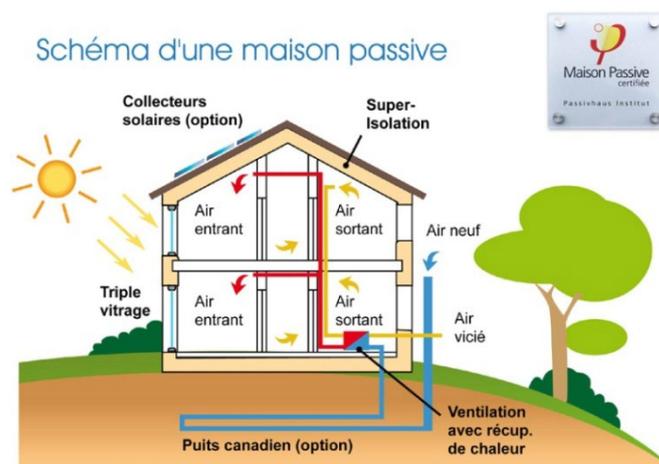


Figure I.10 : représentation des principes d'une maison passive.

Source : <https://www.maisons-voegele.com/maison-passive/schema-maison-passive>, consulté le 14-05-2021 à 15h02min.

- **Minergie :**

Les critères fondamentaux pour atteindre la norme Minergie sont les suivants :

Une enveloppe hermétique (étanche) afin d'empêcher l'entrée d'air froid par temps venteux.

Une isolation thermique efficace pour prévenir les pertes de chaleur à travers les murs, le toit et les fenêtres, ainsi que pour éviter les gains de chaleur en été.

Un système de ventilation adéquat pour garantir que les avantages de l'étanchéité et de l'isolation thermique ne soient pas compromis par l'ouverture des fenêtres et l'apport d'air frais.¹³

« Le label Minergie a vu le jour en 1998 et signifie : confort, meilleure qualité de vie et faible consommation d'énergie. Pour mettre en place une construction Minergie, il faut que le maître d'ouvrage, l'architecte et l'ingénieur travaillent ensemble, de manière à obtenir une optimisation globale pour un meilleur confort et une moindre consommation d'énergie. »¹⁴

Minergie se manifeste en trois variantes, Minergie, Minergie-P et Minergie-A. Minergie correspond à une consommation d'énergie maximale de 60 kWh/m²/an pour le chauffage, Minergie-P correspond à une consommation d'énergie maximale de 42 kWh/m²/an pour le chauffage et la production d'eau chaude, et Minergie-A correspond à une consommation d'énergie maximale de 30 kWh/m²/an pour le chauffage, la production d'eau chaude et la consommation d'électricité.

Les critères d'obtention du label Minergie portent notamment sur l'efficacité énergétique, l'isolation thermique, la qualité de l'air intérieur et l'utilisation d'énergies renouvelables. Les bâtiments labellisés Minergie consomment en moyenne 30 à 50% d'énergie en moins que les bâtiments traditionnels.

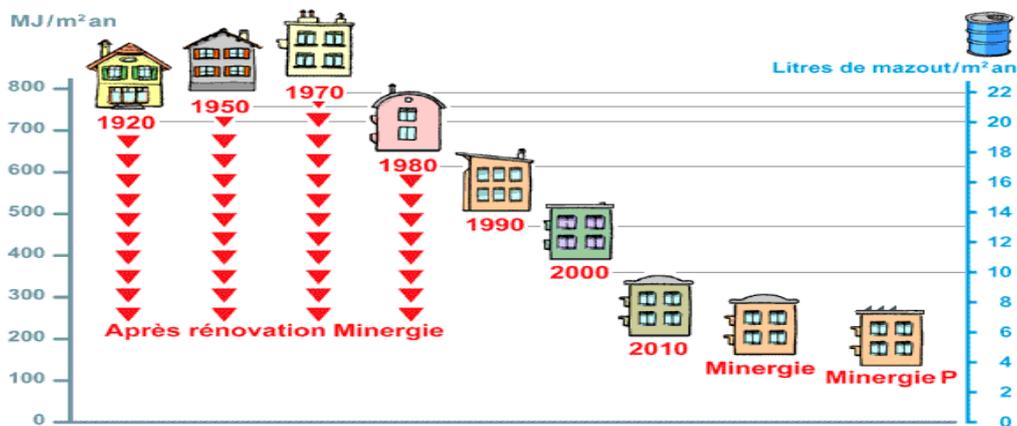


Figure I.11 : Évolution de la consommation des maisons neuves en Suisse.

Source : www.energie-environnement.ch.

¹³<http://hdt.maisonsduleman.com/index.cfm?view=49.42&lan=fr>, consulté le 16/05/ 2020 à 18h58min.

¹⁴MARC TILLMANN, Directeur de l'Agence MINERGIE romande.

I.12.2.3. Labels internationaux

- **LEED :**

Le label LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) est un système de certification de bâtiments verts créé en 1998 aux États-Unis. Ce label est destiné à évaluer la performance environnementale des bâtiments et encourage la conception et la construction de bâtiments durables, économes en énergie, en ressources naturelles et respectueux de l'environnement. Le système de certification LEED est basé sur des crédits qui permettent d'obtenir un certain nombre de points en fonction des pratiques et des caractéristiques durables du bâtiment, notamment en termes de gestion de l'eau, d'utilisation de l'énergie, de qualité de l'air intérieur, de choix des matériaux et de l'innovation. Ce crédit est obligatoire pour avoir le certificat, il faut rassembler au minimum 40points.¹⁵

Les bâtiments peuvent obtenir quatre niveaux de certification LEED :

- Certified (40-49 points).
- Silver (50-59 points).
- Gold (60-79 points).
- Platinum (80 points et plus).

Depuis sa création, LEED est devenu un label international, reconnu dans plus de 160 pays dans le monde.

- **BREEAM :**

La certification BREEAM (BRE EnvironmentalAssessment Method) est un référentiel de certification environnementale britannique délivré par le BRE (Building Research Establishment) en 1990. Le principe de cette démarche est la réduction de l'impact sur l'environnement des bâtiments neufs et rénovés en prenant en compte plusieurs critères tels que la gestion de l'eau, l'utilisation de l'énergie, les matériaux et déchets, la santé et le bien-être, le transport, la pollution...etc. Elle permet également l'évaluation de la performance environnementale. Obtenir la certification BREEAM permet de garantir le respect de l'environnement de ces bâtiments tout au long de leur cycle de vie pour en faire des bâtiments durables.

¹⁵Le baromètre de la certification environnementale, édition Green Soluce, 2014.

Les bâtiments évalués peuvent obtenir l'un des cinq niveaux de certification BREEAM, à savoir **Pass**, **Good**, **Very Good**, **Excellent** et **Out standing**, en fonction de leur score total. Le processus d'évaluation se fait en plusieurs étapes, comprenant une pré-évaluation, une évaluation de conception, une évaluation de construction et une évaluation post-occupation. BREEAM est largement reconnu et utilisé dans de nombreux pays en Europe, en Asie et en Amérique du Nord.

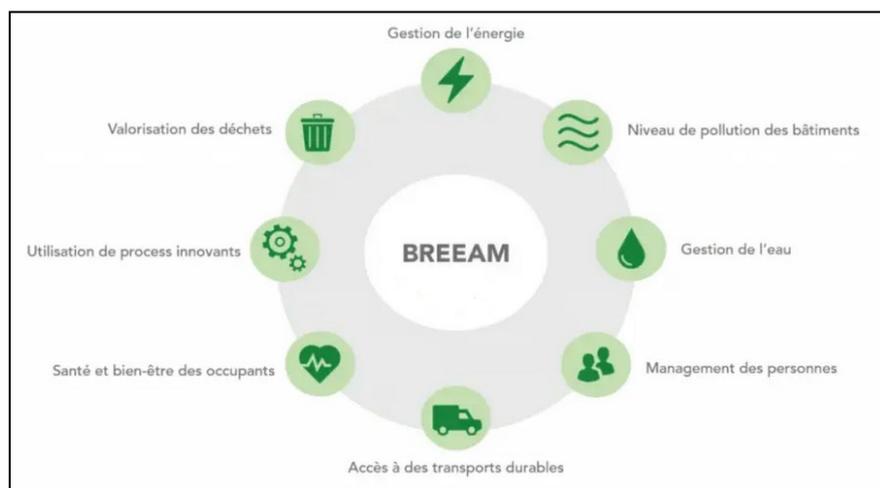


Figure I.12 : Critères pris en compte par BREEAM.

Source : www.greenaffair.com, consulté le 14-06-2022 à 17h30min.

I.13. L'approche bioclimatique

I.13.1. L'architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique est une architecture qui a existé depuis longtemps, ce n'est pas une invention du siècle. Au fil du temps, des technologies sophistiquées sont apparues, ainsi que de nouvelles tendances dans le domaine de la construction. Cela a poussé les architectes à négliger cette approche.

Selon Gamba et Johnny (2016), une approche qui prend en compte les préoccupations environnementales tout en cherchant à harmoniser l'efficacité énergétique, le confort des occupants et les besoins de manière naturelle. Quant à Liébard et De Herde (2005), ils pensent que l'architecture bioclimatique est une architecture qui favorise le confort et le bien-être de l'utilisateur, et le met au centre de ses préoccupations. Ils insistent à placer le confort de l'occupant au premier plan, mais en utilisant des solutions passives.

Selon Salomon (2000), la conception bioclimatique est essentiellement l'art de construire en harmonisant au mieux l'homme et son environnement, en se basant sur une approche cohérente.

À partir de toutes ces définitions, nous pouvons dire que l'architecture bioclimatique est une combinaison harmonieuse entre le bâtiment, le confort des occupants et le climat. Penser de manière bioclimatique signifie être avec l'environnement et ne pas s'opposer à lui tout en assurant un confort pour l'occupant. Son but est de réconcilier l'homme et l'environnement tout en assurant son confort (l'utilisateur).

I.13.2. Principes de l'architecture bioclimatique

L'architecture bioclimatique vise à réduire les besoins énergétiques, maintenir des températures agréables et un confort optimal, garder un bon éclairage naturel et réduire les factures énergétiques. Elle doit s'inscrire et respecter son environnement, cette architecture repose sur les principes suivants :

I.13.2.1. L'implantation du bâtiment

*« Le site est plus qu'une adresse. C'est la somme totale des attributs économiques, environnementaux, et sociaux de sa localisation ».*¹⁶

L'étape de l'implantation de la construction est une étape très importante, la construction doit s'intégrer parfaitement au site d'implantation pour être en harmonie avec l'environnement immédiat. L'objectif essentiel c'est d'adapter le projet en fonction de site d'implantation pour bénéficier de ses avantages et se protéger de ses contraintes.

Selon Ludovic Biaunier et allassoeur (2013), l'intégration de la construction dans le site doit être stratégique afin de tirer pleinement parti des protections naturelles contre les vents froids et de l'ombre estivale offerte par le relief et la végétation existante, ainsi que pour bénéficier de l'ensoleillement maximal en hiver en tenant compte de la végétation à feuilles caduques et en évitant les obstructions solaires causées par d'autres bâtiments.

¹⁶Daniel E. W, Sustainable Design, Ecology architecture, and planning, John Wiley& Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007. P103

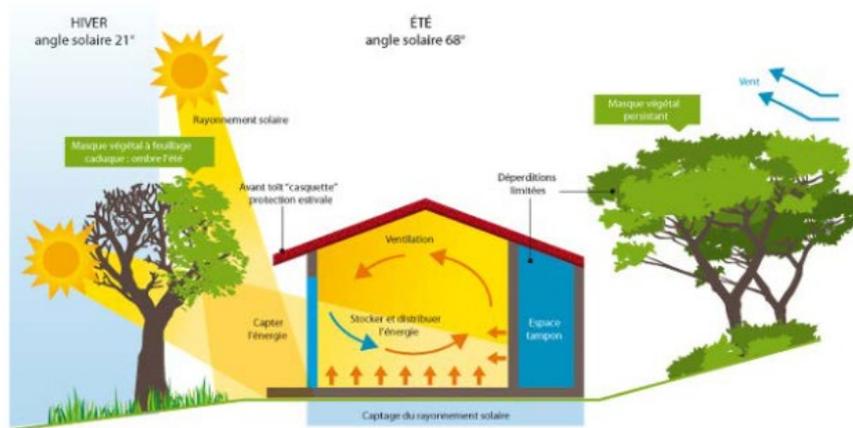


Figure I.13: principe d'implantation d'une construction bioclimatique.

Source : <https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>, consulté le 14-05-2022 à 23h54 min.

I.13.2.2. L'orientation et la distribution des espaces intérieurs

L'orientation est un élément très important dans la conception bioclimatique, une construction bien orientée assure le bien être des occupants.

La conception bioclimatique vise à exploiter de manière optimale l'énergie solaire, une ressource abondante et gratuite. En période hivernale, l'objectif est de maximiser la captation, la diffusion et la conservation de l'énergie solaire à l'intérieur du bâtiment. En revanche, durant la saison estivale, l'accent est mis sur la protection contre le rayonnement solaire et l'évacuation efficace de la chaleur excédentaire présente dans le bâtiment.¹⁷

Il est conseillé de :

- Maximiser les surfaces vitrées orientées au Sud, tout en assurant des casquettes horizontales pour les protéger du soleil d'été.
- Minimiser les surfaces vitrées orientées au Nord
- Orienter les différentes pièces de la maison de la manière suivante :

Les espaces jour ou les pièces d'activité où se regroupent les occupants vers le Sud, afin de profiter des gains solaires directs.

Les chambres vers le Sud ou Sud-Est, afin de pouvoir profiter du lever du soleil.

¹⁷ <https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>, consulté le 18/05/2022 à 19h03min.

La cuisine de préférence vers le sud-ouest.

Les autres espaces (garage, salle de bain, WC, etc.) sont orientés à l'ouest ou au nord, car ils n'exigent pas les gains solaires et en même temps ils servent comme des espaces intermédiaires qui isolent l'intérieur de l'extérieur.

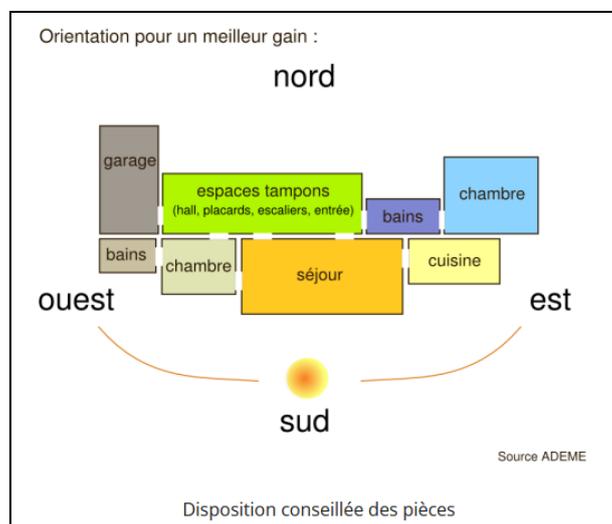


Figure I.14: Zonage bioclimatique pour les différents espaces d'une maison.
Source : www.e-rt2012.fr.

1.13.2.3. La forme de la construction

La forme joue un rôle important, les surfaces d'échanges entre l'intérieur et l'extérieur sont déterminées par la morphologie de la construction. Les formes qui représentent moins de surfaces d'échange avec l'extérieur sont les plus compactes.

Le coefficient de forme (Cf) est le rapport entre la surface de l'enveloppe et le volume. Ce coefficient doit être faible pour que la construction soit compacte.

1.13.2.4. Le choix des matériaux de construction

L'architecture traditionnelle utilise des matériaux locaux, elle est considérée comme une architecture bioclimatique. Le choix des matériaux de construction est un point essentiel, pour bien choisir les matériaux, il faut prendre en considération leurs caractéristiques thermiques (conductivité et résistance).

L'utilisation des matériaux locaux vu les avantages qu'ils présentent en matière de faible coût d'extraction, une utilisation sur place (Pas besoin d'utiliser les moyens de transport), aucun impact négatif sur l'environnement. Parmi ces matériaux, le bois, la terre crue, la pierre...etc.



Figure I.15 : Matériaux de construction locaux.

Source : <https://www.architectes.org/introduction-au-lexique-des-materiaux>, consulté le 15/05/2022 à 02h36min.

I.13.2.5. La ventilation

La ventilation naturelle est très importante dans la conception bioclimatique, en particulier dans les climats chauds. C'est une solution pour une atmosphère saine, elle permet de renouveler l'air et d'évacuer les polluants toxiques et préserver la santé des habitants. La ventilation naturelle n'a pas besoin d'électricité pour fonctionner et elle n'engendre pas de nuisance sonore.

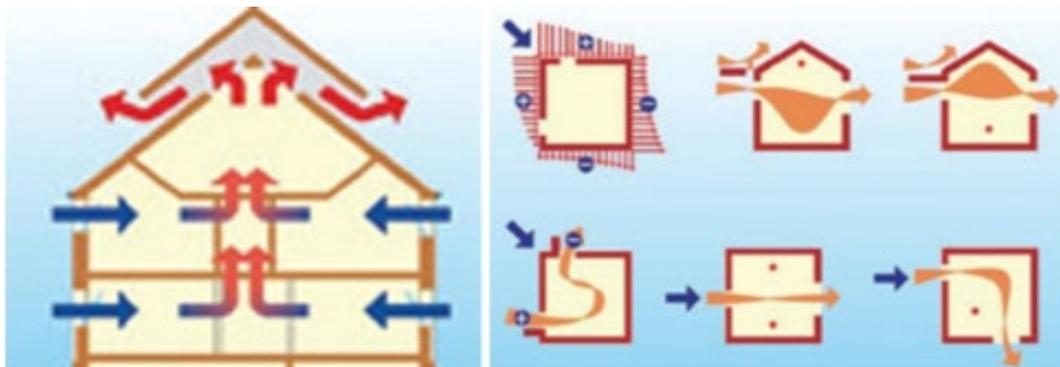


Figure I.16 : Ventilation par effet de cheminée et ventilation par effet du vent.
Source : L'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (2008)

La ventilation par effet de cheminée : est basée sur l'utilisation d'une ouverture inférieure et d'une ouverture supérieure pour permettre le déplacement de l'air chaud en raison de la différence de densité avec l'air froid. Cette méthode tire parti de la flottabilité de l'air chaud, créant ainsi une dépression qui favorise la circulation de l'air à travers le système.

La ventilation par effet du vent : Elle s'appelle également « la ventilation traversante». Dans ce type de ventilation, l'air entre par une façade, traverse l'ensemble du bâtiment et sort par une façade opposée.

Le choix de la méthode de ventilation est très important, ce choix se fait par rapport aux conditions environnementales et structurelles de votre espace. La ventilation par effet de cheminée est généralement plus adaptée pour les espaces où il y a une différence significative de température entre l'intérieur et l'extérieur, tels que les bâtiments bien isolés avec une exposition solaire adéquate. Tandis que La ventilation par effet de vent est plus efficace dans les zones où il y a régulièrement une brise ou un vent constant.

I.13.3. Stratégies et techniques bioclimatiques

L'architecture bioclimatique vise principalement à assurer le confort des occupants, à travers la réalisation des conformations architecturales performantes tout en minimisant la consommation énergétique et les impacts négatifs sur l'environnement. L'architecture bioclimatique est basée sur des stratégies bien précises qui sont :

I.13.3.1. La stratégie du chaud en hiver

Pendant les périodes froides de l'hiver, la stratégie du chaud consiste à utiliser la chaleur provenant du rayonnement solaire et à l'emmagasiner dans les matériaux de construction (c'est pour cela qu'il est conseillé de choisir des matériaux avec une importante masse volumique), la conserver par l'isolation et la distribuer ensuite lorsque les températures extérieures sont plus faibles que les températures intérieures désirées, ce qui permet de se protéger du froid et profiter au max des apports solaire.¹⁸



Figure I.17 : Stratégie du chaud (Capoter- stocker- distribuer- conserver).

Source :http://www.energetique.uae.ma/formations/cours_informations/cours/cours_ajzoul/cours_habitats_bioclimatiques/habitats_bioclimatiques.pdf, consulté le 15/15/2022 à 15h 42 min.

¹⁸ LIEBARD.A, De Herde.A, TRAITE D'ARCHITECTURE ET D'UBANISME BIOCLIMATIQUES, le moniteur, Paris, 2005.

I.13.3.2. La stratégie du froid en été

Durant la saison estivale chaude, la stratégie du froid ou stratégie de maintien de la fraîcheur consiste à se protéger des rayons solaires, adopter des solutions passives telles que l'humidification ou la ventilation naturelle, et à limiter les charges internes.¹⁹

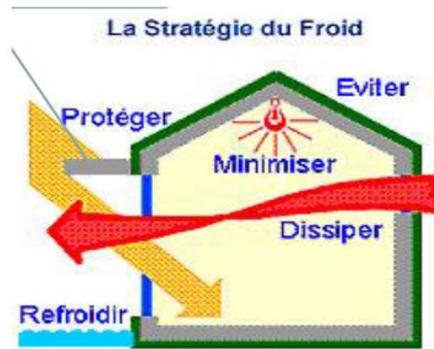


Figure I.18 : Stratégie du froid (Protéger- éviter- dissiper- rafraîchir- minimiser).
Source : http://www.energetique.uae.ma/formations/cours_informations/cours/cours_ajzoul/cours_habitats_bioclimatiques/habitats_bioclimatiques.pdf, consulté le 15/15/2022 à 15h 42 min.

I.13.3.3. La stratégie de l'éclairage naturel

L'architecture bioclimatique accorde une grande importance à l'éclairage naturel. L'éclairage naturel est une stratégie qui consiste à capter les rayons du soleil et assurer la pénétration de la lumière naturelle dans la construction. Ensuite, la répartir d'une manière homogène.

L'objectif est de distribuer la lumière de manière uniforme et de la diriger de manière efficace tout en évitant tout inconfort visuel. Cette stratégie nous permet de bénéficier au maximum de la lumière naturelle et réduit la quantité de l'énergie électrique consacrée à l'éclairage.²⁰

Les bâtiments bioclimatiques doivent avoir une distribution et une proposition d'espaces qui permettent de recevoir la lumière naturelle. Lorsqu'une maison bioclimatique est construite, on cherche toujours à optimiser l'exposition au soleil.

- L'habitat bioclimatique s'emploie à tirer le meilleur parti possible de la lumière naturelle (stratégie de la lumière naturelle).

¹⁹ https://www.researchgate.net/publication/275956932_L%27architecture_bioclimatique_-_Fiche_PRISME, consulté le 15/05/2022 à 19h5min.

²⁰ KHADRAOUI Mohamed Amine. Étude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique, thèse de doctorat, Biskra, février 2019.

- Contrairement aux apports solaires, toutes les orientations peuvent apporter de la lumière naturelle.
- Elle varie bien sûr en qualité et quantité, le but étant d'assurer un éclairage suffisant et uniforme suivant les fonctions des pièces et le type d'activités.
- Par contre un trop fort rayonnement solaire peut être source de gêne, dans ce cas on tentera de contrôler l'éclairement de la lumière naturelle en évitant l'éblouissement, par la mise en place de stores, voilages, écrans mobiles, etc.



Figure I.19 : l'éclairage comme stratégie bioclimatique.

Source : KHADRAOUI M. Étude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique, thèse de doctorat, Biskra, février 2019.

L'architecture bioclimatique s'appuie sur trois axes :

- Capter l'énergie solaire et celle apportée par les activités intérieures,
- La diffuser ou s'en protéger,
- La conserver ou l'évacuer en fonction du confort recherché.

Ces exigences sont indispensables, en particulier dans les régions chaudes (de type méditerranéen par exemple), capter et conserver en hiver semblent contradictoires avec se protéger et évacuer en été. Résoudre cette contradiction apparente est la base d'une conception bioclimatique bien comprise.

L'architecture bioclimatique est l'architecture la plus ancienne : utilisation de matériaux locaux, volonté de se protéger des contraintes climatiques, recours à des systèmes ingénieux pour améliorer le confort, habitations troglodytes ou vernaculaires, etc. La standardisation actuelle tend à éloigner l'architecture de son environnement, mais le retour de tels concepts apparaît inévitable dans des pays confrontés à un manque de moyens et à un problème d'accès à l'énergie ne leur permettant pas de disposer autrement de logements confortables. Ainsi,

l'architecture bioclimatique répond en partie à cette problématique par l'intégration de concepts passifs permettant de minimiser le recours à la consommation énergétique (notamment pour la climatisation dans les pays chauds) et l'impact sur l'environnement sans négliger le bien-être de l'occupant.

L'enjeu est de proposer des habitations confortables et économes énergétiquement en utilisant au maximum les ressources disponibles à proximité (ressources matérielles, main d'œuvre, valeurs culturelles également).

I.14.L'espace habitable individuel

I.14.1. L'espace habitable

- **Espace** : une place, un endroit, un milieu.
- **Habitable** : qui peut être habité.²¹

I.14.2. La notion d'habiter

Habiter est une notion qui est présente dans différentes spécialités, C'est le fait de rester dans un lieu donné et d'occuper une demeure. Le terme apparaît dans la langue française dès le 11e siècle ; il revêt ainsi deux dimensions, l'une **temporelle** et l'autre **spatiale** qui expriment que l'habiter s'inscrit à la fois dans **l'espace** et la **durée**.²²

En philosophie, pour Heidegger²³, le mot **habiter** est équivalent du mot **être**, pour lui habiter est une expression poétique, en double sens temporel et spatial, la limite existentielle de l'être humain. Pour Assia OUAMARI (2011), habiter c'est occuper un lieu, vivre quelque part, elle pense que c'est avec la façon d'habiter de la personne qu'elle pourra avoir un positionnement, une attitude, un caractère. Pour Christian Norberg Schulz²⁴, l'action d'habiter consiste à connaître l'appartenance à un lieu donné. C'est le rapport significatif qui s'est établi entre l'aspect corporel et spatial.

La notion de l'habiter était différente de celle qu'on connaît aujourd'hui, l'homme vivait dans son petit monde à l'intérieur d'une bulle fermée et isolée, il y avait la notion

²¹Le Petit Larousse en couleurs, France, ed 1985, (ISBN 2-03-30238509),

²² PERLA serfaty-garzonsegaud, jacques brun et Jean-Claude drian (dir). «Habiter», Paris, éditions Armand colin, 2003 p.213-214

²³Heidegger, philosophe allemand son intérêt s'est porté sur la question du «sens de l'être».

²⁴Christian Norberg Schulz, architecte, historien et théoricien de l'architecture.

d'intérieur/extérieur (figure. I.20). Actuellement l'homme ne vit plus dans cette bulle fermée, il y a une destruction de la bulle comme le montre la figure. I.21. Le lieu est devenu phénoménologique.

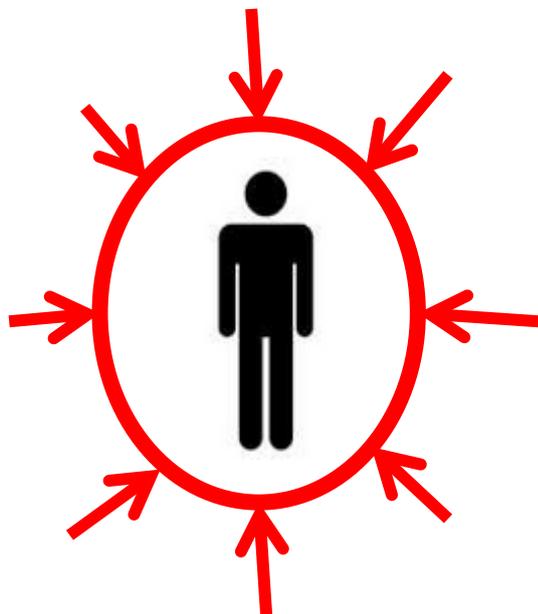


Figure I.20 : L'homme à l'intérieur de sa bulle fermée.
Source : Auteur, 2017.

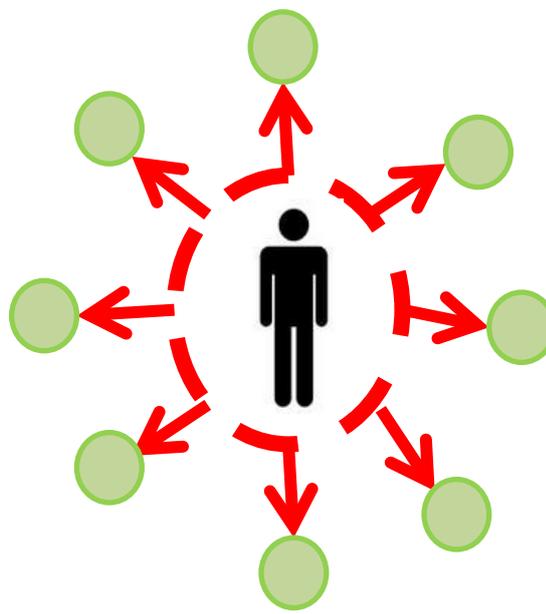


Figure I.21: Destruction de la bulle (Interaction entre l'homme et son environnement).
Source : Auteur, 2017.

Le lieu est donc devenu phénoménologique (existentiel). J'existe dans l'espace où je suis et avec les espaces qui m'entourent.

Alors : Habiter, ce n'est pas être de manière univoque dans le monde, mais être avec (au monde). L'utilisateur est inclus dans une relation tripartite irréductible par la dynamique existentielle de l'habitation. Être au monde, c'est accepter le monde dans ses différentes dimensions spatiales, et temporelles et co-existentielles, c'est-à-dire il ne faut pas se limiter dans une seule dimension, il faut s'élargir et approfondir dans toutes les dimensions.²⁵

Donc un espace habitable est un espace à usage bien défini qui est l'habitation, mais de manière à être avec le monde et non seulement être dans un monde; c'est donc la coexistence : être dans et avec le monde.

²⁵S.Chevrier, «L'inhabitable est notre site» habiter l'inhabitable comme éthique de l'architecture, 2008.

I.14.3. L'espace habitable individuel, contexte algérien

Dans les années 90, les statistiques indiquent clairement la prédominance de la maison individuelle dans la structure du parc de logement. En effet, plus de 55% des habitations sont des maisons individuelles. La maison traditionnelle représente environ 19%. (Badreddine Lamara et al, 2019). L'Algérie se caractérise par la variété de ses habitations individuelles, elles peuvent être classées selon trois catégories : habitat traditionnel, habitat colonial, habitat moderne (après l'indépendance). Selon le contexte d'étude (la ville de Béjaia), notre recherche s'intéresse à la maison kabyle et la maison individuelle moderne (après l'indépendance).

I.14.3.1. Les maisons modernes

Ce sont les villas et les maisons individuelles construites avec des styles architecturaux très différenciés. Ce type d'habitat est le plus utilisé et s'avère le plus énergivore dans le système urbain.



Figure I.22 : Exemple de quelques constructions modernes.
Source : auteur, 2020.

I.14.3.2. Les maisons kabyles

La maison kabyle dite « **Axxam** » reprend le même principe typique, trois pièces donnant sur une cour extérieure. Les maisons peuvent être soit indépendantes ou regroupées autour d'une

cour commune dans ce cas elle prend le nom de « **El hara** ». La composition initiale de **elhara** est **axxam**, avec l'élargissement de la famille d'autres pièces ou **tixxamine** ont été créés autour de la cour. L'architecture kabyle est une architecture qui a évolué au fur et à mesure des besoins des occupants.

Les maisons kabyles étaient construites avec des matériaux comme la pierre et le bois, des matériaux rudimentaires existants dans l'environnement immédiat.

Les dimensions des maisons kabyles sont pratiquement similaires sauf pour quelques villageois à revenus modestes, elles constituent un abri pour hommes et les animaux domestiques qui vivent communément sous le même toit.

Généralement la maison est d'une forme rectangulaire compacte, les surfaces exposées vers l'extérieur sont réduites, ce qui permet ainsi de minimiser les déperditions calorifiques et de lutter contre les conditions climatiques rudes.



Figure I.23 : Maison kabyle (Axxam).
Source : Auteur, 2018.



Figure I.24: Groupement de maisons autour d'une cour (El hara).
Source : <https://montagnard1061.skyrock.com/photo>.

➤ Composition spatiale

La maison se divise en trois parties, chaque partie avec une fonction bien définie.

- **Taqaât** ou **aguens** : c'est la grande chambre principale qui occupe deux tiers de la surface totale de la maison, c'est l'espace de vie d'une forme carrée sans ouverture. «... *sensiblement carrée, sans fenêtre et sans cheminée, où se creuse le foyer dans un sol de terre battue. La fumée s'échappe en s'infiltrant par les interstices du toit.* » (MAUNIER 1926).

À l'intérieur de cet espace de vie se trouve un coin réservé pour « **El kanoun** », un espace de préparation de repas en hiver, qui sert également à réchauffer la maison durant les périodes de froid.



Figure I.25 : Espace de vie d'une maison kabyle (village Djebla, Bejaia).



Figure I.26: Trace d'el kanoun.

Source : Auteur, 2015.

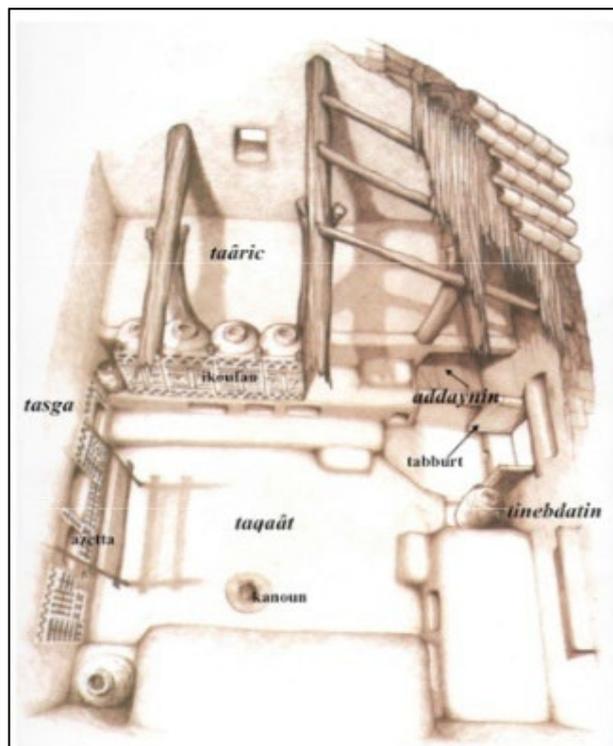


Figure I.27 : Vue sur Adaynine et Takanna.

Source : <https://www.aneau.org/ajeau/Art/v4n1a01.pdf>

- **Adaynin** : Un espace qui sert d'écurie ou d'étable, situé toujours en contrebas du niveau de l'espace de vie **Taqaât**, il occupe un tiers de la surface totale de la maison sa hauteur est d'environ 1m50 du sol. Cet espace joue le rôle de chauffage pour la maison grâce à la chaleur dégagée par les animaux. C'est un espace qui joue également le rôle d'un entrepôt pour le bois récolté que l'on utilisait pour le chauffage.

- **Takanna ou taârict** : Située au-dessus de l'étable (figure.I.27), cette partie de la maison sert pour les provisions de tout genre, alimentaire, literie, vêtement, et la paille. C'est la seule pièce de la maison qui possède une fenêtre « **taq** ».

On trouve aussi, une cour qui possède un coin servant de cuisine pour l'été, les habitants en été préparent leurs repas à l'extérieur pour ne pas chauffer la maison.

➤ **La maison kabyle et l'approche bioclimatique**

- **Implantation et orientation** : le village kabyle est localisé sur les hauteurs, il est lié à la géographie et au relief il s'intègre parfaitement avec l'environnement qui l'entoure. Sa disposition crée un obstacle naturel contre les vents du nordet expose les maisons en plein sud. Sa disposition optimise le bon ensoleillement tout au long de l'année et assure une bonne ventilation pour les espaces intérieurs. (Messaoudi, Mazouz, 2017).
- **Forme** : Sa forme rectangulaire compacte joue un rôle important, les surfaces d'échanges exposées vers l'extérieur sont réduites, ça lui permet ainsi de minimiser les déperditions calorifiques. Le coefficient de forme dans la maison kabyle est faible.
- **Les matériaux de construction** : principalement la pierre, le bois, la terre cuite et l'argile, c'est des matériaux locaux récupérés dans la nature, ils sont durables et à haute performance énergétique. Ces matériaux ont une résistance et un coefficient de conductivité parfaits pour une bonne performance énergétique de la maison.

Mouloud Feraoun a décrit le village : « *Le village est un ensemble de maisons et les maisons sont faites d'un assemblage de pierre, de terre et de bois. C'est à peine si elles laissent soupçonner la naïve intervention de l'homme-maçon. Elles auraient poussé seules, telles qu'elles s'offrent à leurs occupants...* »²⁶

L'architecture des villages kabyles est une architecture sans architectes.

²⁶Mouloud FERAOUN, «*La terre et le sang*», Paris, Ed le seuil, 1953, p12, 254p.

Conclusion

Une bonne performance énergétique est un enjeu clé pour la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique, elle nécessite une approche globale prenant en compte les différents aspects de la construction et de l'utilisation des bâtiments.

L'architecte doit maîtriser les principes et les stratégies bioclimatiques, tel que l'implantation du bâtiment en harmonie avec le site, le bon choix de matériaux locaux, la morphologie de la conformation architecturale et son orientation, la distribution des espaces intérieurs...etc. L'homme a toujours su comment s'adapter à son environnement malgré les conditions climatiques dures et le manque de moyens matériels adéquats. Il a toujours vécu en harmonie avec son environnement avant l'apparition des nouvelles technologies dans le domaine de la construction. Il a réussi à nous donner une leçon gratuite sur l'architecture bioclimatique.

Ce chapitre nous a permis de prendre conscience de l'importance de l'efficacité énergétique pour limiter notre impact environnemental et de la nécessité de développer des solutions pour améliorer la performance énergétique de nos bâtiments.

Chapitre II. Le confort thermique.

Introduction

Les architectes ont toujours pris en considération la notion du confort dans leurs conceptions.

Luis Khan disait : « *Les trois principales tendances de l'homme sont le désir d'apprendre, le désir de communiquer et le désir de **bien être*** ».

Le Corbusier de son côté disait : « *là où naît l'ordre naît le bien-être* ».

Dès qu'on parle d'habitat, la première notion qui vient généralement à l'esprit est le confort, plus précisément le confort thermique intérieur.

Le confort thermique intérieur, est un élément clé de la qualité de vie dans une construction, il représente la satisfaction des occupants vis-à-vis des conditions thermiques, notamment la température, l'humidité et la circulation de l'air. Le confort thermique est un concept multidimensionnel qui est influencé par plusieurs facteurs, tels que les conditions climatiques, les caractéristiques physiques du bâtiment, les activités humaines et les caractéristiques individuelles des occupants. Plusieurs études ont démontré que les usagers de l'espace, qui travaillent ou vivent dans un milieu thermiquement confortable sont plus productifs. Par contre ceux qui travaillent dans des conditions thermiques insatisfaisantes sont moins productifs, ces conditions peuvent même engendrer des problèmes de santé.

Dans ce chapitre, nous examinerons les différents concepts et notions de base liés au confort thermique et son évaluation, les facteurs qui influencent le confort thermique intérieur ainsi que les impacts du confort thermique sur la santé et la productivité des occupants.

II.1. Le confort thermique intérieur, définition et concepts clés

II.1.1. Qu'est-ce que le confort ?

D'après le Larousse, le confort c'est le bien-être matériel résultant des commodités de ce dont on dispose. « *Avoir le confort* », se dit d'un appartement qui a les aménagements le rendant agréable à habiter.²⁷

Le robert de son côté définit le confort comme tout ce qui rend la vie matérielle plus facile et plus agréable, ex : cet appartement est bien installé, rien n'y manque, il y'a tout le confort.²⁸

²⁷ « Le Petit Larousse en couleurs », France, 1985 (ISBN 2-03-30238509), 1665p.

²⁸ « Le robert junior illustré », France, 1993, 1118p.

II.1.2. Un peu d'histoire

D'après BELAKEHAL, 2011 : Le confort est un concept étroitement lié à la sensation de bien-être et ne peut être défini de manière absolue.

À l'époque médiévale : le terme latin **Confortare** signifiait le renforcement et la fortification.

Au XVIII^e siècle : le terme confort signifiait aux Anglais un bien-être matériel.

Le terme ne fut introduit en France qu'au XIX^e et était très lié aux classes sociales de l'époque (noblesse, bourgeoisie, ouvrière).

Il pense que : « *Malgré qu'on puisse affirmer que le premier confort atteint par l'humanité a été certainement la possibilité de disposer d'un endroit clos et couvert (un vrai abri), la notion de confort demeure plus vaste et ne peut se limiter aux seules conditions physiques qui déterminent le confort de type hygrothermique (température, humidité...etc.), sonore ou olfactif. Cette notion comprend aussi les paramètres esthétiques et psychologiques qualité de la lumière, les espaces verts, le paysage, la sécurité, le prestige...etc.* ». Aussi les conditions de confort ne sont pas stables, mais elles varient selon des causes suivantes :

Sociale (la qualité des conditions de vie et la présence d'une hiérarchie sociale).

Géographique (la situation géographique).

Historique (les différentes périodes de l'histoire).

Le confort est donc une construction culturelle qui s'élabore et se transforme selon les mythes et les valeurs dominantes de la culture dans laquelle il se déploie.²⁹

II.1.3. Le confort une notion en perpétuelle redéfinition

Le confort est une notion qui évolue à travers le temps. On peut définir le confort par la définition de l'inconfort (seuils). La définition du confort est variable selon les différents domaines. Ainsi, nous pouvons définir le confort comme étant un état de bien-être et d'équilibre dans lequel se trouve un individu dans l'ambiance d'un bâtiment ou d'un local. En revanche, l'état d'inconfort se manifeste par une gêne, un malaise, une tension et même une souffrance, reflétant les efforts physiques et mentaux que l'individu doit fournir pour supporter ou retrouver l'équilibre avec l'ambiance. En somme, le confort représente un état de

²⁹BELAKEHAL Azeddine, «confort et maîtrise des ambiances», Biskra, 2011.

plaisance physiologique, psychologique et physique en harmonie entre l'être humain et son environnement.³⁰

II.2. Dimension du confort

Le confort est un concept multidimensionnel, il peut être abordé sous différents angles, notamment la dimension physiologique, psychologique et physique.

II.2. 1. La dimension physiologique

Est liée aux besoins de l'organisme humain en termes de température, de bruit, d'odeurs, de luminosité et autres aspects physiques qui impactent directement sur notre corps.

II.2. 2. La dimension psychologique

Concerne les effets de l'environnement sur notre état psychique, notre perception de l'espace, notre intimité et notre relation avec l'extérieur.

II.2. 3. La dimension physique

Concerne les aspects purement matériels de l'environnement, tels que l'ergonomie et la facilitation des activités dans l'espace.

D'après Ahmdpour et al. (2014), le confort est « *un état agréable de bien-être, d'aisance et d'harmonie physique, physiologique et psychologique entre une personne et l'environnement* » ; l'inconfort est « *un état où l'on éprouve une difficulté quelconque, qu'elle soit physique, physiologique ou psychologique* ». ³¹

II.3. Formes de confort

Il existe différentes formes de confort, dans le domaine de l'architecture on distingue principalement :

II.3.1. Le confort acoustique

Le son est une perception auditive qui est créée par les variations périodiques de la pression de l'air au niveau de l'oreille. Ces variations peuvent être caractérisées par leur intensité

³⁰K.Slater, 1985

³¹ Ahmdpour et al, 2014.

(niveau sonore, en décibel : dB), sa fréquence (comprise entre 20 et 20000 Hz pour l'être humain) et son timbre (différence qualitative liée à la forme de la vibration).³²

Le confort acoustique se rapporte à la qualité de l'environnement sonore et à la capacité à entendre et comprendre les sons souhaités tout en limitant les nuisances sonores indésirables.

Le confort acoustique est souvent sous-estimé dans la conception des espaces intérieurs, alors qu'il a un impact significatif sur le bien-être psychologique des occupants et leur productivité au travail. Avoir un bon confort acoustique peut améliorer la qualité de vie quotidienne et favoriser des relations harmonieuses entre les utilisateurs d'un bâtiment.

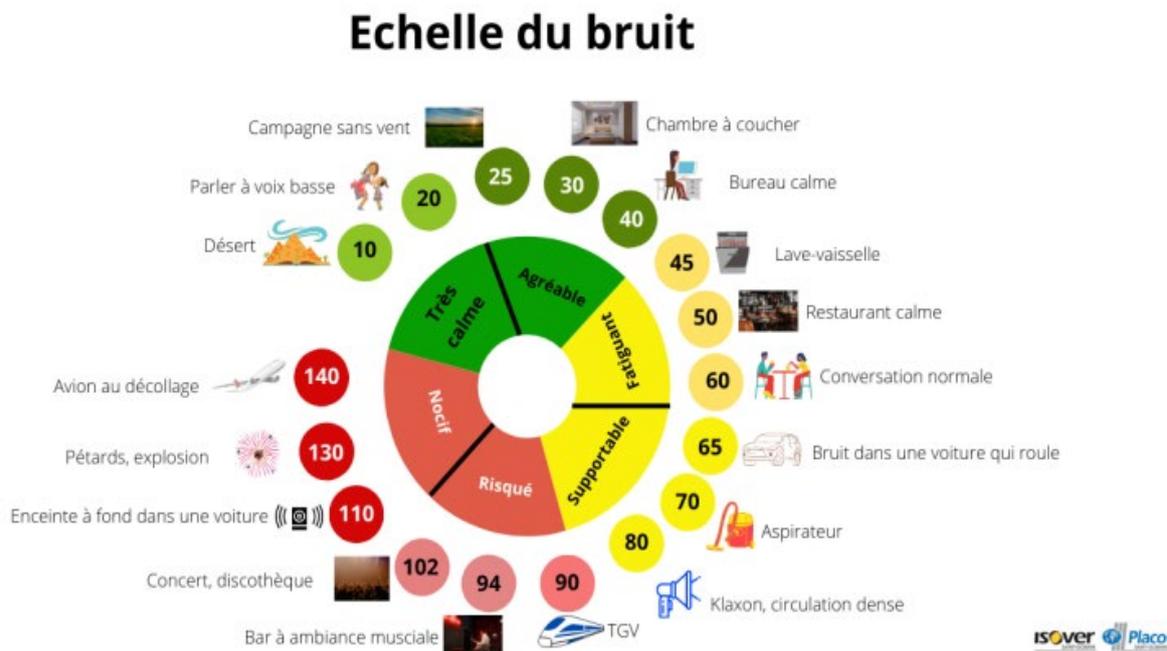


Figure II.1 : Différents niveaux de bruits.

Source : <https://www.toutsurlisolation.com/quest-ce-que-le-confort-acoustique>, consulté 18/01/2020 à 15h6min.

On retrouve généralement quatre types de bruits :

Bruits aériens intérieurs : les conversations des occupants, musique, télévision... etc.

Bruits aériens extérieurs : la circulation routière, le bruit des avions ou des trains, le bruit des travaux publics... etc.

³²Liébard, A. et De Herde, A. « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* ». Éd. Le Moniteur, Paris, 2005.

Bruits de choc : un objet qui tombe, bruit des portes qui claquent... etc.

Bruits d'équipement : pompe à eau, machine à laver... etc.

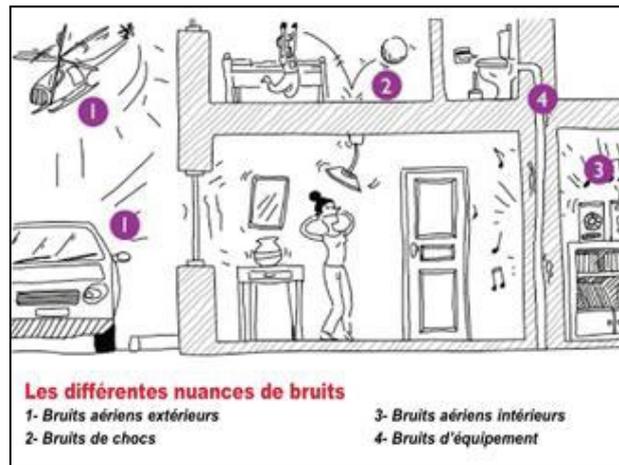


Figure II.2 : Différents types de bruits.

Source : <https://www.batirama.com/article/8890-confort-acoustique-quelles-solutions-en-renovation.html>, consulté 15/01/2021 à 15h9min.

II.3.2. Confort visuel

La vue est l'un des sens les plus importants de l'être humain. Grâce à cette perception, nous pouvons percevoir et comprendre aisément l'espace ou l'environnement qui nous entoure, reconnaître rapidement les formes les couleurs, elle nous permet également une lecture claire des données.

L'activité humaine se déroule dans des endroits différents soumis à des variations d'éclairage (naturel ou artificiel).³³Le confort visuel concerne l'éclairage, la luminosité et la qualité visuelle de l'environnement, il est très important parce qu'il est lié à notre capacité à percevoir et à interagir avec le monde qui nous entoure. Il se réfère à la qualité de la lumière et à la façon dont elle est perçue, ainsi qu'à l'impact que cela peut avoir sur notre bien-être et notre productivité. Pour assurer un confort visuel satisfaisant, il est important de prendre en compte les critères suivants :

- La quantité suffisante de lumière disponible.
- L'uniformité de l'éclairage dans l'espace.
- L'absence de réflexion qui pourrait nuire à la visibilité.
- L'absence d'éblouissement qui pourrait causer une gêne ou une fatigue visuelle

³³ <http://www.espace-chsct.fr/securite-au-travail/ambiance-lumineuse.html>. Consulté le 01/01/2017 à 17h48min.

- L'absence d'ombres indésirables
- Une reproduction adéquate des couleurs pour une perception précise de l'environnement.

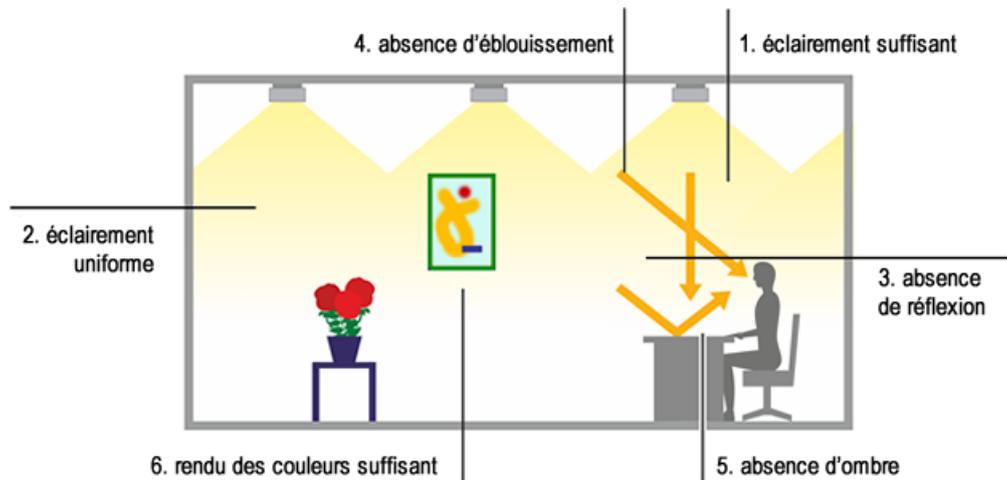


Figure II.3 : Critères du confort visuel.

Source : <https://energieplus-lesite.be/evaluer/confort-visuel2/identifier-les-criteres-du-confort-visuel-en-un-coup-d-il/>, consulté le 02/06/2021 à 23h16min.

II.3.3. Confort olfactif

Négligé pendant de nombreuses années, le confort olfactif concerne la qualité de l'air et des odeurs dans un espace donné, il implique la réduction des mauvaises odeurs et la présence d'une quantité suffisante d'air frais pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur.

La qualité de l'air que l'on respire dans un espace clos peut avoir des conséquences sur notre bien-être et notre santé, allant des simples inconforts tels que les mauvaises odeurs,, somnolence, irritation des yeux et de la peau, jusqu'au développement de pathologies, comme les allergies respiratoires.³⁴

Les gênes olfactives peuvent provenir de sources intérieures et extérieures, les sources intérieures incluent les odeurs émanant de la cuisine, la salle de bain...etc. Les sources extérieures comprennent les émissions provenant de l'industrie, du trafic automobile, des usines de traitement des déchets et des installations de traitement des eaux usées. Présence de canalisations bouchées ce qui rend l'odeur des eaux usées intolérables surtout en été.

³⁴ Liébard, A. et De Herde, A. «*Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* ». Ed. Le Moniteur, Paris, 2005.

Toutes ces odeurs extérieures peuvent pénétrer dans les bâtiments et affecter la qualité de l'air intérieur.

Pour améliorer le confort olfactif dans les espaces intérieurs, il est important d'avoir une bonne ventilation, d'installer des systèmes de filtration de l'air, d'utiliser des désodorisants naturels, de bien gérer les déchets et d'éloigner les sources d'odeurs indésirables.

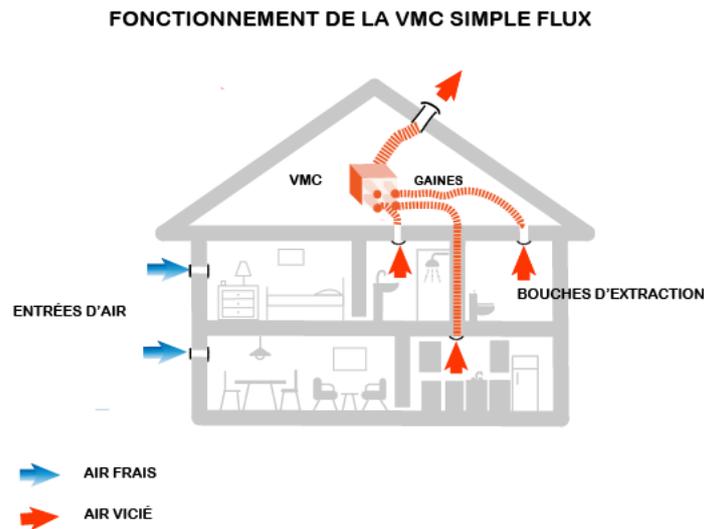


Figure II.4 : la ventilation mécanique contrôlée (VMC).

Source : <https://vmc-installation-entretien.fr/comment-la-ventilation-mecanique-controllee-simple-flux-fonctionne/>, 02/06/2021 à 23h16min.

II.3.4. Confort thermique

*« Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort. Cela implique de conserver la température des tissus constituant le corps à l'intérieur d'un domaine étroit... Les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre, et l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec l'environnement, dépendent de la conjugaison de nombreux facteurs ».*B.Givoni

La définition précise du confort thermique est complexe, car elle dépend de l'interaction entre plusieurs variables environnementales et personnelles. Il peut être défini comme la sensation de ne pas ressentir de températures excessivement chaudes ou froides et des courants d'air gênant. Il faut savoir que dans une même ambiance, quelqu'un pourra se sentir à l'aise alors que quelqu'un d'autre pourra être gêné.

Il est plus facile d'identifier les éléments qui causent de l'inconfort thermique que de déterminer les critères objectifs de confort.

Le confort thermique dans les logements ne dépend pas uniquement de la température de l'air, mais aussi de la température des parois. Bien que la température idéale se situe généralement entre 20 et 22 °C, il peut faire froid lorsque l'air descend en dessous de 18°C et chaud au-delà de 25 à 26°C. En été, une température d'air à 20°C avec des parois dont la température est supérieure à 22°C peut causer une sensation de chaleur, tandis qu'en hiver, une même température d'air avec des parois dont la température est inférieure à 18°C peut causer une sensation de fraîcheur voire de froid lorsque la température de la paroi descend en dessous de 16°C.

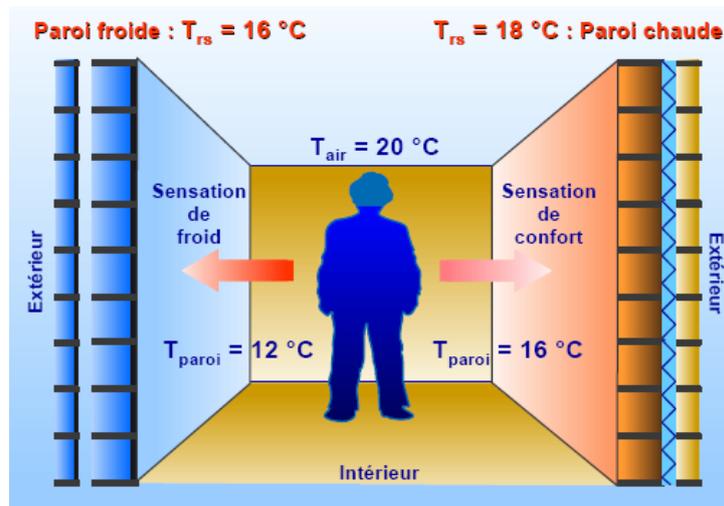


Figure II.5 : Température de confort dépend de la température de l'air et des parois.
 Source :Liébard, A.et De Herde, A.«Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ». Éd. Le Moniteur, Paris, 2005.

De nombreuses études ont été menées pour une meilleure compréhension du confort thermique. Selon Giovanni, 1978, le confort thermique peut être atteint uniquement lorsqu'il n'y a plus de sensation d'inconfort thermique et qu'il n'y a plus de besoin de réguler la température corporelle en utilisant les mécanismes physiologiques de transpiration et de vasoconstriction.

Dans la même perspective, en 1999, Nagara et al pensent que le confort thermique est un état mental satisfaisant d'un individu qui n'a pas besoin de produire d'effort thermorégulateur.

Pour Hrisomallidou et al, 2002, le confort thermique est défini comme « *l'état d'esprit satisfaisant de l'individu dans un environnement thermique donné, qui résulte de l'interaction entre les conditions thermiques, les activités de l'individu et ses vêtements* ». Cette définition met l'accent sur l'importance de la perception individuelle du confort thermique et de la prise en compte de facteurs personnels tels que les vêtements et les activités dans l'évaluation du confort thermique.

En 2004, Steemers et al ont donné une définition au confort thermique qui met en avant l'importance de prendre en compte les attentes individuelles des occupants d'un bâtiment, en plus des caractéristiques objectives de l'environnement construit.

En 2005 et d'après Liébard et De Herde, le confort 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 ».

Moser en 2009, voit que « Le confort 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 d'inconfort, qui se caractérise par exemple par l'absence de douleur, d'anxiété...) et à une approche positive (bien-être, satisfaction) », Moser (2009) a mis donc l'accent sur l'aspect psychologique de la perception du confort thermique et sur l'importance de maintenir un état physiologique stable pour atteindre un confort thermique optimal.

Selon Hall (2010), le confort thermique est associé à un état favorable recherché par les individus, sa définition met en évidence l'importance de la perception subjective du confort thermique.

À son tour, Sassine (2017), voit que le confort thermique est un concept très vaste et ambivalent vu qu'il peut être perçu de manière subjective et différenciée d'un individu à un autre. Ce confort thermique dépend de la température de l'air, de la température radiante moyenne, de la vitesse de l'air, de l'humidité de l'air, de l'activité métabolique de l'occupant et de son habillement.

II.4. Élément affectant le confort thermique

Le confort thermique dépend de six paramètres majeurs :



Figure II.6: Les paramètres du confort thermique.

Source : <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>, consulté le 17/05/2022 à 01h30min.

II.4.1. La température de l'air

La température de l'air, également connue sous le nom de température ambiante (T_a), joue un rôle important dans le confort thermique. Ce terme fait référence à la température de l'air mesurée à l'abri de tout rayonnement, à une hauteur bien précise. C'est aussi un facteur principal qui doit être pris en considération lors de l'évaluation du bilan thermique des usagers au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. La température ambiante influe directement sur la température du confort appelé aussi température résultante sèche, elle est calculée comme suit $(T_a + T_p) / 2$, avec T_a (température ambiante), T_p (température des parois). Voir **(Figure II.5)**.

II.4.2. La température moyenne des parois

La température des parois (T_p), est un facteur déterminant de la sensation du confort (paroi chaude ou froide). Voir **(Figure II.5)**. Cette température peut être utile pour le choix des isolants thermiques.

II.4.3. L'humidité

L'humidité relative de l'air influence les échanges par évaporation relative à la peau, elle nous donne la capacité évaporatoire de l'air.³⁵

L'humidité relative est exprimée en %. Selon (Jedidi et Benjeddou, 2016), elle correspond au rapport entre la quantité d'eau présente dans l'air à une certaine température et la quantité maximale d'eau que l'air peut contenir à cette même température.

Un niveau élevé d'humidité perturbe la capacité de régulation thermique de l'organisme et empêche la sueur de s'évaporer, et reste donc collée à la peau, entraînant ainsi une augmentation de la transpiration.

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

Le diagramme ci-dessous, précise la plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique. (D'après Scofield et Sterling).

³⁵ MAZARI Mohamed, « Étude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas de département d'architecture de Tamda (Tizi-Ouzou) », mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Septembre 2012

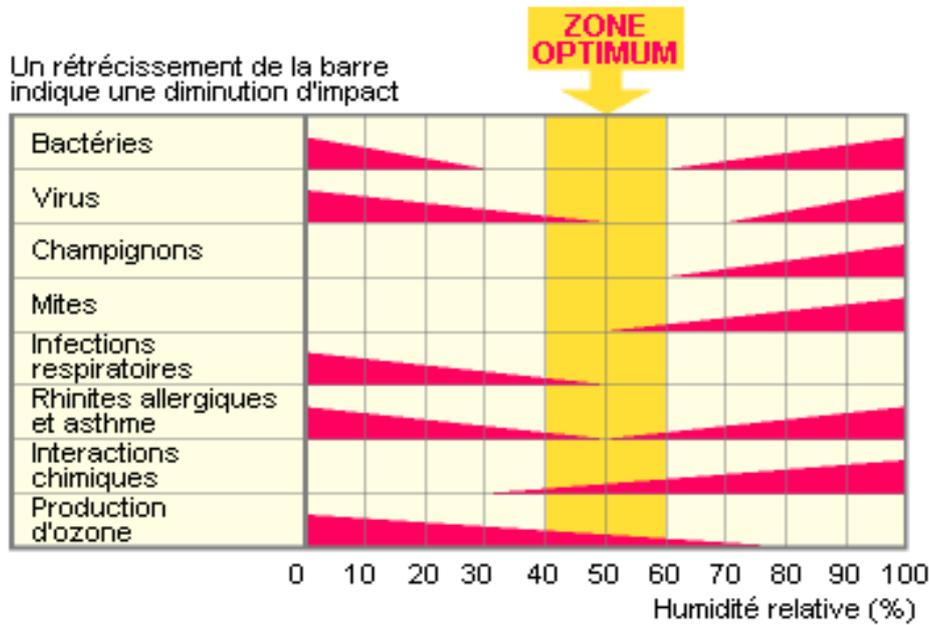


Figure II.7: Le taux d'humidité d'un point de vue hygiénique.

Source : <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>, consulté le 19/05/2022 à 01h30min.

La température et l'humidité sont deux paramètres extrêmement liés, par exemple *pour une température de l'air aux environs de 22°C, on peut recommander un taux d'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %.*

1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.

2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.

3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.

4 : Polygone de confort hygrothermique.

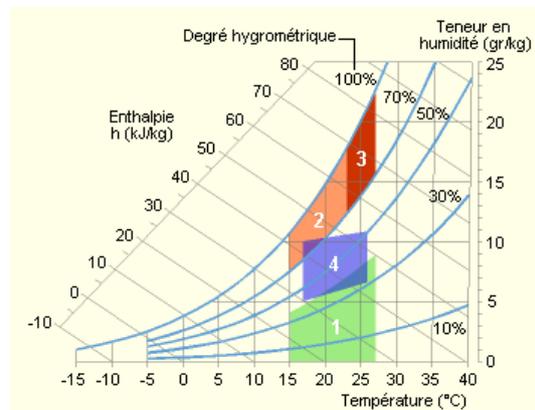


Figure II.8 : La plage de confort température-humidité.

Source : <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort6thermique-d1/>, consulté 12/3/2022 à 1h03min.

II.4.4. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un paramètre très important du confort, elle est mesurée en m/s. la vitesse de l'air influe sur les échanges de la chaleur par convection et augmente l'évaporation de la surface de la peau.

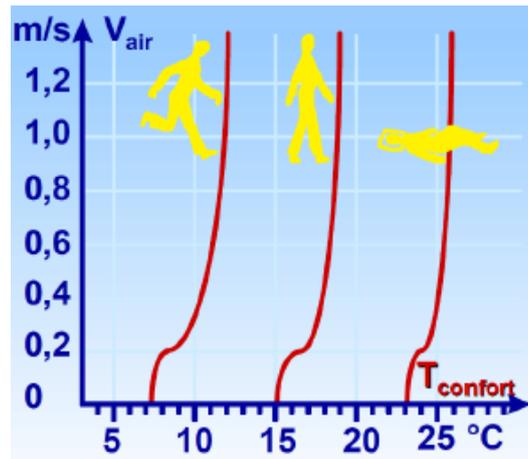


Figure II.9 : La température de confort en fonction de la vitesse de l'air.
Source : Liébard et De Herde, 2005.

II.4.5. Le métabolisme

Le métabolisme désigne la production de chaleur dans le corps humain, assurant le maintien d'une température d'environ $36,7^{\circ}\text{C}$. Ce paramètre varie en fonction de l'activité physique, qui a un impact direct sur la sensation du confort thermique. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos. Plus le rythme de l'activité est renforcé, plus la production de chaleur et les échanges corps/environnement augmentent et donc les valeurs du métabolisme augmentent aussi.

Tableau II.1: L'influence de l'activité sur le métabolisme.

Source : <https://enbau-online.ch/bauphysik/fr/1-2-climat-interieur-et-confort/>, consulté le 18/02/2022 à 02h42min.

Activité	met	W/m ²
couché, inactif	0,8	47
assis, inactif	1,0	58
travail assis (bureau, logement, école, laboratoire ...)	1,2	70
debout détendu	1,2	70
travail léger, debout (magasin, laboratoire, établi ...)	1,6	93
travail mi-lourd, debout (vente, ménage, atelier, garage ...)	2,0	116
travail lourd, sport d'intérieur (industrie lourde, danse, tennis, gymnastique ...)	3,0	175

II.4.6. L'habillement

L'habillement joue le rôle d'un isolant thermique, cela est remarquable beaucoup plus pendant la période hivernale. Il joue le rôle d'une barrière thermique qui limite les échanges

de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement³⁶. Le niveau d'habillement des occupants est caractérisé par une valeur relative, exprimée en (clo).

En ajoutant une isolation thermique autour du corps humain, la température de surface en contact avec l'environnement diminue. Cela entraîne une réduction des flux de chaleur par convection et rayonnement, malgré l'augmentation de la surface extérieure. La définition de l'isolement thermique d'une tenue vestimentaire inclut également les parties non recouvertes du corps comme la tête et les mains.



Figure II.10 : Degré d'isolement vestimentaire.

Source : MAZARI, 2012.

Tableau II.2 : Valeurs d'isolement vestimentaire en fonction des tenues portées.

Source : https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/#Confort_activite_habillement, Consulté le 17/05/2022 à 03h20min.

Tenue vestimentaire	Habillement
Nu.	0
Short.	0,1
Tenue tropicale type (short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales).	0,3
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures).	0,5
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures).	0,7
Tenue d'intérieur pour l'hiver (chemise à manches longues, pantalon, pull-over à manches longues, chaussettes épaisses et chaussures).	1,0
Tenue de ville traditionnelle (complet avec pantalon, gilet et veston, chemise, chaussettes de laine et grosses chaussures).	1,5

³⁶Fernandez. P, et Lavigne. P. « Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes »,ed le Moniteur, 2009.

II.5. Indices du confort thermique

Les nombreux indices de confort thermique relevés dans la littérature (Dhalluin, 2012) ont été élaborés à partir de travaux empiriques et d'approches statistiques, réalisés dans des chambres climatiques ou in situ, sur des mannequins ou avec des êtres humains, simplifiant ainsi la complexité des phénomènes.

II.5.1. L'indice PMV (Predicted Mean Vote)

PMV ou le vote moyen prévisible est l'un des indices les plus connus et les plus utilisés dans la thermique du bâtiment, il a été décrit par la norme ISO 7730.

Cet indice est basé principalement sur l'équation du bilan thermique et est calculé en tenant compte du métabolisme, de l'isolation fournie par les vêtements et des conditions climatiques. Prédit la valeur moyenne des votes d'un grand groupe de personnes sur l'échelle de sensation thermique à 7 points suivante :

Tableau II.3: La sensation thermique exprimée selon l'échelle de l'ASHRAE.
Source : Khadraoui Mohamed Amine, 2019.

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

ASHRAE Thermal Sensation Scale						
-3	-2	-1	0	1	2	3
cold	cool	slightly cool	neutral	slightly warm	warm	hot

Figure II.11: Échelle de sensation thermique d'ASHRAE.

Source : Charles, K.E. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models, October 10, 2003- IRC-RR-162, conseil national de recherche Canada.

- Une valeur de PMV de zéro est la sensation de confort optimal (ni chaud, ni froid). La zone de confort varie entre (-1) et (+1).

- Une valeur négative signifie que la température est plus basse que la température idéale.
- Une valeur positive signifie que la température est plus haute que la température idéale.

II.5.2. L'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits donne en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à la situation. Par exemple, le graphe ci-dessous montre que pour un PMD de (-2) ou de (+2), l'indice PPD est à 75% qui veut dire que 75% de la population n'est pas satisfaite.

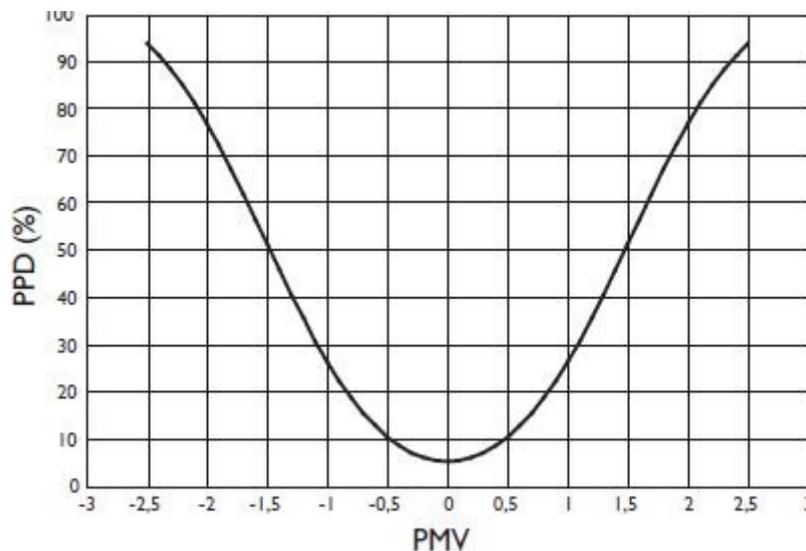


Figure II.12 : PPD en fonction de PMV.

Source : Charles-Florian Picard et al, Smart-Réno, Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Energétique, volet 3 (valoriser le confort), Mars 2020.

Les deux indices PMV et PPD ont été développés par Fanger en 1967.

II.5.3. La température effective corrigée (CET)

La température effective corrigée est affectée d'une correction qui tient compte du rayonnement des parois.

II.5.4. La chaleur équivalente (EW)

Cet indice est développé par Bedford en Angleterre, il prend en compte plusieurs paramètres, tels que, la température de l'air, l'humidité relative, la température moyenne radiative (MRT) ainsi que la température surfacique de la peau et de l'habillement. Bedford a défini la zone de confort à 30°C pour un taux d'humidité élevé, et à 35 °C pour un taux d'humidité bas. Mais il n'a pas mis en évidence l'effet de rafraîchissement de l'air en cas d'un haut taux d'humidité.

II.5.5. La température opérative (TO)

Indice mis en place par Winslow, Harrington et Gagge aux USA. Cette recherche est presque similaire à celle de Bedford, car elle a été réalisée dans une région spécifique où les effets de l'humidité et les mouvements d'air ont été négligés.

II.5.6. La température moyenne radiante (T_{mrt})

La température radiative moyenne est une température qui permet de globaliser les échanges thermiques par rayonnement avec l'environnement. Elle est utilisée dans l'étude du confort thermique, principalement dans l'évaluation des différents indices de confort thermique extérieur.

II.6. Évaluation du confort thermique

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de confort thermique selon le besoin :

II.6.1. Enquête in situ

C'est une évaluation qualitative basée sur les mesures et l'estimation du bilan énergétique, elle vise à évaluer l'évolution de la sensation de confort sur place en utilisant des questionnaires. Il existe deux types d'enquêtes en fonction de la méthode d'échantillonnage: enquête transversale réalisée avec un nombre important d'individus, où chaque participant contribue à un seul ou un nombre limité de votes, et enquête longitudinale réalisée avec un nombre limité d'individus suivis sur une période prolongée, le nombre de contributions de chaque individu est beaucoup plus important.

II.6.2. Les outils graphiques pour l'évaluation du confort thermique

II.6.2.1. Diagramme d'Olgay

Les frères Olgay étaient les premiers qui ont approfondi leurs recherches sur la notion du confort thermique en essayant d'établir une relation entre le corps humain et l'environnement ambiant. Leur méthode nécessite l'intervention de plusieurs paramètres pour estimer le confort, tel que la température de l'air, le taux d'humidité relative et la vitesse de l'air.

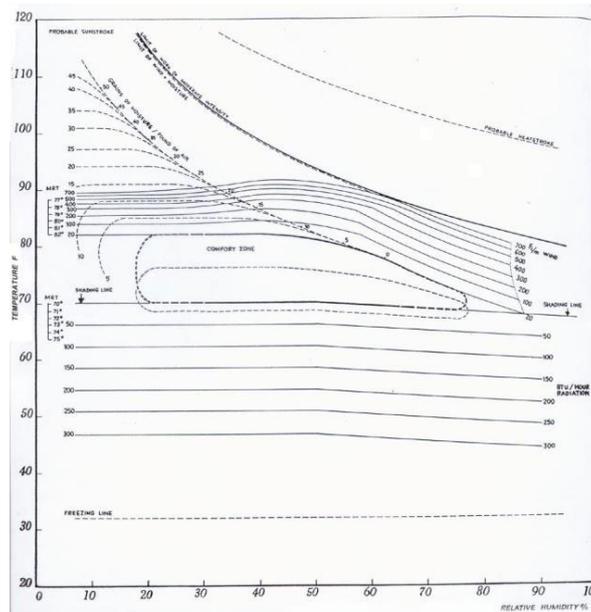


Figure II.13: Le diagramme d'Olgay

Source : https://www.researchgate.net/figure/Olgays-bioclimatic-comfort-chart-Olgay-2015_fig2_352056001, consulté le 17/05/2022 à 17h14min.

II.6.2.2. Diagramme de Givoni :

Le diagramme de Givoni est un outil graphique utilisé pour évaluer le confort thermique dans les constructions en fonction des températures extérieures et intérieures.

Il propose des solutions constructives et fonctionnelles adaptées à chaque situation, l'utilisation de ce diagramme est fortement recommandée lorsque les conditions climatiques écartent du polygone du confort.

Givoni est le fondateur de ce diagramme bioclimatique, spécifiquement pour les climats semi-arides. Il constitue plusieurs zones :

- Zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été.
- Zone de la ventilation par augmentation de la vitesse de l'air de 0.1 à 105m/s.
- La zone des conditions hygrothermiques compensable par l'inertie thermique associée à la protection solaire et à l'utilisation d'enduits clairs.
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'inertie thermique associée à la protection solaire et à l'utilisation d'enduits clairs que l'on cumule avec une ventilation nocturne.
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation.

- La zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent l'humidification de l'air.
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par une conception solaire passive du bâtiment.

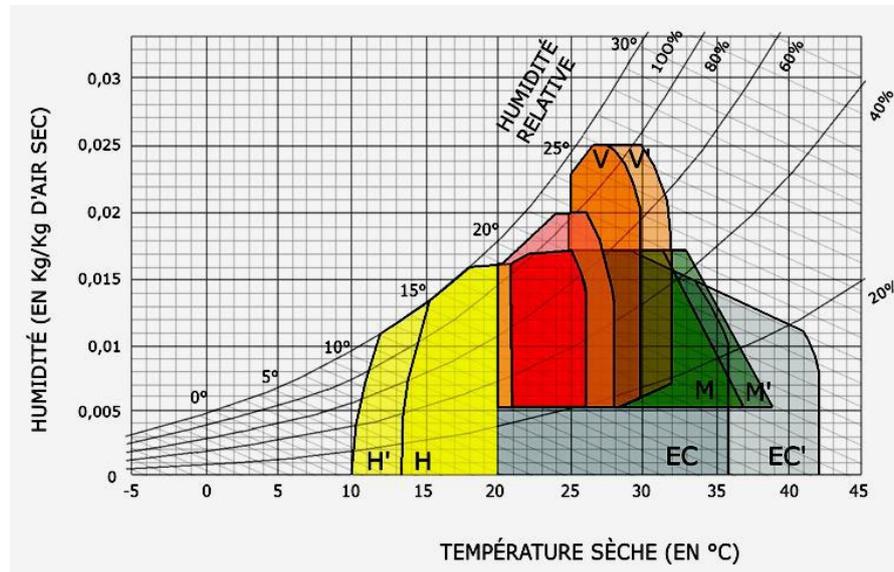


Figure II.14: Diagramme bioclimatique du bâtiment.
Source : Laboratoire ABC. ENSA-Marseille.

II.6.2.3. Tables de Mahoney :

Carl Mahoney a développé une méthode de traitement des données climatiques, elle comprend une série de six tableaux de référence d'architecture qui servent de guide pour concevoir des bâtiments confortables, en harmonie avec les conditions climatiques.

Les quatre premiers sont utilisés pour entrer les données climatiques à savoir : la température (maximale, minimale et moyenne mensuelle), l'humidité relative (maximale, minimale et moyenne mensuelle), les vents, les précipitations. Les deux derniers sont utilisés pour comparer les limites du confort et le climat afin de tirer des recommandations.

II.6.3. Le bilan thermique

Le bilan thermique d'un bâtiment ou d'un local est un calcul de déperdition et des apports du bâtiment. Il est conseillé de le réaliser avant d'entreprendre des travaux de rénovation énergétique. Son objectif est d'améliorer la performance énergétique globale. Le bilan thermique nous permet aussi d'estimer la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir une température confortable à l'intérieur de l'espace. On peut donc, déterminer la quantité de chaleur nécessaire ou à extraire pour maintenir une température confortable dans le bâtiment. (En tenant en compte des apports et des pertes thermiques) à travers l'enveloppe architecturale.

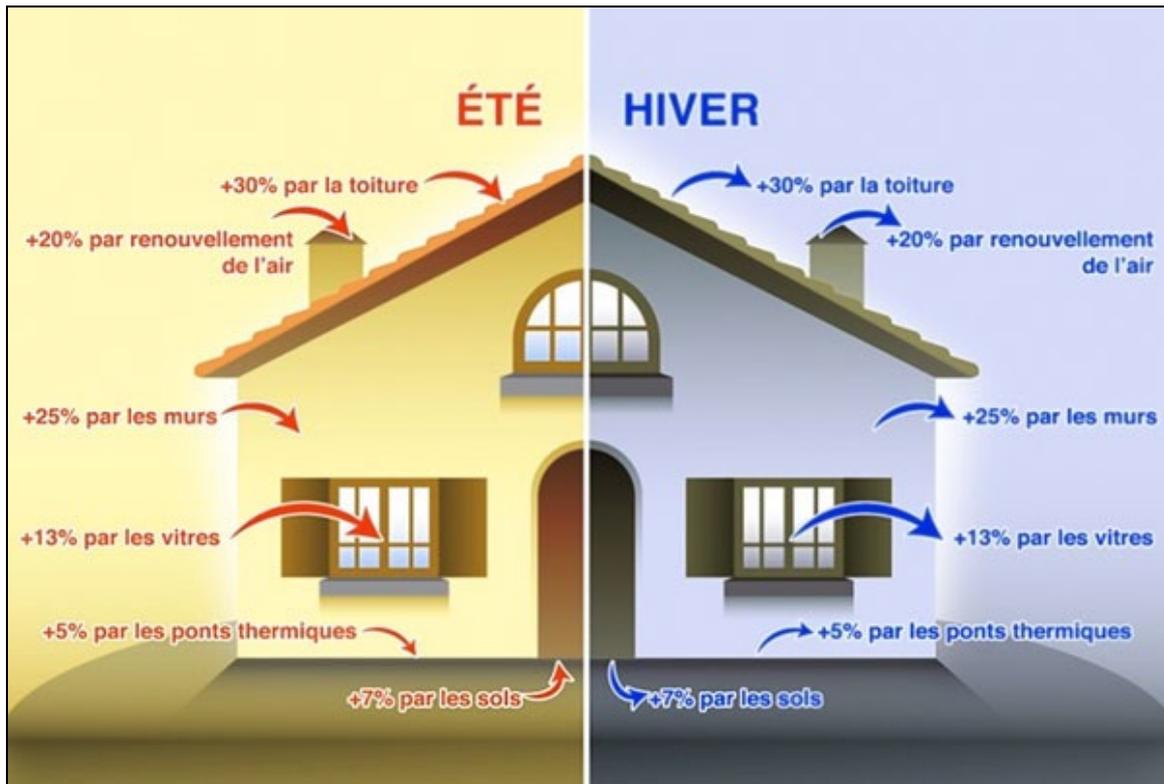


Figure II.15 : gains et déperditions de chaleur.
 Source : <https://www.climachaud.com/post/le-bilan-thermique>

II.6.3.1. Le bilan thermique d'hiver

D'abord le bilan thermique d'un bâtiment doit être calculé pour les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire pour les journées les plus froides de l'année.

Afin de calculer les besoins calorifiques d'un bâtiment, il faut d'abord calculer les déperditions calorifiques par transmission et par ventilation : dans le tableau ci-dessous les étapes de calcul.

Tableau II.4: Déperditions et besoins de chaleur.
 Source : Auteur et al, 2015.

Calcul des déperditions	Calcul des besoins
<p>Déperdition calorifique par transmission «Q0» : La paroi d'un local Chauffé en hiver, perd de la chaleur, soit vers l'extérieur ou vers le local d'à côté, le flux de chaleur est donné par la relation suivante :</p> <p>$Q_0 = K.S. (T_i - T_e) + K.L. (T_i - T_e)$ dont :</p> <p>$K.S. (T_i - T_e)$ Déperdition surfacique de la paroi. $K.L. (T_i - T_e)$ Déperdition linéique (pont thermique). Avec :</p>	<p>Les besoins de chaleur « Qt » : Les besoins de chaleur Q_t qui correspondent aux déperditions de chaleur par transmission sont obtenus en majorant les déperditions par transmission et cela en utilisant les majorations élémentaires suivantes :</p> <p>Z_u : Pour interruption de l'exploitation. Z_a :</p>

<p>Q_0 = flux de chaleur perdue par la paroi (w).</p> <p>K : coefficient de transmission globale de la chaleur (w/m.°C), avec : $K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n}}$</p>	<p>Pour compensations des parois froides.</p> <p>Zh : Pour l'orientation.</p> <p>La relation des besoins de chaleur c'est :</p> $Q_t = Q_0 \cdot Z = Q_0 (1 + Z_u + Z_a + Z_h)$ $= Q_0 (1 + Z_d + Z_h)$
<p>Déperdition calorifique par ventilation « Qv » : se traduit par une déperdition de chaleur. (L'entrée d'air extérieur froid engendre la sortie de la même quantité d'air chaud vers l'extérieur). Il existe deux types de ventilation :</p> <p>Déperdition par ventilation contrôlée : c'est-à-dire que le bâtiment est doté d'une installation de ventilation mécanique contrôlée avec : $Q_v = G \cdot C (T_i - T_e)$ dont : Q_v : perte de chaleur par ventilation (W). G : débit d'air (m³/s). C : chaleur volumique de l'air (1.224 Kj / m³.c°).</p> <p>Déperdition par ventilation non contrôlée : $Q_v = \sum_{i=1}^n (a_i l_i) A \cdot R \cdot h \cdot Z_e (T_i - T_e)$. Avec :</p> <p>$Q_v$: perte de chaleur par ventilation. $\sum_{i=1}^n (a_i l_i) A$: perméabilité des portes et des fenêtres au vent (m³/h).</p> <p>Lorsque la paroi au vent contient n ouvertures, sa perméabilité est donnée par : $\sum (a_i l_i) A = a_{11} l_1 + a_{21} l_2 + a_{31} l_3 + \dots + a_n l_n$. R : caractéristique du local (sans dimension). H : caractéristique d'immeuble.</p> <p>Z_e : majoration pour fenêtre d'angle (sans dimension).</p>	<p>Besoin par ventilation</p>
<p>Déperdition calorifique totale «Qv» : $Q_{0v} = Q_0 + Q_v$</p>	<p>Les besoins globaux de chaleur :</p> <p>Ces besoins représentent la somme algébrique des besoins de chaleur relatifs aux déperditions par transmission et ventilation et des apports internes de chaleur soient :</p> $Q_0 = Q_t + Q_v - \text{APPORTS}(w).$

II.6.3.2. Le bilan thermique d'été

Le bilan thermique d'été, doit être calculé aussi pour la journée la plus défavorable, dans ce cas, c'est le calcul des gains de chaleur avec : $Q = K.S.(\Delta t) = K.S.(T_f - T_i)$, dont :

Q : gains de chaleur.

K : coefficient de transmission.

S : c'est la surface retenue.

T_f : c'est la température fictive, pour avoir la température fictive, il faut d'abord calculer le décalage horaire «D», $D = e/4$ (avec e épaisseur du mur). La valeur trouvée doit être ajoutée à l'heure la plus défavorable à savoir : Sud : 12h, Est : 8h, Ouest : 16h. Puis, c'est la lecture des valeurs de température sur les courbes de température.

T_i : c'est la température intérieure (24°C).

Après le calcul des gains, c'est les masques solaires. Un masque solaire est un corps qui empêche les rayonnements solaires d'atteindre la surface que l'on désire ensoleiller. Les masques solaires lointains sont occasionnés par le relief, les bâtiments voisins ou la végétation.

II.6.3.3. Objectif du calcul des bilans thermiques d'un bâtiment

Pour garantir un niveau de confort optimal dans un bâtiment, il est nécessaire de calculer les bilans thermiques de climatisation et de chauffage, le bilan thermique d'un bâtiment consiste à faire l'inventaire de toutes ses pertes de chaleur (déperditions), et de tous ses gains (apports).³⁷

Le bilan thermique a pour objectif :

- D'identifier les éventuelles déperditions de chaleur à travers l'identification des **ponts thermiques** de l'habitation et à analyser la consommation énergétique globale.
- De faire le point sur les faiblesses d'une habitation, sur le plan énergétique afin de choisir les bons travaux de rénovation énergétique.
- Déterminer les besoins de chauffage et de climatisation d'un bâtiment pour atteindre le confort thermique optimal.

³⁷ Samir FOURA, Med Salah ZEROUALA, simulation des paramètres architecturaux du confort d'hiver en Algérie, N° 26, Décembre 2007, p86.

- Estimer la puissance nécessaire des équipements de chauffage et de climatisation pour dimensionner l'installation de manière optimale.
- Identifier les zones du bâtiment qui nécessitent une isolation ou une ventilation supplémentaire pour améliorer le confort thermique et la qualité de l'air intérieur.

II.6.4. La simulation par logiciel

L'utilisation d'un logiciel de simulation est devenue un outil indispensable pour garantir une performance énergétique des constructions.

La simulation par logiciel permet d'estimer la consommation énergétique et de connaître l'état du confort dans la maison, en utilisant des données spécifiques telles que : les paramètres climatiques, les matériaux utilisés, les équipements installés.

Cette simulation peut être réalisée à différentes étapes du projet, de la conception initiale à la rénovation et à l'optimisation des performances énergétiques. Elle permet également d'identifier les améliorations potentielles de l'efficacité énergétique et de comparer différentes options possibles de conception ou de rénovation pour pouvoir déterminer la solution la plus rentable et la plus efficace sur le plan énergétique.

II.6.4.1. Les avantages de la simulation par logiciels

L'utilisation de logiciels de simulation présente plusieurs avantages tels que :

- Précision
- Rapidité
- Facilité d'utilisation
- Analyse des résultats

L'utilisation des logiciels de simulation de la performance énergétique peut en quelques clics évaluer la consommation énergétique.

II.4.4.2. La simulation STD

Les logiciels de simulation permettent la modélisation du comportement thermique et énergétique du bâtiment. La simulation thermique dynamique (STD) est apparue dans les années 1970 - 1980 parallèlement aux réglementations thermiques. Elle nous permet

d'observer le comportement du bâtiment, maîtriser le confort et l'inconfort et garantir une économie d'énergie.

La STD simule heure par heure le comportement du bâtiment. Pour cela, on prend en considération :

- La localisation du bâtiment, la météo locale.
- L'orientation du bâtiment, la répartition des pièces et des vitrages.
- Les matériaux constituant le bâtiment, son inertie thermique, ses ponts thermiques, ses protections solaires.
- Les équipements de chauffage, climatisation, production ECS, ventilation, éclairage.
- L'occupation des pièces et le comportement des usagers.
- La régulation du chauffage et éventuellement des autres équipements.³⁸

II.6.4.3. Logiciels de la STD

Il existe plusieurs logiciels de simulation énergétique disponibles sur le marché, chacun avec ses propres méthodologies de calcul et caractéristiques. Parmi les plus couramment utilisés dans le domaine du confort thermique des bâtiments, on trouve Design Builder, TRNSYS, Pleiades, Clima Win, Archi WIZARD et Energy Plus.

Cependant, il est nécessaire d'avoir des compétences techniques spécialisées afin d'utiliser ces logiciels et de garantir des résultats précis et fiables.

Le choix du logiciel convenable à l'objectif de la simulation est très important pour avoir des résultats corrects.

³⁸ <https://www.ille-et-vilaine.fr/sites/default/files/asset/document/simulation-thermique-dynamique.pdf>, consulté le 02/03/2023 à 21h 48 min.

II.6.4.3.1. Design Builder

Tableau II.5: Avantage et inconvénients du logiciel Design Builder.

Source : <http://www.designbuilder.co.uk/>; Marcello CACIOLO et al 2015, adapté par l'auteur 2020).

Logiciel de simulation énergétique.	<p>Design Builder</p> 
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> -Une interface graphique 3D intuitive et conviviale. -La facilité d'importer et d'exporter des fichiers. -Dimensionnement chaud et froid. -Une modélisation détaillée des systèmes, avec une représentation visuelle des connexions entre les différents composants. -La possibilité de modéliser de manière intégrée le bâtiment, l'éclairage, les systèmes et la ventilation naturelle. -Un large éventail de paramètres de contrôle pour les équipements, en particulier pour les systèmes de ventilation.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Logiciel très fermé. -Le logiciel peut être complexe pour les débutants, il nécessite une formation préalable pour une utilisation optimale. -La modélisation détaillée peut prendre du temps, en particulier pour les grands projets ou les modèles très complexes.

II.6.4.3.2. TRNSYS

Tableau II.6 : Avantage et inconvénients du logiciel TRNSYS.

Source : <http://www.trnsys.com/>; Marcello CACIOLO et al 2015, adapté par l'auteur 2020)

<p>Logiciel de simulation énergétique.</p>	<p>TRNSYS</p> 
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> - TRNSYS est un logiciel flexible et modulaire qui permet la modélisation de divers systèmes énergétiques. -Il offre une grande variété de composants de simulation et des options de couplage. -TRNSYS dispose d'une grande communauté d'utilisateurs, de forums et de ressources en ligne pour aider les utilisateurs à résoudre les problèmes. -Il permet de réaliser des simulations dynamiques pour différentes conditions climatiques. -Dimensionnement chaud et froid
<p>Inconvénients</p>	<ul style="list-style-type: none"> -TRNSYS peut être complexe et difficile à prendre en main pour les nouveaux utilisateurs. -Interface peu conviviale. -Les composants de simulation personnalisés doivent être programmés en langage de programmation TRNSYS Studio, ce qui peut être fastidieux. -TRNSYS nécessite une licence payante, ce qui peut en limiter l'accès pour certaines personnes. -Le temps de simulation peut être long pour des modèles complexes.

II.6.4.3.3. Pleiades

Pleiades est un logiciel performant et complet dédié à la conception et à l'évaluation environnementale et énergétique des bâtiments, développé par le centre d'énergétique de l'école des mines de Paris.

Tableau II.7 : Avantage et inconvénients du logiciel Pleiades.

Source : <http://www.trnsys.com/>; Marcello CACIOLO et al 2015, adapté par l'auteur 2020)

<p>Logiciel de simulation énergétique.</p>	<p>Pleiades</p> 
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Une interface graphique 3D ergonomique qui facilite la modélisation des bâtiments. -La possibilité d'importer et d'exporter des fichiers au format gbXML (Green Building Extensible Markup Language), il permet l'échange de données entre les différents logiciels de simulation énergétique. -La capacité de réaliser des calculs réglementaires, de dimensionnement et de simulation dynamique de l'énergie. -Une modélisation détaillée des systèmes avec une visualisation graphique des liaisons entre les différents éléments. -La modélisation couplée entre le bâtiment, l'éclairage, les systèmes et la ventilation naturelle. -Un large choix de contrôle des équipements, notamment pour les systèmes à air. -Dimensionnement chaud et froid
<p>Inconvénients</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Le coût élevé de la licence et la nécessité d'une formation pour maîtriser pleinement le logiciel. -La modélisation des centrales de traitement d'air n'est pas prise en compte par Pleiades. - Les temps de calcul peuvent être relativement longs pour les modèles complexes.

II.7. Comment assurer un confort thermique dans un bâtiment ?

Parmi les objectifs de la thermique du bâtiment, assurer un bon confort vis-à-vis de l'ambiance thermique, limiter le nombre des personnes insatisfaites, réduire les consommations énergétiques, assurer une température adaptée à l'activité et l'habillement de l'utilisateur.

Afin d'arriver à ces objectifs, il faut prendre en considération les solutions passives et actives. Les solutions actives sont coûteuses, mais peuvent être appliquées via l'utilisation d'appareils performants et de systèmes intelligents.

Dans notre recherche, ce sont les solutions passives qui nous intéressent, vu qu'elle se rapporte directement avec l'enveloppe du bâtiment, cette solution concerne le bâti, elle prend en compte les matériaux, l'isolation, etc.

II.7.1. Enveloppe architecturale

L'enveloppe architecturale c'est la partie visible du bâtiment, c'est la partie la plus importante de la construction, car elle sépare l'intérieur de l'extérieur. C'est les matériaux de construction qui définissent le type d'enveloppe (fine, épaisse, transparente, opaque... etc.), elle a un rôle protecteur parce qu'elle subit les différentes agressions climatiques.

C'est au niveau de l'enveloppe que se font les échanges thermiques, elle est responsable de tous les gains et toutes les pertes de chaleur. Kujwski (2014) a étudié l'influence des caractéristiques architecturales sur l'empreinte énergétique (chauffage et climatisation).

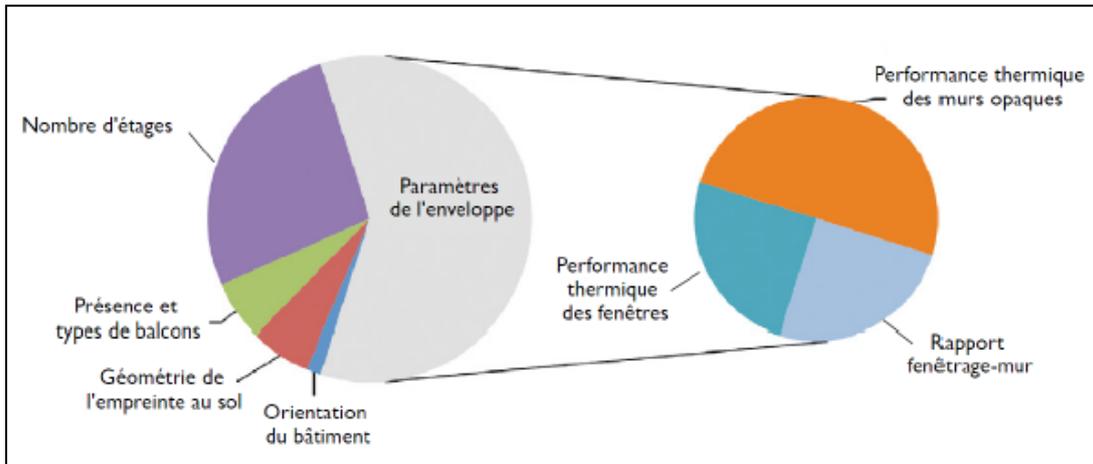


Figure II.16: Influence des caractéristiques architecturales sur le chauffage.
Source :Kujwski, 2014, cité par Khadraoui , 2019.

C'est l'enveloppe architecturale qui consomme le plus en matière de chauffage, précisément les murs opaques.

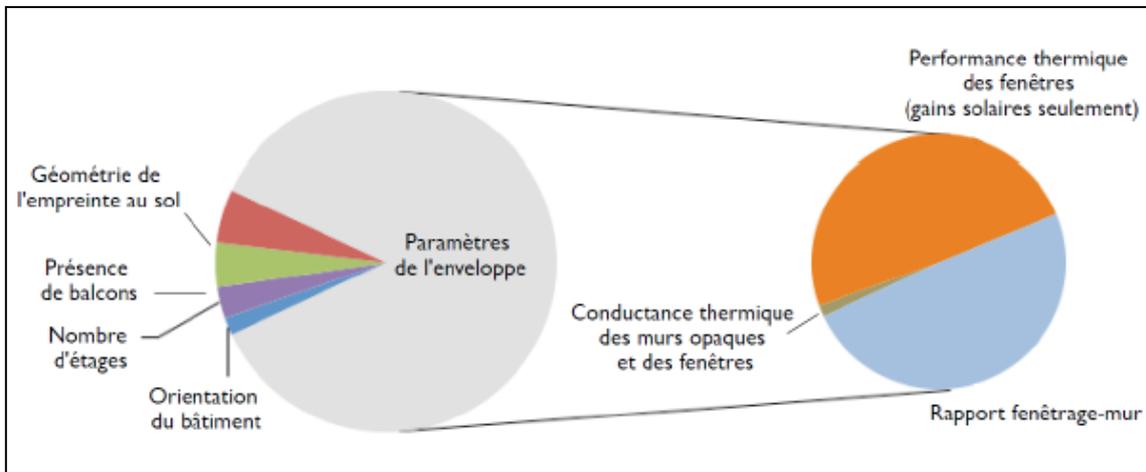


Figure II.17: Influence des caractéristiques architecturales sur La climatisation.
Source :Kujwski, 2014, cité par khadraoui 2019.

Pour le cas de climatisation, c'est toujours l'enveloppe qui s'avère consommatrice.

II.7.2. Isolation thermique

Une bonne isolation thermique permet de réduire les consommations énergétiques. Elle limite les transferts de chaleur entre un milieu froid et un milieu chaud (intérieur et extérieur).

La meilleure façon pour réussir l'isolation est de choisir des matériaux avec une faible conductivité thermique c'est-à-dire des matériaux qui transportent mal la chaleur, afin de limiter les déperditions thermiques et améliorer le confort des habitants.



Figure II.18: exemple d'isolants thermique.

Source : <https://conseils-thermiques.org/contenu/pont-thermique.php>, adaptée par l'auteur, 2022.

II.7.3. Les ponts thermiques

Le pont thermique est un **point** de jonction où l'isolation n'est pas continue. Il provoque des fuites de chaleur importante dans les parois. Les ponts thermiques peuvent aussi causer les moisissures. Afin d'éliminer ces ponts thermiques, il faut mettre en œuvre une isolation par l'intérieur ou par l'extérieur.

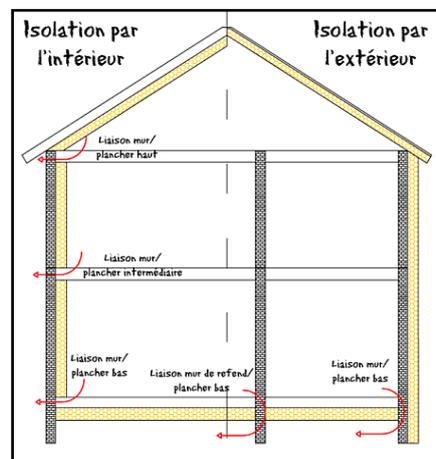


Figure II.19: Ponts thermiques entre les murs et les planchers.

Source : <https://conseils-thermiques.org/contenu/pont-thermique.php>

Conclusion

La notion du confort aujourd'hui constitue un large champ de recherche vu son importance.

C'est une notion subjective et complexe qui est influencée par différents paramètres. Il est difficile de fournir une définition précise, mais de manière générale, il s'agit de l'état de satisfaction ressenti par les occupants d'un espace vis-à-vis de l'ambiance thermique qui les entoure.

Le manque de confort dans l'espace habitable influe négativement sur la productivité de l'utilisateur et engendre une exploitation des équipements de chauffage et de climatisation afin d'arriver à un confort thermique désiré, ce qui influe négativement sur la performance énergétique du bâtiment. Dans ce chapitre nous avons étudié la notion de confort en général et plus particulièrement le confort thermique, ses dimensions, ses paramètres et ses indices. Nous avons également vu les différentes méthodes d'évaluation du confort thermique, ces méthodes pourront nous servir comme outils d'évaluation afin d'arriver à un confort thermique optimal.

DEUXIEME PARTIE : PRATIQUE

Chapitre III. État de l'art et positionnement épistémologique.

Introduction

Ce chapitre est considéré comme étant une liaison entre la partie théorique et la partie pratique. Son objectif est de réaliser un état de l'art sur les recherches accomplies dans le domaine des performances et d'optimisation énergétique dans le bâtiment à travers son enveloppe, afin d'améliorer le confort thermique et l'efficacité énergétique. Ensuite, déterminer un positionnement épistémologique de cette recherche par rapport au point de vue conceptuel et méthodologique ou pratique. Le concept d'optimisation énergétique est le sujet d'actualité dans tous les domaines, en particulier le domaine de construction qui s'est avéré le plus énergivore. Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques études menées par des chercheurs et des spécialistes du domaine, afin d'acquérir de leurs expériences une méthodologie qui convient le mieux à notre sujet de recherche.

Ce positionnement se base sur une approche pragmatique, cette approche cherche à trouver des solutions pratiques en s'appuyant sur les connaissances théoriques et les observations empiriques.

III.1. État de l'art sur l'optimisation de l'énergie à travers l'enveloppe architecturale

L'enveloppe architecturale est l'élément le plus important dans une construction, c'est la première barrière contre les variations climatiques. La qualité énergétique du bâtiment dépend de la qualité de l'enveloppe, pour cette raison le choix des éléments composants l'enveloppe doit être très délicat. L'enveloppe architecturale se compose de deux types de parois, parois opaques et parois transparentes. Selon Heiselberg (2009) le confort thermique est affecté directement par les caractéristiques de conception de l'enveloppe architecturale.

Aujourd'hui la réconciliation entre l'homme et son environnement a connu un grand développement, notamment dans le domaine du bâtiment, la pratique architecturale n'est plus comme avant, elle se veut plus respectueuse de l'environnement..³⁹

Créer une harmonie entre la construction, le confort des usagers et l'environnement est incontournable. Pour atteindre cette harmonie, il faut réduire les consommations énergétiques et penser des conceptions plus efficaces tout en assurant le confort des usagers.

³⁹ LATRECHE. S, Étude et amélioration des performances climatiques de l'enveloppe architecturale en milieux chauds et arides. Cas de l'architecture domestique autoproduite à Biskra.

L'enveloppe joue un rôle fondamental dans les échanges thermiques, c'est l'élément séparatif entre l'intérieur et l'extérieur, c'est à travers l'enveloppe qu'on peut contrôler les pertes et les gains de chaleurs. Selon (Amraoui, 2021), Selon l'initiative des Nations unies pour la construction durable, il est possible de réduire la consommation d'énergie de 50% dans les bâtiments neufs et existants. Une étude réalisée par Harvey (2009) a également confirmé que des mesures telles que l'amélioration de l'enveloppe et des systèmes du bâtiment pourraient entraîner des économies d'énergie allant de 50 à 75%, sans augmenter les coûts de construction par rapport aux solutions de conception conventionnelles.⁴⁰

Le confort thermique d'un bâtiment dépend principalement de la qualité de son enveloppe, plusieurs recherches nationales et internationales ont été faites sur le sujet de l'amélioration de la qualité énergétique du bâtiment à travers son enveloppe.

L'enveloppe architecturale d'un bâtiment, comprenant notamment les murs, les fenêtres, le toit et le plancher, jouent un rôle fondamental dans l'efficacité énergétique globale. Notre étude se concentre sur cette dimension, visant à développer des stratégies et des solutions pour optimiser l'utilisation de l'énergie à travers l'enveloppe architecturale.

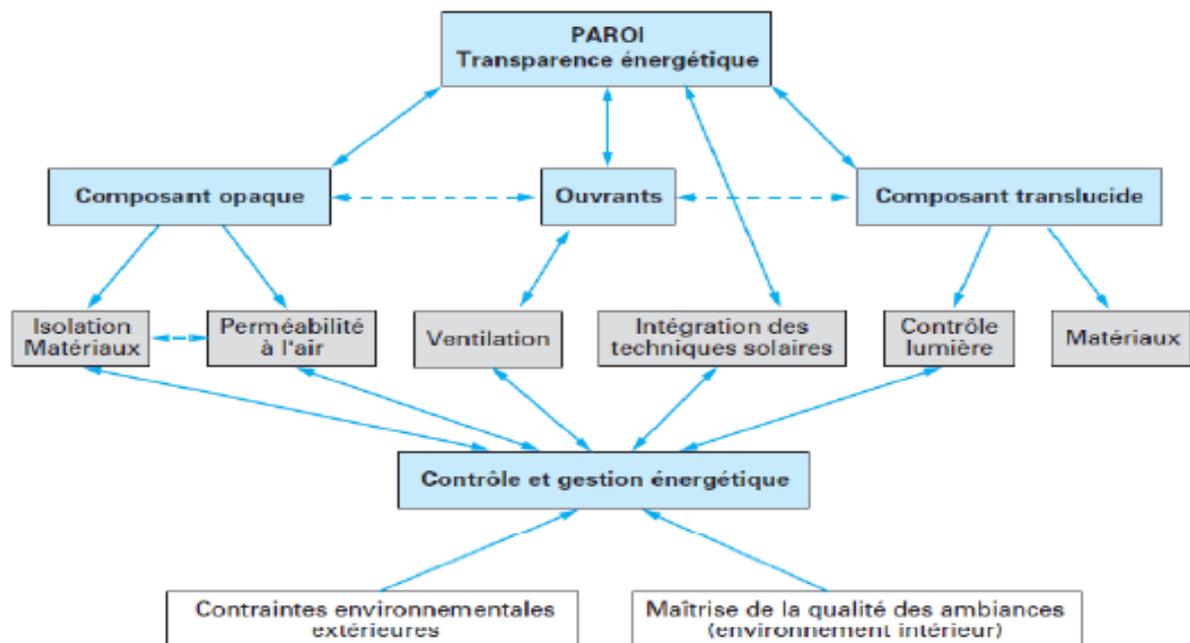


Figure III.1: Composants et fonctions de l'enveloppe du point de vue de la performance énergétique.

Source : KADRAOUI Hichem, 2019.

⁴⁰(Zhang et al, 2020 ; Frang et al, 2014 ; Amraoui, 2021).

III.2. Les recherches antérieures

Un aperçu sur les études antérieures est très important, car ces travaux vont enrichir notre étude que ce soit avec leurs résultats, leurs méthodes de recherche ou leurs approches.

Selon (Rais et al, 2019), un tiers des dépenses énergétiques mondiales sont dédiées au secteur de l'habitat.⁴¹ L'optimisation de l'énergie dans le domaine des bâtiments est devenue incontournable. Elle minimise les dépenses énergétiques, réduit l'impact environnemental, préserve les ressources naturelles, réduit les coûts énergétiques et améliore le confort des occupants. Une multitude de travaux au niveau national et international ont été menés à travers le monde entier, vu l'importance de ce sujet de recherche. L'objectif est d'effectuer une synthèse sur les travaux réalisés sur l'amélioration de la performance énergétique. Dans ce qui suit, nous allons citer quelques travaux réalisés dans différentes zones climatiques.

III.2.1 Études antérieures nationales

III.2.1.1. Étude de KADRAOUI Hichem, 2019.

Objectif

Réaliser une étude sur les performances énergétiques d'un bâtiment, en prenant en considération les propriétés thermo physiques de l'enveloppe, ainsi que le régime climatique de chaque site.

- **Méthodologie**

L'Algérie se caractérise par la diversité de ses différentes zones territoriales, dans son étude (H.KADRAOUI), trouve qu'avant d'entamer une conception architecturale, il est nécessaire de faire un diagnostic géoclimatique, l'objectif de ce diagnostic est de situer les stratégies et les grandes lignes directrices des réponses architecturales et techniques passives convenables pour chaque localité territoriale.⁴²

41 Rais, M., Boumerzoug, A., Halada, M., Baranyai, B. (2019). Optimizing the coolingenergyconsumption by the passive traditionalfacadestrategies in hot dry climate. PollackPeriodica, 14 : 177–188.

42 K. Labben, Proposition d'un modèle de Processus amont dédié a la conceptionarchitecturale climatique basé sur une assistance pars des outils pratique simplifié, Thèse de Doctorat en cotutelle université de Tunis Elmanar et Aix Marseille 2014.

Il existe une grande différence climatique entre le nord et le reste du pays, climat méditerranéen, climat aride ou semi-aride. Chaque zone a des spécificités climatiques propres à elle.

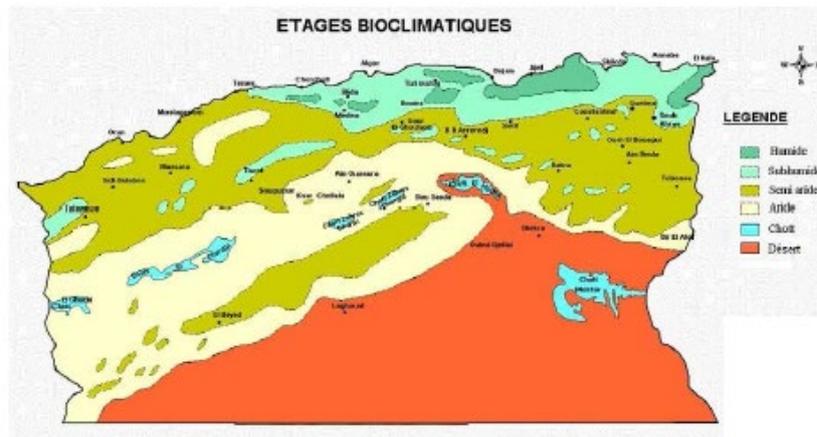


Figure III.2 : Zones bioclimatiques de l'Algérie.
Source : KADRAOUI, 2019 ; D. Nedjraoui, et al, 2008.

Pour réaliser une architecture environnementale efficace, les connaissances géoclimatiques sont fondamentales, la conception diffère d'une zone climatique à une autre.

Le chercheur dans sa démarche, cherche à évaluer les besoins en chauffage et en climatisation d'une construction multizone à des régimes radiatifs différents afin d'optimiser la conception de son enveloppe.

La partie pratique de cette étude, propose d'évaluer les performances énergétiques d'un bâtiment multizone en fonction de deux paramètres : les propriétés **thermo physiques** de son enveloppe et **la zone climatique**.

Trois wilayas ont été prises comme contexte d'étude dans de différentes zones climatiques (Alger, Tlemcen et Ghardaïa).Également une conception à une efficacité thermique réduite a été sélectionnée pour cette étude. (FigureIII.3).

La première étape consiste à faire un diagnostic correct de la performance énergétique. Ensuite, localiser les trois zones sur METEONORM afin d'avoir les fichiers climatiques, (Figure III.4). Enfin, grâce à une méthode de génération de fichiers climatiques, des variations de la température ambiante extérieure et de l'humidité relative ont été obtenues durant toute une année. (FiguresIII.5, III.6 et III.7).

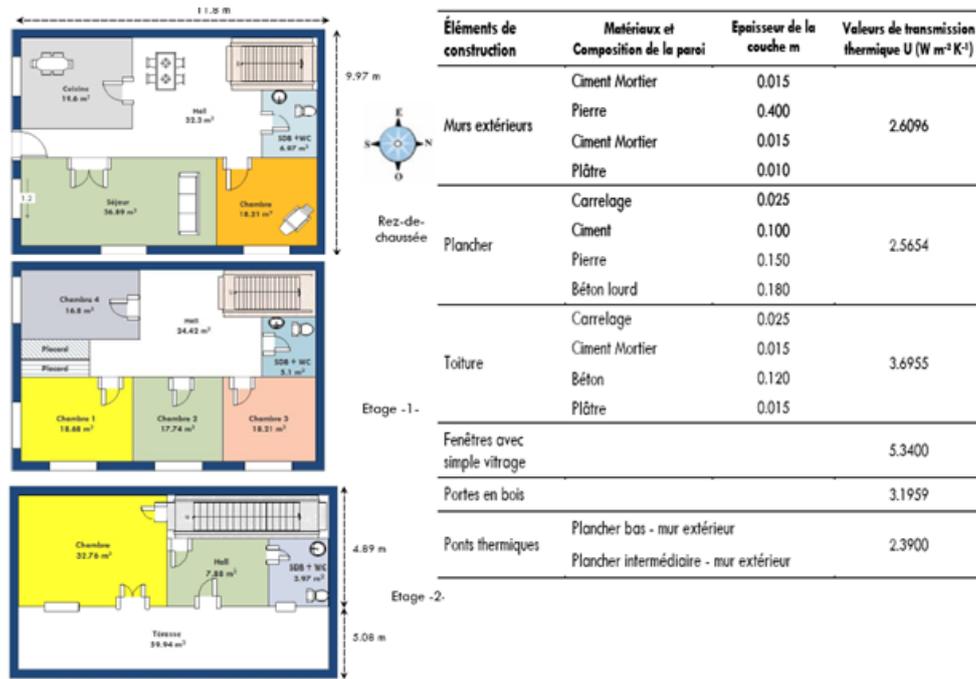


Figure III.3: maison en question avec ses propriétés thermo physiques
Source : KADRAOUI.H, adapté par l'auteur.

Sites	Zones	Altitude	Longitude
Alger	Zone A	36° 47' 24" Nord	3° 1' 4" Est
Tlemcen	Zone B	34° 52' 41" Nord	1° 18' 53" Ouest
Ghardaïa	Zone D	32° 29' 27" Nord	3° 40' 24" Est

Figure III.4: Coordonnées géographiques des trois sites.
Source : KADRAOUI.H, 2019

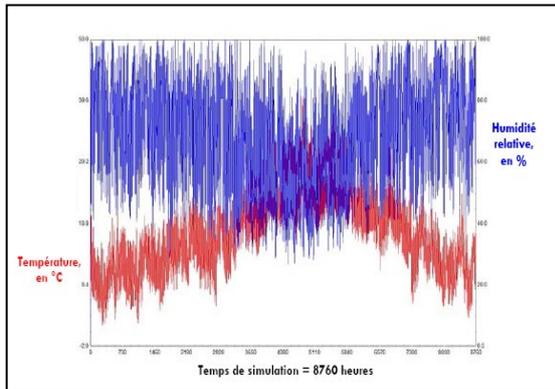


Figure III.5: Température, humidité (Tlemcen).
Source : KADRAOUI.H, 2019

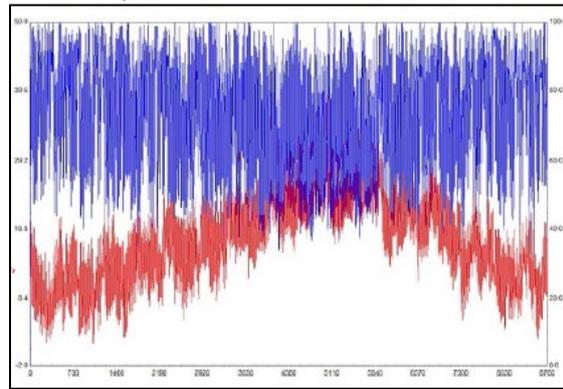


Figure III.6: Température, humidité (Alger)
Source : KADRAOUI.H, 2019

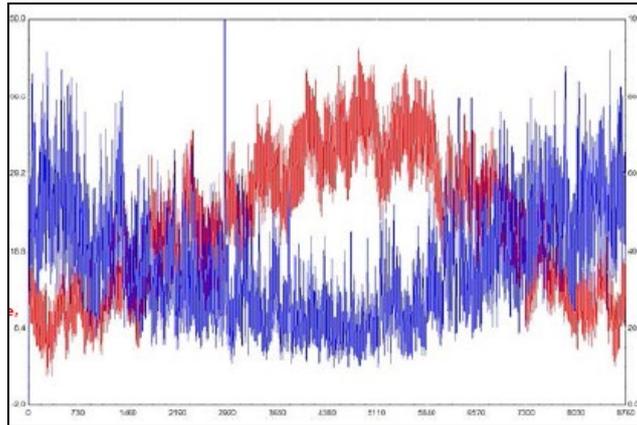


Figure III.7 : Température, humidité, Ghardaia.
Source : KADRAOUI.H, 2019.

La deuxième étape consiste à calculer les besoins énergétiques dus à l'enveloppe, en appliquant la formule suivante :

$$Q_{\text{enveloppe}} = 24 DP_{\text{enveloppe}} D_j$$

DP : Somme des déperditions thermiques dues aux murs, fenêtres, portes, plafonds, ponts thermiques, sol et à la ventilation. (Chaque composant de l'enveloppe est calculé individuellement).

D_j : Nombre de degrés-jours de chauffage et refroidissement. (On prend le nombre de degrés-jours dans la saison de chauffage et la saison de refroidissement)

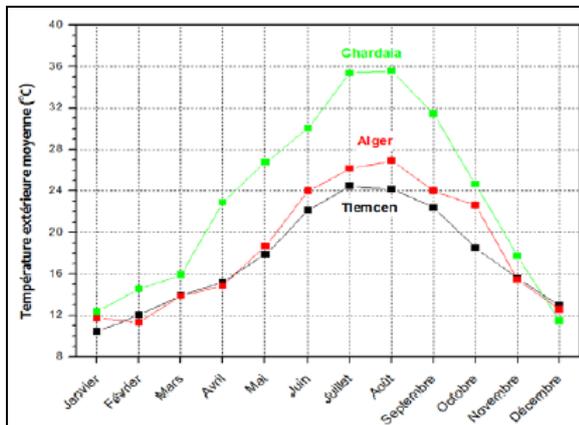


Figure III.8 : Variations de température extérieure.
Source : KADRAOUI.H, 2019

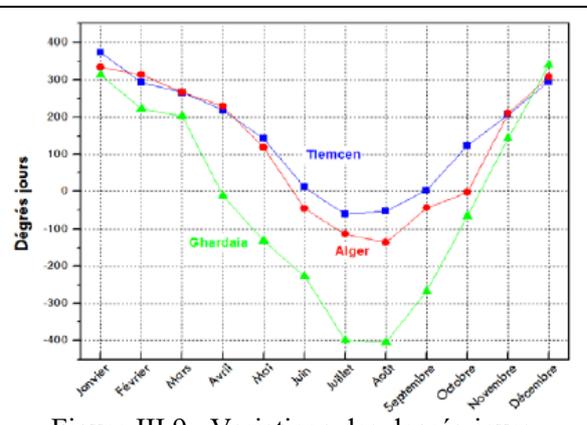


Figure III.9 : Variations des degrés-jours.
Source : KADRAOUI.H, 2019

Le nombre de degrés-jours de chauffage est plus important dans les deux régions (Alger et Tlemcen) ce qui implique des besoins en chauffage plus importants. Pour le cas de Ghardaia, les besoins en climatisation sont plus importants vu le nombre de degrés-jours de refroidissement très élevé.

Tableau III.1 : Besoin énergétique dû à l'enveloppe, cas de Tlemcen.
Source : Kadraoui. H, 2019.

Mois	Température moyenne extérieure En °C	Nombre de degré jour Dj	Sans échange d'air				Avec échange d'air (ventilation naturelle)			
			Besoins en kWh	Factures (DZD)		Subvention de l'état En %	Besoins en kWh	Factures (DZD)		Subvention de l'état En %
				Réelle	CREG			Réelle	CREG	
Janvier	10.43	+ 374.17	11338.96	119512.64	185 342.76	37.90	13209.51	139228.23	215 762.98	37.85
Février	12.01	+ 293.72	8900.98	93816.33			10352.29	109113.14		
Mars	13.90	+ 266.6	8079.13	85154.03			9376.28	98825.99		
Avril	15.20	+ 219	6636.64	69950.18	73 394.49	38.50	7689.58	81048.17	85 097.82	38.36
Mai	17.89	+ 142.91	4330.79	45646.53			4996.62	52664.37		
Juin	22.11	+ 11.7	354.56	3737.06			411.66	4338.90		
Juillet	24.46	- 60.76	1841.29	19407.20	21 477.63	40.73	2137.82	22532.62	25 883.99	40.20
Août	24.19	- 52.39	1587.64	16733.72			1842.75	19422.58		
Septembre	22.38	+ 3.6	09.09	95.81			126.33	1331.52		
Octobre	18.50	+ 124	3757.73	39606.47	124 217.92	38.10	4329.51	45633.03	144 120.55	38.02
Novembre	15.56	+ 208.2	6309.36	66500.65			7306.82	77013.88		
Décembre	12.95	+ 296.05	8971.59	94560.56			10423.54	109864.11		
Année	17.46		62117.76	654721.19	404432.80	38.23	72202.71	761016.56	470865.34	38.13

Tableau III.2 : Besoin énergétique dû à l'enveloppe, cas d'Alger.
Source :Kadraoui.H, 2019.

Mois	Température moyenne extérieure En °C	Nombre de degré jour Dj	Sans échange d'air				Avec échange d'air (ventilation naturelle)			
			Besoins en kWh	Factures (DZD)		Subvention de l'état En %	Besoins en kWh	Factures (DZD)		Subvention de l'état En %
				Réelle	CREG			Réelle	CREG	
Janvier	11.72	+ 334.18	10127.09	106739.53	181 479.37	37.89	11781.93	124181.54	211 188.35	37.84
Février	11.32	+ 313.04	9486.46	99987.29			11041.27	116374.99		
Mars	13.87	+ 267.53	8107.31	85451.05			9409.30	99174.02		
Avril	14.85	+ 229.5	6954.84	73304.01	77 395.84	38.38	8061.94	84972.85	89 718.12	38.26
Mai	18.67	+ 118.73	3598.03	37923.24			4143.51	43672.59		
Juin	24.00	- 45	1363.69	14373.29			1582.44	16678.92		
Juillet	26.15	- 113.15	3428.93	36140.92	57 519.30	38.67	3988.70	42040.90	67 082.39	38.52
Août	26.90	- 136.4	4133.50	43567.09			4812.09	50719.43		
Septembre	23.97	+ 44.1	1336.42	14085.87			1550.74	16344.80		
Octobre	22.60	- 3.1	93.94	990.13	103 304.37	38.16	108.81	1146.86	120 078.66	38.07
Novembre	15.45	+ 211.5	6409.36	67554.65			7423.75	78246.32		
Décembre	12.55	+ 308.45	9347.36	98521.17			10865.01	114517.20		
Année	18.50		64386.93	678638.24	419698.88	38.15	74769.49	788070.42	488067.52	38.07

Tableau III.3 : Besoin énergétique dû à l'enveloppe, cas de Ghardaïa.
Source : Kadraoui. H, 2019.

Mois	Température moyenne extérieure En °C	Nombre de degré jour Dj	Sans échange d'air				Avec échange d'air (ventilation naturelle)			
			Besoins en kWh	Factures (DZD)		Subvention de l'état En %	Besoins en kWh	Factures (DZD)		Subvention de l'état En %
				Réelle	CREG			Réelle	CREG	
Janvier	12.37	+ 314.03	9516.46	100303.49	146 903.57	37.97	11063.75	116611.92	170 626.21	37.91
Février	14.54	+ 222.88	6754.22	71189.48			7832.50	82554.55		
Mars	15.90	+ 204.6	6200.26	65350.74			7177.04	75646.00		
Avril	22.87	- 11.1	336.37	3545.34	72 508.47	38.44	389.78	4108.28	84 731.93	38.31
Mai	26.75	- 131.75	3992.59	42081.90			4647.31	48982.65		
Juin	30.03	- 225.9	6845.74	72154.10			7993.98	84256.55		
Juillet	35.40	- 399.9	12118.69	127730.99	212 993.03	37.83	14216.82	149845.28	250 513.60	37.78
Août	35.57	- 405.17	12278.40	129414.34			14406.12	151840.50		
Septembre	31.42	- 267.6	8109.43	85473.39			9580.48	100978.26		
Octobre	24.64	- 66.34	2010.38	21189.40	109 073.53	38.13	2334.64	24607.11	126 796.80	38.05
Novembre	17.70	+ 144	4363.82	45994.66			5036.63	53086.08		
Décembre	11.48	+ 341.62	10352.56	109115.98			12047.35	126979.07		
Année	23.22		82878.92	873543.82	541478.60	38.01	96726.40	1019496.26	632668.54	37.94

Ces résultats montrent les valeurs mensuelles et annuelles de l'énergie requise pour maintenir une température intérieure de 23°C. Les résultats diffèrent d'une région climatique à une

autre. Ces résultats montrent aussi l'importance de la ventilation naturelle dans la réduction des besoins thermiques.

• **Résultat**

Des stratégies d'économie d'énergies s'intéressant à toutes les zones climatiques d'Algérie ont été proposées. Ces stratégies doivent inclure l'enveloppe thermique et l'efficacité des éléments consommateurs d'énergie.

Il a proposé de remplacer la charge électrique par l'électricité renouvelable (système photovoltaïque). Et puisque les pertes thermiques sont majoritaires et dominantes, il a proposé donc une étude sur l'isolation thermique. Dans ce qui suit les résultats obtenus.

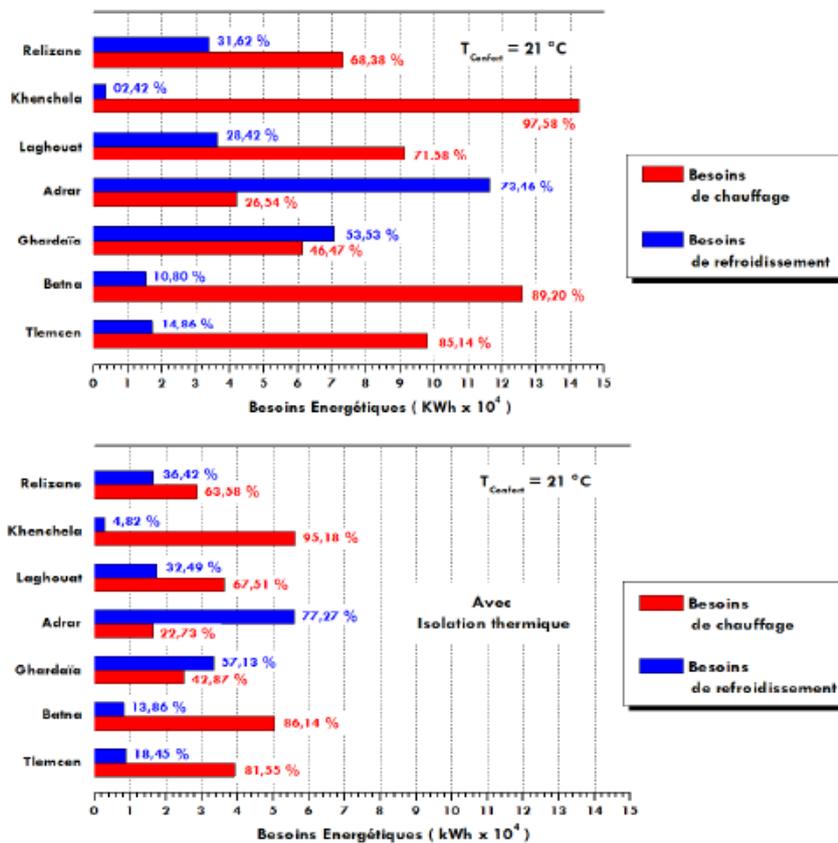


Figure III.10 : Les besoins énergétiques sans et avec isolation thermique.

Source : Kadraoui, H, 2019.

L'enveloppe du bâtiment est responsable des principales sources des déperditions et des charges les plus importantes qui affectent l'utilisation de l'énergie de chauffage et de refroidissement.

Assurer une isolation thermique efficace est très important pour avoir une enveloppe performante et un bâtiment efficace.

III.2.1.2. Étude d'AMRAOUI Khaoula, 2021.

Objectif

Le problème de confort thermique s'impose en particulier dans un climat chaud et aride. Afin d'assurer le confort thermique, il faut agir sur les caractéristiques de l'enveloppe architecturale. Dans son étude AMRAOUI.K(2021) vise à atteindre un confort thermique acceptable pour les occupants. Elle vise aussi à définir les caractéristiques architecturales d'un bâtiment qui peuvent être utilisées pour l'amélioration de leur adaptabilité climatique dans un climat chaud et aride, ainsi qu'élaborer des recommandations qui peuvent être utilisées dans la conception tout en assurant un confort thermique relatif à un climat chaud et aride.

- **Méthodologie**

Sa méthodologie consiste en une évaluation qualitative, qui vise à identifier et à évaluer les stratégies de refroidissement passif utilisé dans les bâtiments composants le corpus d'étude (des bâtiments, dans un climat désertique) et une autre quantitative qui est la prise des mesures in situ ensuite une simulation numérique à l'aide du logiciel design Builder.

Dans son étude AMRAOUI.K, (2021), a choisi deux types de bâtiments, le premier type illustre la pratique architecturale courante négligeant les facteurs climatiques, le deuxième type illustre une conception qui prend en considération son contexte⁴³. Elle a d'abord réalisé une étude empirique où elle a évalué les deux cas d'études qualitativement en étudiant leurs adaptabilités climatiques afin d'évaluer la performance thermique de leurs enveloppes. Ensuite une évaluation quantitative durant la semaine représentative, où elle a pris en considération, comme paramètres de confort thermique, la température de l'air, la température surfacique, la vitesse de l'air et l'humidité relative. La prise de mesure a été effectuée entre le 31 juillet et le 06 aout (design week). Et puisque c'est une étude comparative donc les conditions étaient identiques pour les deux bâtiments.

⁴³AMRAOUI Khaoula, 2021. Pour une optimisation des potentialités environnementales de l'enveloppe architecturale dans le contexte des zones chaudes et arides Cas des bâtiments résidentiels.

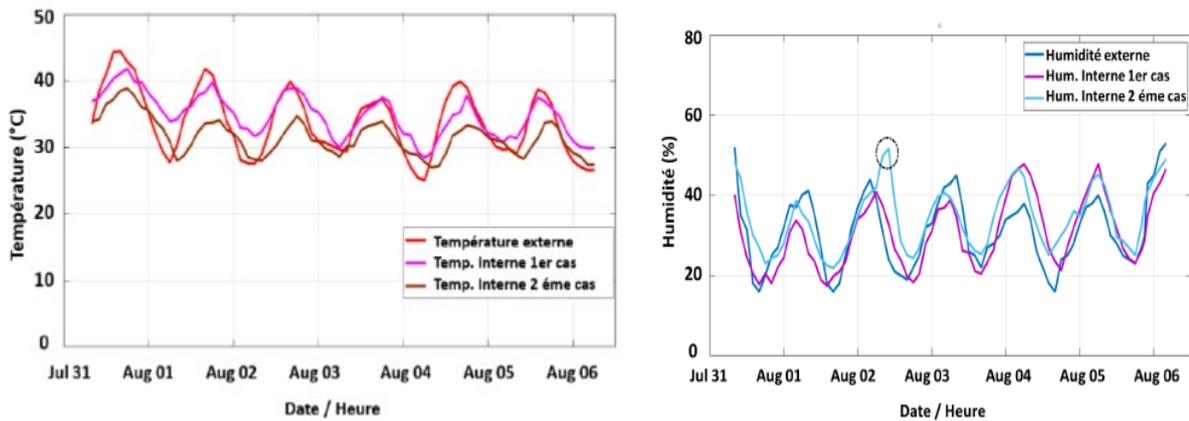


Figure III.11 : Températures internes et externes, humidité relative mesurée pour les deux bâtiments.

Source : K. AMRAOUI, 2021.

Cette étude empirique a été suivie d'une simulation avec le logiciel Design Builder qui a démontré que L'architecture néo-vernaculaire présente une meilleure adaptation aux conditions climatiques spécifiques d'une région donnée et offre un meilleur confort thermique.

- **Résultat**

L'amélioration de la performance à travers l'enveloppe architecturale est considérable, car elle a réussi à diminuer la température intérieure jusqu'à 36.1°C sachant que la température extérieure est de 45.5°C.

Cette étude a mis en évidence les solutions bioclimatiques offertes par l'architecture vernaculaire.

III.2.1.3. Étude de N. Benradouane et B. Benyoucef, 2006.

L'Algérie bénéficie d'un gisement solaire très important, une réflexion à une maison solaire autonome s'impose. Leur travail consiste en une conception et adaptation d'une maison solaire au site de Tlemcen.

La démarche conceptuelle proposée se compose de deux étapes : une estimation énergétique du site et un travail sur l'enveloppe qui a pour but la réduction des besoins en adoptant des mesures conservatoires et bénéficier au maximum des apports solaires.

L'étude théorique se base principalement sur l'inertie thermique et les matériaux de construction.

Dans cette étude, N.BENRADOUANE et B.BENYOUCEF, ont pris comme cas d'étude une maison d'une surface S de 120 m² et d'un volume V (120.³) de 360 m³ Après avoir effectué

une série de calculs sur le dimensionnement de la maison, les façades (sud, est, et ouest), et le toit. Ensuite un bilan énergétique de la maison a été fait en choisissant l'orientation plein sud et un dimensionnement précis pour les ouvertures avec (double vitrage).

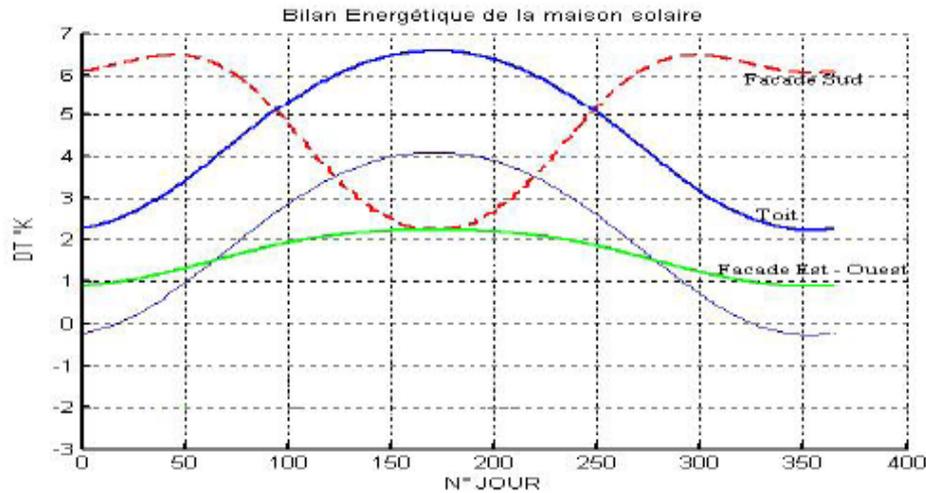


Figure III.12 : Bilan énergétique de la maison.
Source : N. Benradouane et al.2006.

• **Résultat**

Un bilan énergétique efficace. Les résultats ont démontré d'une part l'importance de l'orientation et le choix du vitrage d'une autre part le rôle du dimensionnement dans l'optimisation des performances énergétiques. Pour le toit il serait judicieux d'employer le système d'étanchéité.

Performances thermiques d'une maison solaire

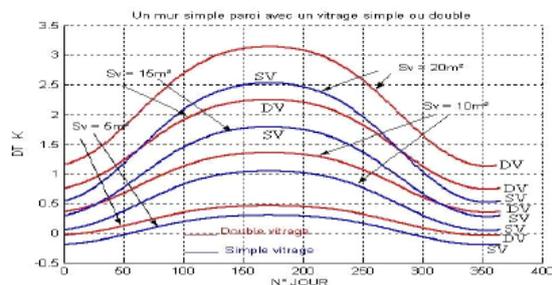


Fig. 4: Différence de température à l'intérieur de la maison (simple et double vitrage)

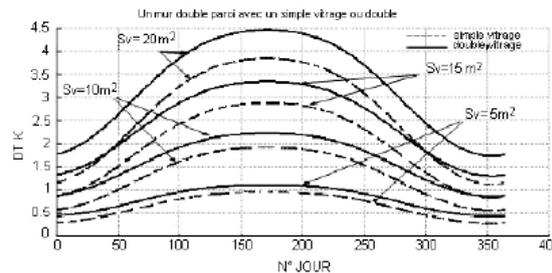


Fig. 5: Différence de température à l'intérieur de la maison (simple et double vitrage)

Figure III.13 : différence de température simple et double vitrage (mur simple et mur double).
Source : N. Benradouane et al.2006.

III.2.1.4. Étude de N. Fezzioui1, B. Draoui1, M. Benyamine et S. Larbi, 2008.

- **Objectif**

L'objectif de cette étude consiste à trouver des moyens assurant le confort thermique et une consommation énergétique réduite à travers l'enveloppe architecturale du bâtiment.

- **Méthodologie**

Pour bien mener cette recherche, N. FEZZIOUIL et al, ont réalisé une étude quantitative des performances thermiques et énergétiques du bâtiment de référence qui a été choisi avec précision. Ensuite c'est la simulation numérique avec le logiciel TRNSYS. Cette simulation a été réalisée pour la saison chaude (mai – septembre).

L'étude a été réalisée sur une construction typique très répandue dans la région. C'est une maison structure multizone de 121.5m². Les murs extérieurs sont à doubles parois en parpaing creux de 10cm, une lame d'air de 2.5 cm avec enduit et plâtre pour la surface intérieure, enduit et mortier à la surface extérieure. Ensuite N.FEZZIOUIL et al ont supposé une stratégie d'occupation des personnes (dans ce cas 6 personnes), le nombre d'appareils électroménagers et les heures d'utilisation, le renouvellement d'air (ils ont supposé que les fenêtres s'ouvrent les matins et après 18h), et ils ont considéré que les climatiseurs sont utilisés à une température de 26°C.

Les paramètres étudiés dans cette recherche sont : La composition des parois, et la surface des fenêtres pour deux stations au Sud une à Béchar et une autre à Tamanrasset.

- **Résultat**

La comparaison entre les paramètres étudiés a démontré que l'isolation de la toiture donne un meilleur résultat.

Toiture :

Un faux plafond en plâtre avec lame d'air a permis une réduction de consommation énergétique de 21.55%.

Un faux plafond en bois avec lame d'air a permis une réduction de consommation énergétique de 20.31%.

L'utilisation de polystyrène avec une épaisseur de 5 cm a donné une réduction de 23%

Parois :

L'isolation des parois a permis une réduction de la consommation de 2.5% à 3 %.

Les valeurs de l'isolation de la toiture ont donné un meilleur résultat que l'isolation des parois. Ceci est expliqué par le taux de l'irradiation totale sur le plan horizontal.

L'orientation aussi a joué un rôle très important.

Pour conclure, l'étude montre que le choix de l'enveloppe est crucial pour la réduction des consommations énergétiques et des coûts.

III.2.1.5. Étude Khechiba, A ; Djaghrouri, D ; Benabbas, M ; Leccese, F ; Rocca, M et Salvadori, G, 2023.

Objectif

L'objectif de cette recherche est d'étudier la manière d'introduire des stratégies de rénovation qui peuvent améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie dans les habitations de Ouargla.

- **Méthodologie**

Ce travail de recherche se repose sur trois étapes principales, modélisation, simulation et évaluation.

La première étape consiste d'abord à définir les typologies de bâtiments à étudier dans ce cas c'est une maison traditionnelle et une autre moderne situées au nord-ouest de la ville de Ouargla, ensuite réaliser une enquête sur terrain, finalement la création du modèle sur TRNSYS pour vérifier la fiabilité des mesures et du logiciel.

La deuxième étape c'est la simulation en utilisant six stratégies passives

1. Réduction de la transmission thermique des murs et du toit et changement du type de vitrage (double vitrage).
2. Réduction de la transmission thermique des murs et du toit et changement du type de vitrage (triple vitrage).
3. Réduction de la transmission thermique des murs et du toit et augmentation des dimensions des fenêtres.
4. Réduction de la transmission thermique des murs et du toit et utilisations des protections solaires.

5. Réduction de la transmission thermique des murs et du toit et augmentation de la capacité thermique des murs extérieurs, en utilisant des techniques de construction ancienne (matériaux locaux et épais).

6. éducation de la transmission thermique des murs et du toit et changement de l'orientation du salon.

La troisième étape consiste en une comparaison entre ces stratégies en évaluant les indices de confort thermique et de consommation énergétique.

- **Résultat**

La cinquième stratégie, qui est basée sur la réduction de la transmission thermique des murs et du toit, et augmentation de la capacité thermique des murs extérieurs, en utilisant des techniques de construction ancienne (matériaux locaux et épais) qui a donné le meilleur résultat vis-à-vis du nombre d'heures de confort thermique et la réduction de la consommation énergétique tout au long de l'année.

C'est la solution la plus efficace, l'isolation des murs et du toit a permis la réduction de leur coefficient de transmission thermique.

La consommation énergétique a été réduite d'environ 23%, et les heures de confort ont augmenté d'une manière significative.

III.2.2 Études antérieures internationales

III.2.2.1. Étude de Issam SOBHY, Abderahim BRAKEZ, Brahim BENHAMOU, 2014.

- **Objectif**

Consiste à étudier l'effet de l'isolation des murs et des toits sur la charge de refroidissement d'une maison située à Marrakech, caractérisée par un hiver froid et un été très chaud.

- **Méthodologie**

L'étude a été réalisée sur un type de villa avec deux façades est et ouest, d'une surface de 70m².

Tableau III.4: Propriétés thermophysiques de l'enveloppe de la villa (Marrakech).
Source : I. SOBHY et al, 2014

Matériaux	Mortier de ciment	Brique rouge en terre cuite	Lame d'air	Brique rouge en terre cuite	Mortier de ciment
Épaisseur (cm)	1,5	10	5	10	1,5
Capacité thermique (kJ/kg K)	1	0,878	1,007	0,878	1
Conductivité thermique (W/m K)	1,15	1,15	0,026	1,15	1,15
Masse volumique (kg/m ³)	1700	1800	1,204	1800	1700

Tableau 2 : Les couches et propriétés thermo physique des murs extérieurs (Sud et Nord)

Matériaux	Mortier de ciment	Parpaing	Mortier de ciment
Épaisseur (cm)	2	20	2
Capacité thermique (kJ/kg K)	1	0,65	1
Conductivité thermique (W/m K)	1,15	0,963	1,15
Masse volumique (Kg/m ³)	1700	1300	1700

Tableau 3 : Les couches et propriétés thermo physique du toit

Matériaux	Enduit plâtre	Hourdis	Béton	Mortier	Carrelage
Épaisseur (cm)	1	16	4	10	1
Capacité thermique (kJ/kg K)	1	0,65	0,653	1	0,70
Conductivité thermique (W/m K)	0,351	1,23	1,75	1,15	1,75
Masse volumique (kg/m ³)	1500	1300	2100	1700	2300

Ensuite une simulation numérique de la villa avec le logiciel TRNSYS. Dans cette étude :

- Les ponts thermiques ne sont pas pris en considération.
- La température de sol est 29.77°C.
- Humidité relative 50% et température 20°C.
- La villa est considérée comme inhabitée.

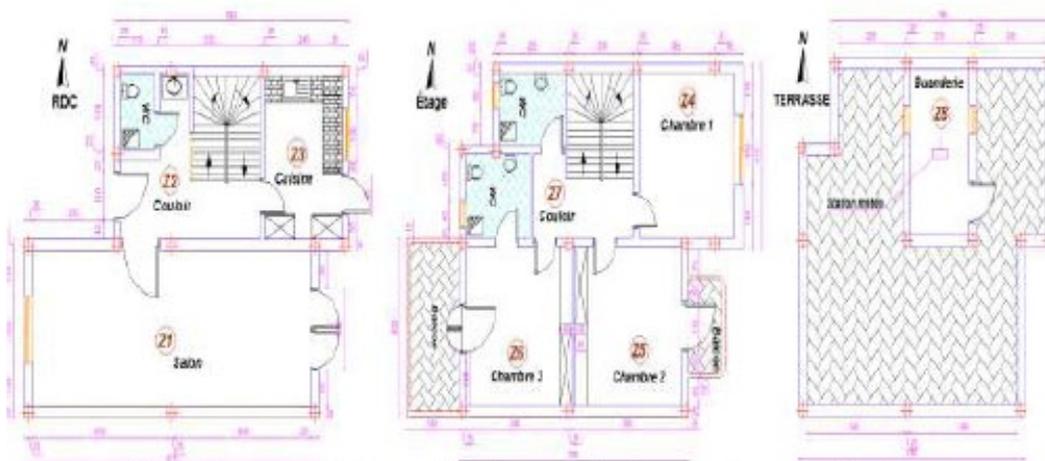


Figure III.14: Plan de la villa avec découpage de zone thermique.

Source : I. SOBHY et al, 2014.

Plusieurs essais d'amélioration ont été faits, pour les murs (lame d'air de 5 cm), pour le toit (6 cm de polystyrène) :

- #1 : cas réel isolation des murs, sans isolation du toit.
- #2 : sans aucune isolation (ni murs ni toit).
- #3 : sans isolation des murs, avec une isolation du toit.
- #4 : isolation des murs et du toit.

- **Résultats**

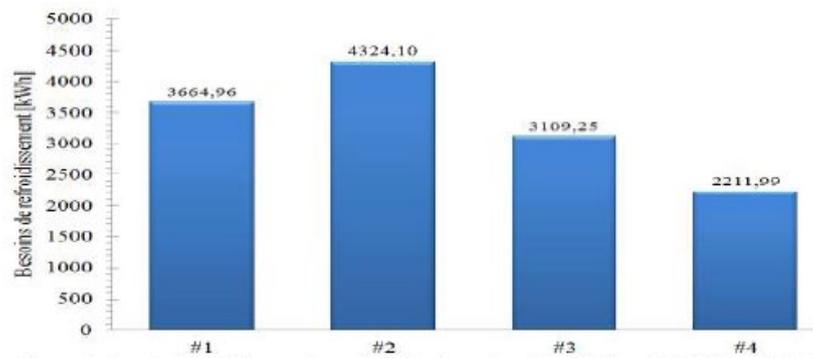


Figure III.15 : Réduction des besoins en refroidissement.

Source : I. SOBHY et al, 2014.

Cette étude a démontré que l'isolation au niveau de la toiture est indispensable pour le climat de Marrakech (semi-aride), cette isolation a permis une réduction de 40% des besoins en refroidissement. En revanche l'isolation des murs a réduit les besoins à uniquement 15%.

III.2.2.2. Étude de Didier GOSSARD, Mathieu BONTE, Bérangère LARTIGUE, Françoise THELLIER, 2012.

- **Objectif**

L'objectif de cette recherche est d'optimiser la paroi opaque verticale extérieure d'un bâtiment, pour le rendre performant du point de vue énergétique. Le travail consiste à chercher les propriétés thermophysiques équivalentes du mur extérieur, à savoir la conductivité thermique et la chaleur spécifique volumique, pour maximiser la performance énergétique.

- **Méthodologie**

La méthodologie consiste en un couplage entre un réseau de neurones artificiels et un algorithme génétique. Cette méthode est appliquée à une maison individuelle pour deux climats (Nancy climat froid et Nice climat chaud), elle permet d'obtenir les propriétés thermophysiques optimales des matériaux de l'enveloppe.

• Résultat

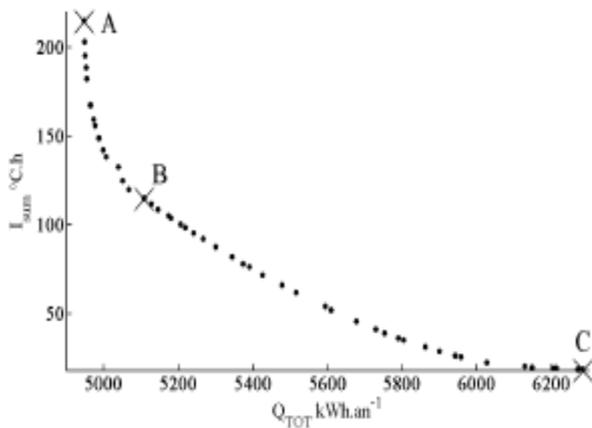


Figure III.16 : I_{sum} en fonction de Q têt (Nancy)

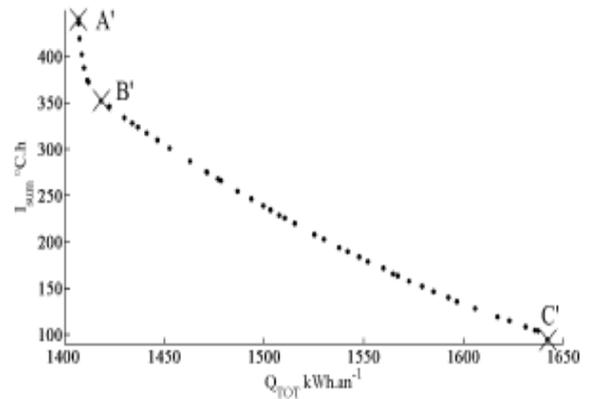


Figure III.17 : I_{sum} en fonction de Q têt (Nice)

Source : Gossard et al, 2012.

Tableau III.5: propriétés thermophysiques au point A, B, C, A', B', C'.

Source : Gossard et al, 2012.

		k	ρc	Q_{TOT}	I_{sum}
		$W.m^{-1}.K^{-1}$	$J.m^{-3}.K^{-1}$	$kWh.an^{-1}$	$°C.h$
Nancy	A	0.05	940.2	4948	215
	B	0.05	1676.6	5039	133
	C	1.75	2000.0	6285	18
Nice	A'	0.05	893.0	1414	440
	B'	0.05	1987.2	1445	346
	C'	1.75	2000.0	1885	95

Cette méthode qui consiste à trouver les propriétés thermo physiques optimales de la paroi extérieure peut minimiser à la fois le Q total et I summer. Elle a donné des solutions optimales, mais qui ne correspondent pas à des matériaux existants. Les valeurs de la conductivité sont beaucoup plus élevées que les valeurs réelles.

III.2.2.3. Étude de :M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias, 2007.

Cette recherche consiste à réaliser :

Une étude expérimentale d'un système de toiture verte installé. Cette étude expérimentale permet principalement de mesurer les principaux paramètres physiques tels que la température de l'air extérieur et intérieur, ainsi que l'humidité relative pendant un certain laps de temps.

Une simulation numérique dans les deux cas d'étude isolé et non isolé.

L'objectif est d'évaluer les performances énergétiques du système de toiture verte en utilisant à la fois les mesures réelles et les simulations.

Les mesures de température extérieure, d'humidité relative et de température intérieure ont permis d'évaluer l'impact du système de toiture verte sur le climat intérieur du bâtiment. Les simulations ont été utilisées pour estimer la consommation d'énergie nécessaire au chauffage et au refroidissement, ainsi que la température intérieure dans chaque zone thermique.⁴⁴

L'étude a démontré que l'installation du système de toit vert a réduit les charges de refroidissement durant la période estivale. Concernant la période hivernale, l'impact de la toiture végétale sur le chauffage est trop faible.

III.3. La démarche méthodologique

*« La notion de méthodologie, en tant qu'ensemble de règles et de démarches adoptées pour conduire une recherche, aussi importantes dans l'histoire de la structuration des disciplines scientifiques, est cruciale ».*⁴⁵

Avoir une méthodologie de recherche solide permet de mener rigoureusement une étude, et avoir des résultats pertinents, elle permet de planifier, de comprendre et de définir les étapes de la recherche, les techniques et les outils qui seront utilisés, elle permet aussi de définir la manière avec laquelle les résultats seront interprétés.

⁴⁴ M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias. Étude et analyse des performances énergétiques et environnementales d'un système expérimental.

⁴⁵ (de Mourat et al. (2015). Méthodologies de recherche et design : un instantané des pratiques de recherche employées au sein d'un réseau de jeunes chercheurs. Robin de Mourat, IoanaOcnareescu, Anne-Lyse Renon, Marine Royer Dans Sciences du DesignSciences du Design 2015/1 (n° 1)2015/1 (n° 1), pages 68 à 75. Éditions Presses Universitaires de FrancePressesUniversi

Il existe plusieurs approches et méthodes d'analyses utilisées par les scientifiques pour l'évaluation de la performance énergétique et du confort thermique. Ces méthodes diffèrent d'une recherche à une autre, il existe des recherches qui se basent sur l'amélioration de la performance énergétique, d'autres sur le perfectionnement des équipements de chauffages et de climatisations. Le choix de la méthode dépend de l'objectif à atteindre.

Dans la littérature mentionnée précédemment, les chercheurs ont utilisé plusieurs méthodes,

- La méthode classique analytique en utilisant les calculs manuels et les propriétés thermo physiques.
- La méthode numérique en utilisant des logiciels de simulations.
- Étude sur terrain avec la prise de mesure in situ et l'enquête.

Il existe beaucoup d'autres méthodes de recherche, comme la méthode descriptive, la méthode exploratoire, la recherche d'observation, la recherche de masse ou d'enquête, la recherche comparative...etc. Il est possible aussi de jumeler deux méthodes ou plus pour des résultats plus pertinents.

III.3.1. La méthode expérimentale

C'est une technique de recherche très utilisée dans le domaine des énergies. Cette méthode se résume en la réalisation d'expériences contrôlées, le chercheur peut tester les hypothèses en modifiant quelques éléments (variables) de l'expérience. Ces hypothèses peuvent être validées ou invalidées. La modification des éléments de l'expérience permet au chercheur de mieux comprendre les phénomènes étudiés.

Cette méthode peut être utilisée soit à l'échelle **réelle** ou à l'échelle **réduite**. Concernant le cas des cellules tests à échelle réelle, les dimensions ainsi que les caractéristiques des éléments analysés doivent être identiques à la réalité et cela pour avoir des résultats efficaces et proches de la réalité. Le seul inconvénient de cette méthode est le coût très élevé des expériences. En revanche, dans l'expérimentation avec des cellules tests à échelle réduite, les modèles ou les maquettes sont réduits. Ces cellules tests sont plus faciles à manipuler et moins coûteuses, l'expérimentation avec ce type de cellule test est effectuée dans des conditions contrôlées.

Tableau III.6: Avantages et inconvénients des cellules tests à échelles réelle et réduite.
Source : Auteur.

<p>Cellules tests à échelle réelle</p>	<p>Avantage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réalisme, les cellules test à échelle réelle reproduisent les mêmes caractéristiques et conditions du cas réel, cela permet d'obtenir des résultats justes et applicables. - Fiabilité et pertinence, les résultats sont très proches de la réalité, car les expériences ont été réalisées dans des conditions réelles. <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le coût : le coût des expériences est très élevé, car l'expérience doit être réalisée dans des conditions réelles. - Le temps : ce type de cellules nécessite beaucoup plus de temps pour assurer des conditions proches de la réalité. - Difficulté de contrôle : la reproduction des caractéristiques et paramètres réels entraîne parfois des erreurs.
<p>Cellules tests à échelle réduite</p>	<p>Avantage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - facilité de contrôle : ce type de cellules permet un meilleur contrôle que celles à l'échelle réelle. - Le coût : les expériences sont moins coûteuses, car elles nécessitent un matériel simple. - La flexibilité : grâce à leur échelle réduite, ce type de cellules nous offre plus de flexibilité pour faire des tests, les répéter sous différentes conditions. <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La limitation : les résultats ne peuvent pas être directement généralisés.

Le choix de types de cellules dépend uniquement de l'objectif de la recherche à mener.

III.3.2. L'étude sur terrain

Sur le terrain, appelée aussi étude empirique, elle se base principalement sur deux types d'évaluation : l'évaluation qualitative et l'évaluation quantitative.

III.3.2.1. Évaluation qualitative

L'évaluation qualitative est subjective, durant cette étape le chercheur essaye de comprendre le phénomène étudié à travers l'observation et la description.

Durant l'évaluation qualitative, il est préférable d'utiliser un questionnaire pour collecter toutes les données qualitatives, comme les opinions, les expériences, les perceptions et les connaissances des participants (savoir-faire).

Cette évaluation nécessite d'abord la distribution des questionnaires aux participants, qui à leur tour, doivent les remplir. Généralement les questions sont directes pour faciliter la compréhension du sujet de recherche aux participants, mais une question ouverte est nécessaire pour permettre au participant de donner son avis et de partager son expérience.

Ensuite c'est l'étape d'analyse des données, en les représentant soit avec des graphes ou diagrammes ou autres manières de présentation. Puis vient l'interprétation de ces résultats.

L'objectif de l'évaluation qualitative est de recueillir le maximum d'information sur le sujet de recherche, à travers les avis et les expériences des participants.

III.3.2.2. Évaluation quantitative

Cette évaluation est objective, elle se base sur une prise de mesure in situ, de quelques paramètres bien définis (température, humidité, vitesse de l'air... etc.). Elle consiste en l'évaluation des données numériques obtenues à partir des mesures effectuées sur le terrain.

La première étape de cette évaluation est la collecte des données à l'aide des instruments de mesure qui doivent être appropriés et qualifiés pour des résultats optimaux. Ensuite, c'est l'analyse des données (résultats), qui peuvent être représentées sous forme de tableaux, graphes ou autres manières. Ce type d'analyse permet l'évaluation des variables mesurées.

Pour obtenir une meilleure compréhension sur le sujet de recherche, il est conseillé de combiner l'analyse quantitative avec l'analyse qualitative. C'est ce qu'on appelle **l'évaluation combinée** ou **approche mixte**.

III.3.2.3. Évaluation combinée

C'est une méthode de recherche objective et subjective en même temps, elle se résume en la collection de données qualitatives et quantitatives, et les analyser ensemble, l'objectif est de tirer des résultats plus solides.

III.3.3. La méthode numérique

C'est la simulation ou la modélisation numérique, utilisée généralement dans les recherches scientifiques et domaine d'ingénierie, pour analyser les données à l'aide de l'outil informatique. Dans le domaine de la thermique du bâtiment, ces simulations évaluent le confort thermique et la performance énergétique. Ces logiciels de simulation prennent en considération plusieurs paramètres tels que, les propriétés des matériaux de construction, les conditions climatiques, le comportement des occupants...etc.

Tableau III.7: Avantages et inconvénients de la simulation numérique.
Source : Auteur

Simulation numérique	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Économiser le temps par rapport aux calculs manuels.- Modéliser des systèmes complexes.- Fiabilité des résultats (à condition que les données d'entrée soient correctes).	<ul style="list-style-type: none">- Cette méthode nécessite des compétences pour manipuler les logiciels de simulation.- Certains logiciels nécessitent des outils informatiques très sophistiqués avec une importante capacité de stockage.

III.3.3.1. La Simulation thermique dynamique (STD)

Ce type de simulation permet l'étude du comportement thermique du bâtiment d'un point de vue passif (sans les équipements).

Cette méthode est utilisée dans le cas de calculs des besoins de chauffage ou de climatisation, une étude d'optimisation énergétique ou impact d'orientation...etc..⁴⁶

III.3.3.2. La Simulation énergétique dynamique (SED)

⁴⁶ <https://www.bmdconsult.fr/simulation-thermique-dynamique-etude-std-sed.php>, consulté le 26/05/2023 à 23h32 min.

Cette simulation complète la STD, elle est considérée comme une continuité de la STD, elle permet l'étude du comportement énergétique en tenant en compte des consommations liées aux systèmes d'émission, gestion et régulation, distribution, stockage et génération, ainsi qu'aux systèmes d'éclairage artificiel et, éventuellement, aux autres équipements présents dans le bâtiment (bureautique, ascenseurs, éclairage de sécurité, extracteurs spécifiques, etc.).⁴⁷

III.4. Positionnement épistémologique

La position de cette thèse par rapport aux recherches antérieures est l'évaluation puis l'optimisation de la performance énergétique à travers l'enveloppe architecturale. En utilisant des solutions passifs au niveau de l'enveloppe. Le contexte d'études se résume en deux maisons individuelles, situées dans un climat méditerranéen humide et pluvieux en hiver, chaud et sec en été.

La présente recherche repose principalement sur une combinaison entre les deux méthodes de recherche, la méthode de l'évaluation qualitative et l'évaluation quantitative.

Nous avons choisi de combiner entre ces deux méthodes vu les avantages qu'elles présentent lorsqu'elles sont utilisées conjointement. L'objectif est d'évaluer puis optimiser les consommations énergétiques, et le phénomène du confort thermique.

III.4.1.L'étude in situ

Nous avons choisi cette méthode, pour avoir une idée initiale sur les consommations énergétiques et l'état du confort thermique dans les maisons composants le corpus d'étude.

Concernant l'évaluation qualitative, nous avons distribué des questionnaires aux habitants des maisons pour avoir une idée réelle sur leurs sensations vis-à-vis du confort thermique et sur les consommations énergétiques des deux maisons.

⁴⁷Marcello CACIOLO et al, Revue pratique des logiciels de simulation énergétique dynamique (SED), paris, 2015.

III.4.2.La simulation

Nous avons choisi cette deuxième méthode vu les avantages qu'elle présente. La simulation va nous permettre d'effectuer une étude détaillée avec des paramètres bien définis au préalable. Ensuite l'optimisation de la consommation énergétique et l'amélioration du confort thermique à travers l'enveloppe en tirant parti des caractéristiques de l'architecture vernaculaire.

Conclusion

Une méthodologie de recherche est essentielle pour mener un travail de recherche d'une manière correcte. Une connaissance des méthodes de recherche utilisées lors des études antérieures dans le domaine de la thermique du bâtiment nous a permis de mieux nous positionner en tant que chercheur.

L'objectif principal de ce chapitre est de connaître la méthodologie qui convient le mieux au sujet de recherche. Il existe plusieurs méthodes d'analyses, nous avons cité les plus utilisées dans le domaine de la thermique du bâtiment.

En nous appuyant sur les études antérieures, nous avons pu sélectionner la méthodologie qui convient le mieux et qui pourra donner des résultats que nous espérons plus probants.

La présente recherche vise à évaluer la consommation énergétique et le confort thermique de deux maisons individuelles (traditionnelle et moderne), dans un contexte climatique nord algérien (méditerranéen), en utilisant la méthode d'analyse combinée (qualitative et quantitative), ensuite l'optimiser énergétiquement à travers les matériaux de construction (stratégie passive). L'objectif est de réduire les consommations énergétiques et améliorer le confort thermique des habitants.

Chapitre IV. Étude empirique de l'espace habitable individuel à Béjaia.

Introduction

Dans la précédente partie, nous avons étudié les notions de base et les concepts relatifs à cette recherche, ces concepts sont le point de départ pour bien mener le travail dans la partie pratique.

Ce premier chapitre de la partie expérimentale est consacré à la présentation du contexte climatique de la ville de Béjaia qui va nous fournir des informations sur les conditions climatiques, la température, l'humidité, etc. Ensuite le choix des maisons du corpus d'étude avec leurs caractéristiques architecturales, suivie d'une lecture qualitative qui va examiner les prises de mesures in situ. À la fin, l'analyse du comportement des usagers en se basant sur les résultats de prises de mesure et les réponses obtenues du questionnaire.

IV.1 Contexte climatique de la ville de Béjaia

La ville de Béjaia fait partie des nombreuses villes nationales et internationales touchées par cette crise énergétique, héritage des nouvelles technologies. Un site particulier, disposant de toutes les ressources nécessaires à un établissement humain. Une succession de civilisation faisant de Bougie l'une des villes les plus stratifiées et les plus riches en concepts opératoires.

IV.1.1 Situation géographique

Au centre de la façade méditerranéenne de l'Afrique du Nord, se présente le golf de Béjaia, large de 45 km, et profond de 15 km, Bougie est le chef-lieu de la wilaya de Béjaia, elle se situe à une distance de 230 km à l'Est de la ville d'Alger, à l'extrême Ouest d'une baie formée par le cap Bouak à l'Est et le cap Carbon à l'Ouest. Accrochée au flanc du mont Gouraya, la ville doit à cette situation d'être complètement abritée contre les vents du nord et nord-ouest si violents en méditerranée. Bejaia a une latitude de 36°45' Nord et 5°04' de longitude Est, elle est limitée par les wilayas suivantes : la wilaya de Jijel à l'est, la wilaya de Tizi-Ouzou à l'ouest, la wilaya de Bordj Bou Arreridj au sud, la wilaya de Sétif au Sud-est et la wilaya de Bouira au Sud-ouest.

Selon les données de la direction de la planification et de l'aménagement du territoire, Béjaia s'étale sur une superficie de 3223.48km² répartis comme suit :

- Superficie agricole utile : 130348 ha, (40.45%).
- Pacages et parcours : 30859 ha, (9,57%)
- Terres improductives des exploitations : 3587 ha, (1.11%)
- Superficie forestière : 122500 ha, (38%)
- Terres non agricoles : 35054 ha, (10.87%)



Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Béjaia.
Source : Google map, adaptée par l'auteur, 2018.

IV.1.2. Topographie et morphologie

IV.1.2.1. Les montagnes

Caractérisée par un paysage rocheux et montagneux, les Bibans au Sud, les Babors à l'est, et Djurdjura à l'ouest (elle s'étend jusqu'à Gouraya).

IV.1.2.2. La plaine

Au Nord, Béjaia est bordé des **plaines côtières**, qui s'étendent de la commune de Béjaia jusqu'à la commune de Souk El Tenine sur 30Km de longueur et 4 km de largeur, elles isolent la mer des Babor. Les plaines de la vallée de la Soummam s'imposent, elles se présentent comme un tronçon de 80 km de longueur et 4Km de largeur.

IV.1.2.3. Les piémonts

C'est l'ensemble des collines, qui séparent l'ensemble des piémonts du complexe montagneux.

IV.1.2.4. Les cours d'eau

Plusieurs oueds traversent la région de Béjaia, le plus important est l'oued Soummam avec ses 80 km de longueur.

IV.1.3. Le climat

Le climat méditerranéen de la wilaya de Béjaia diffère d'une région à une autre, on distingue deux zones principales :

- La zone côtière : c'est la partie littorale et la vallée de la Soummam, elle se caractérise par un climat pluvieux et doux en hiver, sec et chaud en été.

- La zone montagneuse : se caractérise par un hiver froid et pluvieux, un été chaud et sec.

IV.1.4. Les données climatiques

IV.1.4.1. La température

Béjaïa dispose deux stations météorologiques, une se situe au port et l'autre à l'aéroport, notre zone d'étude est basée sur les données de station météorologique de l'aéroport Abbane Ramdane de Béjaïa, durant la période (1991-2020).

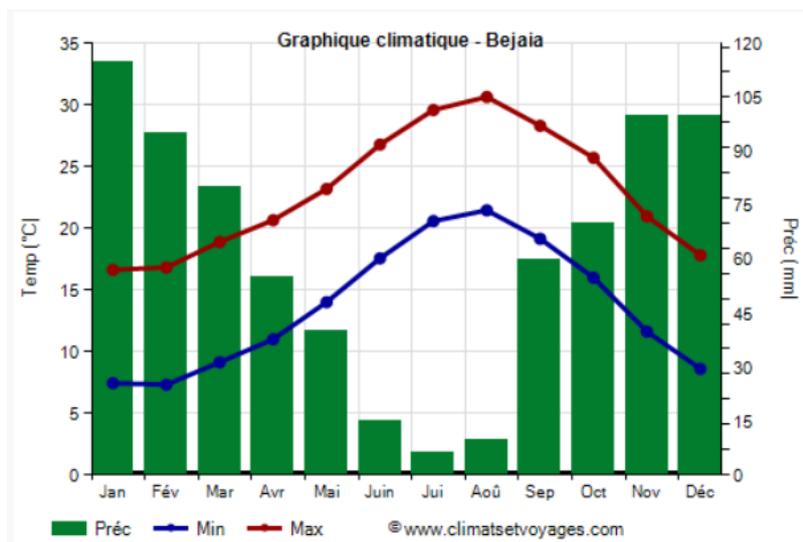


Figure IV.2 : Moyennes mensuelles des températures et des précipitations, période (1991-2020).

Source : www.climatsetvoyages.com

Le graphe précédent (figure IV.2), ainsi que le tableau ci-dessous, illustrent l'évolution mensuelle de la température pour une période de trente ans (1991-2020). Nous avons les valeurs maximales, minimales et les moyennes températures. Les températures varient entre 7.3°C et 30.7°C, il y a de grands écarts saisonniers entre les températures. Cela explique le changement climatique. On remarque la présence de deux saisons bien distinctes.

Tableau IV.1 : Moyennes mensuelles des températures (1991-2020).

Source : www.climatsetvoyages.com, adaptée par l'auteur.

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.An
Tempmin°C	7.4	7.3	9.1	11	14	17.6	20.6	21.5	19.2	16	11.6	8.6	13.7
Tempmax°C	16.6	16.8	18.9	20.7	32.2	26.8	29.6	30.7	28.3	25.7	21	17.8	23
Tempmoy.°C	12	12.1	14	15.8	18.6	22.2	25.1	26.1	23.7	20.9	16.3	13.2	18.3

IV.1.4.2. Les précipitations

Le graphe (Figure IV.2) ainsi que le tableau ci-dessous nous montrent la pluviométrie à Béjaia. Elle est caractérisée par un taux de pluviométrie de 750mm par an, ce qui la situe dans la moyenne méditerranéenne.

La moyenne maximale atteint 115mm, et la minimale 6mm. Les mois le plus secs sont juillet et aout.

Tableau IV.2 : Moyennes mensuelles des précipitations (1991-2020).

Source : www.climatsetvoyages.com, adaptée par l'auteur.

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.An
Quantité (mm)	115	95	80	55	40	15	6	10	60	70	100	100	750
Jours	11	8	8	11	6	2	1	2	6	8	10	10	84

IV.1.4.3. L'enseillement

La moyenne méditerranéenne d'enseillement est comprise entre (2600et 3000) heures par an. D'après le tableau ci-dessous, la moyenne calculée sur une période de 30 ans (1991-2020) situe le temps d'enseillement annuel moyen à 2675heures d'enseillement par an.

Tableau IV.3: Moyennes annuelles d'heures d'enseillement (1991-2020)

Source : www.climatsetvoyages.com, adaptée par l'auteur.

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annu.
Moyenne quotidienne	4.5	6	6.5	7	8.5	10	11.5	10	8.5	6.5	5	4.5	7.3
Total	140	165	200	205	260	300	350	315	250	200	155	135	2675

IV.1.4.4. Le taux d'humidité

Béjaia est connue par son taux d'humidité très élevé, il a atteint une moyenne de 75.25%.

Tableau IV.4 : Taux d'humidité (1991-2020)

Source : www.climatsetvoyages.com, adaptée par l'auteur.

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annu.
Humidité %	76	76	76	76	78	76	74	73	75	74	74	75	19.7

IV.1.4.5. Température de la mer

La température de la mer varie entre 15°C en février-mars et 26°C en aout. La température moyenne sur la période qui s'étend de 1991 à 2020 est de 19.7°C.

Durant les mois de janvier, février, mars, avril, mai et décembre, l'eau est froide pour la baignade. Elle est suffisamment chaude durant les mois de juillet, août et septembre.

Tableau IV.5 : Température moyenne de la mer (1991-2020)

Source : www.climatsetvoyages.com, adaptée par l'auteur.

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annu.
Moyenne quotidienne	15.5	15	15	16	18	21.5	24.5	26	25	22.5	20	17	19.7

IV.1.4.6. La vitesse moyenne du vent

La vitesse du vent varie entre 10 et 13 km/h, la moyenne annuelle est de 11.08 km/h

Tableau IV.6 : Température moyenne de la mer (1991-2020)

Source : www.climatsetvoyages.com, adaptée par l'auteur

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annu.
Vitesse km/h	13	12	11	11	10	10	10	10	10	11	12	13	11.08

IV.2. Présentation des cas d'étude

Pour limiter le corpus d'étude à une région, le choix s'est porté sur Béjaia vu les caractéristiques qu'elle présente, du point de vue du climat en se positionnant sur les conditions les plus défavorables telles que l'exposition aux vents et au soleil, l'humidité, l'orientation...etc.

Cette recherche a été menée sur l'espace habitable individuel, parce qu'il s'avère que c'est le plus énergivore et c'est le type que l'on trouve le plus dans la région (voir tableau IV.7) et (figure IV.3). Le corpus d'étude se compose de deux maisons ; une maison vernaculaire (maison traditionnelle kabyle) et une maison individuelle moderne de la période postcoloniale.

Tableau IV.7 : Les typologies d'habitat dans la ville de Béjaia.

Source : Office national des statistiques, Bouchama Ouahiba (2017).

	Habitat collectif	Maison individuelle	Maison traditionnelle	Autre ordinaire	Construction précaire	ND	Total
Commune de Bejaia	12 402	16 652	774	225	170	1 217	31 440
Taux (%)	39,45	52,96	2,46	0,72	0,54	3,87	100
Wilaya	23 625	104 822	11 353	769	1 256	3 033	144 858
Taux (%)	16,31	72,36	7,84	0,53	0,87	2,09	100

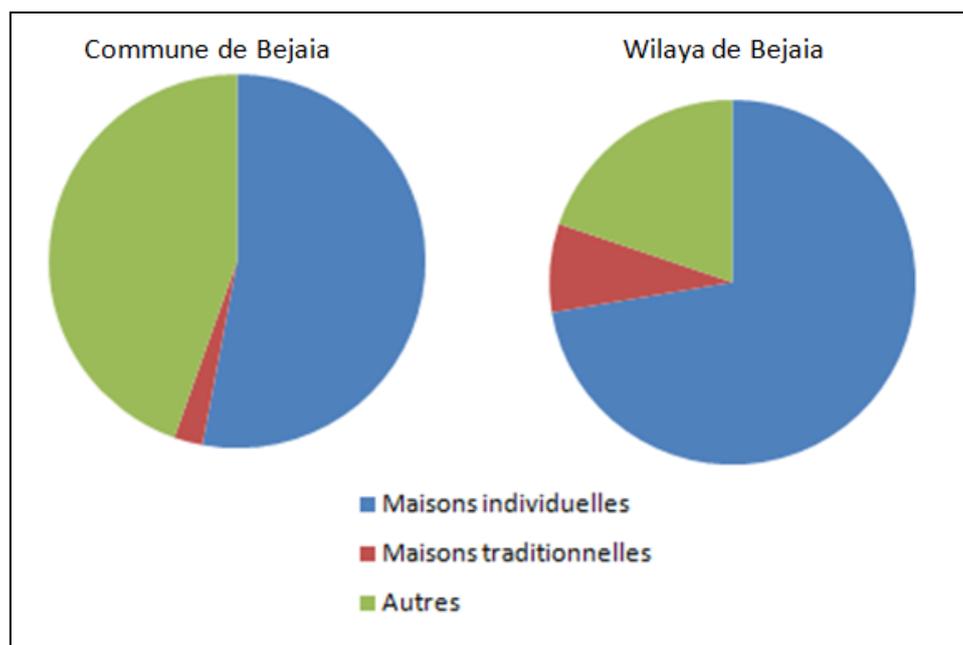


Figure IV.3: Les maisons individuelles en majorité (commune et ville de Béjaia).
Source : Auteur, 2021.

Le taux des maisons individuelles dans la commune de Béjaia est **52.96%**, il est majoritaire. Concernant la wilaya avec **72.36%**, il a atteint presque trois quarts du taux total.

Les deux maisons n'ont pas été choisies au hasard. Nous avons effectué une analyse pour les choisir.

Le défi a été de trouver deux maisons une traditionnelle et une autre moderne dans des conditions défavorables, vis-à-vis l'**orientation**, l'**exposition au soleil**, l'**isolement**, l'**exposition aux vents dominants**, et en même temps la surface la forme et nombre d'occupants des deux maisons doivent être rapprochés. Le but est de généraliser les résultats sur toute autre maison.

IV.2.1. La maison kabyle

La maison kabyle choisie se situe dans une région montagneuse, plus exactement à Ait Garet.

IV.2.1.1. Village Ait Garet, présentation, savoir-faire vernaculaire et mode de vie

Ait Garet est un village de la commune d'El-Kseur, il est situé à environ 30Km du chef-lieu de la commune, c'est un village de montagne dont les conditions climatiques sont rudes.



Figure IV.4 : Situation du village d'Ait Garet.
Source : Google earth ; adaptée par l'auteur.

IV.2.1.2. La maison en question

- Situation

La maison est d'une superficie de 88.56 m², sans mitoyenneté, exposée au soleil et aux vents du nord.



Figure IV.5: situation de la maison kabyle.
Source : Google earth, adaptée par l'auteur.

- **Plan de la maison**

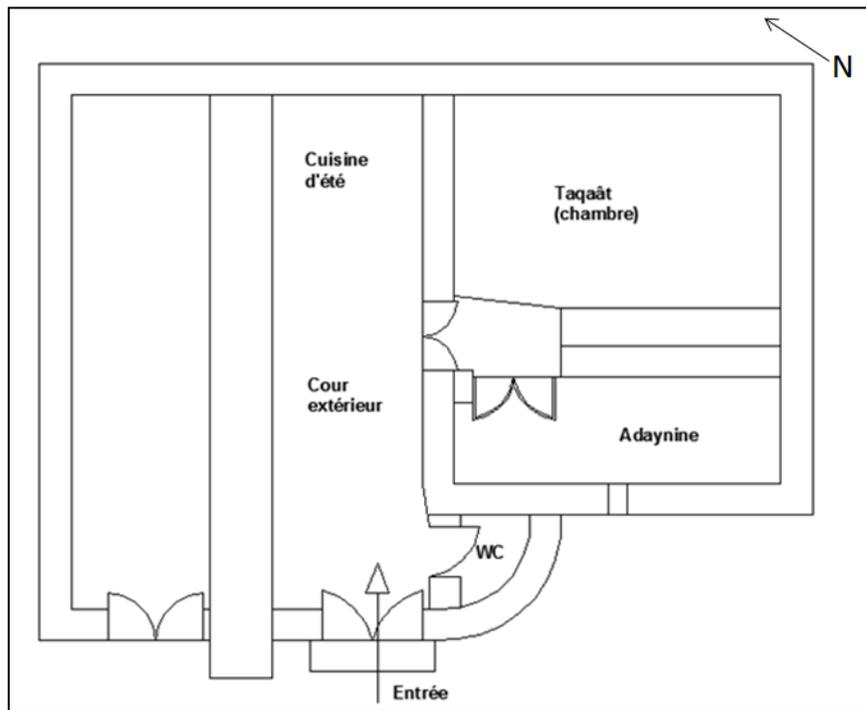


Figure IV.6 : Plan de la maison kabyle.
Source : Auteur, 2018.

- **Fiche technique**

Type	Maison kabyle (architecture vernaculaire)
Maitre d'œuvre	Les villageois.
Année de construction	/
Surface	88.56 m ²
Gabarit	Un seul niveau (deux espaces en demi-niveau).
Volumétrie	Parallélépipédique avec toiture.
Matériaux de construction	Matériaux locaux : principalement la pierre, la terre cuite et l'argile.
Orientation	Nord
Nombre d'occupants	2

- **Organisation spatiale**

La maison choisie se caractérise par les mêmes principes typiques des maisons kabyles, une maison opaque de forme rectangulaire, qui se compose de trois pièces principales donnant sur une cour.



Figure IV.7 : Les murs opaques en pierre de la maison.
Source : Auteur, 2018.

Taqaât(la chambre principale) est d'une surface de 23.4 m², avec des rangements muraux (figure IV.8). Dans cet espace on retrouve un petit coin dit **El kanoun** qui sert à préparer les repas durant les périodes froides de l'année (figure IV.9).



Figure IV.8 : Taqaât pièce principale de la maison
Source : Auteur, 2018.



Figure IV.9: Trace d'El Kanoun.
Source : Auteur, 2018.

Adaynine : l'espace réservé aux animaux et comme entrepôt pour le bois.



Figure IV.10 : Vue sur Adaynine.
Source : Auteur, 2018.

Takanna ou **Taâricht** : elle se situe au-dessus de **Adaynine**, on y accède de la pièce principale à travers une petite porte, c'est la seule pièce de la maison qui a une ouverture vers l'extérieur.



Figure IV.11 : Vue sur Takanna ou Taâricht.

Dans cette maison, nous avons trouvé aussi un espace de préparation de repas situé dans la cour extérieure, les habitants de la maison l'utilisent durant les périodes chaudes de l'année.



Figure IV.12 : Vue sur la cuisine d'été avec un zoom sur El Kanoun.
Source : Auteur, 2018.

Figure montrant une vue sur l'environnement extérieur, cour intérieure et rangements muraux.
(Voir annexe A).

IV.2.2. La maison moderne

La maison moderne choisie est située dans la ville de Béjaia, plus exactement à Tazeboujt un quartier périphérique de faible densité urbaine.

IV.2.2.1. Situation du quartier

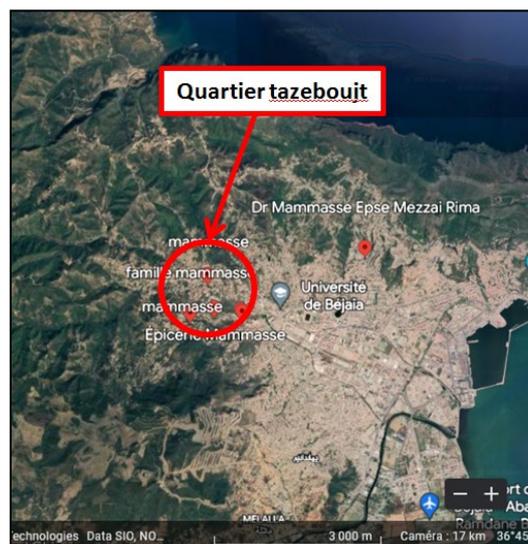


Figure IV.13 : Situation du quartier tazeboujt.
Source : Google earth, adaptée par l'auteur.

IV.2.2.2. La maison en question

- **Situation**

La maison, d'une superficie de 105.6 m² et avec un seul mur de mitoyenneté, est exposée aux vents du nord et au soleil.



Figure IV.14 : Situation de la maison moderne.
Source : Google earth, adaptée par l'auteur.

- **Plans de la maison**

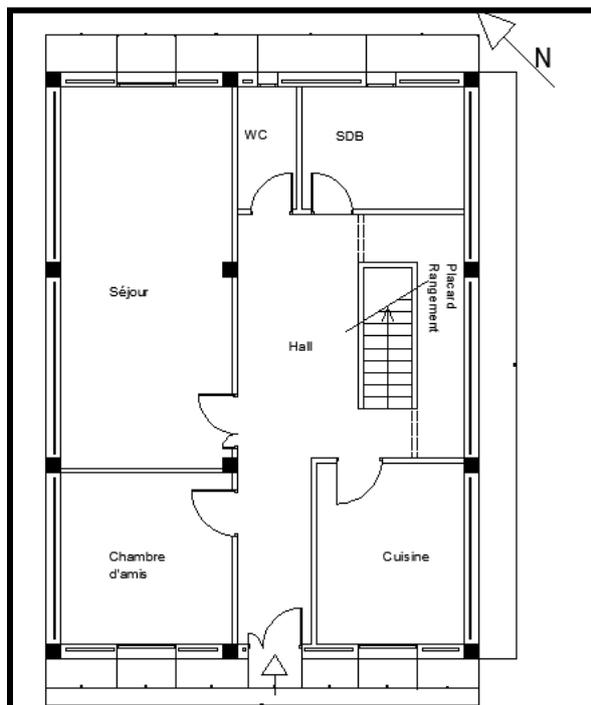


Figure IV.15 : Plan RDC de la maison.
Source : Auteur, 2018.

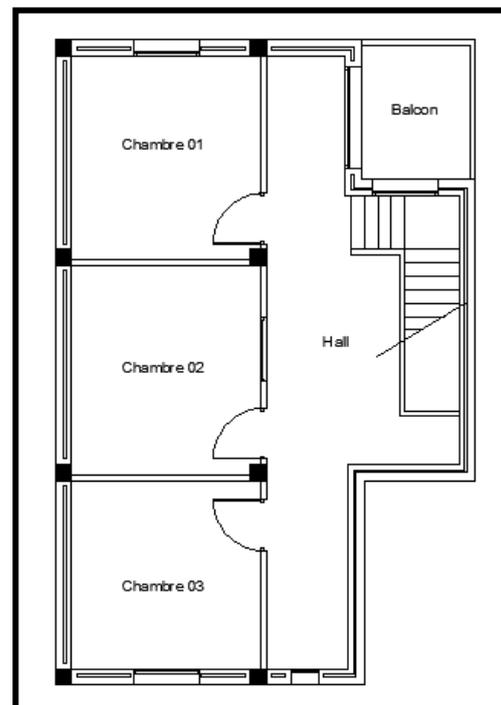


Figure IV.16 : Plan Étage.
Source : Auteur, 2018.

- **Fiche technique**

Type	Maison moderne
Maitre d'œuvre	/
Année de construction	1970
Surface	105.6m ²
Gabarit	R+1
Volumétrie	Parallélépipédique avec toiture.
Matériaux de construction	Brique, tuile
Orientation	Nord
Nombre d'occupants	3

- **Organisation spatiale, état des lieux**

La maison se situe à la ville de Béjaia, plus précisément à Tazeboujt, un quartier de faible densité urbaine. Elle se constitue de deux étages avec deux façades opaques. Le rez-de-chaussée se compose d'un séjour, une chambre d'amis, une cuisine, une salle de bain et w.c, donnant sur un hall. Le hall contient un escalier donnant sur l'étage supérieur qui à son tour se compose, de trois chambres.



Figure IV.17 : vues sur l'extérieur de la maison.
Source : Auteur, 2018.

Le rez-de-chaussée se compose de :

- **Un séjour** : de 27.3 m² avec une seule fenêtre orientée vers le nord-est.
- **Salle de bain et w.c** : orientés vers le nord-est.
- **Une cuisine** de 11.1 m² avec une seule fenêtre orientée vers le sud-ouest.
- **Une chambre d'amis** de 12.25 m² avec une seule fenêtre orientée vers le sud-ouest.
- Un Hall et un dégagement de 17.95 m².



Figure IV.18 : Les différents espaces composant le rez-de-chaussée.

Source : Auteur, 2018.

L'étage supérieur se compose principalement de trois chambres :

- **Chambre 01** : d'une superficie de 13.3 m² et avec une seule fenêtre orientée vers le nord-est, la chambre est très mal orientée et nous avons constaté l'existence de moisissures sur les murs.
- **Chambre 02** : d'une superficie de 13.65 m² et sans ouverture vers l'extérieur, la chambre est dotée d'une seule fenêtre donnant sur l'intérieur de la maison (sur le hall). Le mur qui sépare la chambre de l'extérieur est orienté complètement vers le nord, nous avons constaté la prolifération de moisissures sur les murs.
- **Chambre 03** : d'une superficie de 12.25 m² et avec une seule ouverture orientée vers le sud-ouest, la chambre a quelques problèmes d'étanchéité, mais pas de moisissures.



Figure IV.19 : Chambre 1, légères moisissures.
Source : Auteur, 2018.



Figure IV.20 : Chambre 02, pleine de moisissures.
Source : Auteur, 2018.

Figure montrant une vue sur l'escalier, le balcon et la chambre 03. (Voir annexe A).

IV.3Évaluation qualitative

Afin de bien mener notre étude qualitative, qui consiste à évaluer la consommation énergétique et la satisfaction des habitants des maisons composant le corpus d'étude vis-à-vis du confort thermique. Nous avons réalisé des entretiens avec les usagers de chaque maison durant la période de prise de mesure.

Pour la maison moderne nous n'avons rencontré aucun problème durant l'enquête, tandis que pour la maison kabyle, vu que les usagers étaient très âgés et ne maîtrisaient pas bien la langue française ni la langue arabe. Nous étions obligés de les accompagner et de leur poser nos questions dans leur langue maternelle « *le kabyle* ».

L'entretien est constitué de 18 questions. Pour plus de détails sur les questions posées (voir annexe B).

Les questions sont organisées en trois groupes pour bien répondre aux besoins de l'enquête

La partie A : concerne les informations sur les personnes tels que (l'âge, le sexe).

La partie B : comporte des questions sur leurs sensations vis-à-vis du confort thermique.

La partie C : nous a permis d'évaluer la performance énergétique des deux maisons.

Afin de bien organiser les réponses, nous avons suivi la méthode de Likert (échelle de Likert) qui consiste en une série d'énoncés ou de questions auxquels les concernés peuvent exprimer leur degré d'accord ou de désaccord à l'aide d'une échelle ordonnée. Pour notre enquête, l'échelle se constitue de cinq niveaux (mauvais, médiocre, bon, très bon et excellent) ou (très faible, faible, moyen, élevé, très élevé).

Le nombre de personnes avec lesquelles nous avons réalisé l'entretien était cinq personnes (deux pour la maison traditionnelle, et trois pour la maison moderne).

Cet échantillon adressé à cinq personnes seulement est très limité pour une évaluation de confort thermique ou de performance, parce qu'avec un échantillon limité, il est difficile d'obtenir une conclusion finale significative. Malgré cela, nous avons quand même effectué cette enquête pour avoir un aperçu initial, il sera renforcé par une prise de mesure sur terrain et une simulation par logiciel.

Vu le nombre limité de personnes interrogées, nous avons préféré présenter les résultats sous forme de tableau.

Tableau IV.8 : Résultat de l'enquête.
Source : Auteur, 2023.

	Maison traditionnelle	Maison moderne
Nombre d'occupants	2	3
Catégorie d'âge	Plus de 65 ans	02 personnes plus de 65 ans 01 personne entre 35 et 65 ans
Sexe	Un homme et une femme	Deux hommes et une femme
Ensoleillement	Médiocre	Mauvais
Aération	Médiocre	Mauvaise
Présence de moisissures	Non	Oui
Préférence des saisons	Préfère été	Préfère hiver
Système de chauffage	Non	Oui
Système de climatisation	Non	Oui
Coût des factures	Très bas	Très élevé

IV.3.1. Maison traditionnelle

La maison traditionnelle se situe dans une zone de montagne, ce qui rend son hiver très froid. Elle est située dans un endroit isolé exposé au soleil durant l'été et aux vents durant l'hiver. En plus des conditions climatiques rudes, les habitants souffrent du manque de moyens (pas de gaz de ville). Les habitants utilisent le bois comme combustible pour se réchauffer, leur endroit préféré dans la maison est **Taqaât** plus exactement autour d'**El Kanoun** (feu de bois allumé), la propriétaire de la maison nous a dit : « *A l'époque, cet endroit autour d'El*

Kanoun, nous réunissait pour avoir chaud en hiver, pour discuter et pour raconter des histoires aux petits enfants ». C'est un endroit qui permet aux usagers d'avoir chaud, de se détendre et de s'exprimer.

En été, **Taqaât** est toujours leur endroit préféré durant la journée grâce à la pierre qui leur donne une sensation de fraîcheur. La propriétaire a ajouté « *Je me lève très tôt le matin pour préparer les repas de la journée dans la cuisine d'été extérieure, ensuite je rentre à l'intérieur pour ne ressortir qu'à la fin de l'après-midi vers la cour* ».

Durant notre enquête, nous avons constaté aussi quelques éléments désagréables vis-à-vis des autres ambiances (confort lumineux et confort olfactif). La maison kabyle est pauvre en matière de lumière naturelle, cela est dû à l'absence d'ouvertures. (Une seule petite ouverture de 30cm x 30cm) ce qui rend l'ambiance lumineuse intérieure plus au moins obscure.

L'absence d'une porte qui sépare **Taqaât** (chambre principale) d'**Adaynine** (espace pour animaux) rend l'ambiance olfactive désagréable.

Les matériaux de construction utilisés dans cette maison sont : la pierre, la terre cuite et le bois.

IV.3.2.Maison moderne

La maison moderne objet de notre étude située à Tazeboujt, un site découvert exposé au soleil et aux vents du nord. Cet endroit est connu par son taux d'humidité élevé, il est à une hauteur considérable par rapport au centre-ville.

La maison présente des caractéristiques défavorables par rapport à l'orientation. Le séjour est orienté vers le nord-est, la cuisine au sud-ouest.

Au rez-de-chaussée l'appartement s'organise autour d'un hall, d'après les usagers c'est l'endroit le plus chaud en hiver dans toute la maison grâce au chauffage. Ils rajoutent que ce chauffage à gaz situé dans le hall n'arrive pas à réchauffer toute la maison en hiver. Donc pour atteindre le confort thermique ils font appel à des petits radiateurs électriques dans les chambres de l'étage supérieur, ils trouvent l'étage supérieur très froid en hiver. Ils disent que l'endroit le plus froid au rez-de-chaussée en hiver est le séjour (c'est une réponse logique vu son orientation nord-est). Nous avons constaté aussi la présence de moisissures au niveau de l'étage supérieur.



Figure IV.21 : moisissures (chambre 02).

Source : Auteur, 2018.

La chambre 02 est orientée plein nord, elle n'a pas d'ouvertures vers l'extérieur, elle a une seule fenêtre qui donne sur l'intérieur de la maison c'est-à-dire vers le hall, cela explique la présence de ces moisissures gênantes.

En été, ils disent qu'ils n'arrivent pas à passer la journée ou la nuit sans faire appel à deux climatiseurs situés au rez-de-chaussée. A l'étage supérieur, ils utilisent les ventilateurs.

Dans ce qui suit, un tableau récapitulatif sur le confort thermique et la performance énergétique selon les réponses des habitants.

Tableau IV.9 : Tableau récapitulatif sur le confort thermique et la performance énergétique.

Source : Auteur.

Maison vernaculaire	Maison moderne
<p>Confort thermique : Agréable en été. Moins agréable en hiver.</p>	<p>Confort thermique : Désagréable en été. Désagréable en hiver.</p>
<p>Performance énergétique : Maison performante.</p>	<p>Performance énergétique : Maison non performante</p>

IV.4. Stratégie de prise de mesure

En nous basant sur les données météorologiques de la ville de Béjaia, nous avons réussi à déterminer la journée représentative (la journée la plus défavorable) appelée « *design day* ».

IV.4.1.Design day

Afin de désigner la journée représentative « *design day* », nous avons suivi des étapes bien précises. Le design day se base sur la moyenne annuelle de 15 ou de 30 ans. Dans notre cas nous avons opté pour une période de 30 ans, de 1988 jusqu'à 2017.

La première étape consiste à sélectionner le mois représentatif appelé design month. La deuxième étape c'est la désignation du jour adverse des conditions climatiques, journée plus froide et journée plus chaude.

Nous avons travaillé sur deux paramètres, **température** et **humidité**.

La méthode adoptée nous permet de désigner la journée représentative qui sera le point de départ pour la prise de mesure in situ.

Ci-dessous nous avons montré l'exemple des deux années **2017** et **2016** le reste est dans (l'annexe C).

Tableau IV.10 : moyennes températures et humidité relative (2017).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2017	Mois	Jan	Fev.	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Paramètres	Tem (°C)	9.9	13.3	14.5	15.9	19.8	24	26.4	27.7	23.3	19.4	14.7	11.6
	Hum (%)	74.9	74.8	72.5	74.5	76.4	77.5	71.7	71.4	71.4	75.3	71.9	77

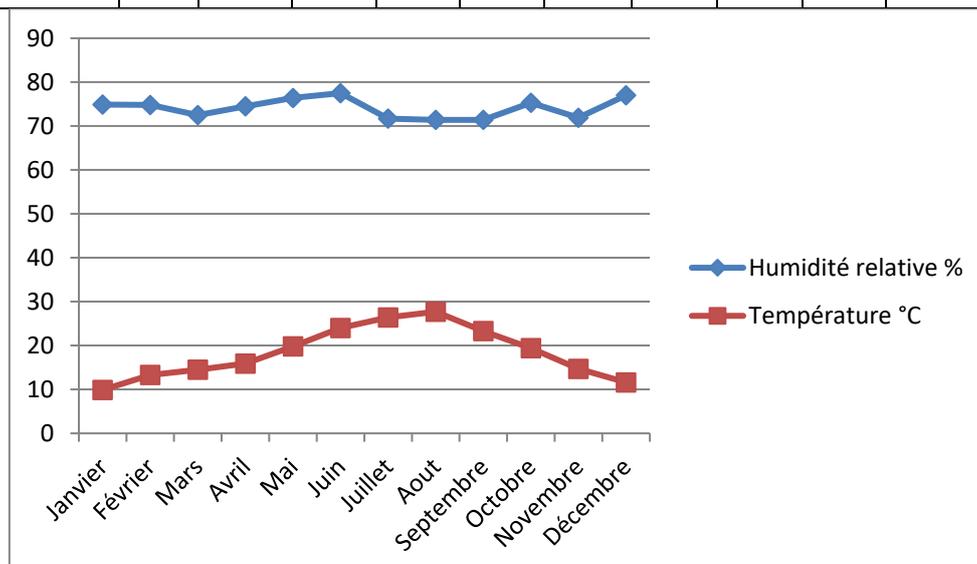


Figure IV.22 : Graphe de moyennes températures et humidité (2017).
Source : Auteur, 2018.

En **2017**, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 9.9°C et un taux d'humidité de 74.9%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 27.7°C et un taux d'humidité de 71.4%. Le taux d'humidité maximal est 77.5%.

Tableau IV.11 : moyennes températures et humidité relative (2016).

Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2016	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	13.2	13.8	13.1	16.1	18.5	22.3	25.2	25.2	23.7	22.3	17	13.6
	Hum (%)	78.4	70.4	76	79.5	76.9	78.4	72.9	73.3	74.7	73	69.7	78.8

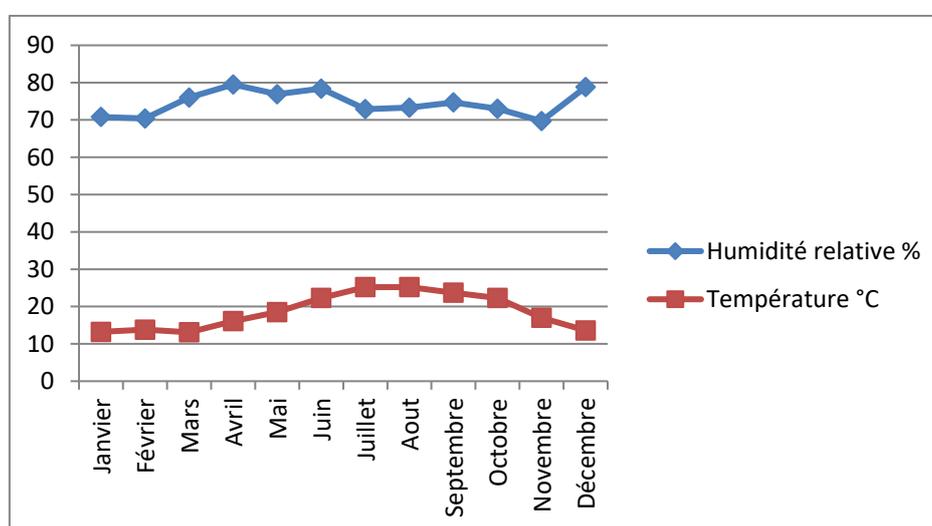


Figure IV.23 : Graphe de moyennes températures et humidité (2016).
Source : Auteur, 2018.

En **2016**, le mois de Mars est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 13.1°C et un taux d'humidité de 76%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 25.2°C et un taux d'humidité de 73.3%. Le taux d'humidité maximal est 78.8%.

Après avoir analysé de la même manière toutes les autres années (voir annexe C). Nous nous sommes résolus avec le tableau ci-dessous qui nous montre le design month.

Tableau IV.12 : Sélection du design month (1988-2017).
Source :Auteur, 2018.

Année	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	
1988 à 2002	Hiver	Déc.	Jan.	Déc.	Déc.	Jan.	Jan.	Jan.	Jan.	Fév.	Fév.	Déc.	Fév.	Jan.	Déc.	Jan.
	T (°C)	10.6	10	10	9.8	9.7	9.2	11.6	11.1	11.4	12.4	10.9	9.9	9	10.7	10.8
	H (%)	80.8	80.4	76.8	83.5	77.9	81.7	80.6	71.6	71	80	76.8	77.8	78.8	78.7	77.8
	Été	Aou.	Aou.	Sep.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.
	T (°C)	26.2	26.4	25.2	25.7	25	25.4	28	24.9	25.2	25.8	25	27	26.1	26	24.6
	H (%)	72.5	76.3	74.7	69	70.9	76.3	67.1	73.8	73.9	75.9	77.3	72.6	68.5	73.5	78.1
Année	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	
2003 à 2017	Hiver	Fév.	Jan.	Jan.	Jan.	Déc.	Déc.	Fév.	Jan.	Fév.	Fév.	Fév.	Déc.	Fév.	Mar.	Jan.
	T (°C)	10.4	11.3	8.3	10.1	12.4	11.3	10.9	12.3	10.9	7.8	10	12.5	10.9	13.1	9.9
	H (%)	75.5	78.3	81	74.7	79.8	79.3	75.2	73.4	81.1	84.4	78.2	77.1	74.4	76	74.9
	Été	Aou.	Aou.	Juil.	Juil.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.	Aou.
	T (°C)	28.2	26.6	25.5	25.5	26.1	25.8	26.7	25.1	25.6	27.1	24.8	25.7	26.7	25.2	27.7
	H (%)	70.6	70.6	73	74.9	71	76.3	77.9	78.6	76.1	71.4	77.6	76.2	75.9	73.3	71.4

Ensuite nous avons désigné les journées pour chaque mois

- La journée représentative de la saison hivernale est : le **4** et le **5 Février**.
- La journée représentative de la saison estivale est : le **23 aout**.

Nous avons effectué des mesures bi horaires, de 8h à 16h pour l'hiver et de 8h à 18h pour l'été (2h avant le coucher du soleil pour les deux saisons), les paramètres mesurés sont les suivants :

- ✓ Température ambiante.
- ✓ Température extérieure.
- ✓ Température surfacique intérieure et extérieure.
- ✓ Humidité relative.
- ✓ Vitesse de l'air.

Les mesures ont été faites à **1m20** et dans des conditions naturelles, c'est-à-dire sans allumer les appareils de **chauffage** ou de **climatisation**.

Nous avons d'abord effectué des relevés architecturaux des deux maisons bien avant l'arrivée des journées de prise de mesure.

IV.4.2.Instruments de prise de mesure

Afin de bien mener la prise de mesure, nous avons utilisé le « *testo480* », un anémomètre multifonction, grâce à son large choix de sonde, nous avons pu mesurer tous les paramètres. Cet anémomètre multifonction est caractérisé par sa précision et sa facilité d'utilisation.

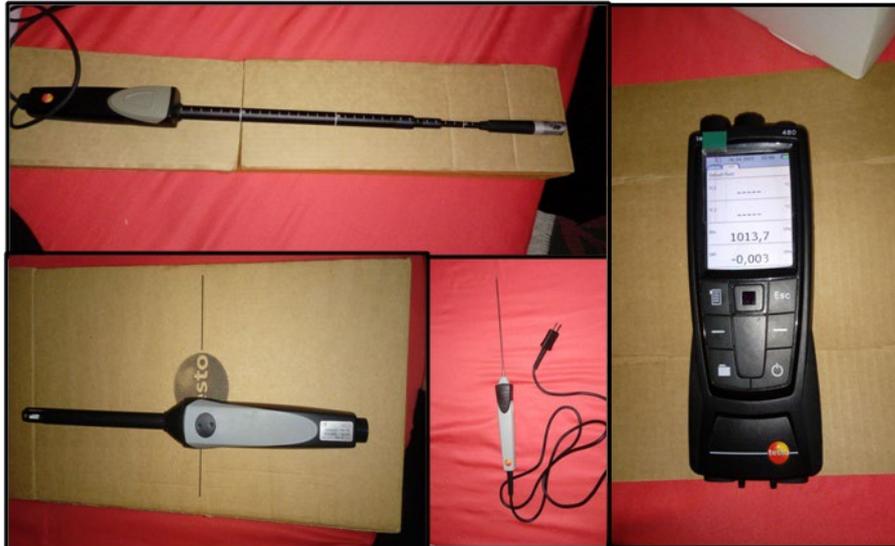


Figure IV.24: Appareils utilisés pour la prise de mesure.
Source : Auteur, 2018.

IV.5. Résultats de prise de mesures

Les résultats de prise de mesures (évaluation quantitative) sont divisés en deux parties : résultats de la période froide (saison hivernale) et résultats de la période chaude (saison estivale)

IV.5.1. Analyse des résultats de la période froide

IV.5.1.1. La maison kabyle

Les résultats obtenus par la prise de mesures pendant la saison hivernale pour la maison kabyle sont représentés dans les **figures IV.25** et **IV.27**.

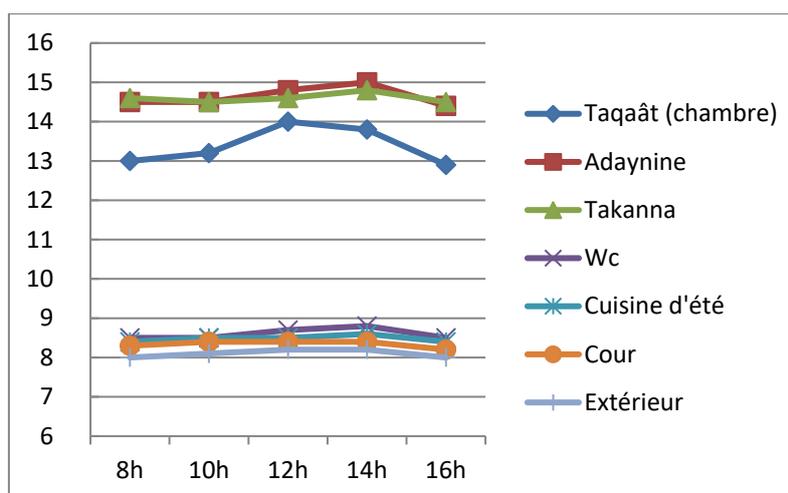


Figure IV.25 : Graphe des températures mesurées de toutes les pièces de la maison kabyle (période hivernale).Source : Auteur, 2018.

Les températures varient entre 8.2°C et 15°C à l'intérieur de la maison, et entre 8°C et 8.2°C à l'extérieur de la maison à l'ombre.

Concernant l'intérieur de la maison, les graphes se divisent en deux parties :

- **Taqaât, Adaynine et Takanna** : leurs températures sont entre 13°C et 15°C.
- **Cuisine d'été et cour** : leurs températures sont entre 8.2°C et 8.6°C.

C'est logique vu que Taqaât, Adaynine et Takanna sont des espaces fermés alors que la cuisine d'été et la cour sont ouvertes.

- **WC** est un espace fermé, mais sa température est basse par rapport aux autres espaces fermés, cela est dû à l'état de sa porte qui laisse le froid pénétrer (**figure IV.26**).
- La température extérieure est la plus basse avec une moyenne de 8.1°C.



Figure IV.26 : État de la porte-W.C.

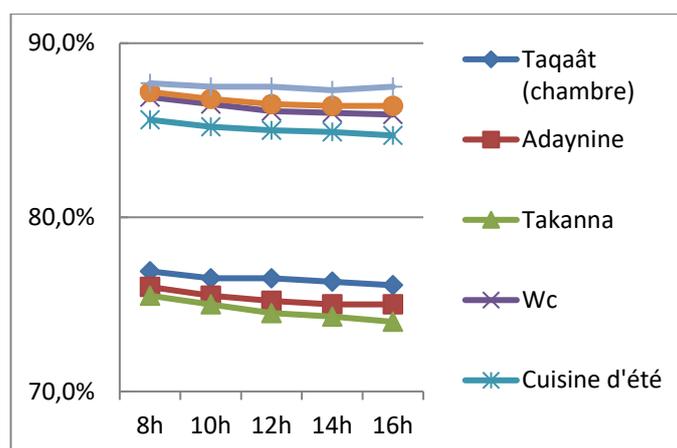


Figure IV.27 : Graphe de l'humidité relative mesurée de toutes les pièces de la maison kabyle (période hivernale).
Source : Auteur, 2018.

Le taux d'humidité relative est représenté dans la **figure IV.27**. Les graphes représentent les mesures prises pour chaque espace de la maison ainsi que pour l'extérieur. Le taux d'humidité varie entre 74% et 87.2%.

- Le taux d'humidité pour Taqaât, Adaynine et Takanna varie entre 74% et 76.9%
- Ce sont des espaces fermés.
- Le taux d'humidité pour la cuisine d'été, la cour, w.c. se rapproche il est entre 84.7% et 87.2%. (Cuisine d'été et cour sont des espaces ouverts), (w.c. espace fermé avec une porte dans un très mauvais état).

- L'humidité relative à l'extérieur est plus élevée avec une moyenne de 87.5%.
- Il y a une importante différence du taux d'humidité entre les trois espaces intérieurs fermés et l'extérieur, cela signifie que la pierre joue un rôle très important dans l'isolation.

IV.5.1.2. La maison moderne

Les résultats obtenus par la prise de mesures pendant la saison hivernale pour la maison moderne sont représentés dans les **figures IV.28** et **IV.29**.

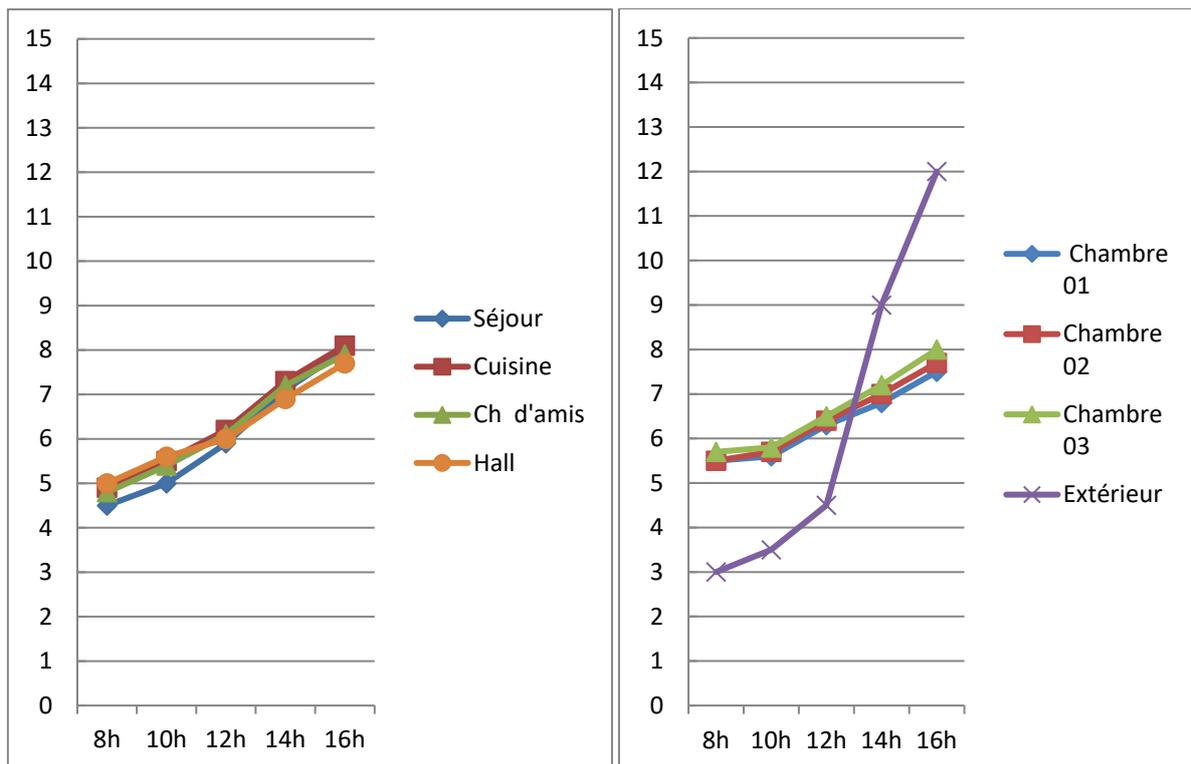


Figure IV.28: Graphes de températures mesurées des espaces de la maison moderne (période hivernale). (RDC à gauche, Étage à droite + extérieur).

Source : Auteur, 2018.

Au rez-de-chaussée les températures varient entre 4.5°C et 8.1°C.

- À l'étage, les températures varient entre 5.5°C et 8°C.
- La température extérieure est la plus basse avec une moyenne de 6.4°C.

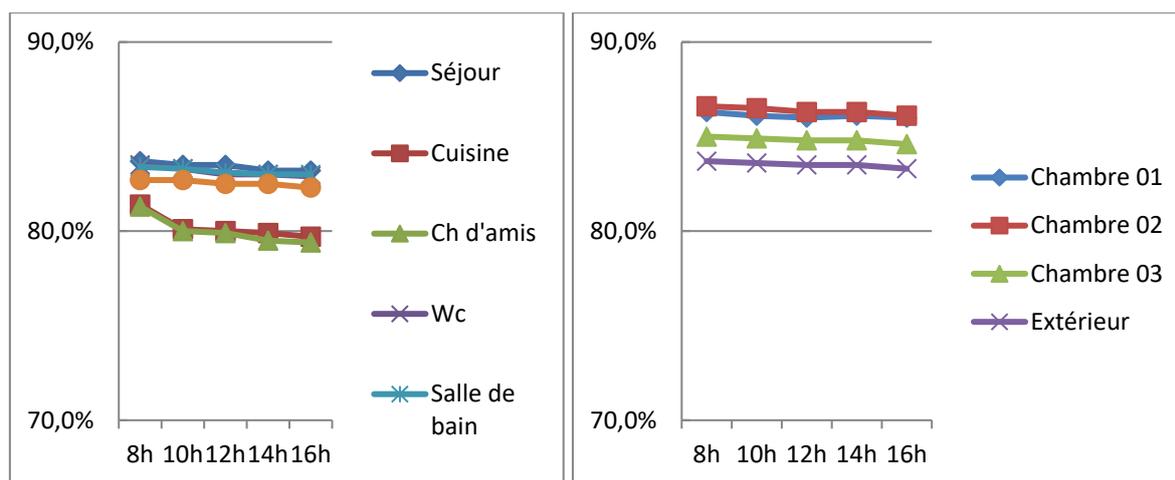


Figure IV.29: Graphes du taux d'humidité des espaces de la maison moderne (période hivernale). (RDC à gauche, Étage à droite + extérieur).
Source : Auteur, 2018.

- Au rez-de-chaussée le taux d'humidité relative varie entre 79.4% et 83.7%. À l'étage, il varie entre 84.6% et 86.6%.
- Le taux d'humidité relative extérieure est d'une moyenne de 83.5%.
- Le taux d'humidité des chambres de l'étage est plus élevé que celui des espaces du rez-de-chaussée
- Il n'y a pas une grande différence entre les taux d'humidité intérieur et extérieur.

IV.5.2. Analyse des résultats de la période chaude

IV.5.2.1. La maison kabyle

Les résultats obtenus par la prise de mesures pendant la saison estivale pour la maison kabyle sont représentés dans les **figures IV.30 et IV.31**.

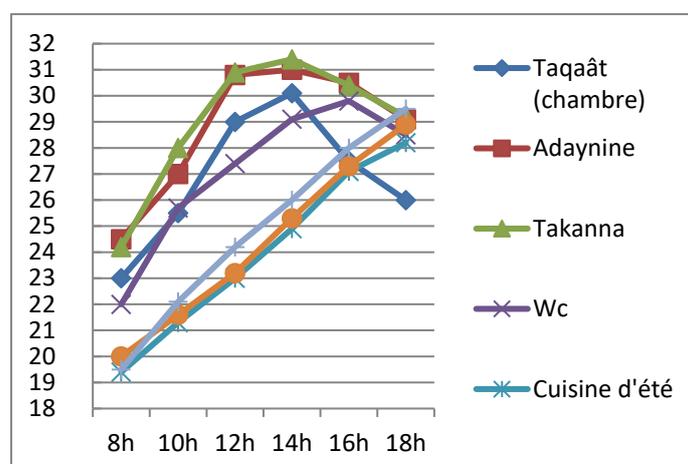


Figure IV.30 : Graphe des températures mesurées de toutes les pièces de la maison kabyle (période estivale).
Source : Auteur, 2018.

- Les températures varient entre 19.4°C et 31.4°C pour l'intérieur de la maison, et entre 19.5°C et 29.5°C pour l'extérieur de la maison à l'ombre.
- Concernant l'intérieur de la maison, les graphes se divisent en deux parties :
- Les températures atteignent les valeurs maximales entre 12h et 16h pour l'intérieur de la maison et entre 14h et 18h pour l'extérieur de la maison.
- La température extérieure moyenne est : 21.6°C.

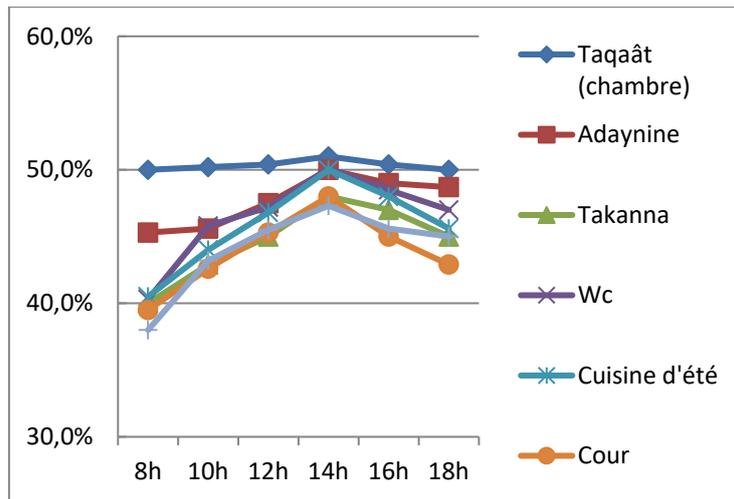


Figure IV.31 : Graphe de l'humidité relative mesurée de toutes les pièces de la maison kabyle (période estivale).
Source : Auteur, 2018.

Le taux d'humidité relative est représenté dans la **figure IV.31**. Les graphes représentent les mesures prises pour chaque espace de la maison ainsi que pour l'extérieur. Le taux d'humidité varie entre 39.5% et 50.4%.

- Pour tous les espaces, le taux d'humidité est plus élevé durant l'après-midi.
- C'est **Taqaât** qui a le taux d'humidité le plus élevé.
- L'humidité relative à l'extérieur est d'une moyenne de 44.1%.

IV.5.2.2. La maison moderne

Les résultats obtenus par la prise de mesures pendant la saison hivernale pour la maison kabyle sont représentés dans les **figures IV.32** et **IV.33**.

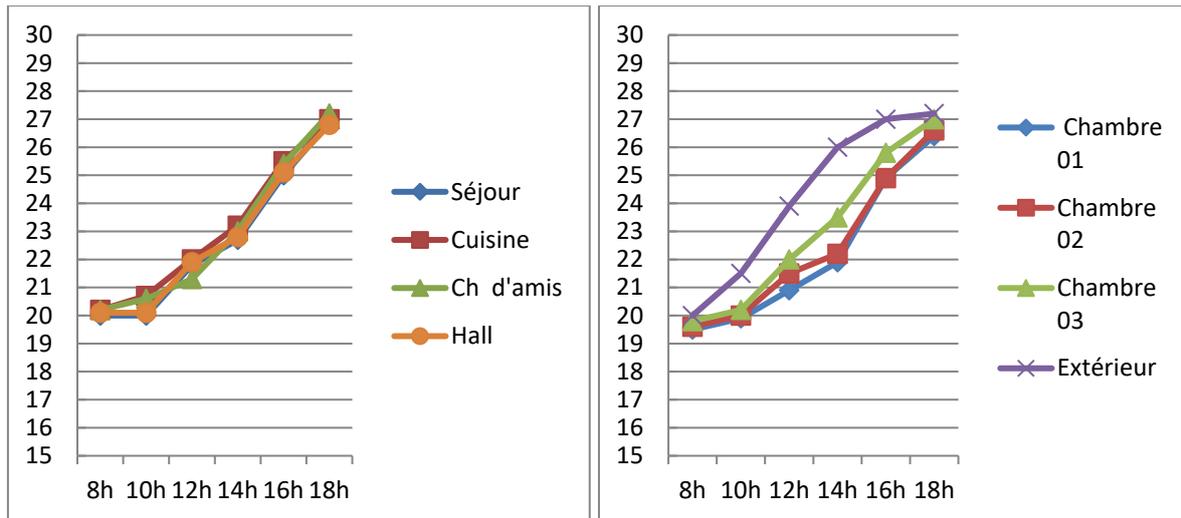


Figure IV.32 : Graphes de températures mesurées des espaces de la maison moderne (période estivale).

Source : Auteur, 2018.

- Au rez-de-chaussée, les températures varient entre 20°C et 27.2°C.
- À l'étage, les températures varient entre 19.5°C et 27°C.
- La température extérieure est d'une moyenne de 24.2°C.

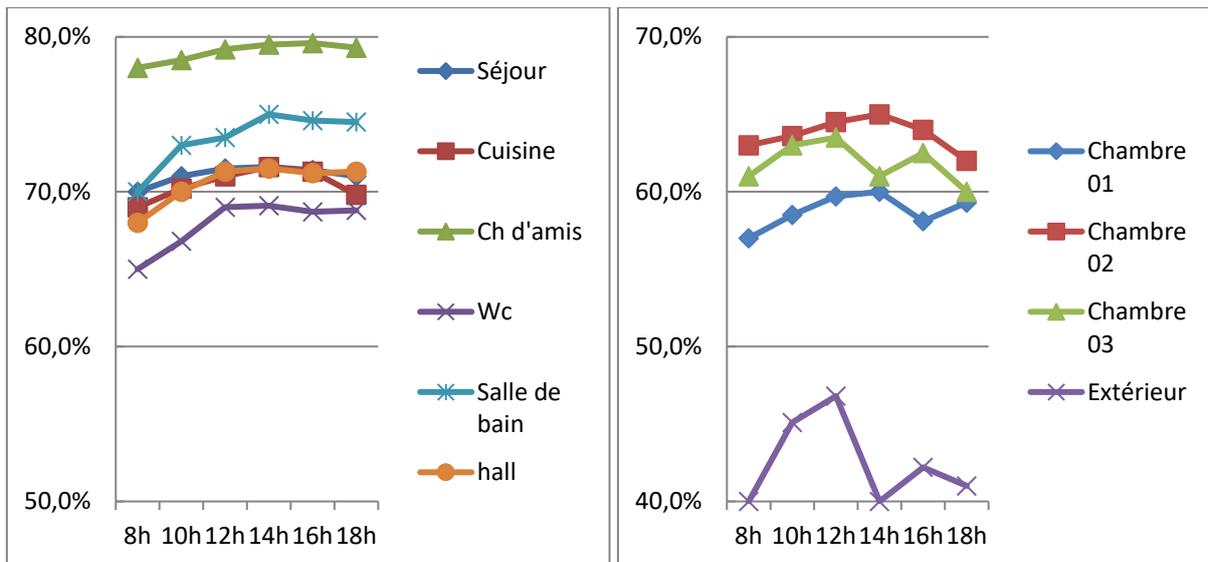


Figure IV.33 : Graphes du taux d'humidité des espaces de la maison moderne (période estivale).

Source : Auteur, 2018.

- Au rez-de-chaussée, le taux d'humidité relative varie entre 65% et 79.6%. À l'étage, il varie entre 57% et 65%.
- Le taux d'humidité relative extérieure est d'une moyenne de 42.5%.
- Le taux d'humidité des espaces du rez-de-chaussée est plus élevé qu'à l'étage.

- Il y a une différence importante du taux d'humidité relative entre l'intérieur et l'extérieur de la maison.

Conclusion

Les maisons choisies pour notre étude sont confrontées à des conditions climatiques très défavorables, que ce soit en termes d'orientation, de climat ou d'environnement immédiat. Le but est de généraliser à la fin les résultats pour toute autre maison présentant les mêmes caractéristiques.

Dans ce chapitre nous avons présenté l'état des lieux des maisons composant le corpus d'étude, ainsi qu'une évaluation qualitative à travers un questionnaire destiné aux usagers des maisons et une autre évaluation quantitative sur le terrain qui se résume en une prise de mesures durant les journées représentatives. Ces deux évaluations nous ont donné un premier aperçu sur la consommation énergétique les sensations des occupants vis-à-vis du confort thermique.

Afin de bien mener ce travail de recherche, et avoir des résultats pertinents, nous allons présenter, dans le chapitre suivant, la simulation par logiciel des deux cas d'étude.

Chapitre V. Simulation numérique.

Introduction

La simulation par logiciel est parmi les méthodes les plus fiables et les plus puissantes dans l'évaluation de la performance énergétique et du confort thermique.

Dans le domaine du bâtiment, ces logiciels de simulation sont exploités dans le but d'optimiser les dépenses énergétiques travers l'étude des différents paramètres physiques du bâtiment, dans des contextes climatiques bien définis.

Ce chapitre sera la suite de l'étude empirique, son objectif est l'évaluation de la performance énergétique et du confort thermique dans les deux conformations architecturales présenté dans le chapitre précédent : une maison kabyle traditionnelle et une maison individuelle moderne, situées dans un contexte climatique méditerranéen. Nous proposerons ensuite une amélioration pour le cas moderne en tirant parti des caractéristiques bioclimatiques de l'architecture vernaculaire de la maison kabyle. Cette optimisation se fera à travers l'enveloppe architecturale dans le but de réduire les consommations énergétiques et améliorer le confort thermique de la maison en question.

V.1. La simulation thermique dynamique

La simulation thermique dynamique (STD) permet de décrire l'évolution temporelle de l'état thermique d'une conception. Elle nécessite une bonne maîtrise du logiciel choisi pour la simulation, une méthodologie bien définie.

La STD permet d'analyser les performances thermiques dans le but d'identifier les problèmes afin de faciliter l'optimisation. La simulation s'effectue selon plusieurs paramètres et caractéristiques. Dans le cas d'une simulation d'une enveloppe architecturale (murs, toiture, plancher), il faut prendre en considération l'inertie thermique du bâtiment, les données météo locales, l'implantation, l'ensoleillement...etc. Ces paramètres diffèrent d'un logiciel à un autre.

V.2. Présentation du logiciel de simulation numérique PLEIADES-Comfie

Le choix du logiciel dépend de l'objectif du sujet de recherche, dans notre cas, le choix s'est porté sur le logiciel de simulation thermique dynamique PLEIADES-Comfie (4.18.11).

V.2.1. PLEIADES + COMFIE

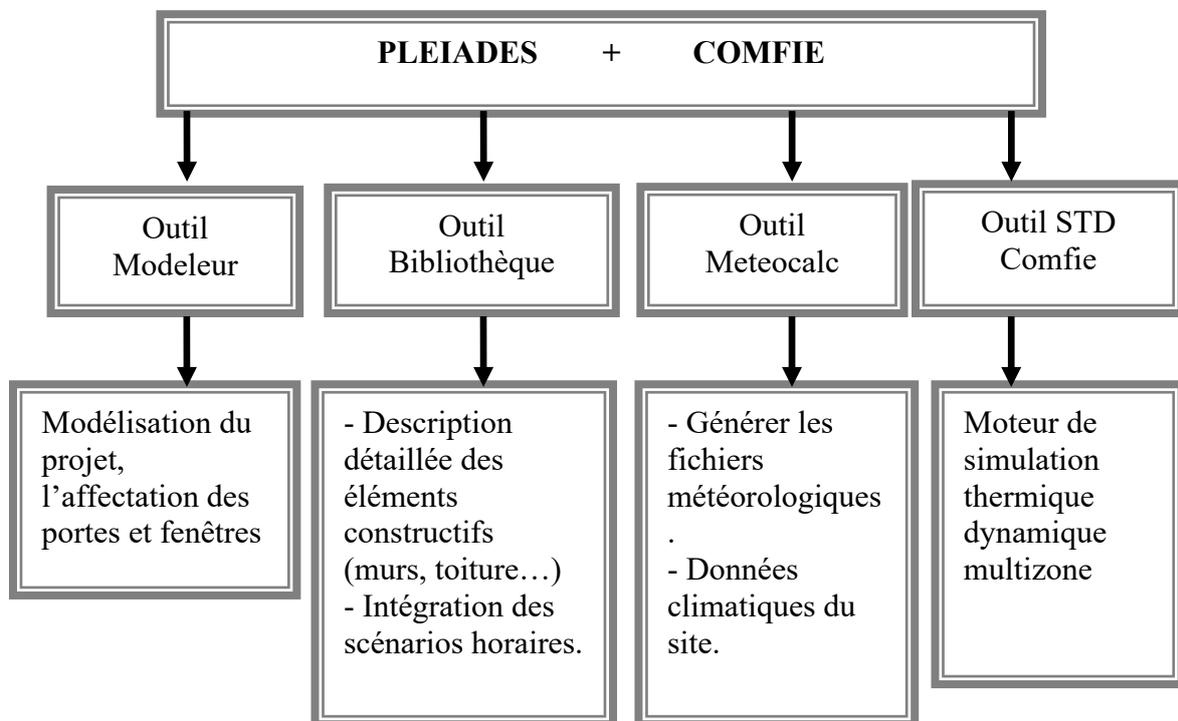
Ce logiciel est le résultat d'une collaboration entre le centre d'énergétique de l'école des mines de Paris et IZUBA énergie. Il intègre plusieurs bibliothèques de données thermiques et des bibliothèques de mode de gestion du bâtiment.

Les bibliothèques de données thermiques concernent les matériaux et la menuiserie, tandis que celle du mode de gestion du bâtiment concerne les occupations, les apports internes, les températures de consigne de chauffage ou de climatisation. PLEIADES apporte aux calculs une interface ergonomique et sécurisée qui accélère considérablement la saisie d'un projet et l'étude de ses variantes. PLEIADES permet la saisie des bibliothèques, la description détaillée du bâtiment et le lancement des calculs avec analyse des résultats.

- **PLEIADES** : C'est le module de préparation de la saisie grâce à ses bibliothèques intégrées.
- **COMFIE** : permet d'une manière précise le calcul des flux thermiques, à partir des données du bâtiment, de son environnement et des occupants.

V.2.2. METEONORM

Avec ses différentes versions, Meteonorm comporte plus de 220 stations météo en France, Belgique, Suisse, pays du Maghreb...etc. Il nous permet d'avoir les données météorologiques pour n'importe quel endroit dans le monde. Dans notre étude nous avons utilisé



METEONORM 5.1.

Figure V.1 : Organigramme représentatif des outils de simulations intégrés dans PLEIADES.
Source : IZUBA Énergies, Khelifi Lamia et al, adaptée par l'auteur.

V.3. Déroulement de la simulation

La simulation avec PLEIADES-Comfie s'est déroulée en suivant quatre phases :

- Phase de génération des données climatiques dans le logiciel Meteonorm.
- Phase de Traitement des données climatiques Meteocalc.
- Phase de saisie du projet sur PLEIADE+COMFIE.
- Phase de simulation thermique dynamique.

Nous avons effectué des simulations pour les deux cas d'études, dans ce qui suit les étapes de simulation détaillée pour le premier cas d'étude.

V.3.1. Simulation de la maison kabyle (vernaculaire)

V.3.1.1. Phase de génération des données climatiques dans le logiciel Meteonorm

Il n'est pas possible d'intégrer les données climatiques directement sur PLEIADES, il faut d'abord les générer en utilisant Meteonorm.

Mois	H_Gh	H_Dh
Janv.	65	39
Fév.	85	43
Mars	128	66
Avr.	161	76
Mai	197	92
Juin	205	94
Juil.	227	84
Août	193	76
Sept.	153	69
Oct.	108	52
Nov.	72	37
Déc.	66	34
Année	1656	762

Figure V.2 : Génération des données climatiques de la ville de Béjaia dans Meteonorm.

Source : Auteur, 2021.

V.3.1.2. Phase de Traitement des données climatiques Meteocalc

Cette phase est très importante, car c'est la phase intermédiaire entre PLEIADES et METEONORM. Ici nous avons introduit la latitude, la longitude et toutes les informations demandées sur notre site d'étude.

C'est une étape indispensable parce qu'elle permet d'analyser les fichiers METEONORM puis les transformer sous format (Test referenceyear).

Ensuite exporter ces données vers PLEIADES, en créant une nouvelle station avec MeteoCalc (Figure V.3 et V.4).

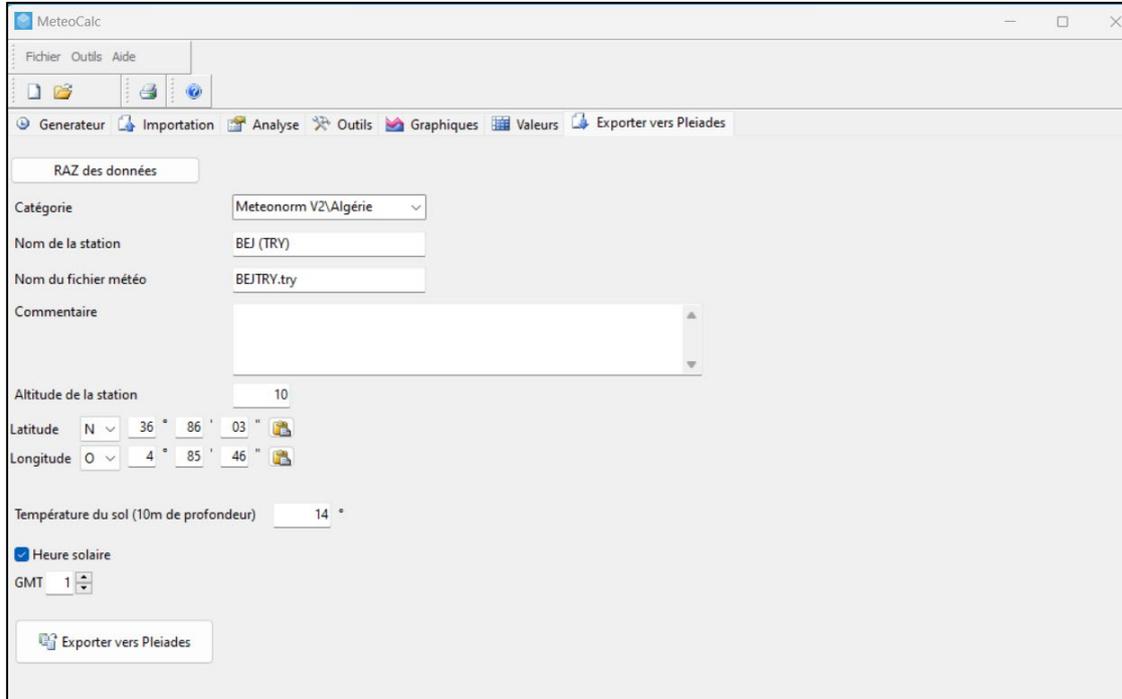


Figure V.3:Création de la station Meteo Calc.
Source : Auteur, 2021.

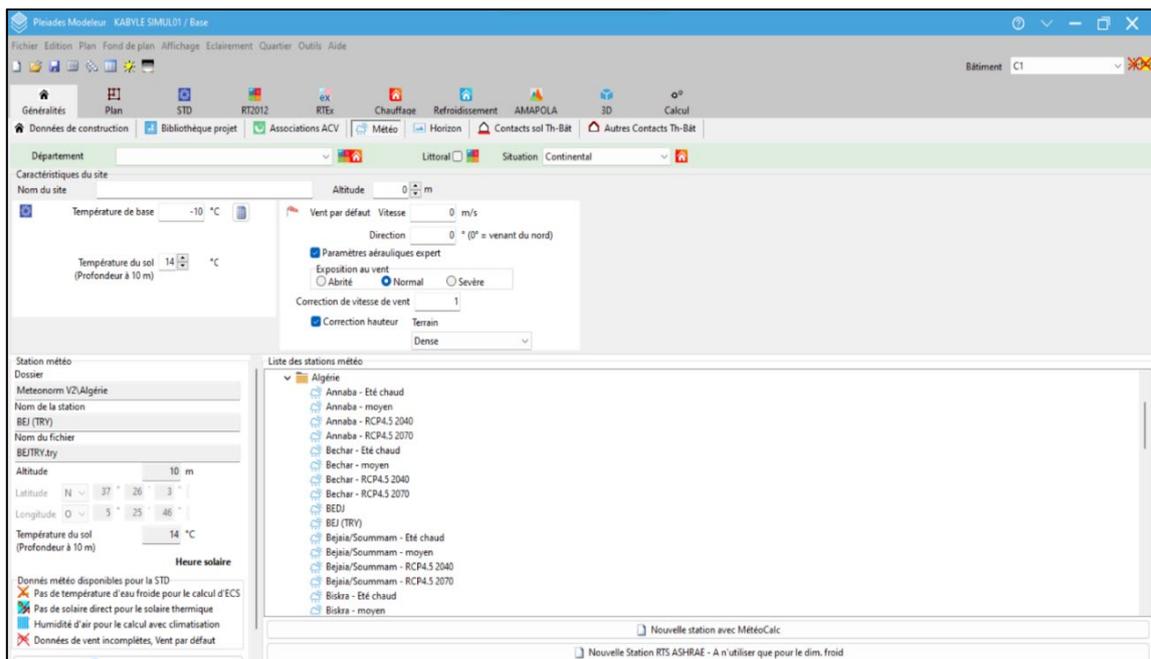


Figure V.4 : Export des données climatiques du site vert PLEIADES.
Source : Auteur, 2021.

V.3.1.3. Phase de saisie du projet sur PLEIADE+COMFIE

Etape 1

C'est l'étape de la préparation de la saisie en choisissant les modules sur lesquels nous allons travailler (Figure V.5). (Simulation, chauffage, climatisation...)

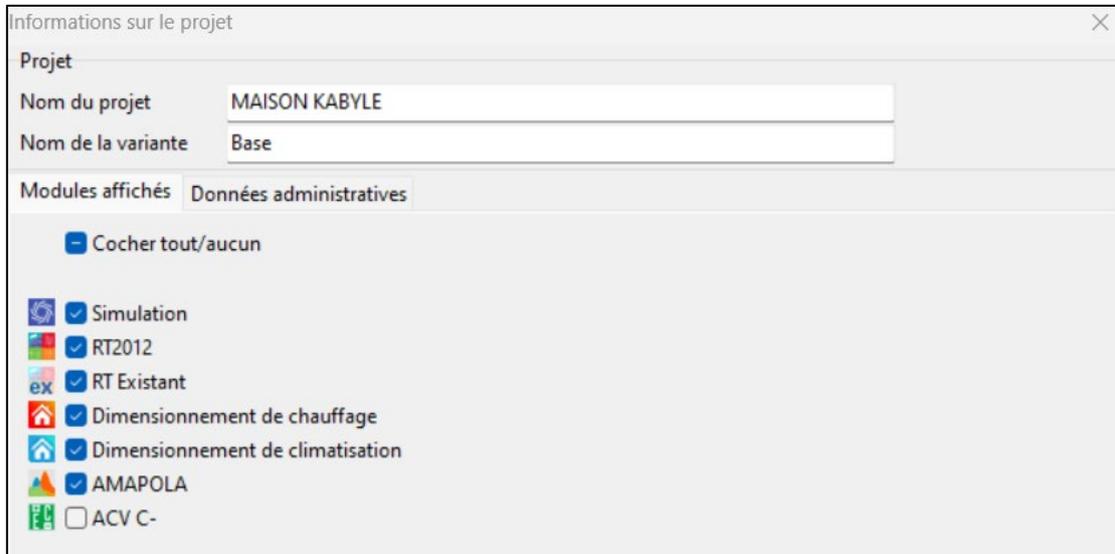


Figure V.5 : Préparation de la saisie en choix du module.
Source : Auteur, 2021.

Ensuite, c'est l'insertion des matériaux avec leurs caractéristiques thermophysiques (conductivité thermique, résistance, masse volumique). Dans notre cas nous avons intégré les caractéristiques thermophysiques des matériaux de la maison kabyle (figure V.6 et V.7).

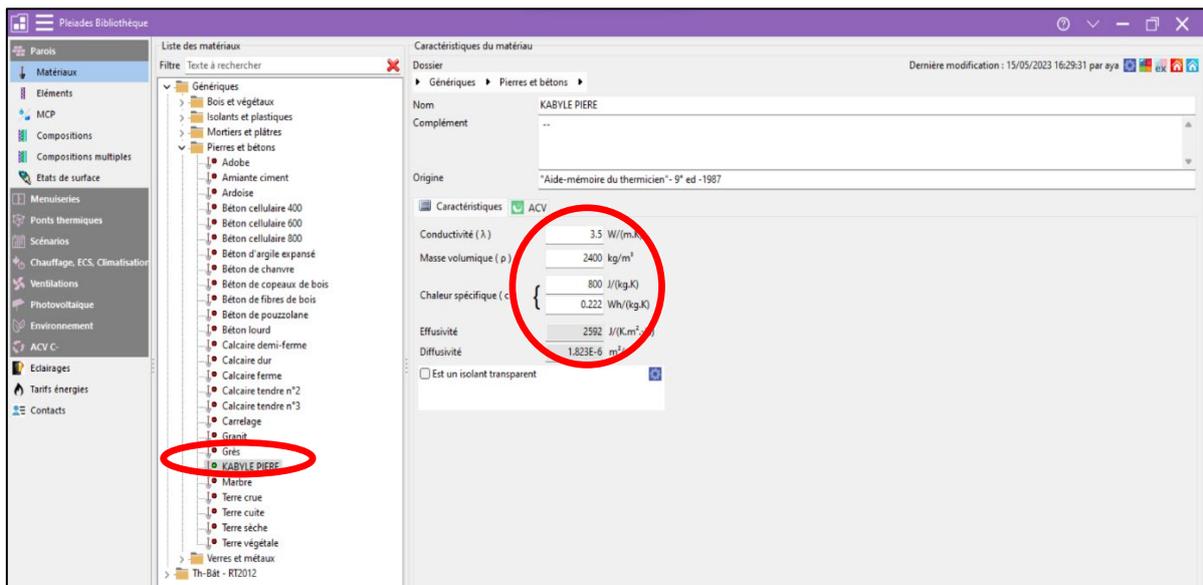


Figure V.6 : Insertion des matériaux avec leurs caractéristiques thermophysiques.
Source : Auteur, 2021.

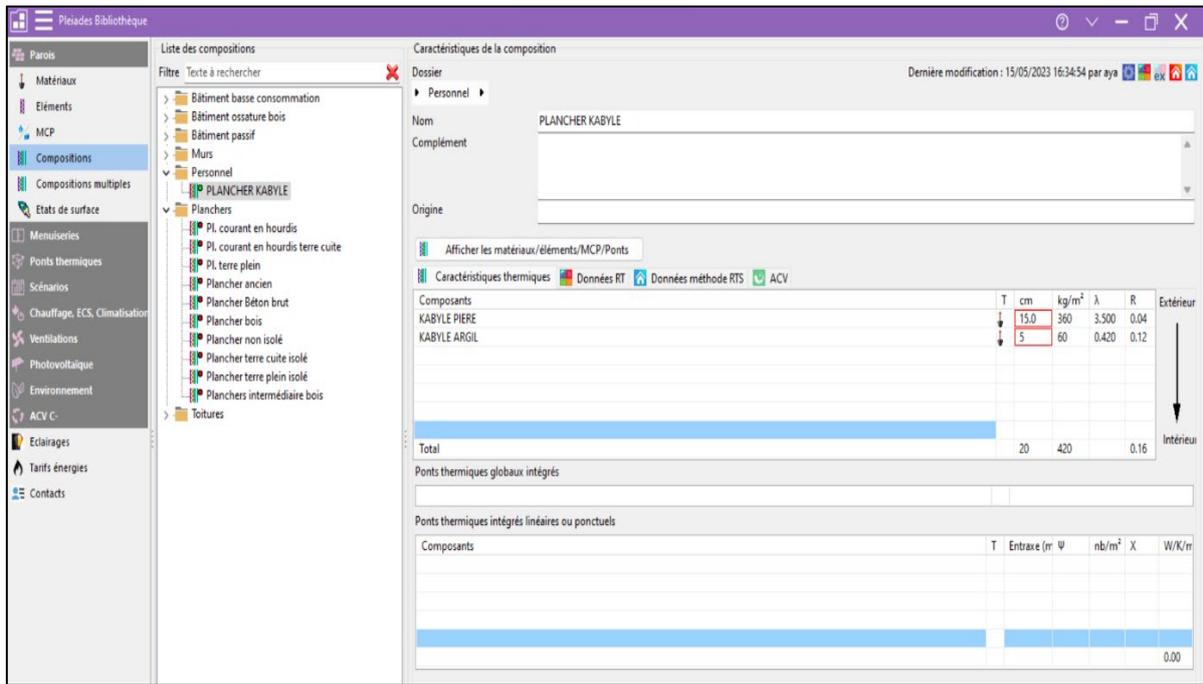


Figure V.7 : intégration des caractéristiques thermo physiques à la bibliothèque de PLEIADES.

Source : Auteur, 2021.

Toujours dans cette étape, nous avons inséré la menuiserie, avec le type de matériaux et ses caractéristiques thermo physiques (figure V.8).

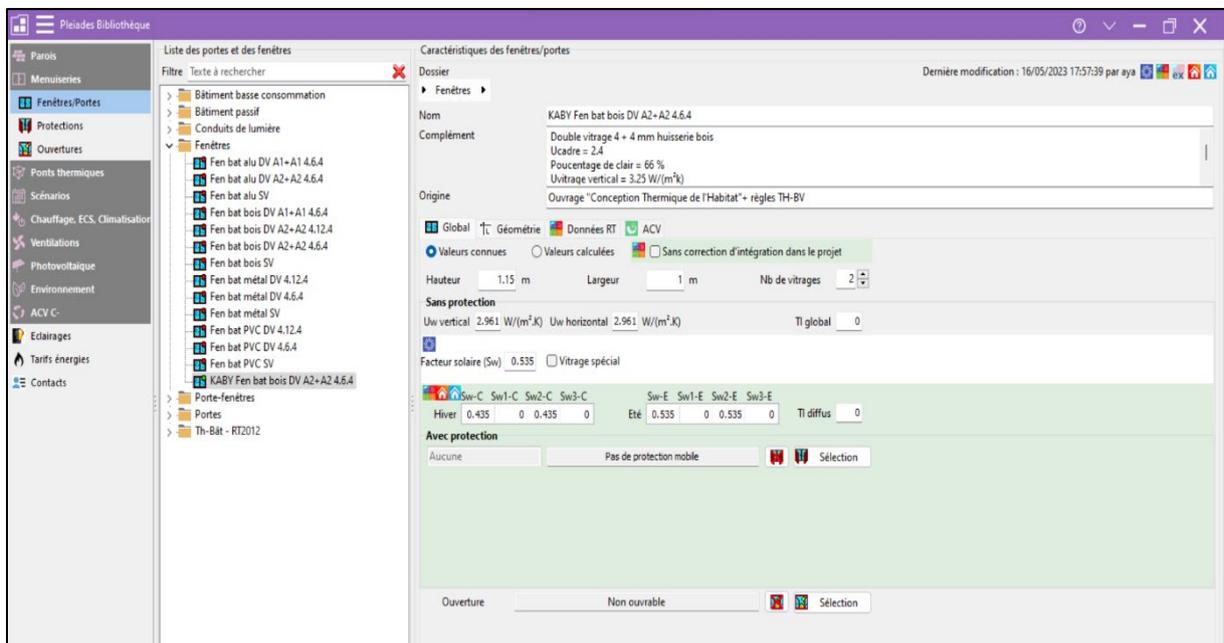


Figure V.8 : Insertion de la menuiserie.

Source : Auteur, 2021.

Ainsi que les différents scénarios de fonctionnement du bâtiment et pour chaque espace, et les consignes de température de chauffage et rafraichissement (températures de confort pour la période hivernale et estivale). (Figure V.9)

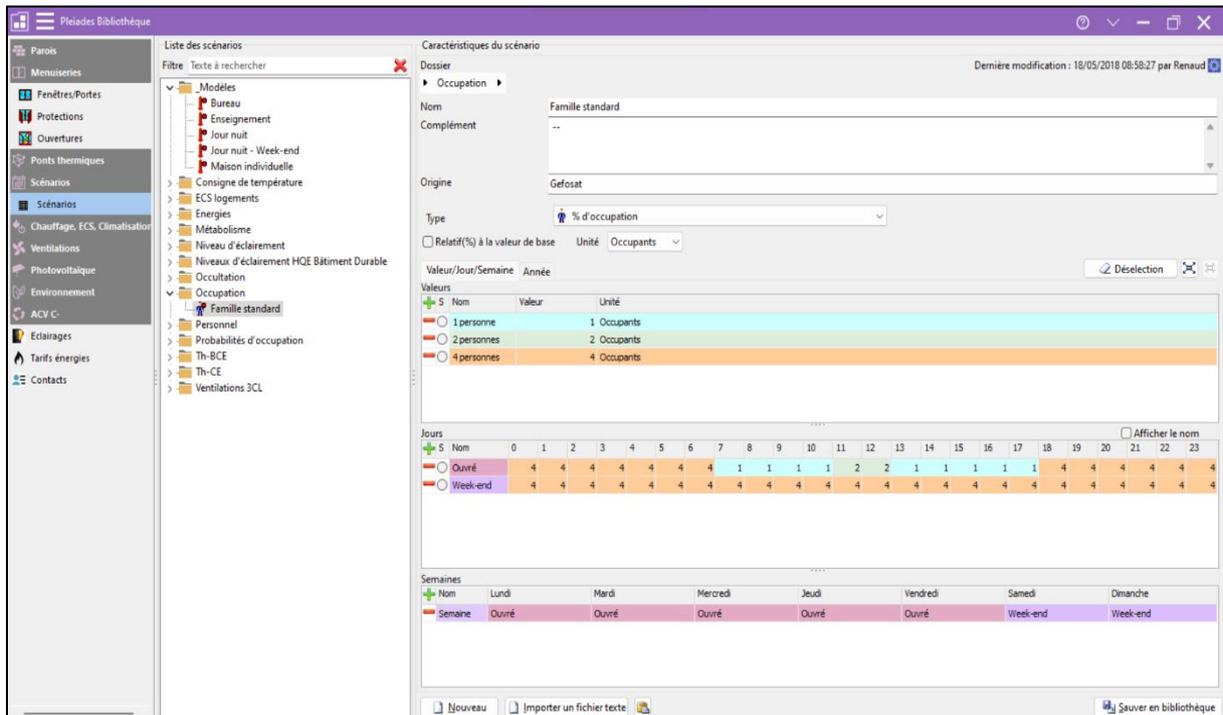


Figure V.9 : Insertion des différents scénarios de fonctionnement du bâtiment.
Source : Auteur, 2021.

Et, pour finaliser cette étape, c'est l'enregistrement de toute la base de données sur la maison kabyle (Figure V.10).

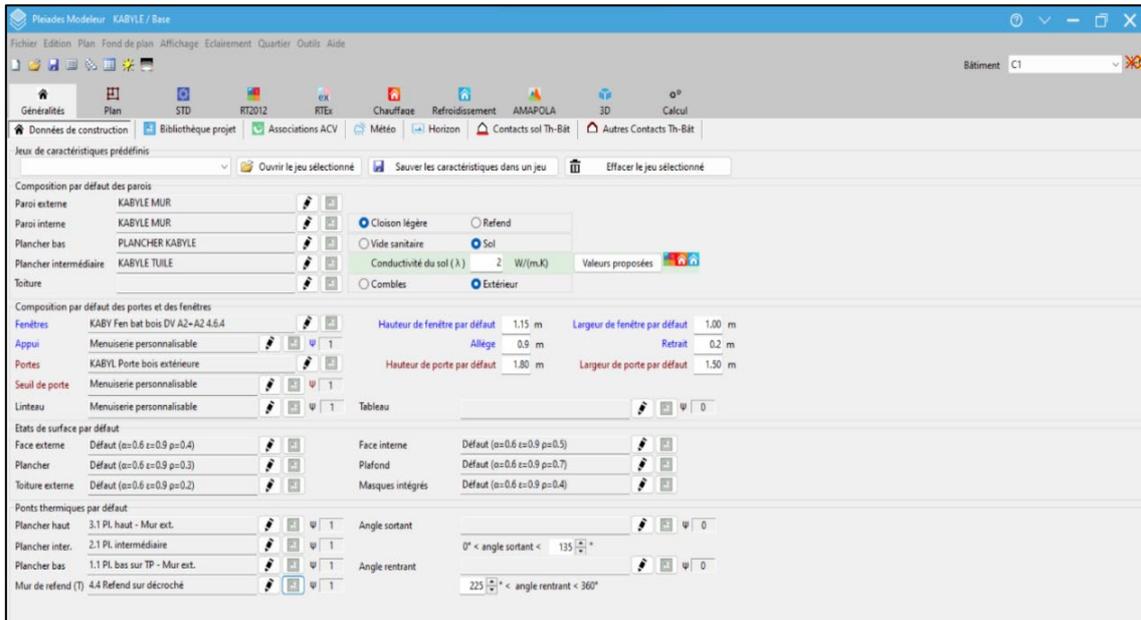


Figure V.10 : L'insertion des données de la maison kabyle à la bibliothèque de PLEIADES.
Source : Auteur, 2021.

Etape 2

C'est l'étape de création du projet (la maison kabyle), ici nous avons deux choix soit dessiner sur le logiciel Revit 3D puis l'exporter vers PLEIADES, ou le dessiner directement sur PLEIADES (2D et 3D en travaillant sur l'anglet BIM).

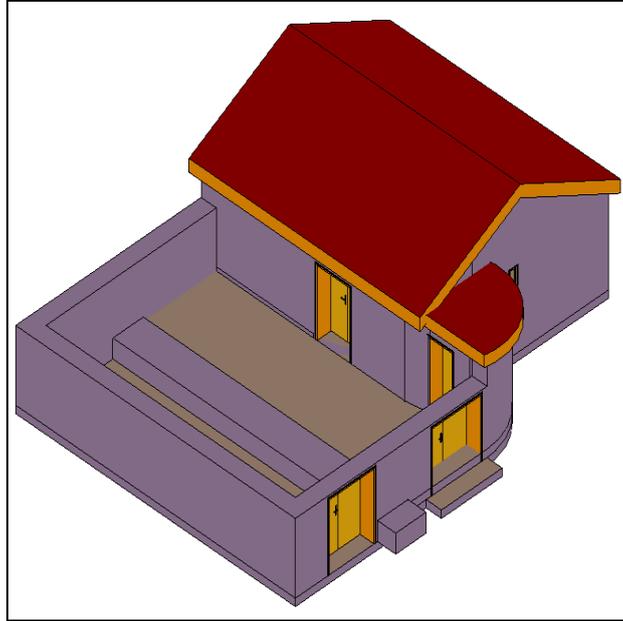


Figure V.11 : 3D de la maison kabyle en question (Revit).
Source : Auteur, 2021.

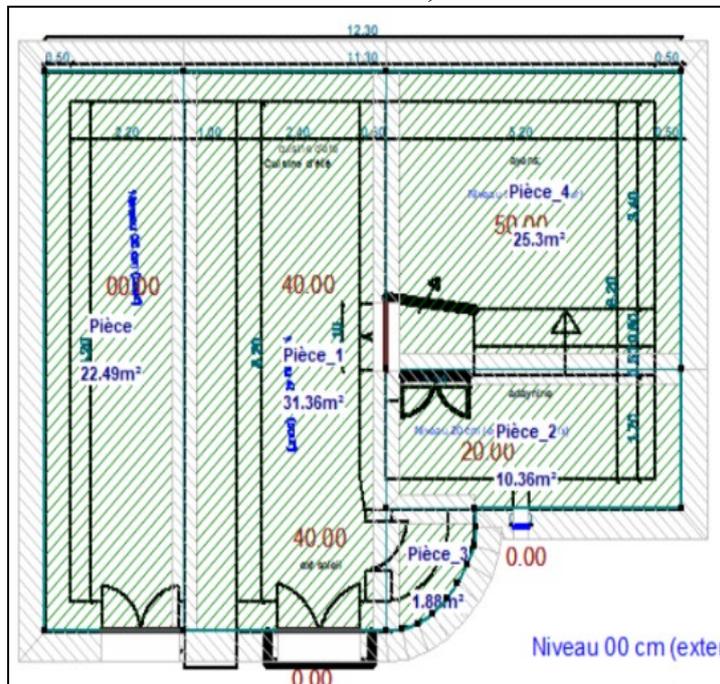


Figure V.12 : Plan de la maison kabyle en question (PLEIADES).
Source : Auteur, 2021.

Etape3

C'est l'étape d'insertion de chaque détail de la construction : déterminer le nord, définir la composition standard et modifier les éléments constructifs (remplir les renseignements de chaque paroi, chaque plancher et la toiture), et définir chaque pièce pour les répartir en zones thermiques. (Figure V.13)

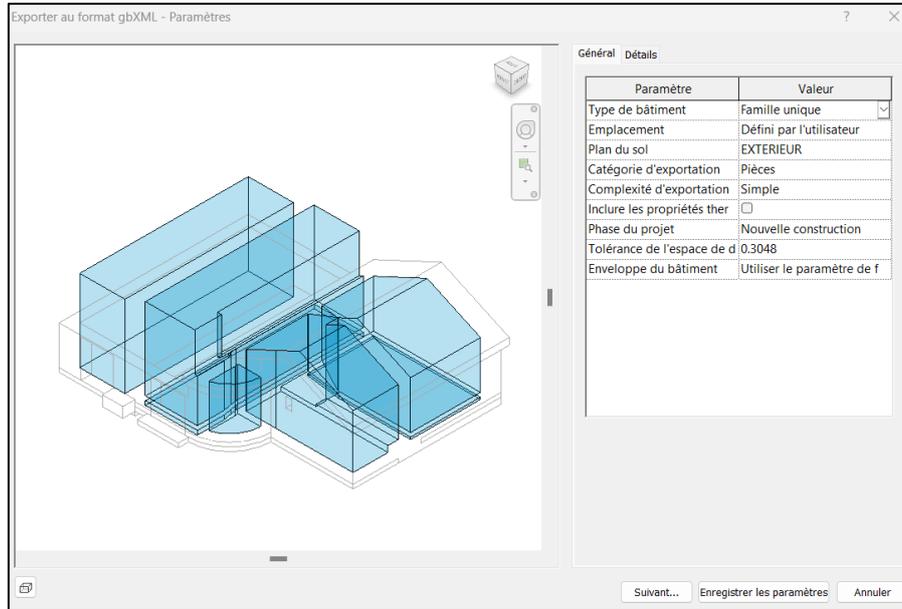


Figure V.13 : Zonage des espaces.
Source : Auteur, 2021.

Après avoir défini le zonage, nous avons fait appel à la bibliothèque du projet créé précédemment, pour créer les scénarios d'occupation de chauffage et de refroidissement (Figure 5.14).

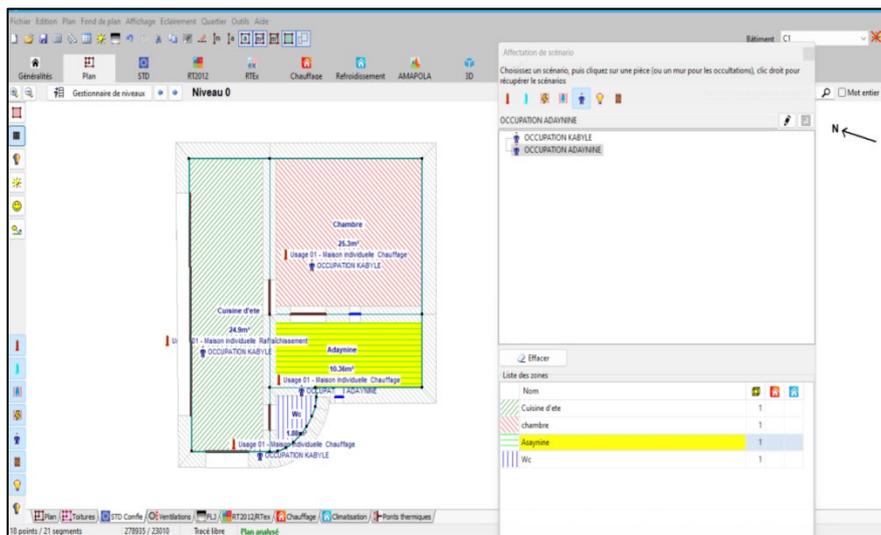


Figure V.14 : Zonage thermique des espaces (scénarios de chauffage et de refroidissement).
Source : Auteur, 2021.

V.3.1.4. Lancement de la simulation

Après avoir déterminé chaque paramètre de la simulation, c'est le lancement de la simulation thermique sur COMFIE qui, à son tour, contrôle automatiquement nos saisies.

Nous avons également déterminé la limite haute et basse de confort en suivant la méthode d'ASHRAE.

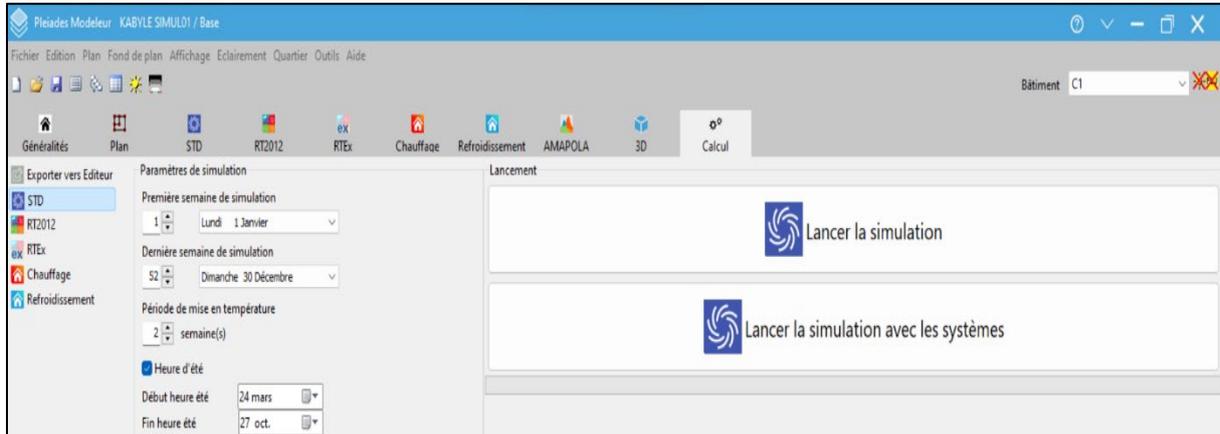


Figure V.15 : Lancement de la simulation thermique.

Source : Auteur, 2021.

À la fin de la simulation, PLEIADES nous donne les résultats de calculs pour le premier cas d'étude (la maison vernaculaire) sous forme de tableaux et de graphes.

V.4. Détermination de la plage de confort thermique à Béjaia

Afin de déterminer la zone de température de confort, nous avons utilisé le modèle d'ASHRAE standard – 55 (2004). Ce modèle permet de calculer la température de confort dans des bâtiments à ventilation naturelle en utilisant la température moyenne mensuelle extérieure. Formule de température de confort :

$$T_{\text{confort}} = 0.31 \times T_{a \text{ out}} + 17.8$$

Tableau V.1 : La température moyenne mensuelle à Béjaia.

Source : Station météorologique, adaptée par l'auteur.

Temp	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
MIN	7.2	3.1	8.7	12.7	12.2	19.5	24	24.5	28.2	24.8	11.7	10.4
MAX	16.6	15.4	21.6	21.1	21.7	26.7	32.9	29.8	20.1	14.5	18.9	14.4
MOY	12.3	10.7	14.4	16.3	17.6	21.9	26.1	26	24.9	20	15.4	12.3

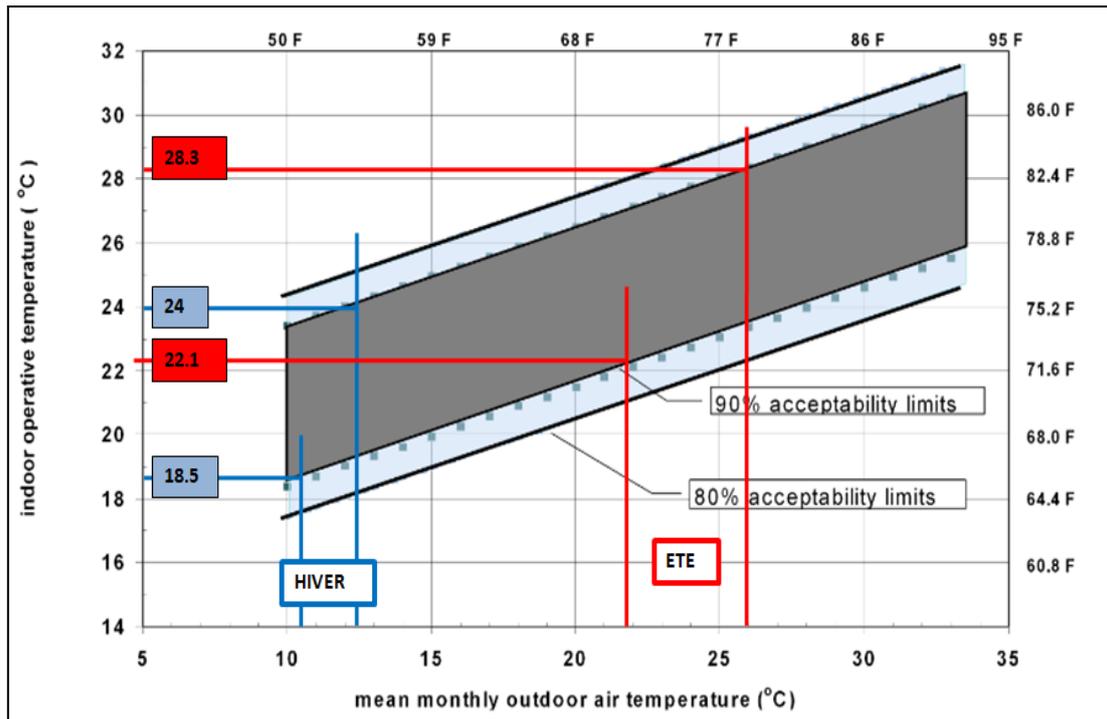


Figure V.16: Zone de confort adaptif de Béjaia selon la température moyenne extérieure mensuelle.

Source : ASHRAE standard 55-2004. Adaptée par l'auteur.

Pour la ville de Béjaia, la température de confort intérieur adaptatif avec 90% d'acceptabilité est indiquée dans le tableau 5.2. Durant la saison hivernale, elle se situe entre 18 et 24°C, concernant la saison estivale elle se situe entre 21.1 et 28.3°C. La zone de confort est donc entre 18.5 et 28.3°C.

Tableau V.2 : La température de confort adaptif de la ville de Béjaia.

Source :Auteur.

	Temp	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
LesTempératures d'après station météorologique	MIN	7.2	3.1	8.7	12.7	12.2	19.5	24	24.5	28.2	24.8	11.7	10.4
	MAX	16.6	15.4	21.6	21.1	21.7	26.7	32.9	29.8	20.1	14.5	18.9	14.4
	MOY	12.3	10.7	14.4	16.3	17.6	21.9	26.1	26	24.9	20	15.4	12.3
D'après ASHRAE standard-55 2004.	Tc min	20	18.5	20.4	21.7	21.5	23.8	25.3	25.4	26.6	25.5	21.4	21
	Tc max	22.9	22.5	24.4	24.3	24.5	26	28.3	27.1	24	22.2	23.6	22.2
	Tc moy	21.6	21	22.2	22.8	23.2	24.6	26	25.9	25.5	24	22.5	21.6

Les étapes de simulation thermique dynamique du deuxième cas d'étude maison moderne (voir Annexe D).

V.5. Validation du modèle numérique

Le logiciel de simulation thermique dynamique PLEIADES-Comfie est l'un des logiciels les plus utilisés en France dernièrement pour sa fiabilité, et sa rapidité dans la simulation même des modèles les plus compliqués.

Nous avons comparé les prises de mesures avec le modèle simulé. La prise des mesures a été effectuée avec les instruments Testo 480 qui à leur tour sont connus pour leur fiabilité.

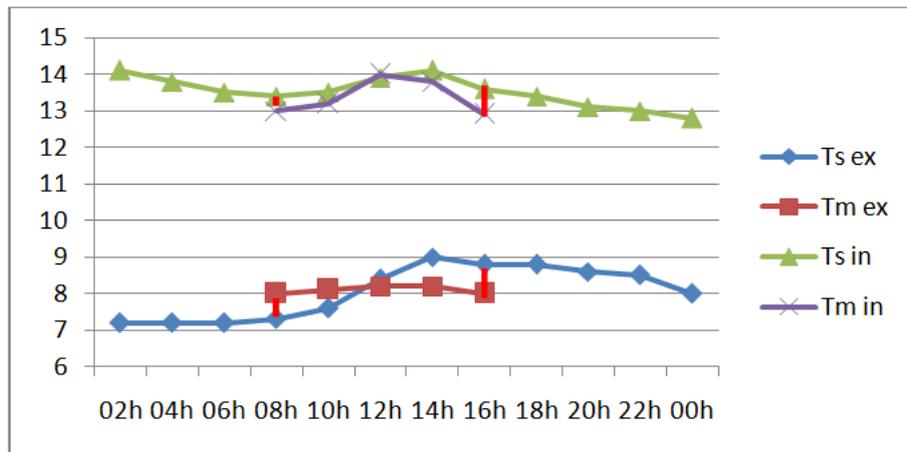


Figure V.17 : Superposition des graphes des températures simulées et mesurées.
Source : Auteur, 2021.

D'après la littérature, les études de Arnal (2013) et Soudani (2016) cités par Khadraoui (2018) et Latrech (2019), on peut valider un modèle numérique s'il y a une correspondance entre les valeurs mesurées et simulées à un écart maximal de 10%. (Miranville, 2002 ; Faure, 2007 ; Deverat, 2012 ; Guichard, 2013).

La comparaison entre les températures d'une pièce nous a montré un écart entre les températures mesurées et simulées, cet écart est de 0.1°C à 0.7°C qui correspond à un pourcentage de 0.73% à 5.14%.

La comparaison entre les températures extérieures nous a montré un écart entre les températures mesurées et simulées, cet écart est de 0.2°C à 0.8°C qui correspond à un pourcentage de 2.22% à 8.88%. Nous constatons que tous ces pourcentages sont inférieurs à 10%, cela nous permet de valider notre simulation numérique.

V.6. Interprétation des résultats

V.6.1. Diagnostic de la performance énergétique

Tableau V.3 : Besoin en chauffage et en climatisation de la maison kabyle.
Source : Auteur, 2021.

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
chambre	13 390 kWh	360 kWh	7.00 °C	20.18 °C	32.14 °C
Adaynine	6 073 kWh	456 kWh	7.31 °C	20.70 °C	33.76 °C
Wc	2 028 kWh	117 kWh	7.00 °C	19.43 °C	33.17 °C
Total	21 491 kWh	932 kWh	7.09 °C	20.28 °C	32.65 °C

Tableau V.4 : Besoin en chauffage et en climatisation de la maison moderne.
Source : Auteur, 2021.

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Jour	14 963 kWh	5 619 kWh	10.09 °C	17.92 °C	30.34 °C
Nuit	16 791 kWh	7 116 kWh	10.22 °C	17.97 °C	31.04 °C
Circulation	15 954 kWh	6 167 kWh	10.37 °C	18.02 °C	29.98 °C
Total	47 709 kWh	18 902 kWh	10.23 °C	17.97 °C	30.44 °C

D'après les résultats, nous constatons que pour les deux cas d'études, la consommation d'énergie est beaucoup plus élevée en hiver qu'en été. Cela est expliqué par les pertes de chaleur importantes à travers les murs, les fenêtres, le toit que subissent les maisons. Nous pouvons expliquer cela aussi par le climat méditerranéen (froid humide et pluvieux en hiver).

V.6.2. Comparaison des bilans énergétiques avec les normes

En Algérie, il n'existe pas beaucoup de manières pour évaluer la consommation énergétique, voir la comparer aux normes réglementaires, vu que nos conceptions obtiennent les certificats de conformités uniquement pour la bonne exécution, qui dépend de la finalisation de réalisation et non pas de la qualité thermique de la construction. Cependant le seul document réglementaire d'après le ministère de l'habitat et de l'urbanisme est un document technique réglementaire :

- Arrêté du 10 décembre 1997 portant approbation du document technique réglementaire relatif à la réglementation thermique des bâtiments, basé principalement sur les règles de calcul des déperditions calorifiques.

- Arrêté du 17 Safar 1434 correspondant au 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. (Voir Annexe E)

Pour ce faire, et en fonction de l'exigence de notre travail, nous avons essayé de comparer les résultats obtenus avec l'étiquette de classement de bâtiments. Nous avons utilisé la nouvelle étiquette DPE 2021 de classement de bâtiments (avec une marge de 20kWh/m².an).

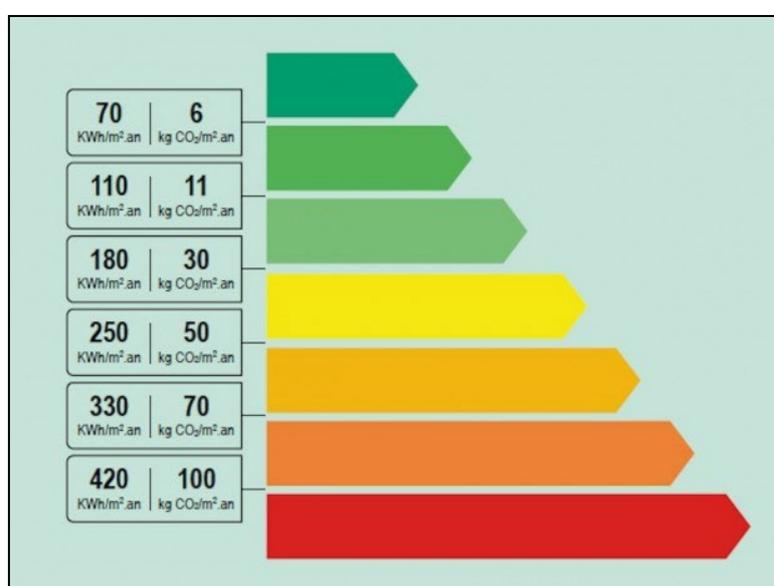


Figure V.18 : Étiquette de classement des bâtiments selon DPE 2021.

Source : Ministère de la Transition Écologique.

Tableau V.5: Besoin en chauffage et en climatisation annuelle par mètre carré des deux maisons.

Source : Auteur, 2022.

Cas d'étude	Maison kabyle	Maison moderne
Besoins en chauffage	21491kWh/an	47709kWh/an
Besoins en climatisation	932kWh/an	18902kWh/an
Besoins en chauffage/m²	242 kWh/m ² .an	451.78kWh/m ² .an
Besoins en climatisation /m²	10.52 kWh/m ² .an	178.99kWh/m ² .an

Malgré les disparités de surface entre les deux maisons étudiées, il est possible d'établir une comparaison de leurs besoins en chauffage et en climatisation, en prenant en compte leur ratio de consommation par mètre carré.

La maison kabyle consomme **242 kWh/m².an** en hiver et **10.52 kWh/m².an** en été, tandis que la maison moderne consomme **451 kWh/m².an** en hiver et **178.99kWh/m²** en été. Cette différence de consommation est expliquée par l'épaisseur considérable de ses murs en pierre (50 cm).

Maison kabyle est classée dans la catégorie **D**, une maison moyennement aux normes, tandis que la **maison moderne** est classée dans la catégorie **G**, une maison hors normes.

V.6.3. Les heures d'inconfort

Tableau V.6 : Heures et taux d'inconfort dans la maison kabyle.
Source : Auteur, 2021.

Zones	Apports solaires bruts	Conso Eclairage	Heures > T°Inconfort	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort
chambre	175 kWh	0 kWh	89 h	51.96 %	10.19 %
Adaynini	36 kWh	0 kWh	41 h	56.88 %	11.01 %
Wc	129 kWh	0 kWh	215 h	64.68 %	27.19 %

On remarque clairement que le taux d'inconfort dans la maison kabyle est très bas entre 10.19% et 11.01%. Cela est expliqué par l'utilisation de la pierre pour la construction des murs, avec une épaisseur importante de 50 cm, la terre cuite et le bois.

Pour les w.c., le taux d'inconfort est plus élevé, vu l'état de sa porte que nous avons déjà présentée dans le chapitre précédent (**figure IV.26**).

Ce taux d'inconfort élevé confirme notre prise de mesure, et la différence de température entre w.c. et les autres espaces intérieurs.

Tableau V.7 : Heures et taux d'inconfort dans la maison moderne.
Source : Auteur, 2021.

Zones	Apports solaires bruts	Conso Eclairage	Heures > T°Inconfort	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort
Jour	860 kWh	0 kWh	172 h	40.49 %	65.25 %
Nuit	1 227 kWh	0 kWh	196 h	41.25 %	64.19 %
Circulation	609 kWh	0 kWh	175 h	40.41 %	64.55 %

Dans le cas de la maison moderne, nous avons le taux d'inconfort pour trois scénarios d'occupation. Ici le taux d'inconfort se rapproche pour les trois zones, la zone des espaces

jour, la zone des espaces nuit et la zone de circulation). Ce taux varie entre 64.19% et 65.25%, des pourcentages très élevés qui sont expliqués par les déperditions et les gains de chaleurs à travers l'enveloppe.

V.6.4. Les graphes de températures

V.6.4.1. La maison kabyle

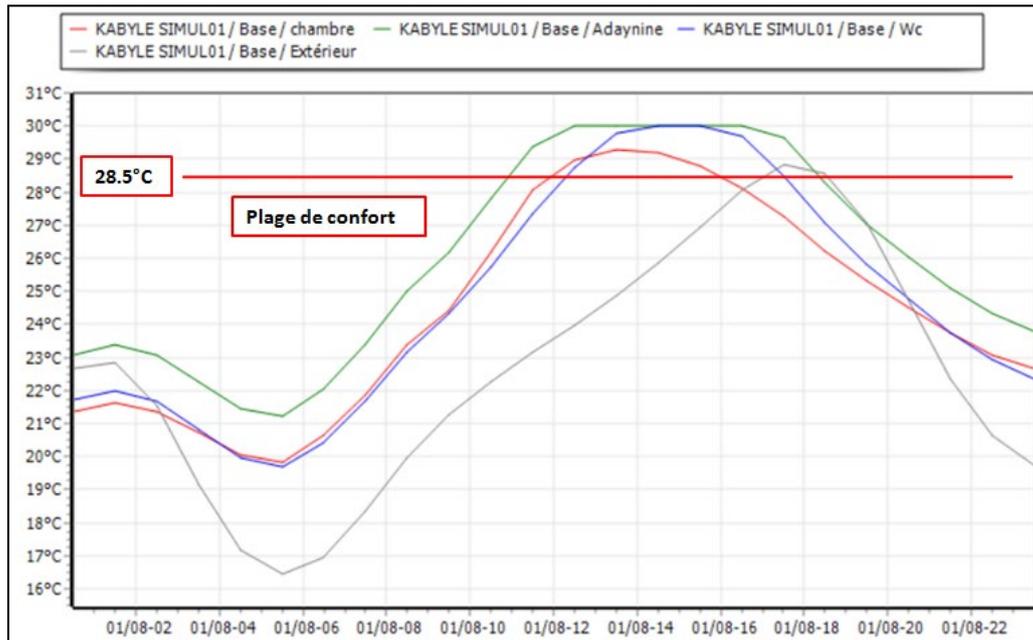


Figure V.19 : Température de la journée la plus chaude (maison kabyle).
Source : Auteur, 2021.

Nous présentons également les graphes des températures pour évaluer le confort thermique. Pour la maison kabyle, durant la journée la plus chaude de l'année, nous pouvons observer des températures qui dépassent la plage de confort surtout dans la seconde moitié de la journée (figure V.19). Cette variation de température pendant cette journée représentative est expliquée par la capacité des matériaux composants l'enveloppe architecturale à ralentir le transfert de chaleur, c'est ce qu'on appelle le déphasage thermique.

Pour la journée la plus froide, de manière générale nous avons des températures très loin de la plage de confort (figure V.20). Bien que la maison soit en pierre avec une bonne inertie thermique et une capacité à réguler les températures, les simulations ont révélé une plage d'inconfort thermique. Cela suggère d'autres facteurs tels que l'isolation, et la ventilation.

Ces températures intérieures de la maison qui descendent en dessous de la plage de confort pendant l'hiver entraînent un inconfort thermique pour les occupants. Sans oublier que la maison se situe dans une zone montagneuse.

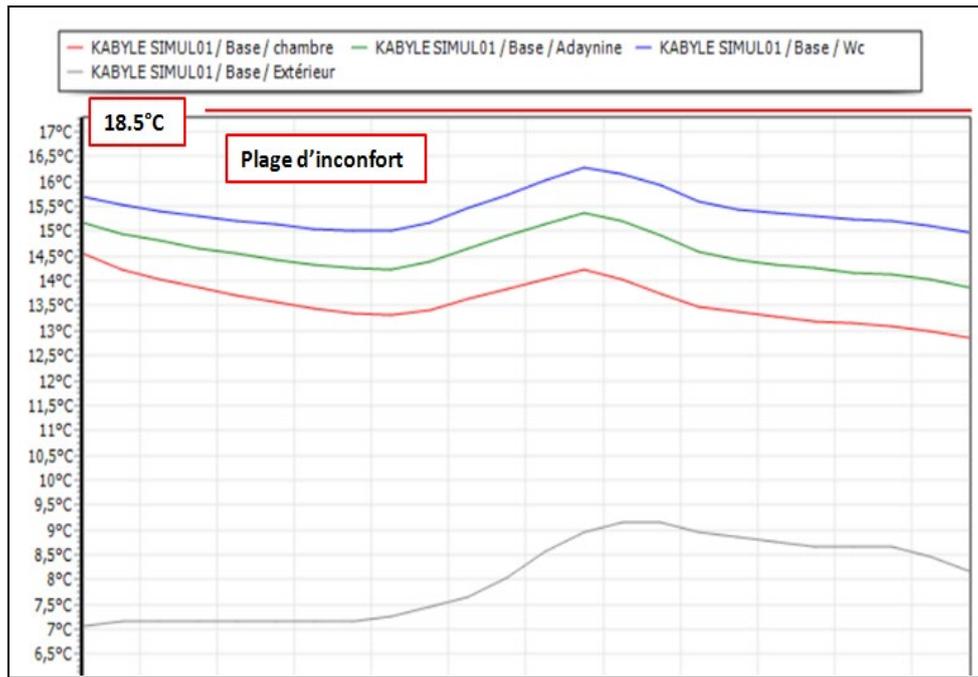


Figure V.20 : Température de la journée la plus froide (maison kabyle).
Source : Auteur, 2021.

Nous observons une persistance du même schéma thermique entre la semaine la plus chaude et la journée la plus chaude (Figure 5.21), ainsi qu'entre la semaine la plus froide et la journée la plus froide (Figure 5.22). Les semaines les plus chaudes et les plus froides prennent le même comportement thermique des journées (chaudes et froides) dans les cas d'étude.

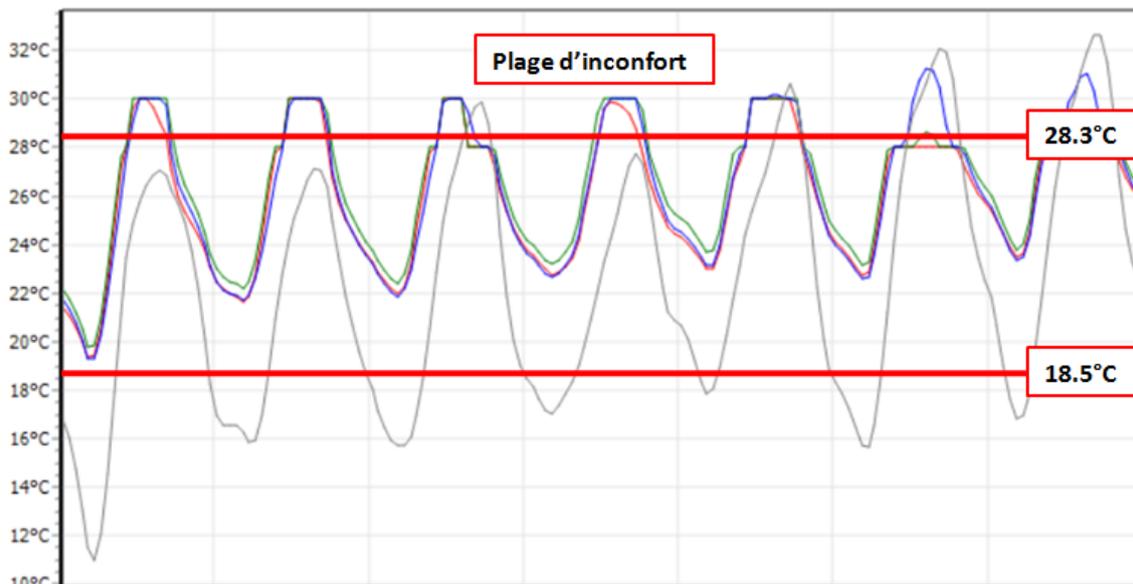


Figure V.21 : Température de la semaine la plus chaude (maison kabyle).
Source : Auteur, 2021.



Figure V.22 : Température de la semaine la plus froide (maison kabyle).
Source : Auteur, 2021.

V.6.4.2. La maison moderne :

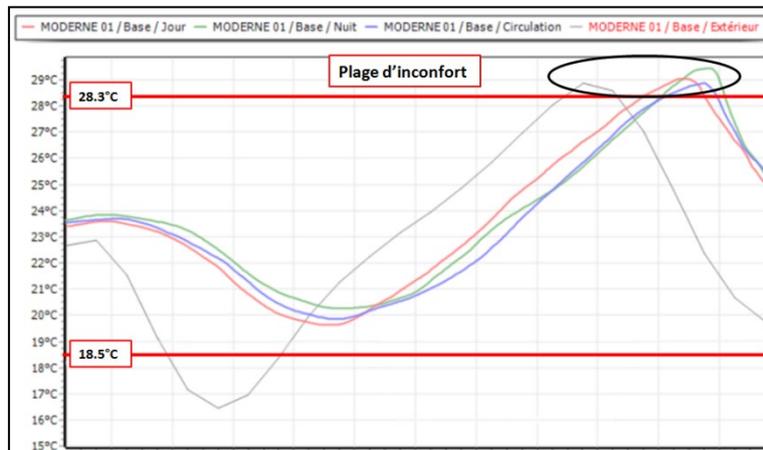


Figure V.23 : Température de la journée la plus chaude (maison moderne).
Source : Auteur, 2021.

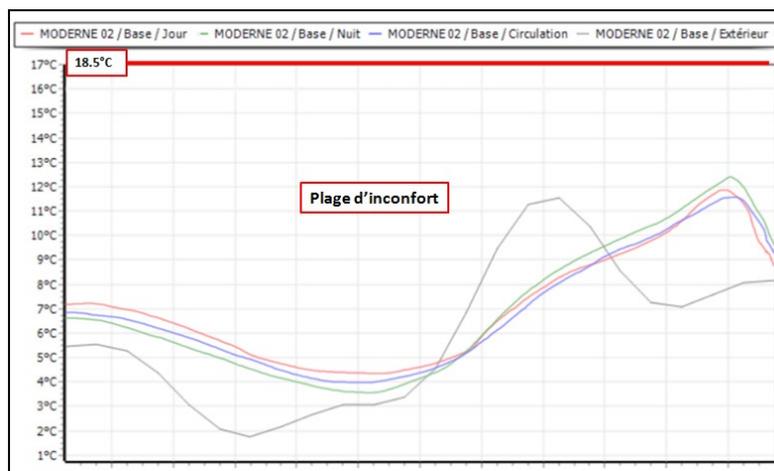


Figure V.24 : Température de la journée la plus froide (maison moderne).
Source : Auteur, 2021.

Pour la maison moderne, les températures montrent toujours qu'il ya une plage d'inconfort thermique. Cela est expliqué par l'isolation de la brique qui n'est pas adéquate aux variations climatiques du contexte climatique de l'étude (climat méditerranéen). Aussi par l'exposition de la maison au soleil et aux vents du nord.

Les courants d'air indésirables peuvent également entraîner une plage d'inconfort thermique.

V.7. Optimisation énergétique de l'espace habitable individuel moderne :

L'architecture de la maison kabyle vernaculaire est un patrimoine précieux que nous devons préserver pour le transmettre aux générations futures. Un savoir-faire ancestral et une adaptation intelligente aux conditions climatiques sont les caractéristiques de cette architecture.

L'objectif de cette recherche est l'amélioration de la performance énergétique et du confort thermique de la maison moderne à travers l'enveloppe architecturale en tirant parti des caractéristiques bioclimatiques de la maison kabyle.

V.7.1. Première amélioration de la maison moderne :

Un simple regard en arrière sur les pas de nos ancêtres, pourrait nous inspirer à construire notre futur d'une façon plus adaptée.

Afin d'améliorer les performances énergétiques de la maison moderne, à travers l'enveloppe du bâtiment, nous avons proposé de refaire la simulation en remplaçant les murs de brique par des murs en pierre (30 cm). Le but de cette modification de l'enveloppe est d'intégrer les éléments de la maison kabyle pour améliorer la performance énergétique. Les murs en pierre ont des propriétés thermiques très avantageuses, leur masse thermique élevée leur permet de stocker la chaleur pendant des heures et la restituer progressivement lorsque la température extérieure diminue, cela aide à créer un confort intérieur désiré.

Tableau V.8 : Caractéristiques thermo physiques de la pierre.
Source : Auteur, 2022.

La pierre	
Conductivité thermique	3.5 W/(m.k)
Masse volumique	2400 kg/m ³
Épaisseur	30 cm

Résultat et interprétation :➤ **Performance énergétique :**

Tableau V.9: Besoins en chauffage et en climatisation (première amélioration)
Source : Auteur, 2021.

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Jour	7 891 kWh	3 541 kWh	13.13 °C	17.73 °C	25.80 °C
Nuit	10 766 kWh	5 132 kWh	12.26 °C	17.85 °C	28.24 °C
Circulation	9 508 kWh	4 361 kWh	12.70 °C	17.79 °C	26.95 °C
Total	28 164 kWh	13 035 kWh	12.70 °C	17.79 °C	26.99 °C

Tableau V.10 : Réduction des besoins en chauffage et en climatisation.
Source : Auteur, 2021.

	Cas initial	Première amélioration
Besoins en chauffage	47709kWh/an	28164 kWh/an
Besoins en climatisation	18902 kWh/an	13035 kWh/an
Besoins en chauffage/m ²	451.78 kWh/m ² .an	266.70 kWh/m ² .an
Besoins en climatisation /m ²	178.99kWh/m ² .an	123.43 kWh/m ² .an

Après avoir remplacé les murs en brique par des murs en pierre, nous constatons qu'il y a une baisse des besoins en chauffage et en climatisation et donc une réduction de la consommation énergétique. La fusion entre les éléments traditionnels et les concepts contemporains a permis d'avoir une performance énergétique améliorée tout en conservant l'esthétique moderne de la maison.

- Les besoins en chauffage ont été réduits de **47709 kWh/an** à **28164 kWh/an**.
- Les besoins en climatisation ont été réduits de **18902kWh/an** à **13035 kWh/an**.
- Les caractéristiques de la pierre, ont permis une réduction de 40.96% des besoins en chauffage, et de 31.03%des besoins en climatisation.

➤ Confort thermique

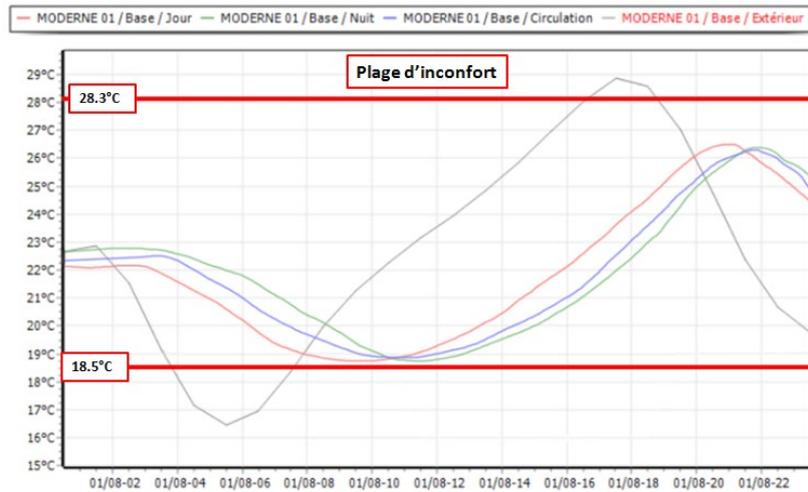


Figure V.25 : Températures de la journée la plus chaude (1ère amélioration)
Source : Auteur, 2021.

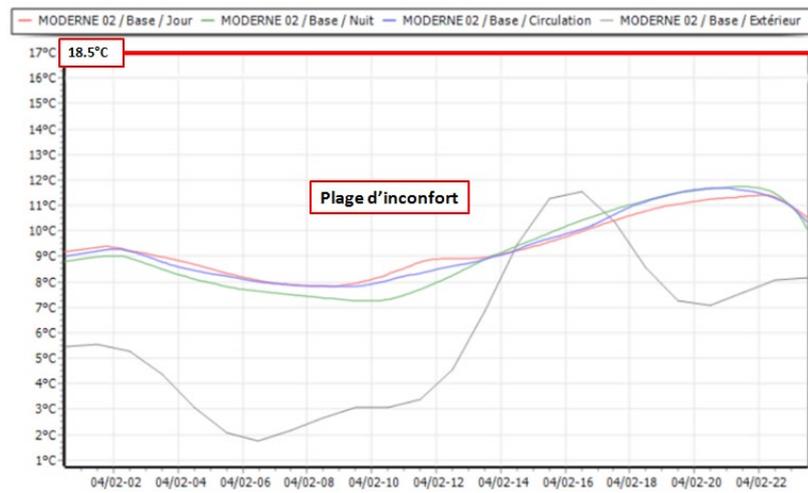


Figure V.26 : Températures de la journée la plus froide (1ère amélioration)
Source : Auteur, 2021.

Tableau V.11: Réduction du taux d'inconfort.
Source : Auteur, 2021.

Zones	Apports solaires bruts	Conso Eclairage	Heures > T°Inconfort	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort
Jour	860 kWh	0 kWh	110 h	24.55 %	34.88 %
Nuit	1 227 kWh	0 kWh	216 h	30.32 %	39.97 %
Circulation	608 kWh	0 kWh	173 h	27.61 %	38.14 %

La pierre a permis également une réduction du taux d'inconfort de **46.54%** pour la zone des espaces jour, **37.73%** pour la zone des espaces nuit, et de **40.91%** pour la zone de circulation.

Cas initial		
T° Min	T° Moyenne	T° Max
10.09 °C	17.92 °C	30.34 °C
10.22 °C	17.97 °C	31.04 °C
10.37 °C	18.02 °C	29.98 °C
10.23 °C	17.97 °C	30.44 °C
Première amélioration		
T° Min	T° Moyenne	T° Max
13.13 °C	17.73 °C	25.80 °C
12.26 °C	17.85 °C	28.24 °C
12.70 °C	17.79 °C	26.95 °C
12.70 °C	17.79 °C	26.99 °C

Figure V.27: La température ambiante intérieure, après la 1^{ère} amélioration.
Source : Auteur, 2021.

- ✓ Les températures intérieures ont baissé d'une moyenne de 3.45 °C en été et ont augmenté d'une moyenne de 2.47 °C en hiver.
- ✓ L'enveloppe architecturale, à travers les murs en pierre, a permis une réduction de la consommation énergétique et une amélioration du confort thermique intérieur.

Nous avons exploré une nouvelle approche pour l'amélioration de la performance énergétique, c'est d'intégrer des matériaux isolants pour les murs de briques existants. Selon l'étude de Fezzioui et al (2008), l'isolation de la toiture donne un meilleur résultat que l'isolation des murs, il a réussi à réduire les besoins en climatisation de 23% en rajoutant un isolant à la toiture, et 3% en isolant uniquement les murs.

Dans ce qui suit, nous allons essayer de refaire la simulation numérique avec des isolants modernes au niveau des murs et de la toiture.

V.7.2. Deuxième amélioration de la maison moderne :

Dans cette deuxième amélioration, l'optimisation énergétique se fera toujours à travers l'enveloppe architecturale, mais cette fois-ci nous allons intervenir au niveau des murs et de la toiture. L'enveloppe du bâtiment joue un rôle de séparation thermique entre l'ambiance intérieure extérieure, elle intervient comme stockage ou distributeur de la chaleur dans la maison. Pour les murs nous avons utilisé 10 cm de laine de roche et 5 cm de polystyrène.

Ces isolants vont jouer le rôle d'une barrière supplémentaire contre les échanges thermiques. La laine de roche est un isolant connu pour ses excellentes propriétés thermiques, le

polystyrène à son tour est un matériau léger et résistant, avec des caractéristiques thermiques avantageuses.

Résultat et interprétation :

➤ **Performance énergétique :**

Tableau V.12 : Besoins en chauffage et en climatisation (2ème amélioration).
Source : Auteur, 2021.

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Jour	5 985 kWh	2 852 kWh	14.29 °C	17.77 °C	24.10 °C
Nuit	9 625 kWh	4 821 kWh	13.16 °C	17.86 °C	27.06 °C
Circulation	8 116 kWh	3 901 kWh	13.24 °C	17.81 °C	26.49 °C
Total	23 726 kWh	11 575 kWh	13.56 °C	17.81 °C	25.89 °C

Tableau V.13: Réduction des besoins en chauffage et en climatisation.
Source : Auteur, 2021.

	Cas initial	Deuxième amélioration
Besoins en chauffage	47709 kWh/an	23726 kWh/an
Besoins en climatisation	18902 kWh/an	11575 kWh/an
Besoins en chauffage/m ²	451.78 kWh/m ² .an	224.67 kWh/m ² .an
Besoins en climatisation /m ²	178.99 kWh/m ² .an	109.61 kWh/m ² .an

Nous constatons une qu'il y a une baisse dans les besoins en chauffage et en climatisation et donc une réduction de la consommation énergétique.

- Les besoins en chauffage ont été réduits de 47709 kWh/an à 23726 kWh/an.
- Les besoins en climatisation ont été réduits de 18902 kWh/an à 11575 kWh/an.
- Les isolants modernes que nous avons utilisés nous ont donné un meilleur résultat (laine de roche et polystyrène), ces isolants ont permis une réduction de 50.26% des besoins en chauffage, et de 38.76% des besoins en climatisation.

➤ Confort thermique

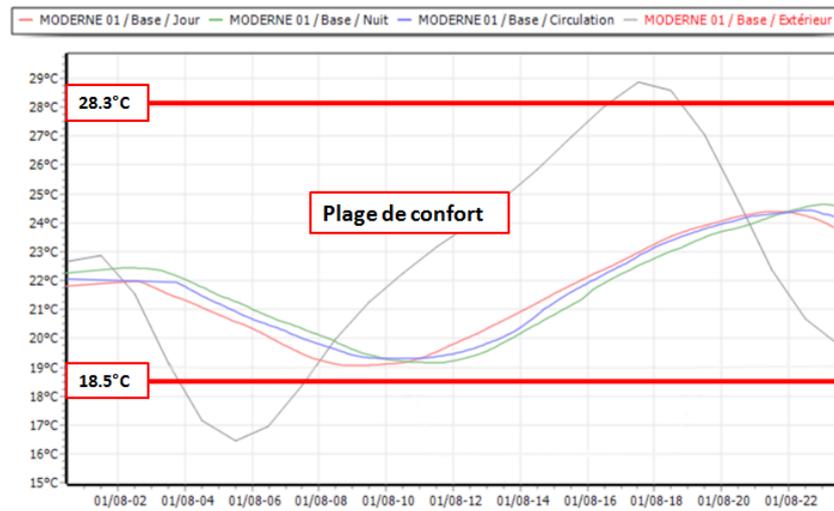


Figure V.28 : Températures de la journée la plus chaude (2ème amélioration).
Source : Auteur, 2021.

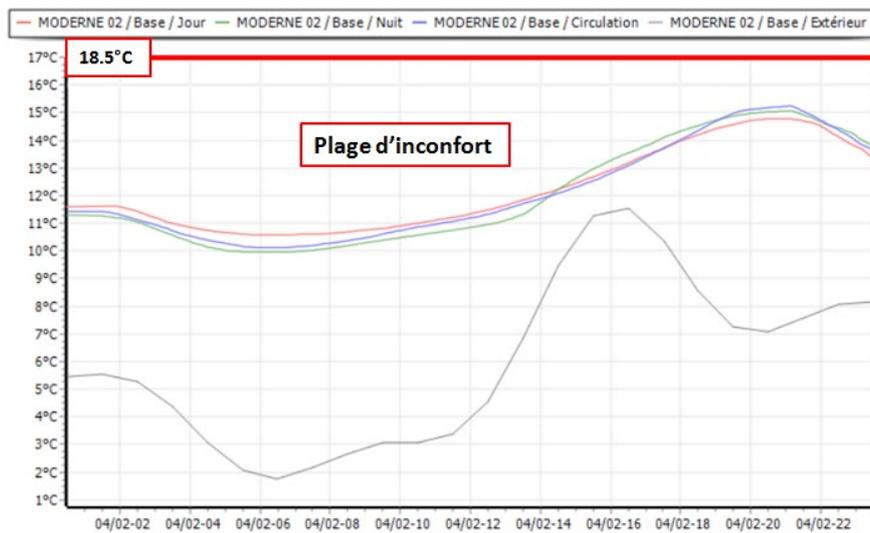


Figure V.29 : Températures de la journée la plus froide (2ème amélioration).
Source : Auteur, 2021.

Tableau V.14 : Réduction du taux d'inconfort
Source : Auteur, 2021.

Zones	Apports solaires bruts	Conso Eclairage	Heures > T°Inconfort	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort
Jour	860 kWh	0 kWh	36 h	19.41 %	26.29 %
Nuit	1 227 kWh	0 kWh	193 h	27.55 %	37.28 %
Circulation	608 kWh	0 kWh	158 h	26.96 %	36.46 %

L'enveloppe architecturale, à travers les murs dotés d'isolants, a permis une réduction de la consommation énergétique et une amélioration du confort thermique intérieur.

La laine de roche et le polystyrène ont permis une réduction du taux d'inconfort de **59.70%** pour la zone des espaces jour, **41.92%** pour la zone des espaces nuit, et de **43.51%** pour la zone de circulation.

Cas initial		
T° Min	T° Moyenne	T° Max
10.09 °C	17.92 °C	30.34 °C
10.22 °C	17.97 °C	31.04 °C
10.37 °C	18.02 °C	29.98 °C
10.23 °C	17.97 °C	30.44 °C
Deuxième amélioration		
T° Min	T° Moyenne	T° Max
14.29 °C	17.77 °C	24.10 °C
13.16 °C	17.86 °C	27.06 °C
13.24 °C	17.81 °C	26.49 °C
13.56 °C	17.81 °C	25.89 °C

Figure V.30: La température ambiante intérieure, après la 2ème amélioration.

Source : Auteur, 2021.

Les températures intérieures ont baissé d'une moyenne de 4.55 °C en été et ont augmenté d'une moyenne de 3.33 °C en hiver.

V.8. Récapitulatif

Tableau V.15: Tableau récapitulatif sur la performance énergétique.
Source : Auteur.

	Les variantes	Les besoins en chauffage		Les besoins en climatisation		Total des besoins	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Cas initial	Mur en brique avec une lame d'air + toiture sans isolation	47709	451.78	18902	178.99	66611	630.77
1ere amélioration	Mur en pierre plus toiture sans isolation	28164	266.70	13035	123.43	41199	390.13
2 ^{ème} amélioration	Mur en brique avec laine de roche comme isolant + toiture avec isolation (polystyrène)	23726	224.67	11575	109.61	35301	334.28

L'enveloppe a permis une réduction remarquable des besoins en chauffage et en climatisation, ce qui engendre une réduction de la consommation énergétique.

- Le total des besoins énergétiques a été réduit de 38.15% en appliquant la stratégie de mur de pierre (première amélioration) pour une consommation de 41199 kWh au lieu de 66611 kWh.
- La deuxième amélioration avec la stratégie de l'isolation thermique a donné un meilleur résultat, le total des besoins énergétiques a été réduit de 47%. En passant de 66611 kWh jusqu'à 35301kWh.

Par rapport au confort thermique, l'enveloppe a permis une amélioration considérable du confort. Pour la première amélioration les murs en pierre, en raison de leur masse volumique élevée ont pu réduire les variations brusques de température et créer une ambiance thermique plus confortable. Concernant la deuxième amélioration, l'ajout des isolants (laine de roche et

polystyrène), a réduit les transmissions de chaleur à travers les parois de la maison et cela a aidé à créer une ambiance plus confortable.

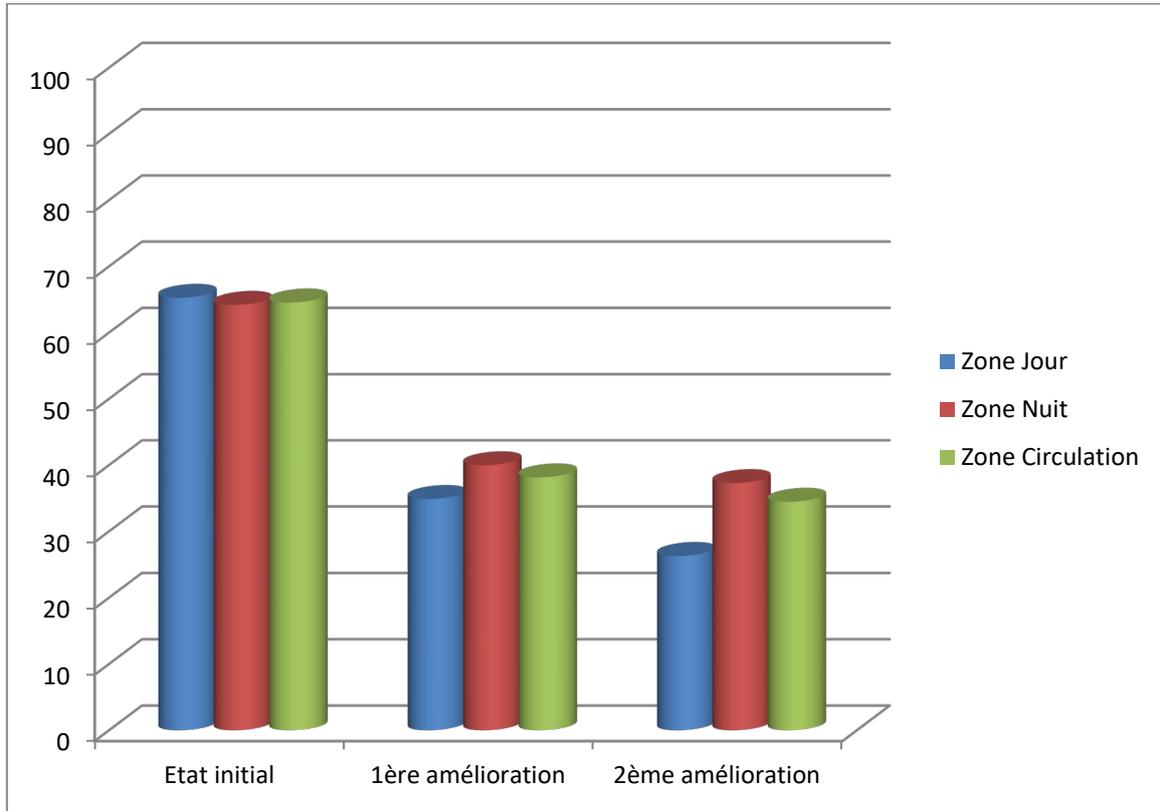


Figure V.31 : Réduction du taux (%) d'inconfort dans la maison moderne.
Source : Auteur.

Le tableau (V.16) montre l'amélioration de la température moyenne ambiante, la première amélioration a permis une régulation de 3.45°C en été et de 2.47°C en hiver. Tandis que la deuxième amélioration a permis une régulation de 4.55°C en été et de 3.33°C en hiver.

Tableau V.16 : Tableau récapitulatif sur l'amélioration de la température moyenne ambiante.
Source : Auteur.

	Période hivernale	Période estivale
Cas initial	10.23°C	30.44°C
1 ^{ère} amélioration	12.70°C	26.99°C
2 ^{ème} amélioration	13.56°C	25.89°C

Conclusion

Ce dernier chapitre de la partie pratique était consacré principalement à la simulation, l'interprétation des résultats et à l'optimisation de la performance énergétique et du confort thermique dans l'espace habitable individuel, dans un contexte climatique méditerranéen plus précisément, la ville de BÉJAIA.

D'abord nous avons présenté le logiciel de simulation PLEIADES-Comfie avec toutes les étapes de la simulation, cette dernière nous a permis d'évaluer les performances énergétiques dans les deux maisons composant le corpus d'étude.

Ensuite, les résultats de cette simulation ont été présentés et interprétés, révélant des performances hors normes en termes de confort thermique et de performance énergétique particulièrement pour la maison moderne. Deux améliorations ont été entreprises en se concentrant sur l'enveloppe de cette maison, la première en remplaçant les murs en brique par des murs en pierre. Ces murs ont renforcé l'enveloppe, le résultat a montré une réduction de la consommation énergétique et une amélioration des températures moyennes intérieures. La deuxième amélioration consiste à intégrer deux isolants connus par leurs avantageuses caractéristiques thermo physiques (la laine de roche pour les parois verticales et le polystyrène pour la toiture).

La deuxième amélioration a donné un résultat plus satisfaisant : la laine de roche et le polystyrène ont permis une réduction de 50.26% des besoins en chauffage, et de 38.76% des besoins en climatisation et ont assuré également une régulation de la température ambiante intérieure en hiver et en été.

Cette réduction de consommation et cette régulation ont été possibles grâce à l'application d'une des stratégies passives, qui est le choix de matériaux de construction de l'enveloppe. Elle a été appliquée au niveau de la toiture et des murs.

Le choix de matériaux de construction doit être réfléchi, parce que l'enveloppe a une influence directe sur la performance énergétique et sur le confort thermique.

Conclusion générale.

Conclusion générale :

La performance énergétique étant définie comme la quantité d'énergie consommée ou estimée par l'homme qui vit dans certaines conditions d'ambiance, cette dernière se caractérise par plusieurs conditions thermiques, sonores...etc. Le confort est l'équilibre entre l'homme et l'ambiance où l'homme consomme de grandes quantités d'énergie afin d'atteindre ce confort. Le confort thermique est un enjeu majeur dans la conception des espaces habitables, il joue un rôle important pour le bien-être des individus et leur productivité en créant un environnement intérieur agréable.

Le secteur de l'habitat s'est avéré le plus énergivore dans le système urbain à l'échelle nationale et internationale, l'être humain en est la cause principale. De nombreux pays développés ont imposé des réglementations et des lois afin de limiter ces consommations voire même à les éliminer. Ces réglementations s'appliquent aux les bâtiments résidentiels et non résidentiels, et exigent des normes et des critères techniques obligatoires pour la construction et la rénovation. L'objectif est d'améliorer la performance énergétique de ces bâtiments et réduire les émissions de gaz à effet de serre afin d'assurer un mode de vie durable.

En Algérie, des efforts ont été également entrepris pour aborder cette question, mais cela reste encore très limité par rapport l'importance de ce sujet. Il n'existe pas une loi ou une réglementation officielle, qui oblige les individus à prendre en considération ce sujet et à économiser les énergies. Ces efforts se résument en des initiatives qui ont été lancées pour encourager l'utilisation des énergies renouvelables, cela signifie que l'adoption de ces pratiques éco énergétiques reste largement volontaire et dépend de la conscience individuelle et de l'engagement envers le développement durable.

Afin d'assurer un développement urbain durable pour les générations futures, il est essentiel de souligner l'importance d'inciter et d'encourager les individus à adopter des comportements économes en énergie, notamment dans le secteur de l'habitat individuel, ce type d'habitat qui est le plus favorisé par les usagers vu les avantages qu'il présente. Il est possible de réduire les consommations énergétiques en agissant sur l'enveloppe, et cela en améliorant sa performance énergétique. L'enveloppe architecturale a une influence considérable sur le fonctionnement du bâtiment, sa performance énergétique et thermique. L'optimisation de la performance énergétique au niveau de l'enveloppe des espaces habitables, nécessite une approche globale et intégrée de l'étape de la conception jusqu'à la construction. Cette

approche prend plusieurs facteurs indépendants, tels que l'isolation thermique et le choix des matériaux de construction.

Depuis la nuit des temps, l'architecture traditionnelle est considérée comme un exemple de durabilité, le savoir-faire vernaculaire est connu par son respect de l'environnement. Dans notre contexte d'étude, la ville de Béjaia, l'architecture vernaculaire est représentée par les maisons kabyles. Des maisons construites en harmonie avec l'environnement et le respect des principes de durabilité. Leurs principaux matériaux de construction sont des matériaux locaux tels que la pierre, la terre cuite et le bois. La ville de Béjaia constitue notre contexte d'étude, elle est connue par son climat méditerranéen, un hiver humide, pluvieux et froid, un été chaud et sec, des variations climatiques tout au long de l'année. Pour assurer un confort thermique dans un climat pareil, il est important de concevoir des enveloppes efficaces, pour cela, cette recherche met en évidence une solution offerte par l'architecture traditionnelle, également une solution moderne qui est l'application des stratégies passives de l'approche bioclimatiques.

La présente recherche s'intéresse à la maîtrise et à l'optimisation des performances énergétiques et thermiques à travers les matériaux de construction de l'enveloppe. Pour ce faire, nous avons suivi une approche méthodique bien structurée qui se compose principalement de deux parties.

Dans un premier temps, une partie théorique qui nous a aidés à construire un background conceptuel, sur la performance énergétique et le confort thermique.

Dans un deuxième temps, une partie pratique reposant sur différentes méthodes de recherche, étude empirique et simulation.

L'étude empirique qui a été effectuée s'est basée principalement sur deux types d'évaluation. Une évaluation qualitative qui est une enquête par questionnaire, qui nous a donné une idée initiale sur la performance énergétique et le confort thermique des deux maisons individuelles composant le corpus d'étude. La deuxième évaluation est quantitative, à travers la prise des mesures in situ à l'aide de l'anémomètre « *Testo 480* ». Cette campagne de mesure a été effectuée durant les journées représentatives et nous a donné une idée plus claire sur les performances énergétiques et le confort thermique des maisons en question.

La simulation numérique a été effectuée sur l'enveloppe des maisons, les premiers résultats nous ont confirmé les sensations d'inconfort, ainsi que les consommations élevées de l'énergie particulièrement pour la maison moderne. Tandis que la maison kabyle était moyennement dans les normes. Ces résultats nous ont poussés à appliquer deux stratégies

passives, la première a été tirée des caractéristiques bioclimatiques de la maison vernaculaire, en remplaçant les murs de brique par des murs en pierre, la deuxième en ajoutant des isolants modernes à l'enveloppe initiale (laine de roche pour les murs et polystyrène pour le toit).

Les résultats ont montré l'impact de l'enveloppe sur la consommation énergétique et le confort thermique. La première stratégie a permis de réduire les besoins énergétiques globaux de 38.15%, de diminuer le taux d'inconfort d'une moyenne de 41.72% pour l'ensemble de la maison, ainsi une régulation de température de 3.45°C en été et de 2.47°C en hiver.

La deuxième stratégie a réduit les besoins énergétiques globaux de 47%, et à diminuer le taux d'inconfort de 48.37%, ainsi une régulation de température de 4.55°C en été et 3.33°C en hiver.

Ces résultats sont une réponse claire pour nos questions de recherche, l'étude a prouvé que l'optimisation énergétique est possible à travers l'enveloppe architecturale et à travers les caractéristiques bioclimatiques de l'architecture vernaculaire.

Lors de la conception d'un bâtiment, le choix de l'enveloppe architecturale doit être réfléchi, également les éléments constructifs de cette dernière doivent être sélectionnés judicieusement. Il faut privilégier des matériaux ayant une bonne performance thermique, ainsi que l'isolation joue un rôle crucial dans la réduction des pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été. Un choix inadéquat de l'enveloppe peut entraîner des coûts élevés, nuire à l'environnement et menacer le développement durable.

Recommandations :

Dans le but de l'amélioration de la performance énergétique et du confort thermique, il est recommandé de prendre en considération les points suivants :

- ✓ Utilisation des matériaux de construction à faible conductivité thermique.
- ✓ Augmentation de l'épaisseur des parois extérieures.
- ✓ Utilisation des isolants thermiques pour les parois verticales et pour le toit.
- ✓ Diminuer les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été.
- ✓ Opter pour des toitures végétales.
- ✓ Utilisation des matériaux locaux.
- ✓ Encourager l'utilisation de sources d'énergie renouvelable.
- ✓ Avoir une bonne orientation pour le bâtiment.
- ✓ Opter pour la ventilation naturelle.
- ✓ Utilisation des matériaux avec une importante masse volumique.

- ✓ Opter pour des formes compactes.
- ✓ Inciter les usagers à participer à la réduction de la consommation énergétique, en adoptant un comportement éco énergétique, et en prenant part aux programmes de sensibilisation sur l'efficacité énergétique.

Ces recommandations seront très utiles avant d'entreprendre une conception ou une rénovation énergétique.

Limites de la recherche :

- ✓ L'étude s'est basée sur un seul type d'habitat qui est l'habitat individuel, il est souhaitable d'étudier les autres typologies d'habitat.
- ✓ La recherche est limitée à un seul contexte climatique, le climat méditerranéen.
- ✓ L'étude s'est intéressée aux matériaux de construction et à l'isolation thermique des parois verticales et de la toiture, les ouvertures n'ont pas été étudiées.

Futurs axes de recherche :

Il est important de souligner que ce travail n'est qu'une partie de cette vaste thématique sur l'énergie. Il serait donc très intéressant que ce travail de recherche soit complété par d'autres recherches en traitant la thématique d'un angle différent, par exemple :

- ✓ L'impact des ouvertures et du vitrage sur la performance énergétique.
- ✓ Les stratégies actives comme solution efficace.
- ✓ L'étude des performances énergétiques et du confort thermique dans un autre contexte climatique.
- ✓ L'étude des performances énergétiques et du confort thermique pour les autres typologies d'habitat.
- ✓ L'étude d'un autre type de confort (acoustique, lumineux...) dans l'espace habitable.

Bibliographie.

Bibliographie :

Amraoui, Khaoula. Étude d'AMRAOUI Khaoula, 2021. Pour une optimisation des potentialités environnementales de l'enveloppe architecturale dans le contexte des zones chaudes et arides : Cas des bâtiments résidentiels.(Thèse de doctorat), université de Biskra, 2021.

Arnal, E. Modélisation et commande hiérarchisées du bâtiment pour l'amélioration des performances énergétiques, thermiques et optiques (thèse de doctorat). L'institut national des sciences appliquées de Lyon, France, 2013.

Ashrea, Handbook of fundamentals. American Society of Heating, refrigeration and air-Conditioning Engineers, inc, Atlanta, 2005.

Belakehal, Azzedine. Cours sur confort et maîtrise des ambiances, université de Biskra, 2011.

Benradouane, N et Benyoucef, B. Performances thermiques d'une maison solaire,Laboratoire Énergies Renouvelables, Unité Matériaux et Energies Renouvelables, Université Abou BakrBelkaïd, B.P. 119, Tlemcen, 2006.

Boudreau, J.P. (2011). *L'optimisation énergétique : un travail sur l'enveloppe.* Communication présentée au colloque CEBQ/ OAQ sur l'enveloppe du bâtiment, Québec, Canada.

Caciolo, Marcello et al. Revue pratique des logiciels de simulation énergétique dynamique (SED), paris, 2015.

Charles, K.E. Fanger's*Thermal Comfort and DraughtModels*,October 10, 2003-IRC-RR-162, conseil national de recherche Canada.

Chevrier, S. « L'inhabitable est notre site, habiter l'inhabitable comme éthique de l'architecture », 2008.

Daniel, E. W.Sustainable Design, Ecology architecture, and planning, John Wiley& Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007. P103

De Mourat et al. Méthodologies de recherche et design : un instantané des pratiques de recherche employées au sein d'un réseau de jeunes chercheurs.

De Mourat, Ioana Ocnarescu, Anne-Lyse Renon, Marine Royer. Sciences du Design 2015 (n° 1), pages 68 à 75. Éditions Presses Universitaires de France Presses Universi, 2015.

Dictionnaire. « *Le Petit Larousse en couleurs* », France, 1985 (ISBN 2-03-30238509).

Dictionnaire. « Le robert junior illustré », France, 1993.

Faure, X. Optimisation d'enveloppe hybride pour bâtiment à haute performance énergétique (thèse de doctorat). Université de Grenoble, France, 2007.

Fernandez, P, et Lavigne, P. « Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes », éd le Moniteur, 2009.

Feraoun, mouloud. « *La terre et le sang* », Paris, Ed le seuil, 1953, p12, 254p.

Fezzioui, N ; Draoui, B ; Benyamine, M ; Larbi, S. *Influence des caractéristiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud algérien.* Revue des énergies renouvelables Vol.11 N° (2008) page 25 – 34.

Gamba, Johnny. Analyse comparative de l'approche bioclimatique et de la méthode LEED en architecture. Université de Montréal, Canada, 2016.

Givoni, B. *L'homme, l'architecture et le climat.* Ed le moniteur, France, 1978.

Gossadr, Didier ; Bonte, Mathieu ; Lartigue, Bérangère ; Thellier, Françoise. *Optimisation thermique de l'enveloppe de bâtiment en vue de maximiser sa performance énergétique,* université Paul Sabatier, Toulouse, France.

Guichard, S. Contribution à l'étude des parois complexes intégrant des matériaux à changement de phase : modélisation, expérimentation et évaluation de la performance énergétique globale, (thèse de doctorat), université de la réunion, France, 2013.

Hall, M. Materials for energy efficiency and thermal comfort in buildings, Nex Delhi, 2010.

Harvey, L. D. D. (2009). Reducing energy use in the buildings sector: measures, costs, and examples. *Energy Efficiency*, 2(2), 139–163.

Heiselberg, P. Expert Guide- part 1 responsive building concept. Danemark : université d'Aalborg. 2009.

Jedidi, malek ; Benjeddou Omrane. *La thermique du bâtiment, Du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation.* Edition Dunod, Paris, 2016.

Jerôme Bertin et al. *Bâtiment et performance énergétique,* éditions Lamy, France, 2011.

Kadraoui, Hichem. Diagnostic et solutions adaptées pour l'amélioration de l'efficacité énergétique d'une construction multizone énergivore, (Thèse de doctorat), université de Tlemcene.

Khadraoui Mohamed Amine. Étude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique, (thèse de doctorat), Biskra, février 2019.

Khechiba, A.; Djaghrouri, D.; Benabbas, M.; Leccese, F.; Rocca, M.; Salvadori, G. Balancing Thermal Comfort and Energy Consumption in Residential Buildings of Desert Areas : Impact of Passive Strategies. *Sustainability* 2023, 15, 8383.

Khelifi Lamia, Benouarab Kahina. Les performances énergétiques des espaces intermédiaires Cas de la loggia dans un logement collectif à Médéa. Vol 7 n3 (2022) page 44-55.

Kujawski, Emmanuel. Trancher pour une fiscalité favorisant l'équité entre territoires, 2014.

Labben, K. Proposition d'un modèle de Processus amont dédié a la conception architecturale climatique basé sur une assistance par des outils pratique simplifié, (Thèse de Doctorat en cotutelle université de Tunis Elmanar et Aix Marseille), 2014.

Latreche, S. Étude et amélioration des performances climatiques de l'enveloppe architecturale en milieux chauds et arides. Cas de l'architecture domestique autoproduite à Biskra, 2019.

Liébard, A. et De Herde, A. «*Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques* ». Ed. Le Moniteur, Paris, 2005.

Maes, Pascale. Labels d'efficacité énergétique, HQE, BBC EFFINERGIE, MAISON PASSIVE, RT 2005/2012, QUALITE, édition EYROLLES, Paris, 2010.

Mazari Mohamed. «Étude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas de département d'architecture de Tamda (Tizi-Ouzou)», mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Septembre 2012.

Messaoudi, T ; Mazouz, S. *L'architecture vernaculaire une solution durable : Cas de la maison traditionnelle kabyle (nord algérien)*. Les 4ème RIDAAD, École Nationale des Travaux Publics de l'État [ENTPE] et École nationale supérieure de l'architecture de Lyon (ENSAL), Jan 2017, Vaulx-en-Verin, France.

- Miranville, F.** Contribution à l'étude des parois complexes en physique du bâtiment : modélisation, expérimentation et validation expérimentale de complexes de toitures incluant des produits minces réfléchissants en climat tropical humide (thèse de doctorat), La Réunion, France, 2002.
- Morillion, F ; M.A.B. Hernandez, A.Demazure, O. Gall, H.C.B, Y. Aillerie, F. Rozmiarek.** Livre blanc : confort et santé dans les immeubles bureaux énergétiquement performants – approche globale et interactions entre confort et performance énergétique (1^{er} éd). États-Unis, Steelcase.
- Moser, G.** Psychologie environnementale, les relations homme-environnement. Bruxelles, 2009.
- Perla serfaty-garzonsegaud, jacques brun et jean-clausedriant (dir).** «Habiter », Paris, édition Armand colin, 2003 p.213-214.
- Picard, Charles-Florian et al, Smart-Réno, Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Énergétique,** volet 3 (valoriser le confort), Mars 2020.
- Rais, M., Boumerzoug, A., Halada, M., Baranyai, B.** *Optimizing the cooling energyconsumption by the passive traditionalfacadestrategies in hot dry climate.* Pollack *Periodica*, 14: 177–188, 2019.
- Regnier, Nicolas. Meka Brunel.** Le baromètre de la certification environnementale, France, 2016.
- Romo.** Processus de conception énergétique de bâtiments durables, (thèse de doctorat), Paris, 18 Septembre 2015.
- Salomon, T.** *Architecture solaire et thermiques actifs dans la structure bâtie.* Institut National de Sciences Appliquées de Lyon, France, 2007.
- Santamouris, M ; Pavlou, C, Doukas, P ; Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias.** Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens Greece, 2007.
- Saraoui Selma.** *Cours équipement 3^{ème} année,* université de Béjaia, 2013.
- Sassine, E.** Analyse typologique et thermique des maisons anciennes de Lille. Étude expérimentale et numérique des parois verticales, (thèse de doctorat), université d'Artois, France, 2017.

Sobhy, Issam ; Brakez, Abderahim ; Benhamou, Brahim. Modélisation dynamique d'une maison typique à Marrakech et propositions pour améliorer ses performances énergétiques, Agadir, Maroc, 2014

Soudani, L. Modelling and experimental validation of the hygrothermal performances of earth as a buildings material (thèse de doctorat), université de Lyon, France, 2016.

Zhang, J., Liu, N., Wang, S. (2020). A parametric approach for performance optimization of residential building design in Beijing. *Building Simulation*, 13: 223–235.

Site internet :

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ambiance/2711>. Consulté le 27/09/2014

<https://www.climamaison.com/lexique/energie.htm>, consulté le 12-04-2018 à 23h25min.

<https://www.planete-energies.com/fr/media/article/differentes-formes-denergie>, consulté le 12-04-2018 à 23h05.

<https://www.choisir.com/energie/articles/158904/quelles-sont-les-differentes-formes-denergie>, consulté le 13-05-2021 à 4h42 min.

<http://www.profil-environnemental.pays-de-la-loire>.

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>, consulté le 15-03-2018 à 6h30min.

ble.gouv.fr/accueil/glossaire?&id_gloss=31_570, Consulté le 27/09/2017 à 14h05min.

<https://www.planete-energies.com/fr/media/chiffres/consommation-mondiale-denergie-en-2019>

<https://dictionnaire.lerobert.com/>, consulté le 15-01-2020 à 20h36min.¹³

<http://hdt.maisonsduleman.com/index.cfm?view=49.42&lan=fr>, consulté le 16/05/2020 à 18h58min.

<https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>, consulté le 18/05/2022 à 19h03min.

https://www.researchgate.net/publication/275956932_L%27architecture_bioclimatique_-_Fiche_PRISME, consulté le 15/05/2022 à 19h5min.

<https://www.domotique.tn/media/efficacite.energetique.batiment2.png>, consulté le 16-06-2018 à 16h35min.

<https://data.ademe.fr/datasets/dpe-france>, consulté le 19-06-2018 à 17h05min.

<https://www.maisons-voegele.com/maison-passive/schema-maison-passive>, consulté le 14-05-2021 à 15h02min.

www.energie-environnement.ch

www.greenaffair.com, consulté le 14-06-2022 à 17h30min.

<https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>, consulté le 14-05-2022 à 23h54 min.

<https://www.architectes.org/introduction-au-lexique-des-materiaux>, consulté le 15/05/2022 à 02h36min

http://www.energetique.uae.ma/formations/cours_informations/cours/cours_ajzoul/cours_habitats_bioclimatiques/habitats_bioclimatiques.pdf, consulté le 15/15/2022 à 15h 42 min.

http://www.energetique.uae.ma/formations/cours_informations/cours/cours_ajzoul/cours_habitats_bioclimatiques/habitats_bioclimatiques.pdf, consulté le 15/15/2022 à 15h 42 min.

<http://www.espace-chsct.fr/securite-au-travail/ambiance-lumineuse.html>. Consulté le 01/01/2017 à 17h48min.

<https://www.ille-et-vilaine.fr/sites/default/files/asset/document/simulation-thermique-dynamique.pdf>, consulté le 02/03/2023 à 21h 48 min.

<https://www.toutsurlisolation.com/quest-ce-que-le-confort-acoustique>, consulté 18/01/2020 à 15h6min.

<https://www.batirama.com/article/8890-confort-acoustique-quelles-solutions-en-renovation.html>, consulté 15/01/2021 à 15h9min.

<https://energieplus-lesite.be/evaluer/confort-visuel2/identifier-les-criteres-du-confort-visuel-en-un-coup-d-il/>, consulté le 02/06/2021 à 23h16min.

<https://vmc-installation-entretien.fr/comment-la-ventilation-mecanique-controlee-simple-flux-fonctionne/>, 02/06/2021 à 23h16min.

https://www.researchgate.net/figure/Olgyays-bioclimatic-comfort-chart-Olgyay-2015_fig2_352056001, consulté le 17/05/2022 à 17h14min.

<https://www.climachaud.com/post/le-bilan-thermique>

<https://conseils-thermiques.org/contenu/pont-thermique.php>, adaptée par l'auteur.

<https://conseils-thermiques.org/contenu/pont-thermique.php>

<https://www.bmdconsult.fr/simulation-thermique-dynamique-etude-std-sed.php>, consulté le 26/05/2023 à 23h32 min.

Annexes

Annexe A

Détails sur les cas d'étude.



Figure A.1 : vues sur l'environnement extérieur, cours intérieure et les rangements muraux.
Source : Auteur.



Figure A.2: Escalier, chambre 03 et balcon.
Source : Auteur.

Annexe B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.
 MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.
 UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA.
 FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE.
 DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE.

Questions de l'entretien

Bonjour,

Dans le cadre de préparation d'une thèse de Doctorat en Architecture dont le thème est « « La performance énergétique et le confort thermique dans l'espace habitable. Cas de l'habitation individuelle à BÉJAIA ». Le but de cette étude est purement académique. Ceci est un formulaire de questions élaboré dans le cadre d'une recherche universitaire. En tant que doctorante à l'université de BISKRA, nous avons l'honneur de vous remettre ce questionnaire qui a pour but d'évaluer votre satisfaction concernant le confort thermique dans votre maison. Ça ne vous prendra que quelques minutes et ça nous sera très utile.

La maison :le code :

Remarque : Veuillez mettre une croix dans la case que vous jugez adéquate :

À 1) Sexe : Masculin Féminin

À 2) Catégorie d'âge :

Moins de 15ans Entre 15 et 35ans Entre 35 et 65ans Plus de 65ans

À 3) Depuis quand habitez-vous cette maison?

B 4) Pourriez vous nous décrire l'état de votre maison en terme de confort thermique?

Mauvais Médiocre Bon Très bon Excellent

B 5) Votre maison est elle bien ensoleillée? Oui Non

B 6) Votre maison est elle bien aérées? Oui Non

B 7) Y a-t-il des moisissures dans votre maison? Oui Non

Si oui, précisez les espaces contenant ces moisissures?.....

.....

B 8) A quelle période de l'année, sentez-vous un inconfort? (thermique).

Été Hiver Aucune Autre (préciser)

C 9) Possédez vous un système de chauffage dans votre maison? Oui Non

Si oui, précisez le nombre :

Décrivez nous l'endroit de son /leurs emplacement :.....

Si non comment assurez-vous le chauffage alors?

C 10) possédez vous un système de climatisation dans votre maison? Oui Non

Si oui, précisez le nombre :.....

C 11) Pensez vous pouvoir vivre sans l'un de ces deux système ? Oui Non

Si oui, lequel : Chauffage Climatiseur Chauffage et climatiseur

C 12) votre consommation d'électricité et de gaz est elle :

Très faible Faible Moyenne Elevée Très élevée

C 13) Est-ce-que le coût de vos factures est stable d'une période à une autre? Oui Non

Si non, précisez dans quelle période le cout de vos factures sont plus élevé ?

C 14) Dans quelle pièce de votre maison vous sentez vous à l'aise? (Toujours par rapport au confort thermique). Et quelle est la pièce où vous vous sentez mal à l'aise?

.....

.....

C 15) Avez vous déjà visiter ou habitez une autre maison ? Oui Non

C 16) Laquelle ? Individuelle moderne Traditionnelle

a) 1^{er} cas maison individuelle moderne :

La durée que vous avez passé (N d'année, N de mois, vacances, autre).....

Si oui comment jugez-vous la qualité thermique dans ce cas en le comparant à votre maison

Mauvais Médiocre Bon Très bon Excellent

a) 2^{ème} cas maison traditionnelle Kabyle :

La durée que vous avez passé (N d'année, N de mois, vacances, autre).....

Si oui comment jugez-vous la qualité thermique dans ce cas en le comparant à votre maison

Mauvais Médiocre Bon Très bon Excellent

C 17) Si vous avez le choix qu'elle est le type de maison que vous allez choisir pour habiter ? dites pourquoi ?

.....
.....
.....
.....
.....

C 18) Que proposez vous comme solution afin d'avoir une maison plus confortable en matière de confort thermique? (Question ouverte).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Nous vous remercions pour votre participation.

Annexe C

Données climatiques (design day).

- 2015
- **Tableau C.1** : moyennes températures et humidité relative (2015).

Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2015	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Paramètres	Tem (°C)	11.5	10.9	13.1	16.3	19.6	22.3	26.2	26.7	23.9	20.7	15.4	12.7
	Hum (%)	77.4	74.4	77.8	76.5	73.7	75.2	74	75.9	72.9	75.4	81.2	74.7

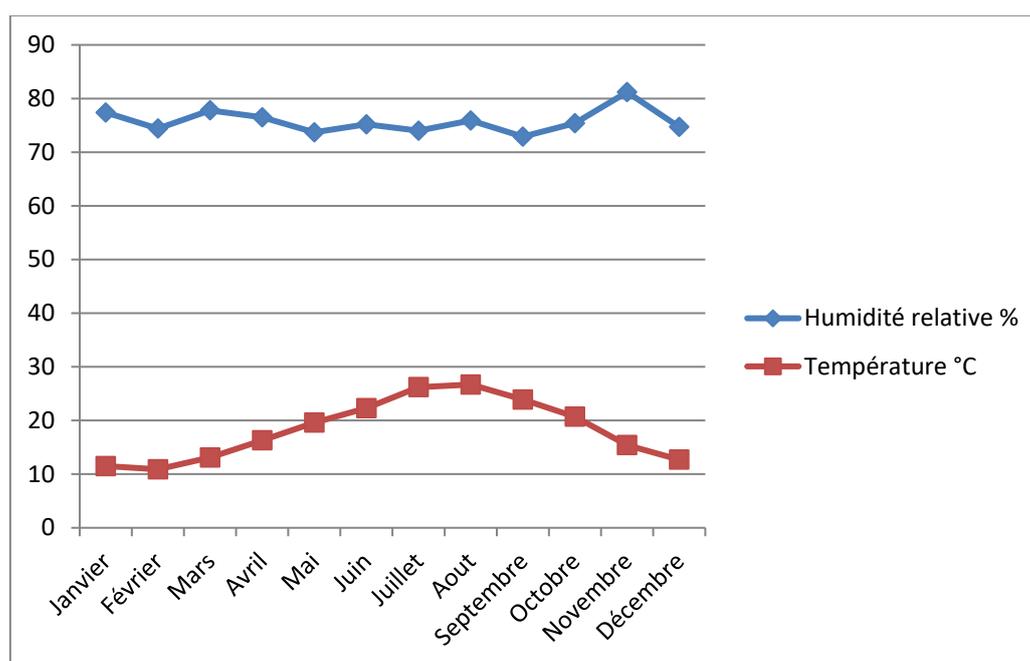


Figure C.1 : Graphe de moyennes températures et humidité (2015).

Source : Auteur, 2018.

En 2015, le mois de février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.9°C et un taux d'humidité de 74.4%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 26.7°C et un taux d'humidité de 75.9%. Le taux d'humidité maximal est 81.2%.

- 2014

Tableau C.2 : moyennes températures et humidité relative (2014).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2014	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	13.1	13.1	12.6	16.5	18.1	22.2	24.2	25.7	22.3	21.2	18.1	12.5
	Hum (%)	72.2	72.6	79.6	73.5	77.9	77.9	75.4	76.2	70.9	72	68	77.1

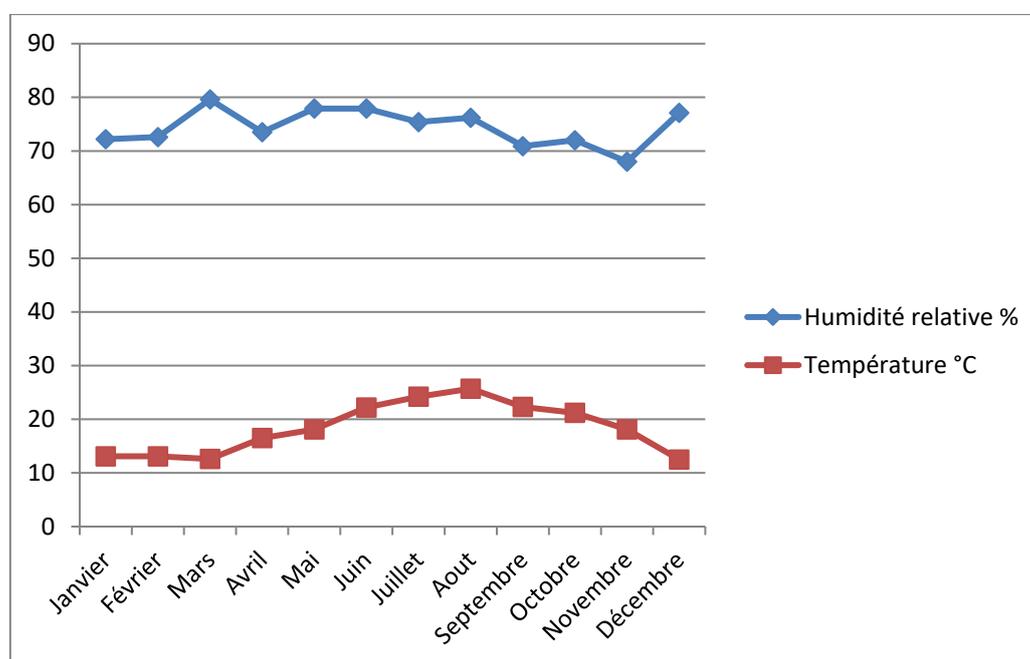


Figure C.2 : Graphe de moyennes températures et humidité (2014).
Source : Auteur, 2018.

En 2014, le mois de Décembre est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 12.5°C et un taux d'humidité de 77.1%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.7°C et un taux d'humidité de 76.2%. Le taux d'humidité maximal est 79.6%

- 2013

Tableau.C.3 : moyennes températures et humidité relative (2013).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2013	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.4	10	14.8	15.8	17.5	20.6	24.6	24.8	23.3	22.5	14.7	11.9
	Hum (%)	77.3	78.2	72.8	79.9	79.7	76.1	80.5	77.6	82.9	76.3	79.5	78.9

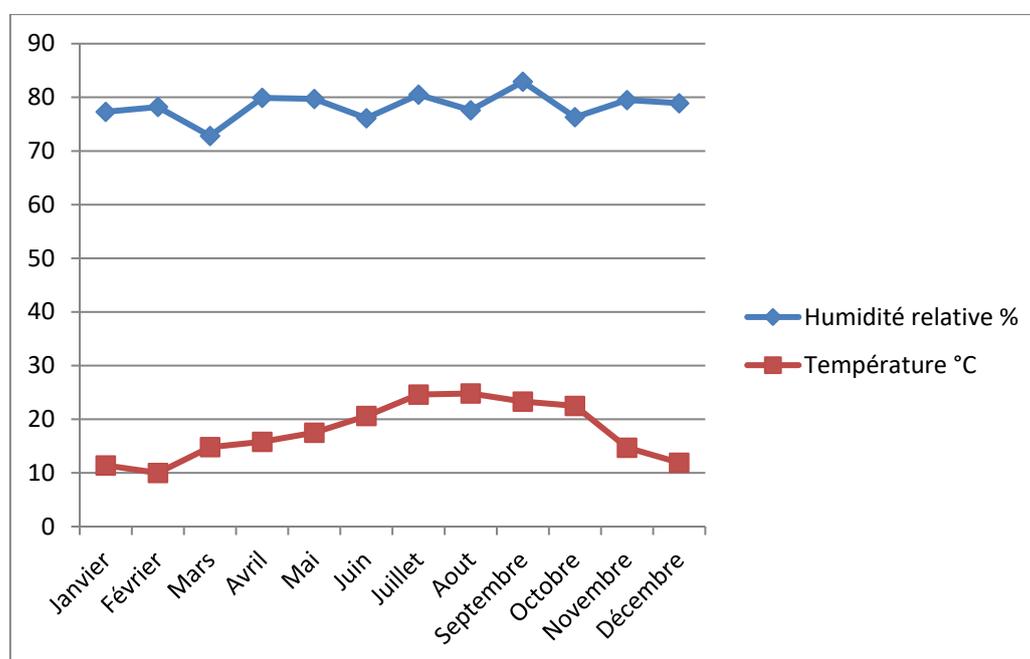


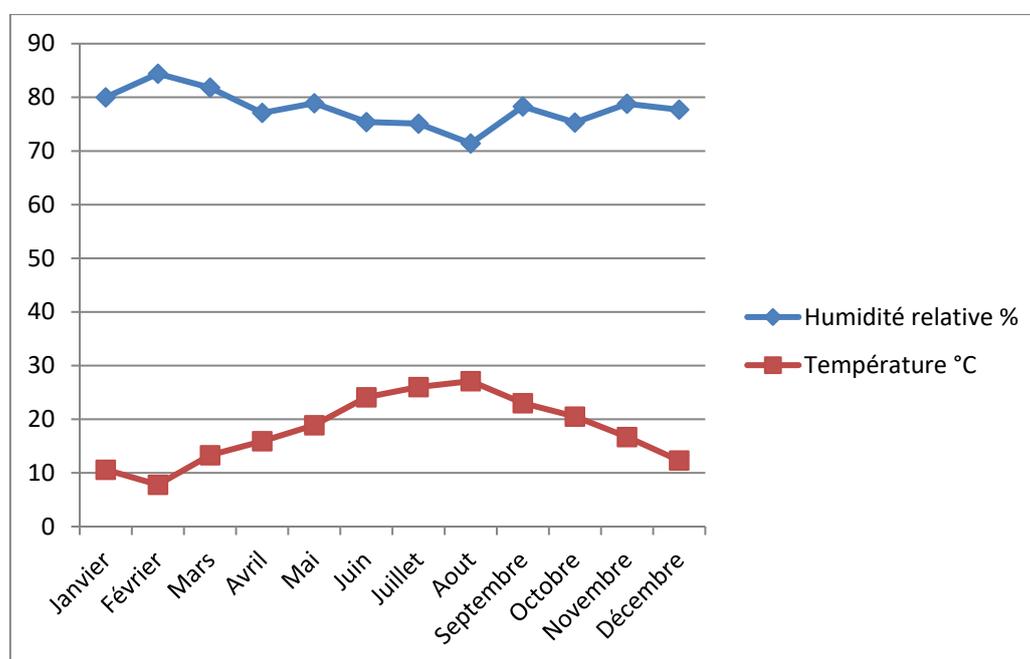
Figure.C.3 : Graphe de moyennes températures et humidité (2013).
Source : Auteur, 2018.

En 2013, le mois de Février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10°C et un taux d'humidité de 78.2%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 24.8°C et un taux d'humidité de 77.6%. Le taux d'humidité maximal est 82.9%

- 2012

Tableau.C.4 : moyennes températures et humidité relative (2012).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2012	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	10.6	7.8	13.3	15.9	18.9	24.1	26	27.1	23	20.5	16.7	12.3
	Hum (%)	80	84.4	81.8	77.1	78.9	75.4	75.1	71.4	78.3	75.3	78.8	77.7



En 2012, le mois de février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 7.8°C et un taux d'humidité de 84.4%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 27.1°C et un taux d'humidité de 71.4%. Le taux d'humidité maximal est 84.4%.

- 2011

Tableau.C.5 : moyennes températures et humidité relative (2011).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2011	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.3	10.9	13.7	16.9	18.9	21.7	25.6	25.6	24.1	20.1	16.3	12.3
	Hum (%)	79.9	81.1	79.2	80.8	81.5	82.4	74.3	76.1	77.8	75.8	77.3	80.5

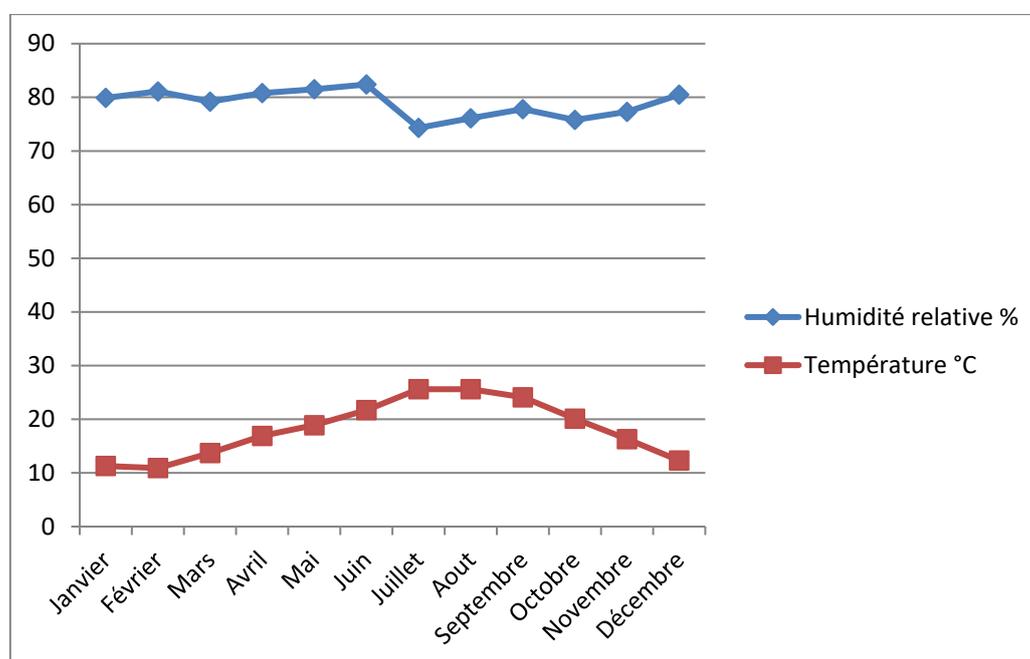


Figure.C.5 : Graphe de moyennes températures et humidité (2011).
Source : Auteur, 2018.

En 2011, le mois de février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.7°C et un taux d'humidité de 81.1%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.6°C et un taux d'humidité de 76.1%. Le taux d'humidité maximal est 82.4%.

- 2010

Tableau.C.6: moyennes températures et humidité relative (2010).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2010	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	12.3	13.5	14.1	16.2	17.6	21.2	25.1	25.1	23.1	19.4	15.2	12.9
	Hum (%)	73.4	71.5	77	83.3	76.4	79.5	78.3	78.6	75.3	76.3	76.6	66.1

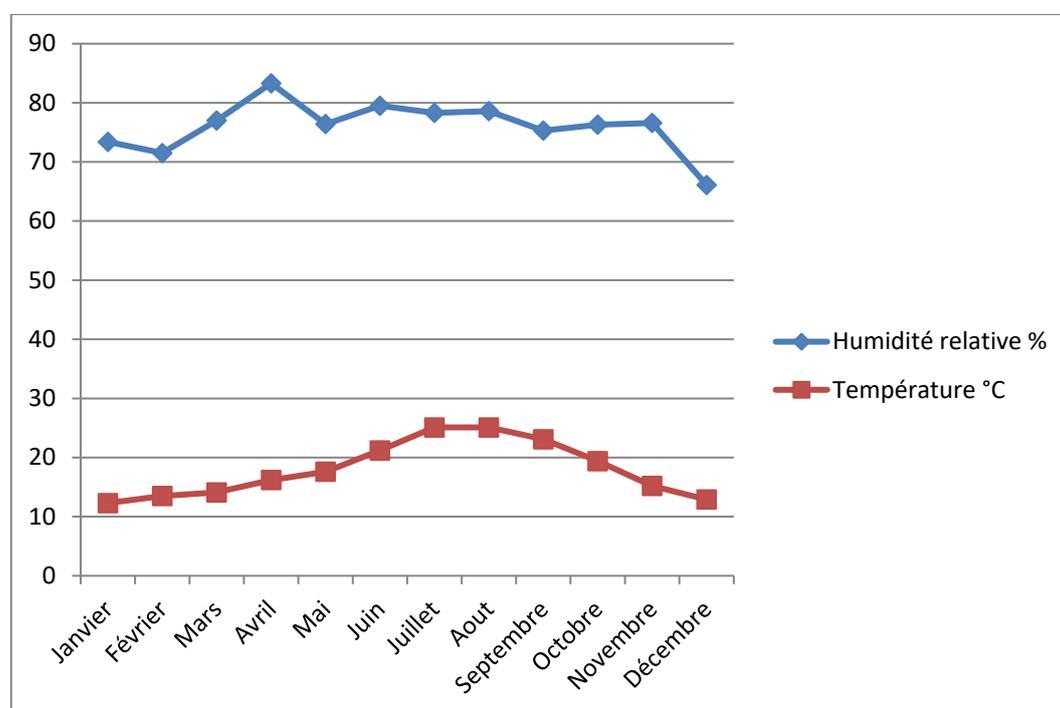


Figure.C.6 : Graphe de moyennes températures et humidité (2010).
Source : Auteur, 2018.

En **2010**, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 12.3°C et un taux d'humidité de 73.4%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 25.1°C et un taux d'humidité de 78.6%. Le taux d'humidité maximal est 83.3%.

- 2009

Tableau.C.7 : moyennes températures et humidité relative (2009).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2009	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.7	10.9	12.9	14.6	19.7	22.9	26.6	26.7	22.7	19.4	16.2	14.3
	Hum (%)	79.5	75.2	77.7	78.4	75.7	73	71.2	77.9	79.8	77.1	73	72.6

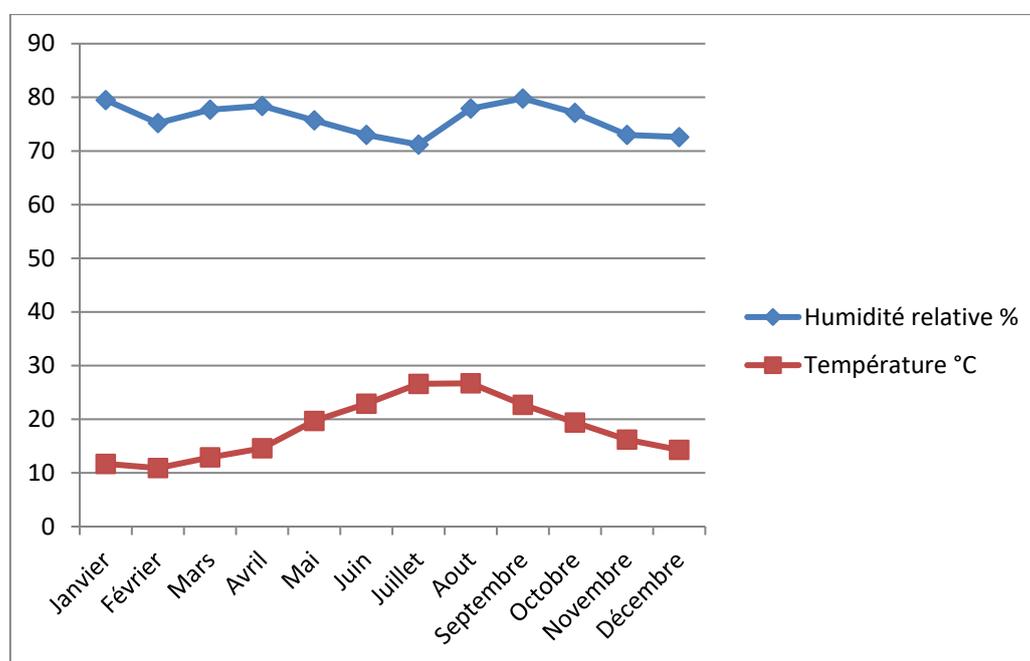


Figure.C.7 : Graphe de moyennes températures et humidité (2009).
Source : Auteur, 2018.

En **2009**, le mois de février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.9°C et un taux d'humidité de 75.2%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 26.7°C et un taux d'humidité de 77.9%. Le taux d'humidité maximal est 79.8%.

- 2008

Tableau.C.8: moyennes températures et humidité relative (2008).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2008	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.5	12.5	13.3	16.3	18.6	22.1	25.7	25.8	23.9	20	14.5	11.3
	Hum (%)	77.4	75.4	76	71.2	79.2	75.9	73.9	76.3	73.1	78.3	75.9	79.3

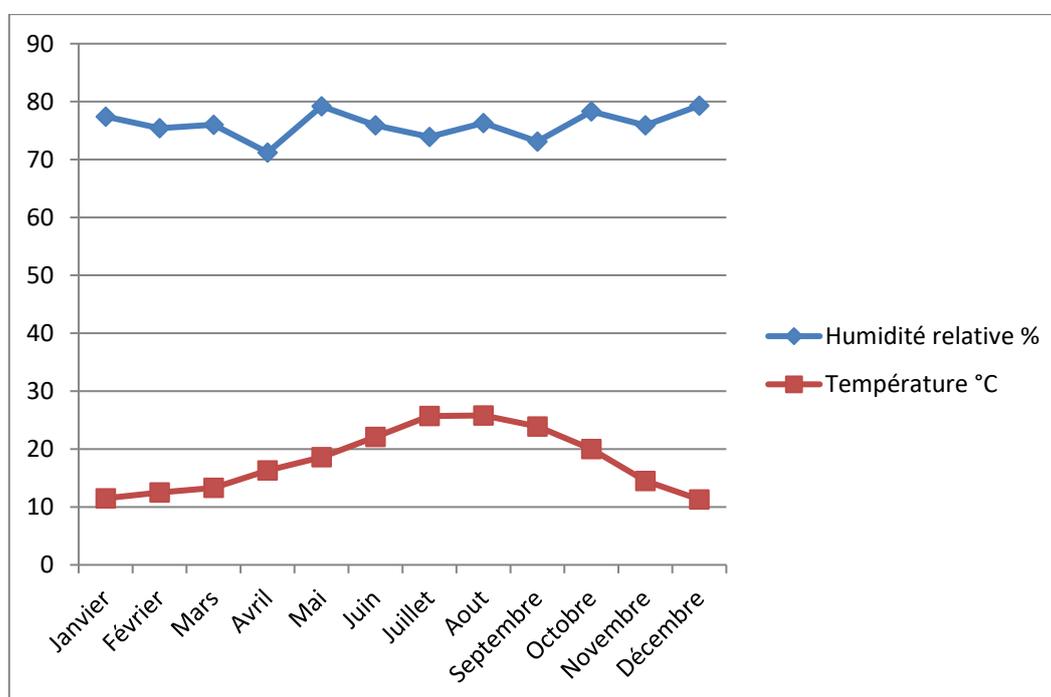


Figure.C.8 : Graphe de moyennes températures et humidité (2008).
Source : Auteur, 2018.

En 2008, le mois de décembre est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 11.3°C et un taux d'humidité de 79.3%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.8°C et un taux d'humidité de 76.3%. Le taux d'humidité maximal est 79.3%.

- 2007

Tableau.C.9 : moyennes températures et humidité relative (2007).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2007	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	/	/	/	/	/	23.9	24.8	26.1	22.9	19.6	14.3	12.4
	Hum (%)	/	/	/	/	/	75.5	74.5	71	74.9	79.6	77	79.8

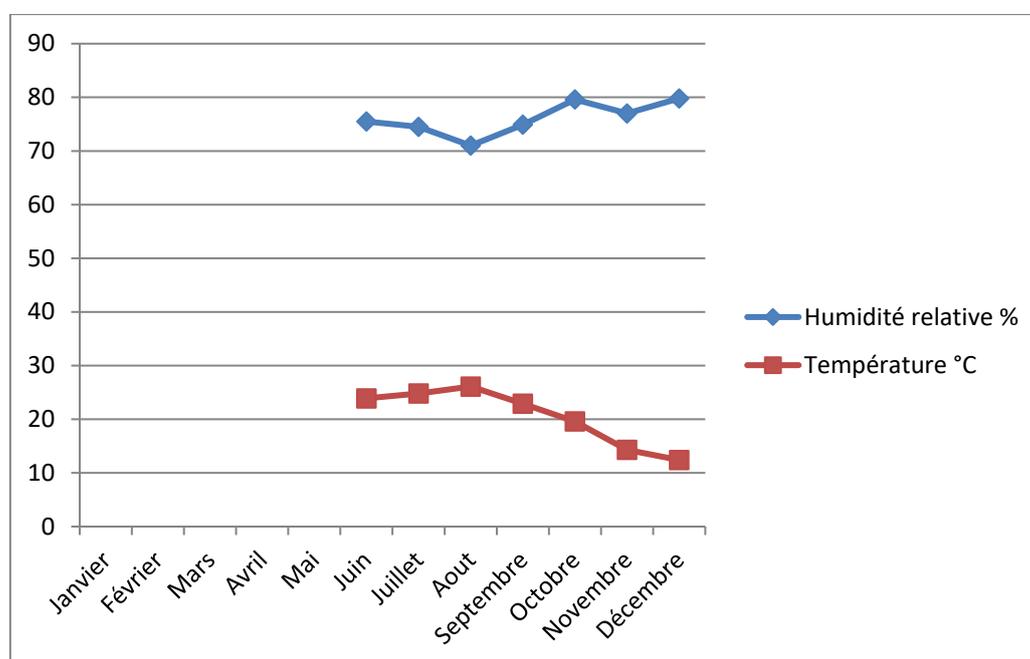


Figure.C.9 : Graphe de moyennes températures et humidité (2007).
 Source : Auteur, 2018.

En **2007**, nous n'avons pas assez de données concernant la période hivernale, concernant la période estivale c'est le mois d'août qui est le plus défavorable avec une température moyenne de 26.1°C et un taux d'humidité de 71%. Le taux d'humidité maximal est 79.8%.

- 2006

Tableau.C.10 : moyennes températures et humidité relative (2006).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2006	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	10.1	11	13.9	17.4	20.5	22.2	25.5	25.4	23.2	22.1	17.7	15.2
	Hum (%)	74.7	75.8	71.6	74.5	80.9	72.7	74.9	73.4	70	67.1	66.3	68.6

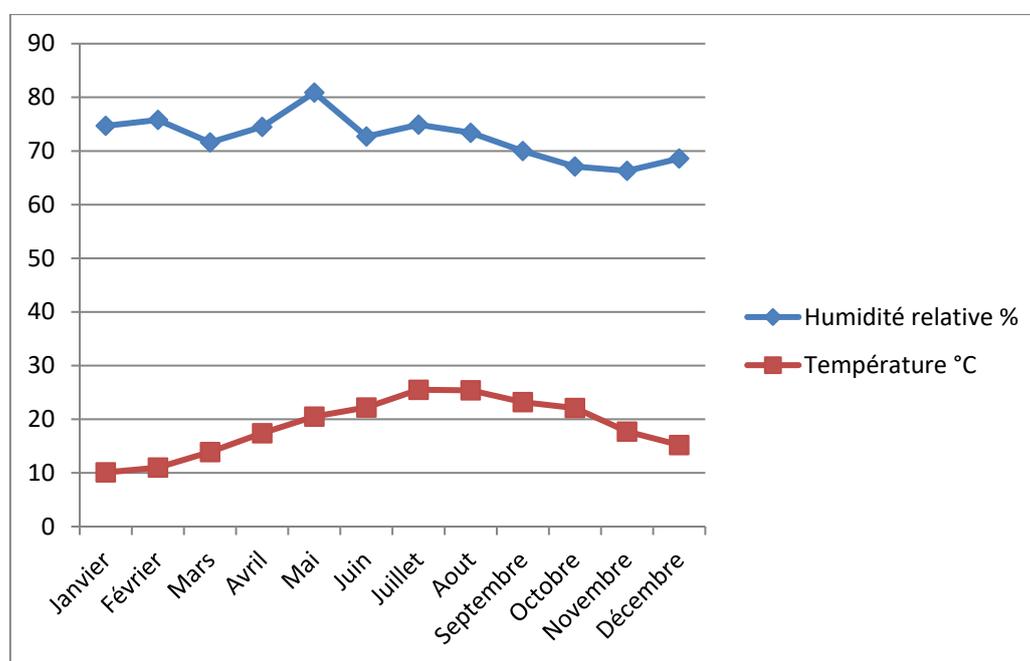


Figure C.10 : Graphe de moyennes températures et humidité (2006).
Source : Auteur, 2018.

En 2006, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.1°C et un taux d'humidité de 74.7%. En été c'est le mois de juillet avec une température moyenne de 25.5°C et un taux d'humidité de 74.9%. Le taux d'humidité maximal est 80.9%.

- 2005

Tableau C.11 : moyennes températures et humidité relative (2005).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2005	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	8.3	9.2	12.8	15.7	19.2	22.8	25.5	25.1	22.8	20.5	18.9	11.3
	Hum (%)	81	77.8	80.5	74.7	76.4	78.2	73	72.5	77.2	76.5	80	77.2

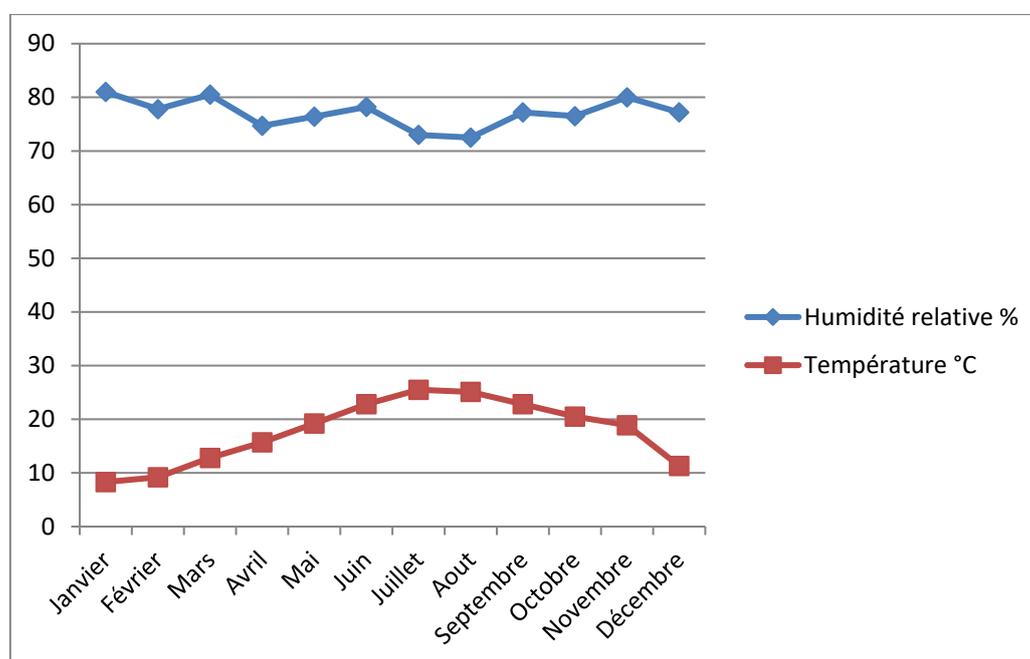


Figure C.11 : Graphe de moyennes températures et humidité (2005).
Source : Auteur, 2018.

En 2005, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 8.3°C et un taux d'humidité de 81%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.5°C et un taux d'humidité de 73%. Le taux d'humidité maximal est 81%.

- 2004

Tableau C.12 : moyennes températures et humidité relative (2004).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2004	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.3	12.9	13.6	14.9	17.1	21.4	24.9	26.6	23.5	21.8	14	12.3
	Hum (%)	78.3	78.8	78.9	77.5	78.9	79.8	75.2	70.6	71.4	65.7	79.7	78.2

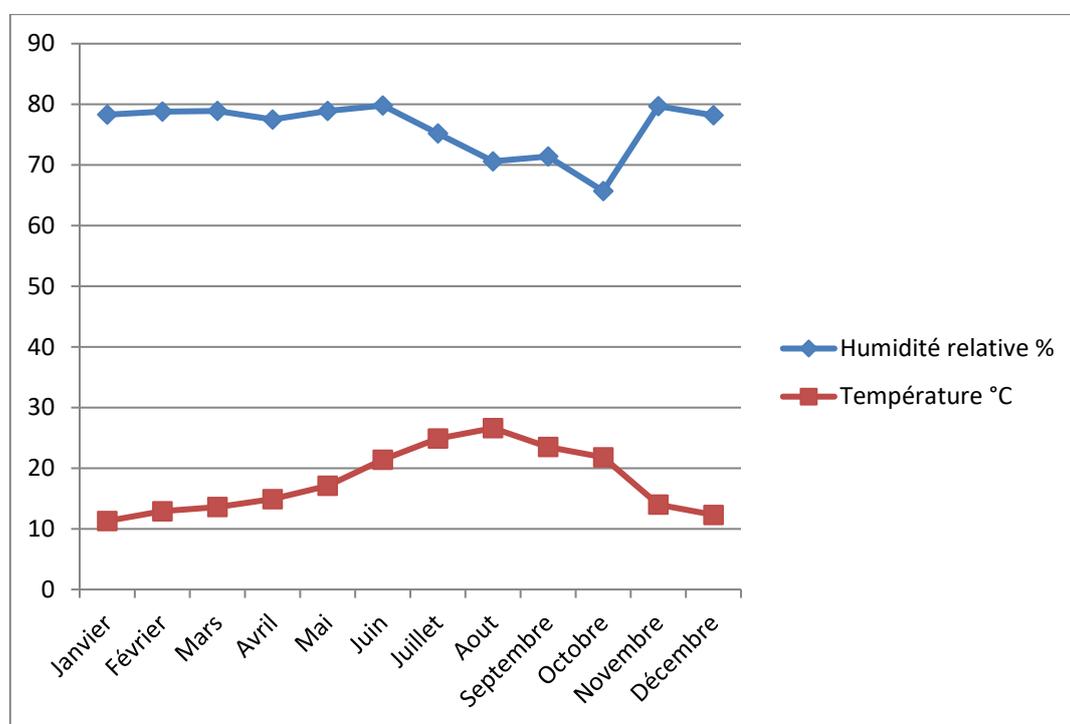


Figure C.12 : Graphe de moyennes températures et humidité (2004).
Source : Auteur, 2018.

En 2004, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 11.3°C et un taux d'humidité de 78.3%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 26.6°C et un taux d'humidité de 70.6%. Le taux d'humidité maximal est 79.8%.

- 2003

Tableau C.13 : moyennes températures et humidité relative (2003).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2003	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.6	10.4	14	15.9	18.5	24.7	27.3	28.2	23.6	20.6	16	11.9
	Hum (%)	75.6	75.5	75.6	81.1	81.1	71	72.2	69	78	79.4	76.1	74.2

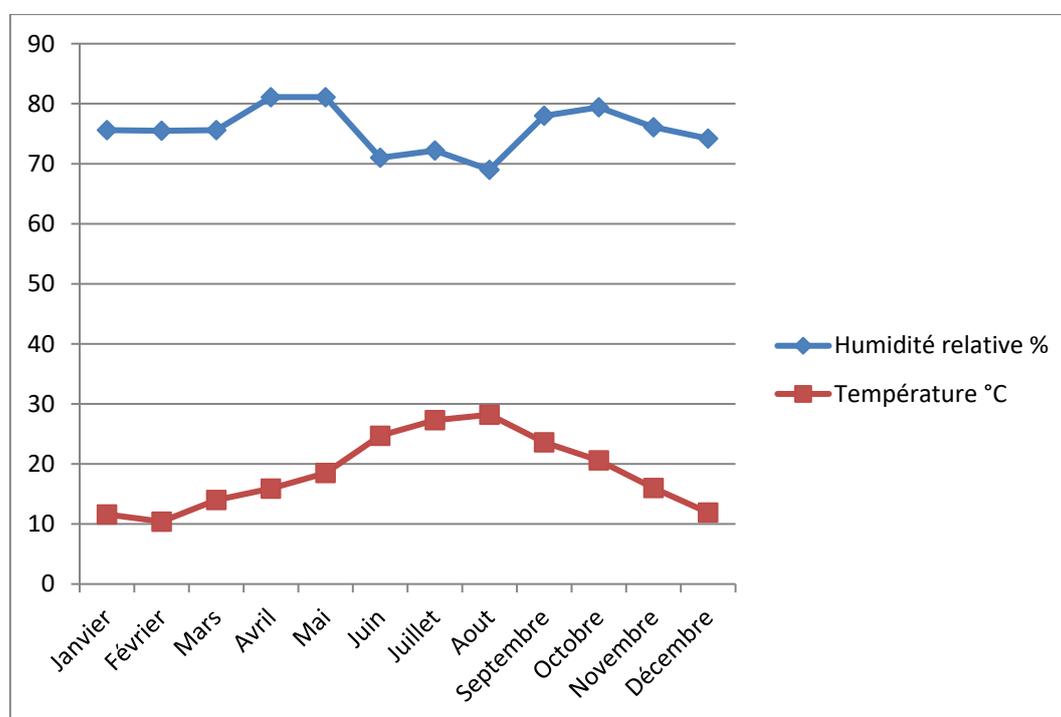


Figure C.13 : Graphe de moyennes températures et humidité (2003).
Source : Auteur, 2018.

En 2003, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.4°C et un taux d'humidité de 75.5%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 28.2°C et un taux d'humidité de 69%. Le taux d'humidité maximal est 81.1%.

- 2002

Tableau C.14 : moyennes températures et humidité relative (2002).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2002	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	10.8	11.8	14.1	15.6	18.3	22	24.4	24.6	22.9	19.5	16.3	13.9
	Hum (%)	77.8	77	75.3	74	72.8	74.3	76.5	78.1	75.5	75.1	70.3	76.2

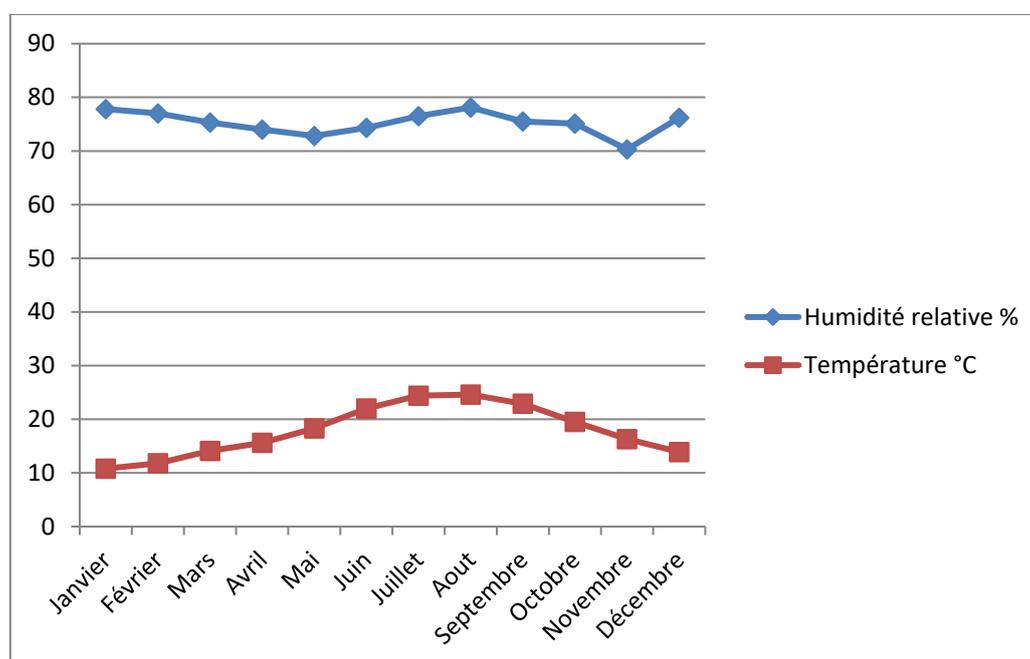


Figure C.14 : Graphe de moyennes températures et humidité (2002).
Source : Auteur, 2018.

En 2002, le mois de janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.8°C et un taux d'humidité de 77.8%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 24.6°C et un taux d'humidité de 78.1%. Le taux d'humidité maximal est 78.1%.

- 2001

Tableau C.15 : moyennes températures et humidité relative (2001).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2001	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	13.1	11.4	17.1	15.4	17.7	23.1	24.9	26.0	23.3	22.8	14.3	10.7
	Hum (%)	70.8	73.1	66	74.8	80.8	68.2	72.5	73.5	77.5	71.6	74.1	78.7

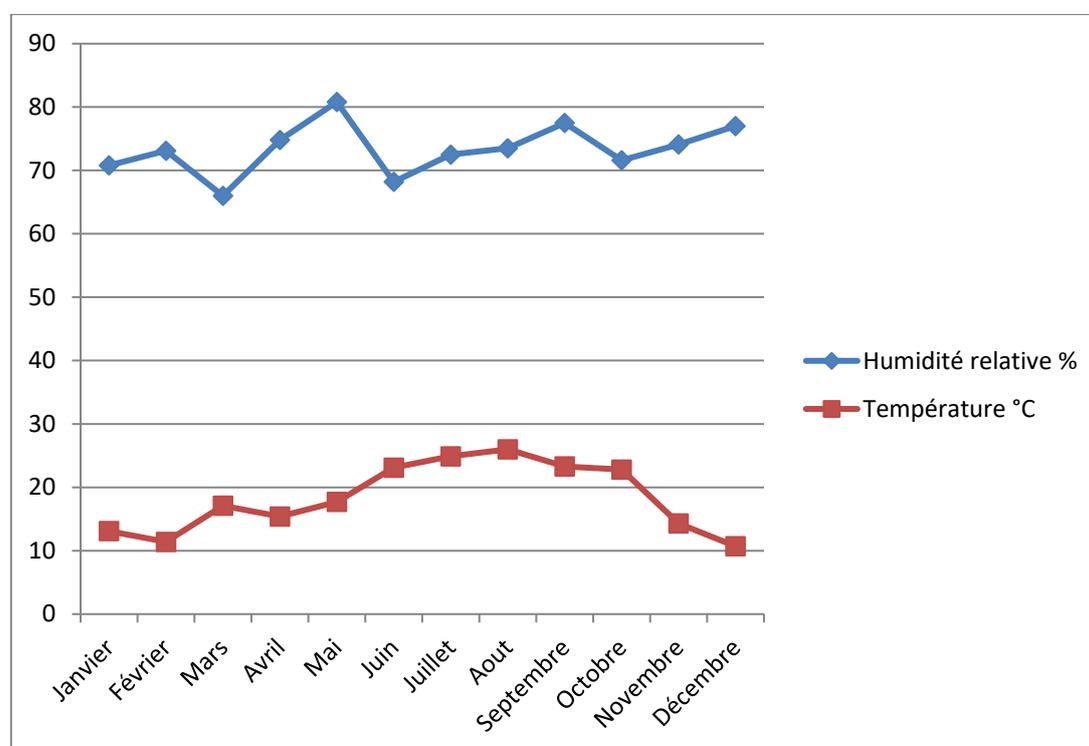


Figure C.15 : Graphe de moyennes températures et humidité (2001).
Source : Auteur, 2018.

En 2001, le mois de décembre est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.7°C et un taux d'humidité de 78.7%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 26°C et un taux d'humidité de 73.5%. Le taux d'humidité maximal est 80.8%.

- 2000

Tableau C.16 : moyennes températures et humidité relative (2000).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

2000	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	9.0	11.7	13.4	16.6	19.5	22	25.6	26.1	23.5	19.0	16.3	13.8
	Hum (%)	78.8	73.4	76.5	67.8	84.2	78.6	72.3	68.5	74.1	77.6	67.4	67.7

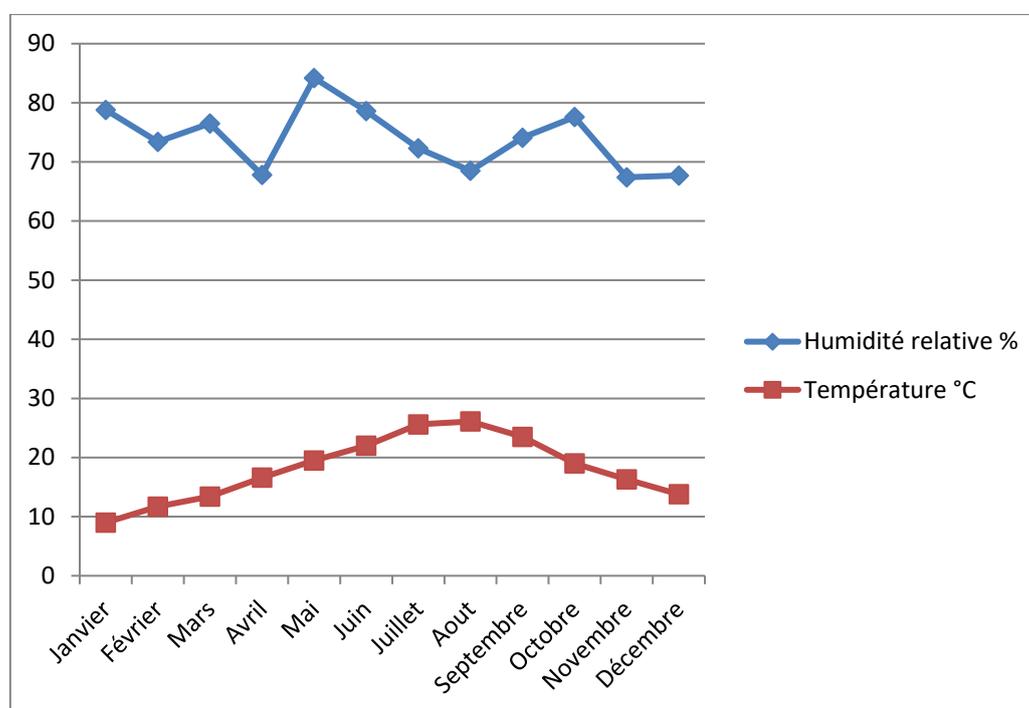


Figure C.16 : Graphe de moyennes températures et humidité (2000).
Source : Auteur, 2018.

En 2000, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 9°C et un taux d'humidité de 78.8%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 26.1°C et un taux d'humidité de 68.5%. Le taux d'humidité maximal est 84.2%.

- 1999

Tableau C.17 : moyennes températures et humidité relative (1999).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1999	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.2	9.9	13.5	14.9	19.7	22.7	24.7	27.0	24.2	22.1	14.6	12
	Hum (%)	79.2	77.8	74.1	74.6	76.8	77.1	73.7	72.6	71.5	69.7	74.1	75.9

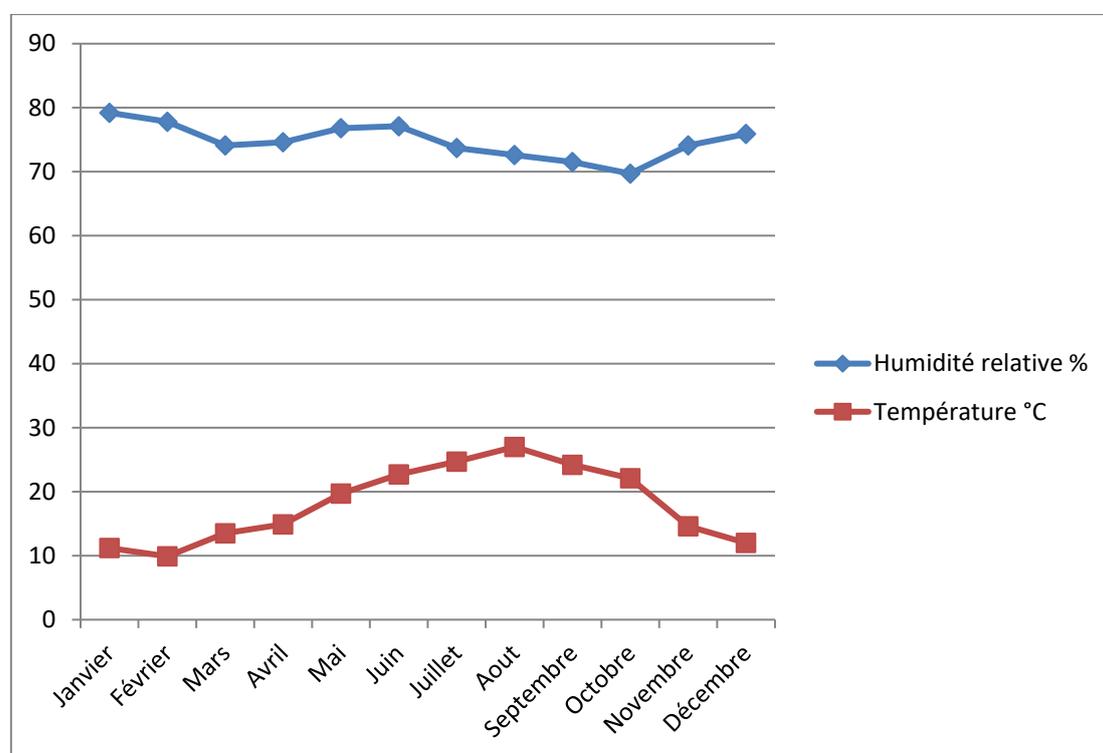


Figure C.17 : Graphe de moyennes températures et humidité (1999).

Source : Auteur, 2018..

En 1999, le mois de février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 9.9°C et un taux d'humidité de 77.8%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 27°C et un taux d'humidité de 72.6%. Le taux d'humidité maximal est 79.2%.

- 1998

Tableau C.18 : moyennes températures et humidité relative (1998).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1998	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	12.1	12.7	13	15.7	18.1	22.3	24.3	25	23.6	17.9	14.6	10.9
	Hum (%)	71.4	77.3	75.9	74.3	81.6	79.5	75.2	77.3	75.1	73.2	77.5	76.8

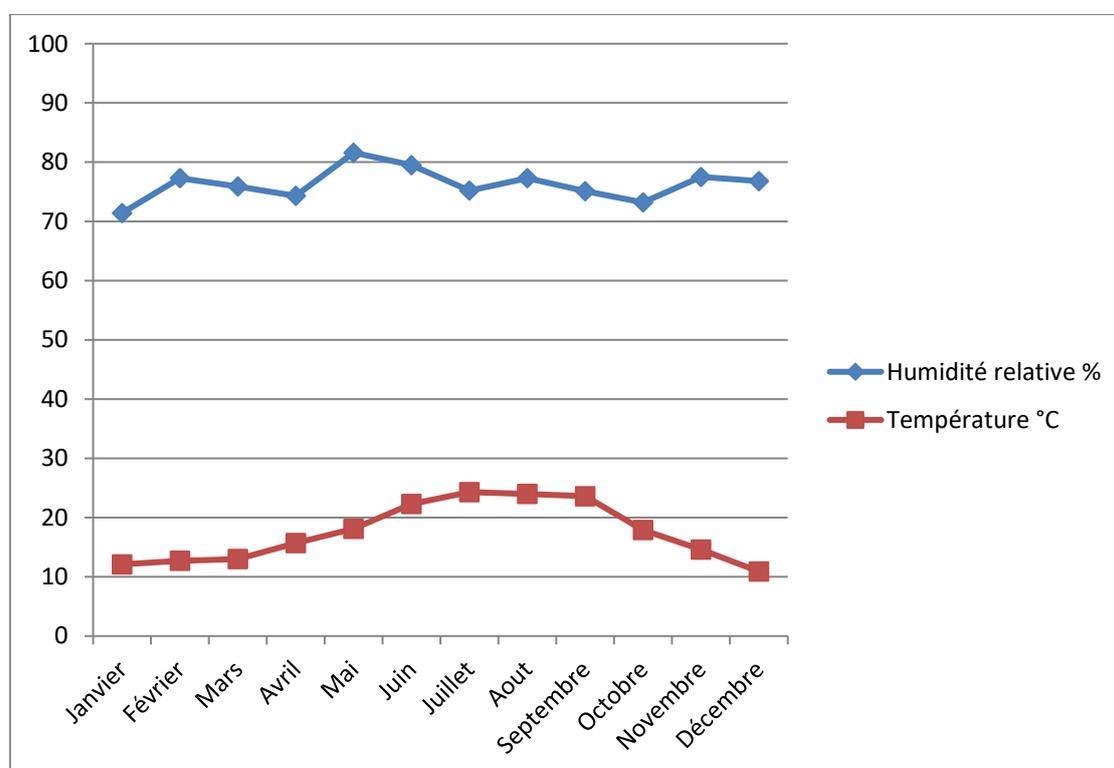


Figure C.18 : Graphe de moyennes températures et humidité (1998).
Source : Auteur, 2018.

En 1998, le mois de décembre est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.9°C et un taux d'humidité de 76.8%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 25°C et un taux d'humidité de 77.3%. Le taux d'humidité maximal est 81.6%.

- 1997

Tableau C.19 : moyennes températures et humidité relative (1997).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1997	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	13.2	12.4	12.7	15.2	19.9	23.2	24.1	25.8	24	20.2	16.3	13.1
	Hum (%)	66.7	80	71.3	73.1	73.7	71.5	75.7	75.9	73.7	74.9	74.4	73.1

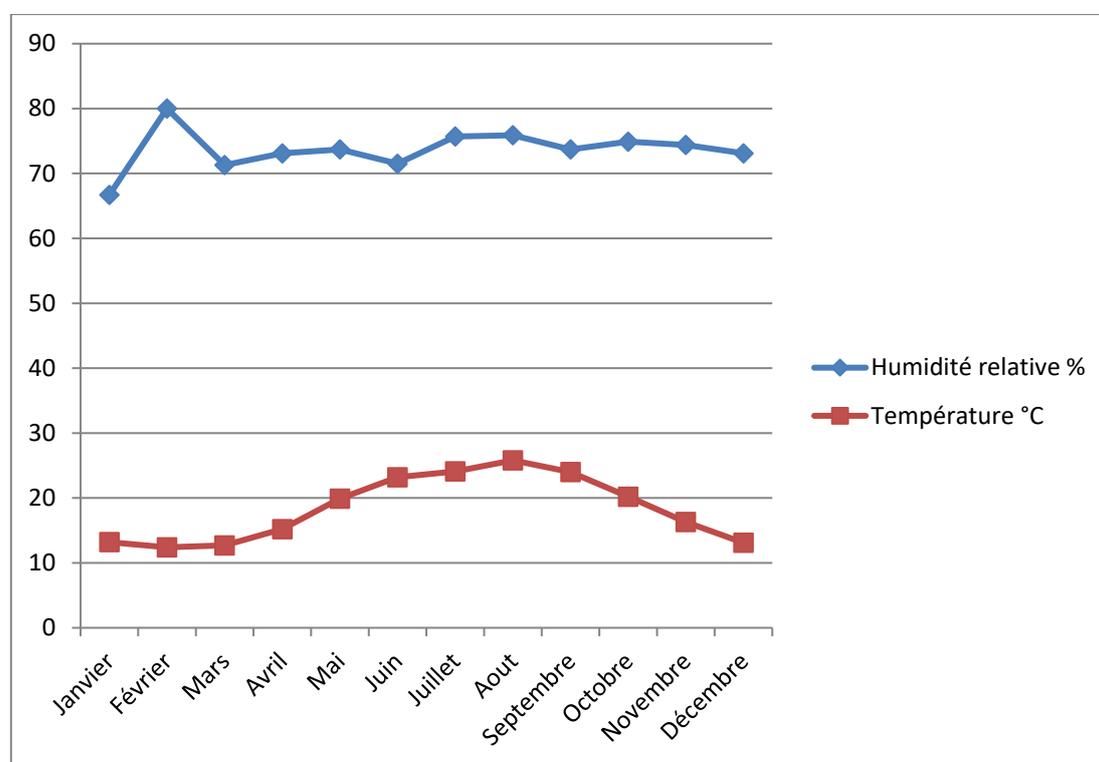


Figure C.19 : Graphe de moyennes températures et humidité (1997).

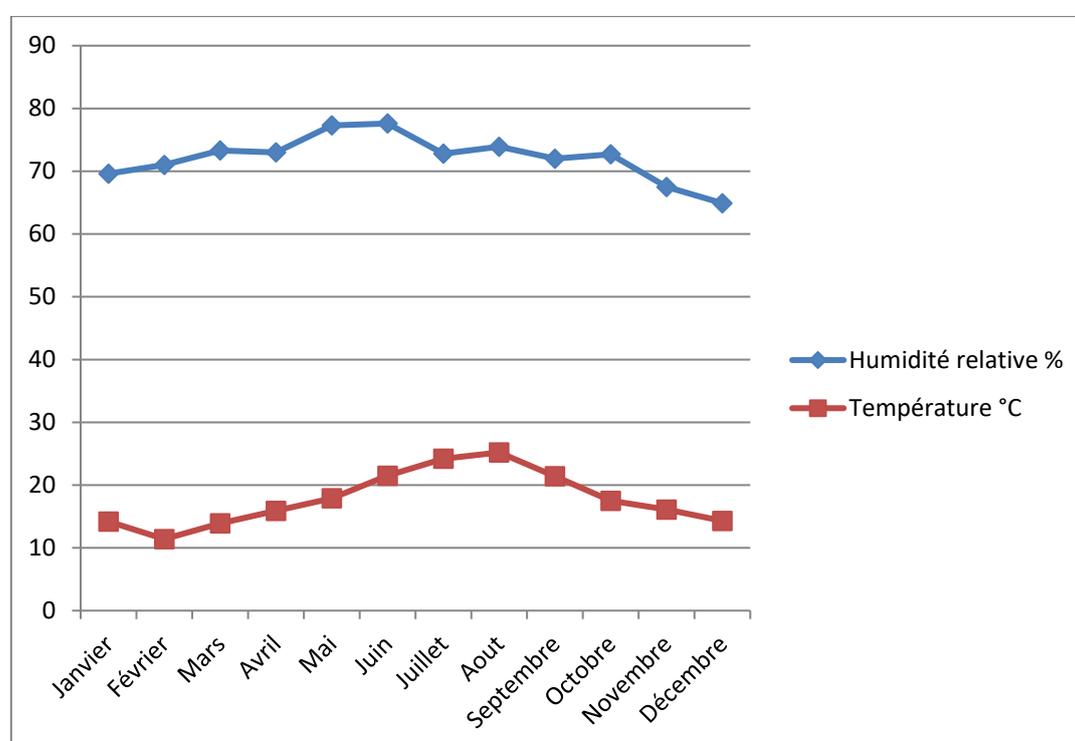
Source : Auteur, 2018.

En **1997**, le mois de février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 12.4°C et un taux d'humidité de 80%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.8°C et un taux d'humidité de 75.9%. Le taux d'humidité maximal est 80%.

- 1996

Tableau C.20 : moyennes températures et humidité relative (1996).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1996	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	14.2	11.4	13.9	15.9	17.9	21.5	24.2	25.2	21.4	17.5	16.1	14.3
	Hum (%)	69.6	71	73.3	73	77.3	77.6	72.8	73.9	72	72.7	67.5	64.9



En 1996, le mois de février est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 11.4°C et un taux d'humidité de 71%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.2°C et un taux d'humidité de 73.9%. Le taux d'humidité maximal est 77.6%.

- 1995

Tableau C.21 : moyennes températures et humidité relative (1995).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1995	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.1	13.7	13.2	14.3	19.3	21.8	24.4	24.9	22.5	20.2	16.6	14.9
	Hum (%)	71.6	73.4	71.5	73.1	67.4	77.6	76.5	73.8	73.5	74.5	63.9	71.9

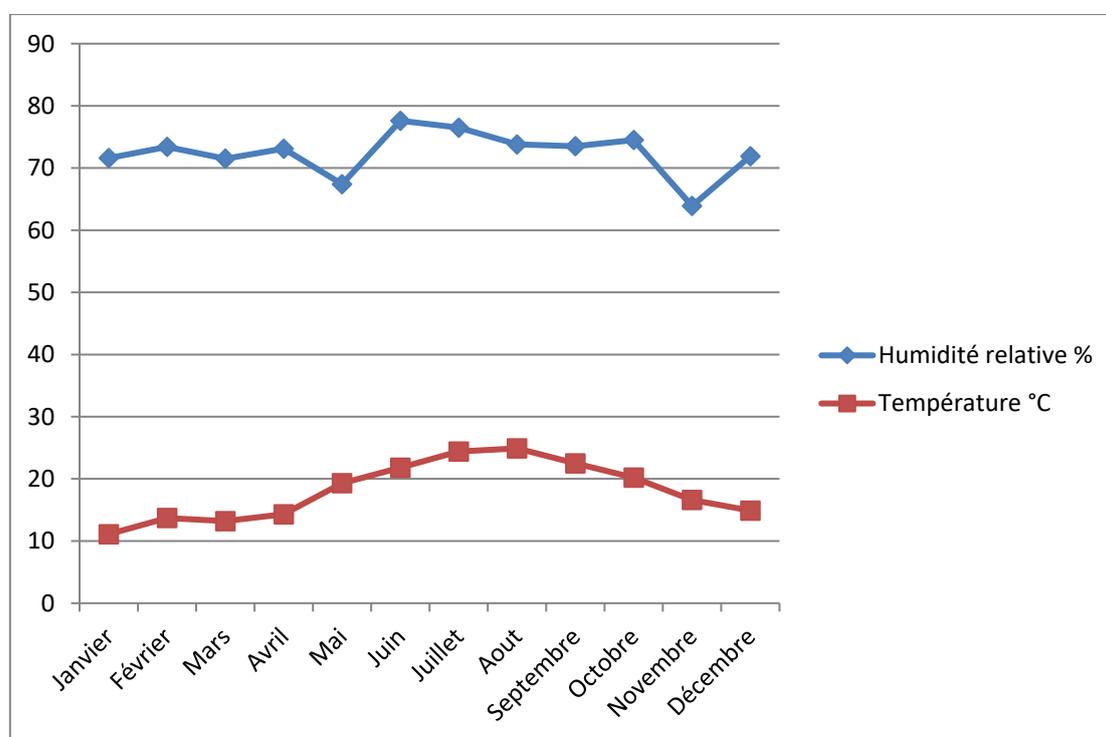


Figure C.21 : Graphe de moyennes températures et humidité (1995).

Source : Auteur, 2018.

En 1995, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 11.1°C et un taux d'humidité de 71.6%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyennede 24.9°C et un taux d'humidité de 73.8%. Le taux d'humidité maximal est 77.6%.

- 1994

Tableau C.22 : moyennes températures et humidité relative (1994).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1994	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.6	12.7	13.9	13.8	19.6	22	25.3	28	24.3	20.3	16.5	12.3
	Hum (%)	80.6	77.4	82	75.6	74.4	73.3	69.4	67.1	71.5	78.5	77.4	74.2

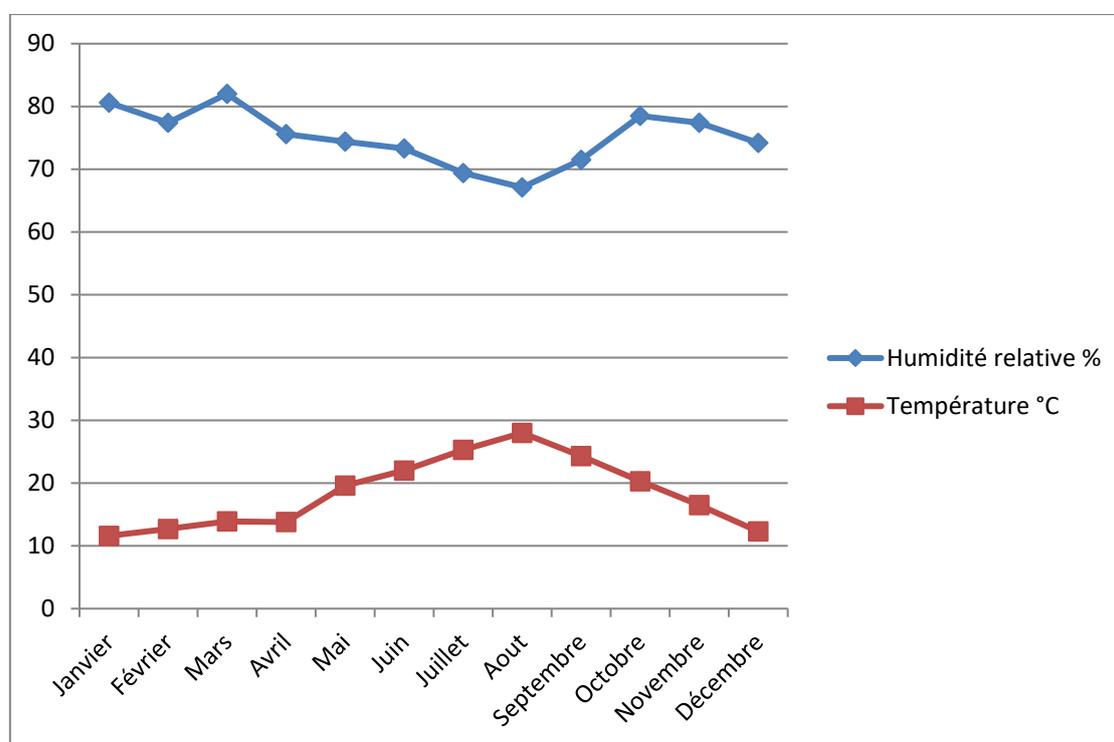


Figure C.22 : Graphe de moyennes températures et humidité (1994).
Source : Auteur, 2018.

En 1994, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 11.6°C et un taux d'humidité de 80.6%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 28°C et un taux d'humidité de 67.1%. Le taux d'humidité maximal est 82%.

- 1993

Tableau C.23 : moyennes températures et humidité relative (1993).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1993	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	9.2	10.2	12.3	14.7	18.5	21.9	24.4	25.4	22.3	19.8	14.3	12
	Hum (%)	81.7	84.3	73.3	74.4	75.9	77.9	74.3	76.3	73.5	70.1	80.2	81.6

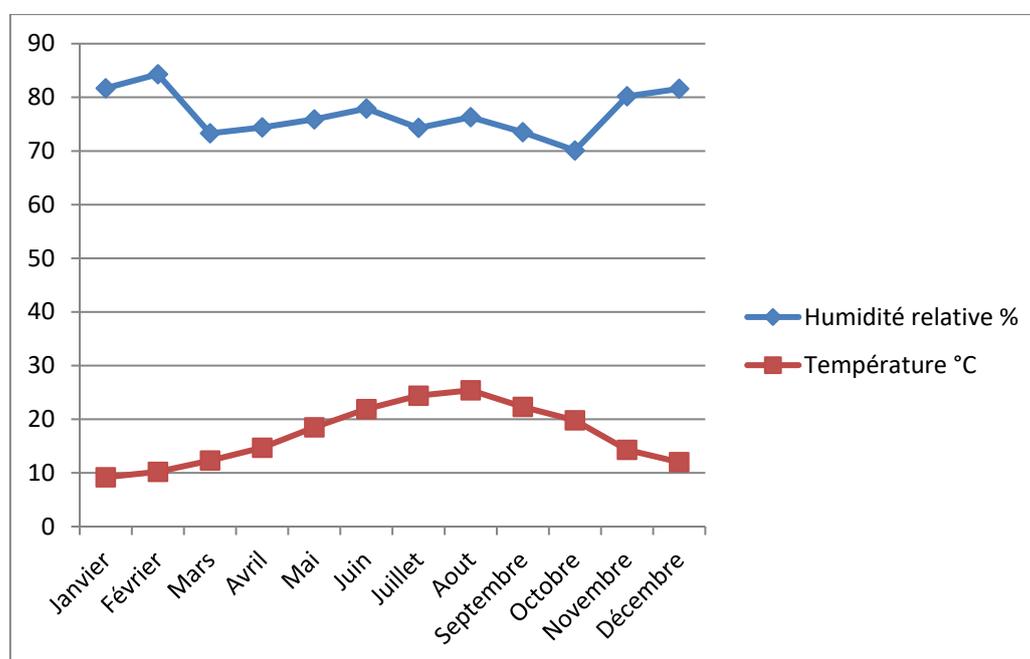


Figure C.23 : Graphe de moyennes températures et humidité (1993).
Source : Auteur, 2018.

En 1993, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 9.2°C et un taux d'humidité de 81.7%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.4°C et un taux d'humidité de 76.3%. Le taux d'humidité maximal est 84.3%.

- 1992

Tableau C.24 : moyennes températures et humidité relative (1992).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1992	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	9.7	10.6	12.2	14.9	17.5	20.1	23.3	25	23.8	18.8	15.3	12.6
	Hum (%)	77.9	77.3	81.2	77.4	80	73.6	77.2	70.9	71.2	70.2	80.9	72.5

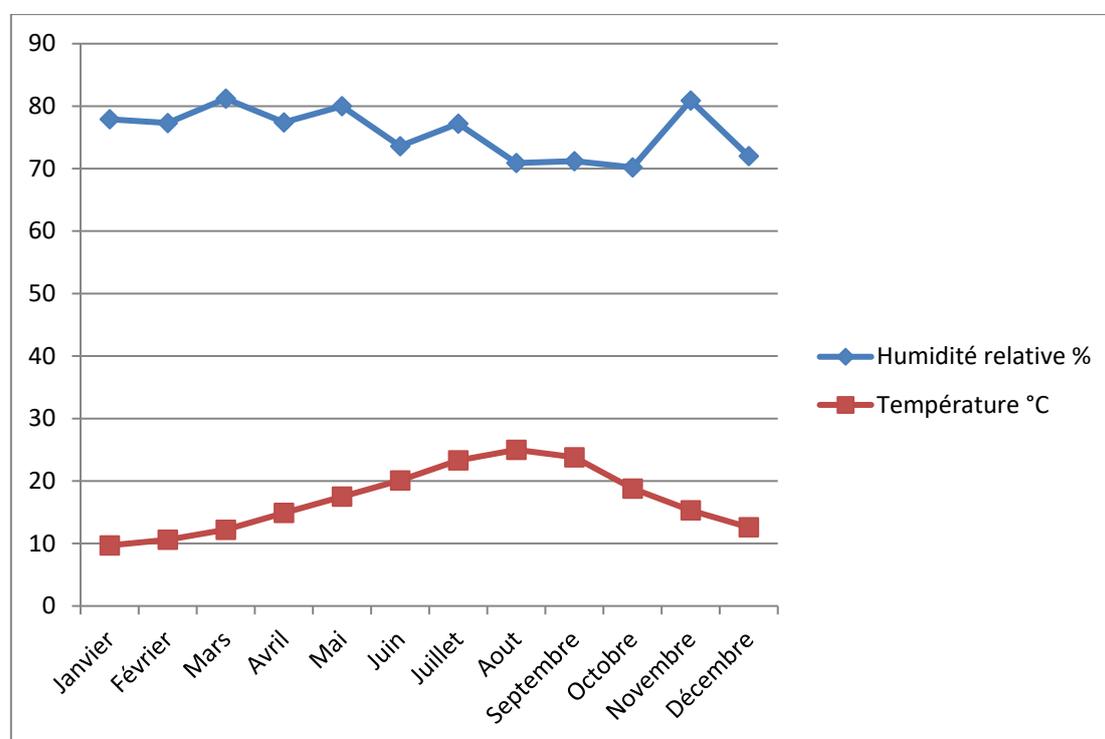


Figure C.24 : Graphe de moyennes températures et humidité (1992).
Source : Auteur, 2018.

En 1992, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 9.7°C et un taux d'humidité de 77.9%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 25°C et un taux d'humidité de 70.9%. Le taux d'humidité maximal est 81.2%.

- 1991

Tableau C.25 : moyennes températures et humidité relative (1991).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1991	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	10.1	10.3	14.3	13.4	15.7	21.3	24.4	25.7	24.4	19.5	14.1	9.8
	Hum (%)	76.9	77.6	73.8	76	73.6	73.9	74.5	69	78.1	75.7	75.6	83.5

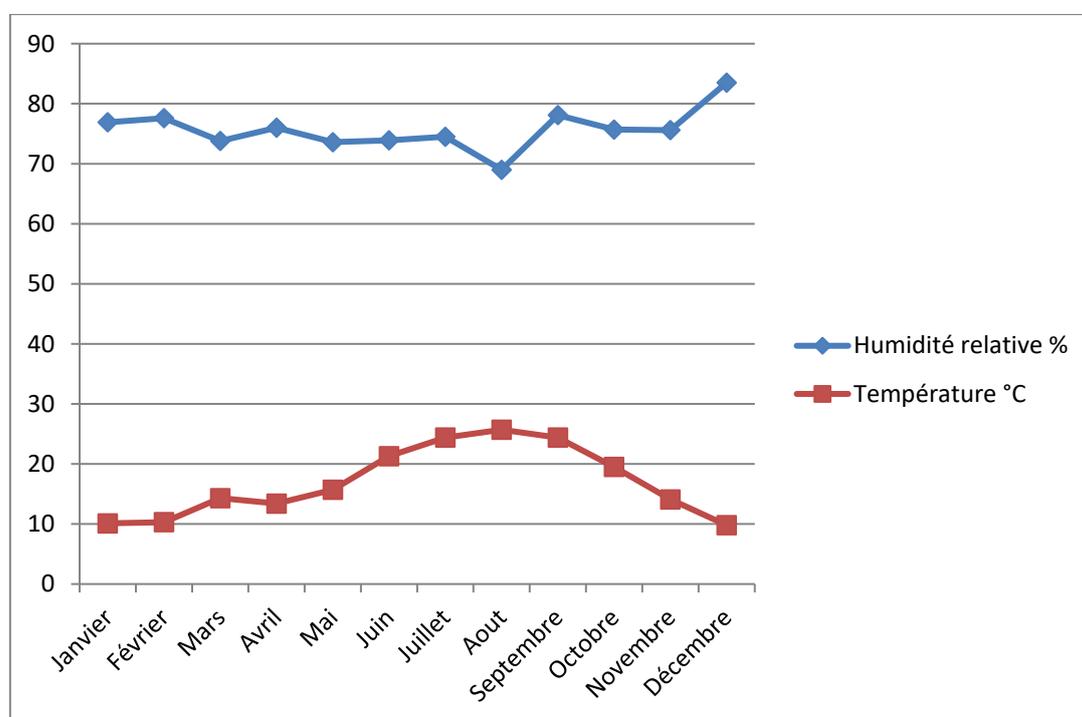


Figure C.25 : Graphe de moyennes températures et humidité (1991).
Source : Auteur, 2018.

En 1991, le mois de décembre est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 9.8°C et un taux d'humidité de 83.5%. En été c'est le mois d'août avec une température moyenne de 25.7°C et un taux d'humidité de 69%. Le taux d'humidité maximal est 83.5%.

- 1990

Tableau C.26 : moyennes températures et humidité relative (1990).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1990	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	11.6	13.6	14.2	14.4	18	22.2	24.4	24.8	25.2	21	15.6	10
	Hum (%)	80.2	73	78.1	79.6	83.7	80.4	74.9	78	74.7	70.2	79.9	76.8

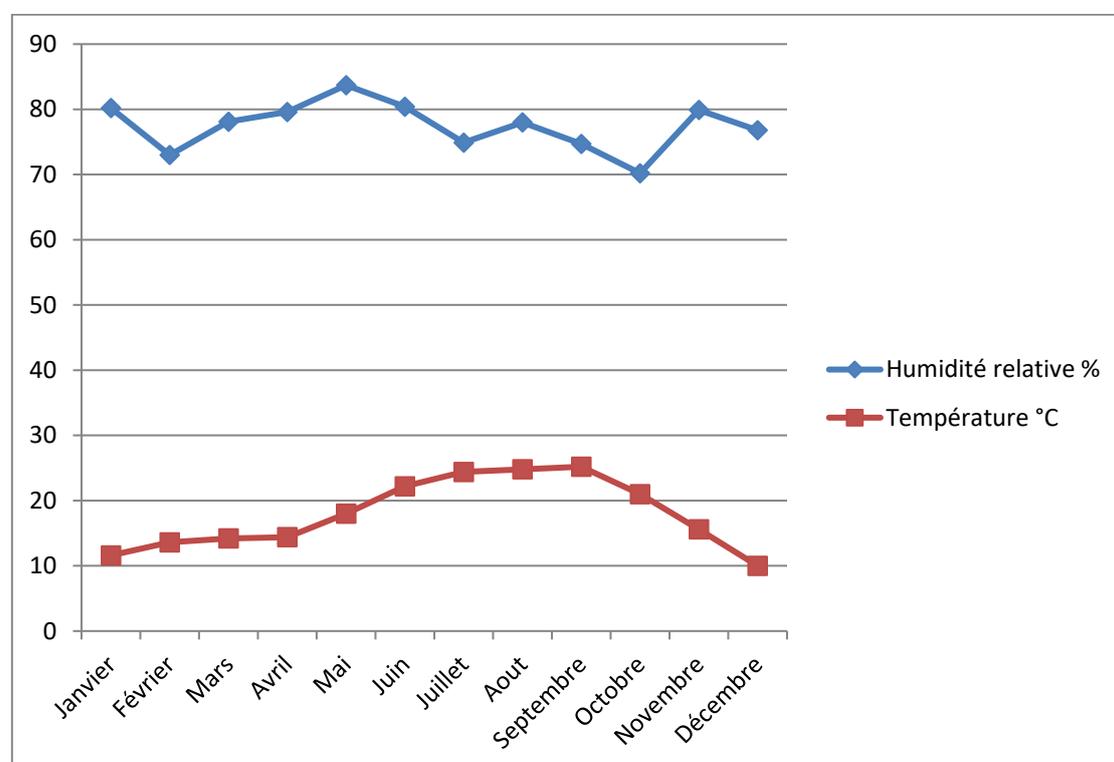


Figure C.26 : Graphe de moyennes températures et humidité (1990).
Source : Auteur, 2018.

En 1990, le mois de décembre est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10°C et un taux d'humidité de 76.8%. En été c'est le mois d'septembre avec une température moyenne de 25.2°C et un taux d'humidité de 74.7%. Le taux d'humidité maximal est 83.7%.

- 1989

Tableau C.27 : moyennes températures et humidité relative (1989).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1989	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	10	11.9	14.2	15.2	17.7	20.8	25.1	26.4	23.5	19.7	16.4	15.4
	Hum (%)	80.4	71.2	75.7	71.4	77.9	75.3	69.2	76.3	75.1	81.3	80.8	70.5

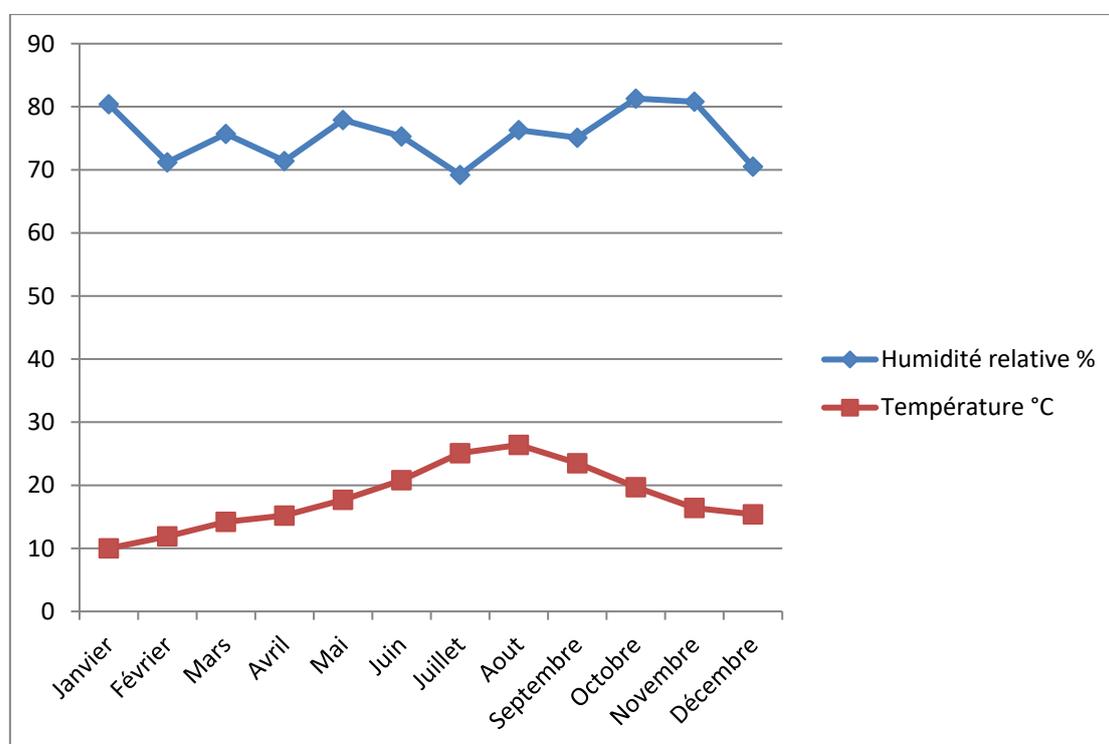


Figure C.27 : Graphe de moyennes températures et humidité (1989).

Source : Auteur, 2018.

En 1989, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10°C et un taux d'humidité de 80.4%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 26.4°C et un taux d'humidité de 76.3%. Le taux d'humidité maximal est 81.3%.

- 1988

Tableau C.28 : moyennes températures et humidité relative (1988).
Source : Station météorologique (Aéroport de Béjaia), adaptée par l'auteur.

1988	mois	Jan	Fev	Ma	Avr	Mai	Jui	juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
Para mètre s	Tem (°C)	13.4	10.7	12.8	15.3	18.2	21.6	25	26.2	22	21.1	15.7	10.6
	Hum (%)	74.9	76.3	69.4	79.3	80.1	77.1	80	72.5	78	70.1	81.8	80.8

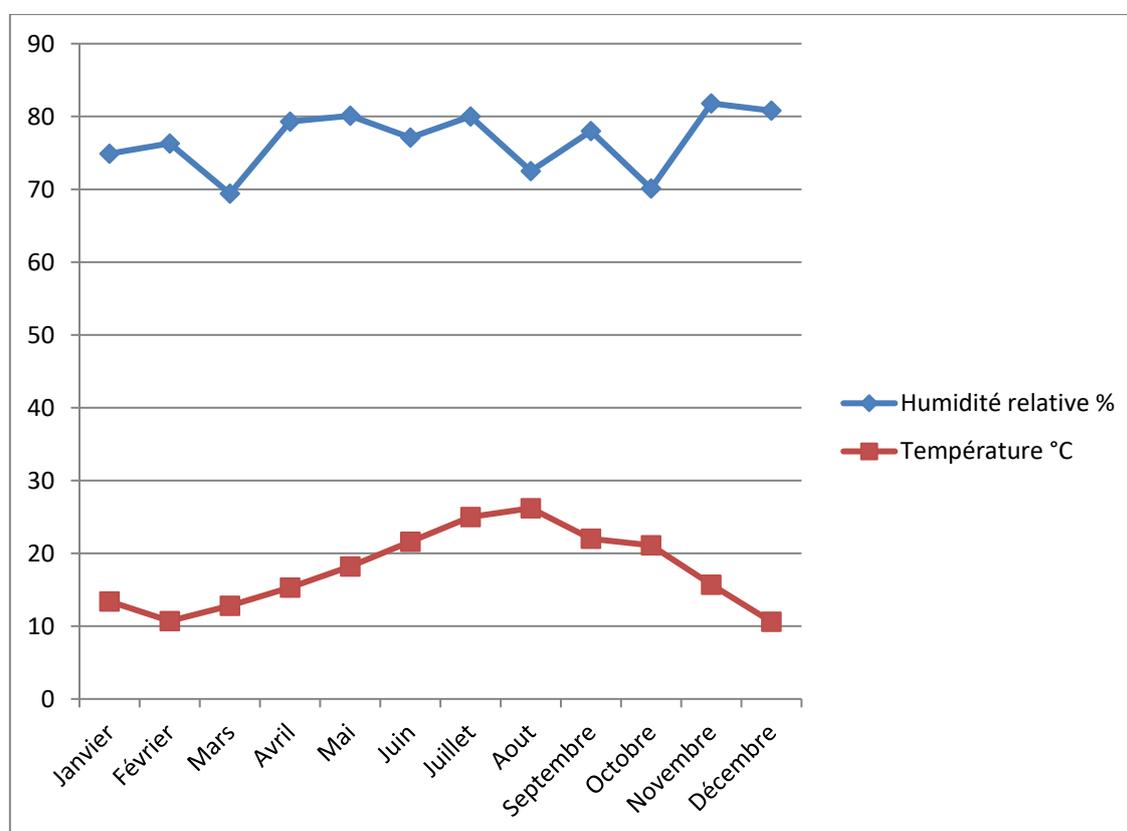


Figure C.28 : Graphe de moyennes températures et humidité (1988).
Source : Auteur, 2018.

En 1988, le mois de Janvier est le mois défavorable en hiver avec une température moyenne de 10.6°C et un taux d'humidité de 80.8%. En été c'est le mois d'aout avec une température moyenne de 26.2°C et un taux d'humidité de 72.5%. Le taux d'humidité maximal est 81.8%.

Annexe D

Simulation thermique dynamique de la maison moderne.

Etape de la simulation numérique de la maison moderne.

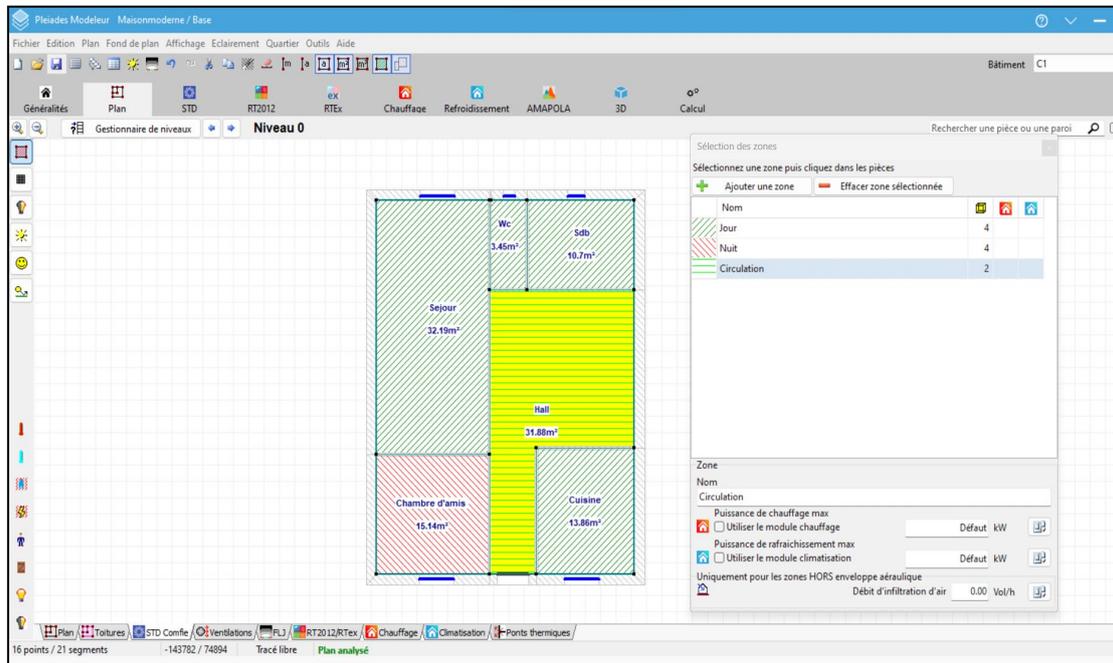


Figure D.1 : Etape de zonage des espaces du RDC.

Source : Auteur, 2021.

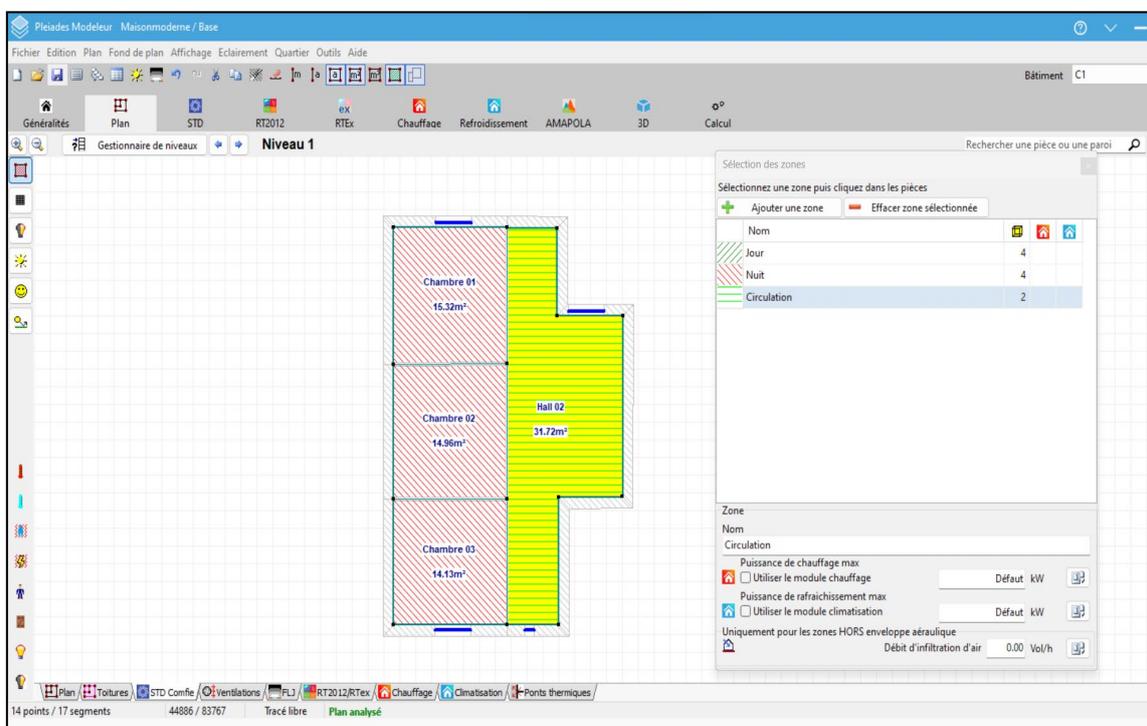


Figure D.2 : Etape de zonage des espaces de l'étage.

Source : Auteur, 2021.

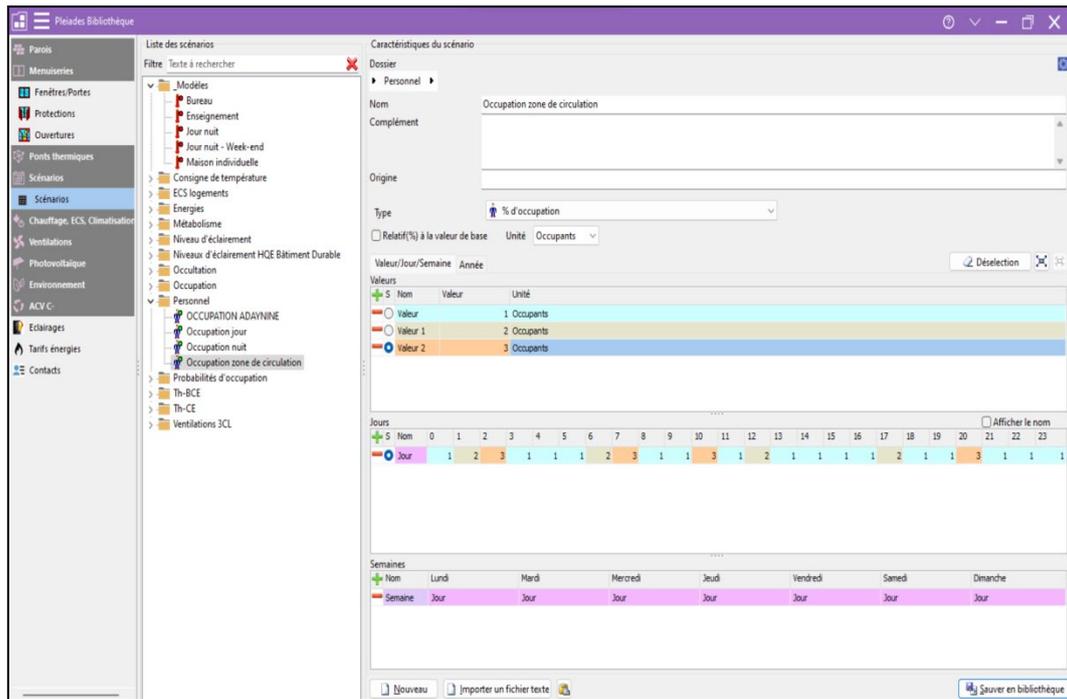


Figure D.3 : Création du modèle d'occupation de la zone de circulation.
Source : Auteur, 2021.

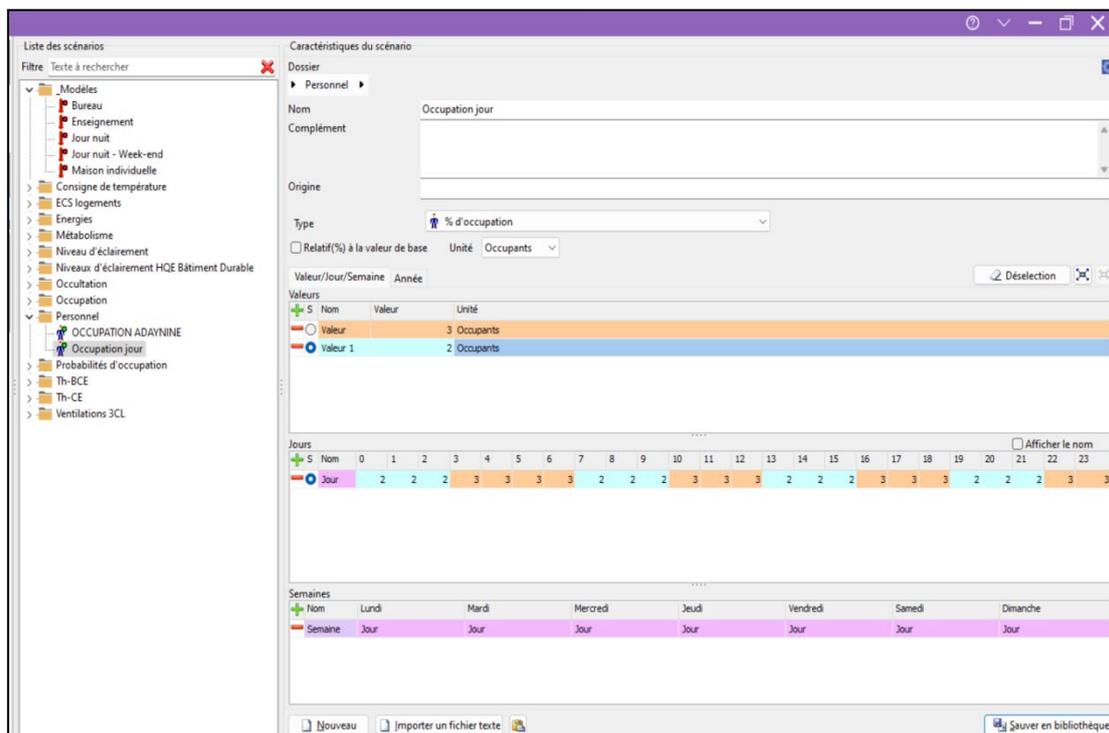


Figure D.4 : Création du modèle d'occupation de la zone espaces jour.
Source : Auteur, 2021.

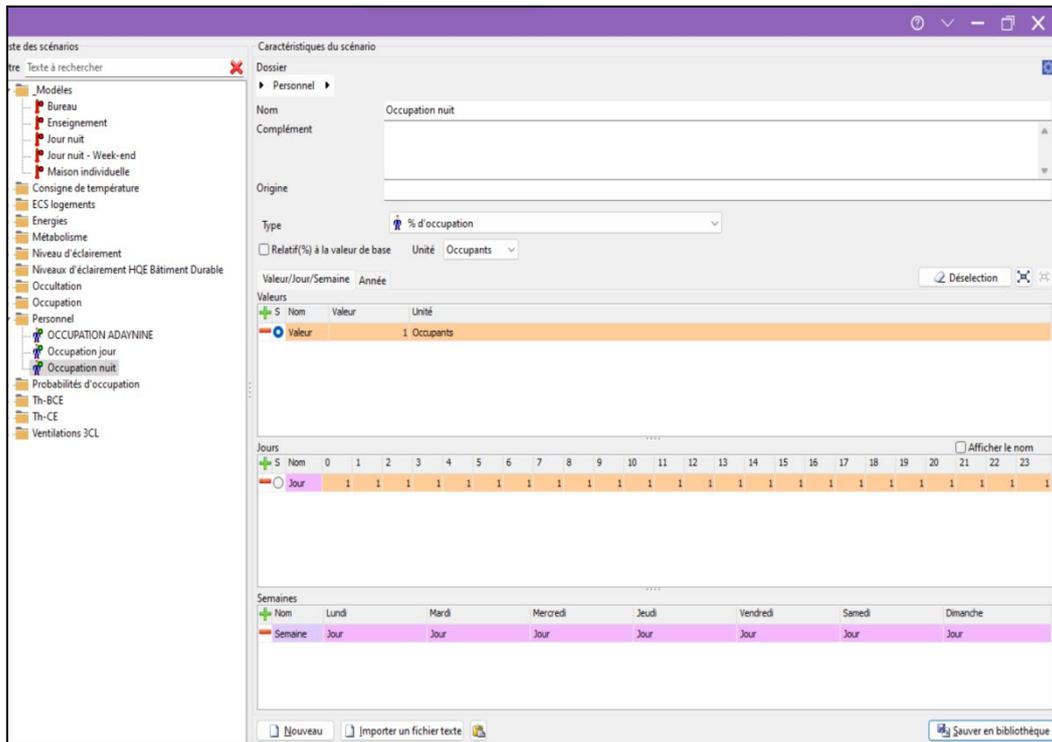


Figure D.5 : Création du model d'occupation de la zone espaces nuit.
Source : Auteur, 2021.

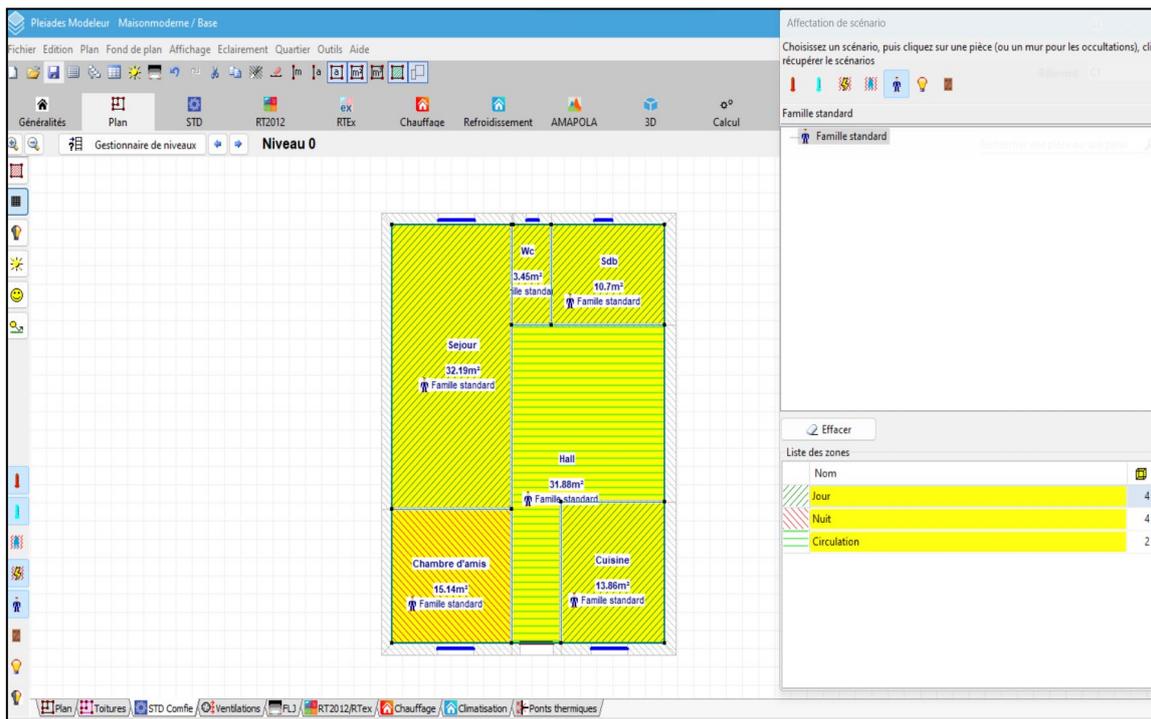


Figure D.6 : Choix des scénarios d'occupation pour chaque pièce (RDC)
Source : Auteur, 2021.

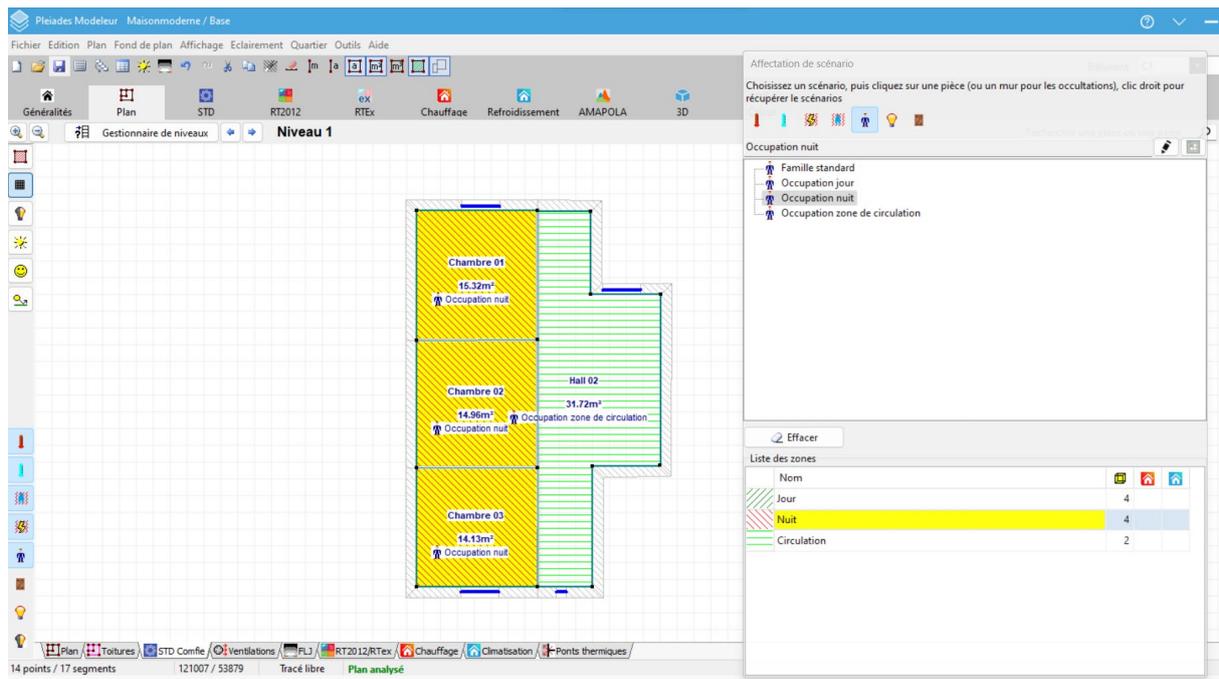


Figure D.7: Choix des scénarios d'occupation pour chaque pièce (Étage)
Source : Auteur, 2021.

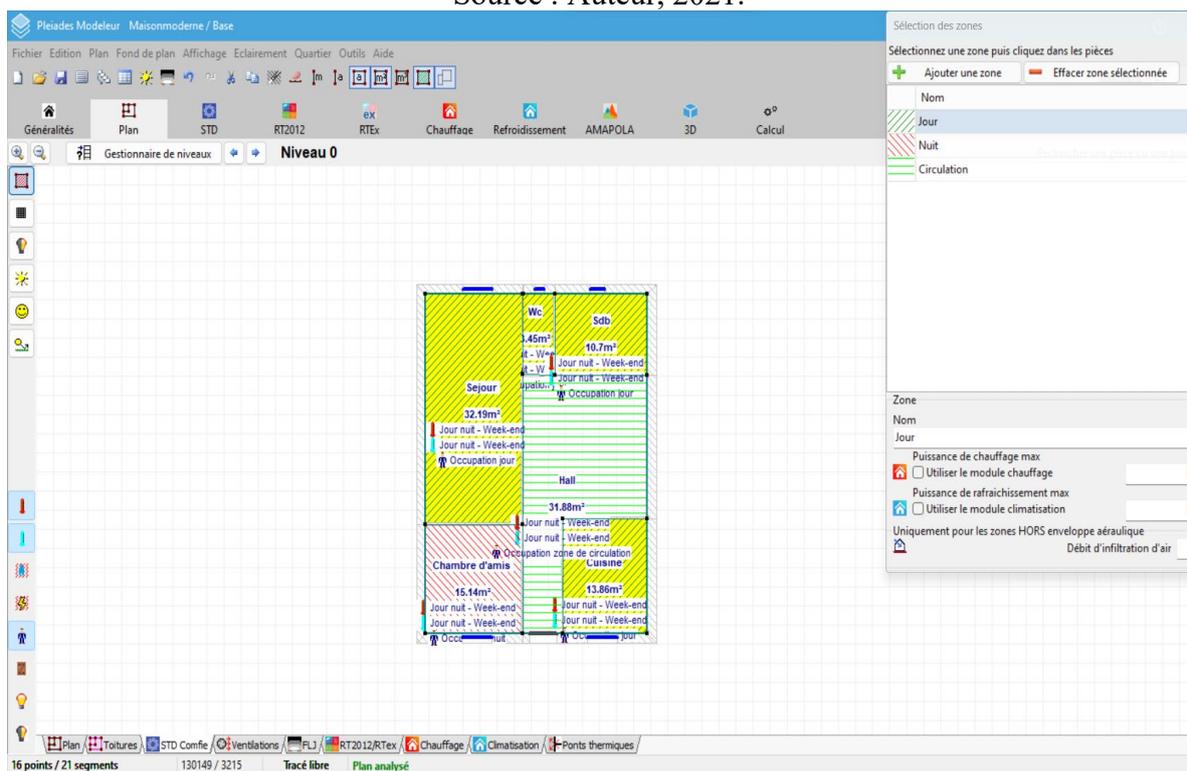


Figure D.8 : Choix des scénarios d'occupation de chauffage et de climatisation.
Source : Auteur, 2021.



Figure D.9 : 3D de la maison moderne avant de l'exporter sur PLEIADES.
Source : Auteur, 2021.

Histogrammes des besoins en chauffage et climatisation, taux d'inconfortet températures minimales et maximales, pour la maison kabyle. (Tels que présentés par le logiciel).

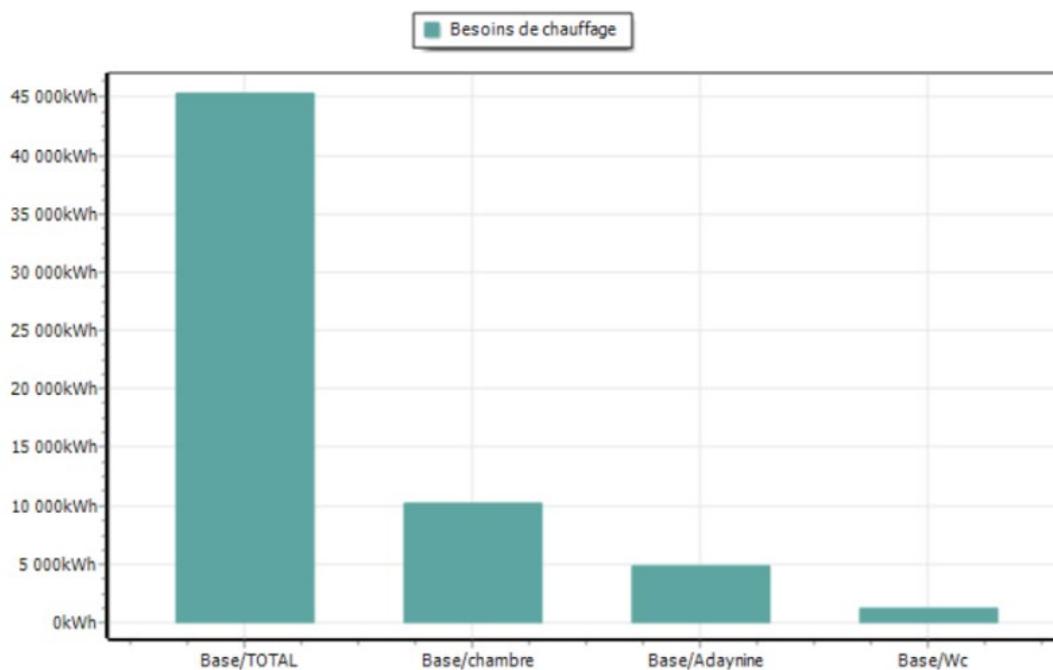


Figure D.10 : histogramme des besoins en chauffage de la maison kabyle.
Source : Auteur, 2021.

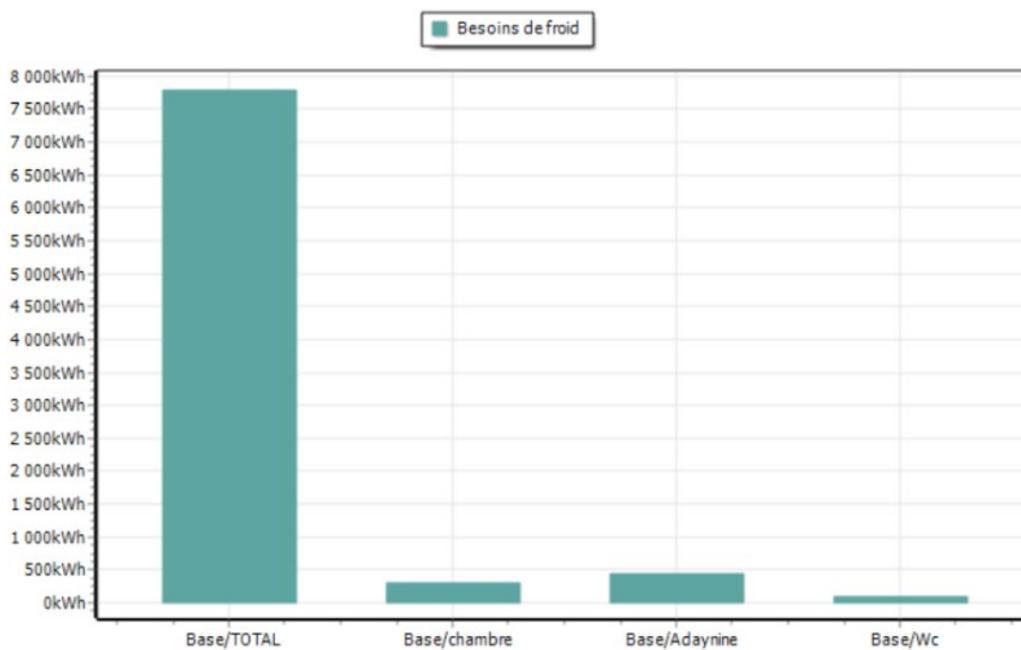


Figure D.11 : histogramme des besoins en climatisation de la maison kabyle.
Source : Auteur, 2021.

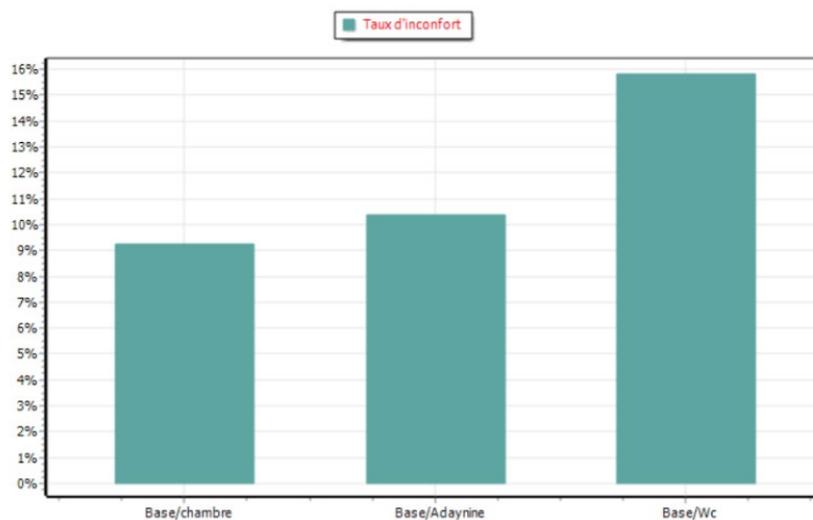


Figure D.12 : histogramme du taux d'inconfort de la maison kabyle.
Source : Auteur, 2021.

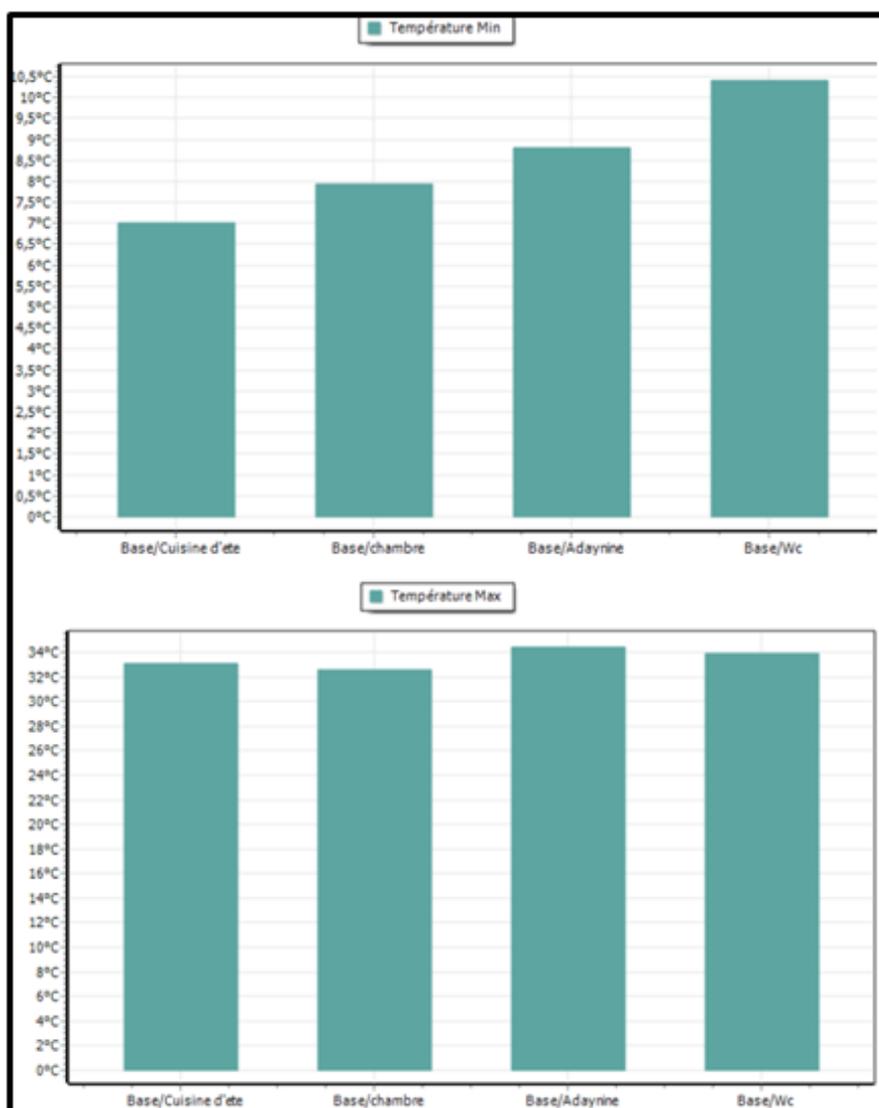


Figure D.13 : histogramme des températures minimales et maximales de la maison kabyle.
Source : Auteur, 2021.

Histogrammes des besoins en chauffage et climatisation, et températures minimales et maximales, pour la maison moderne.

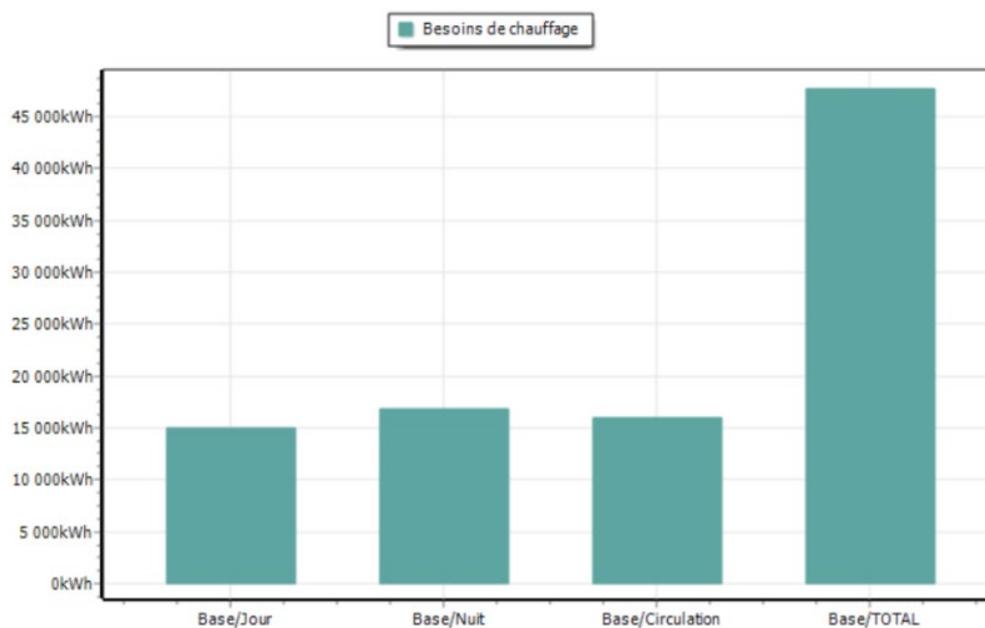


Figure D.14 : histogramme des besoins en chauffage de la maison moderne.
Source : Auteur, 2021.

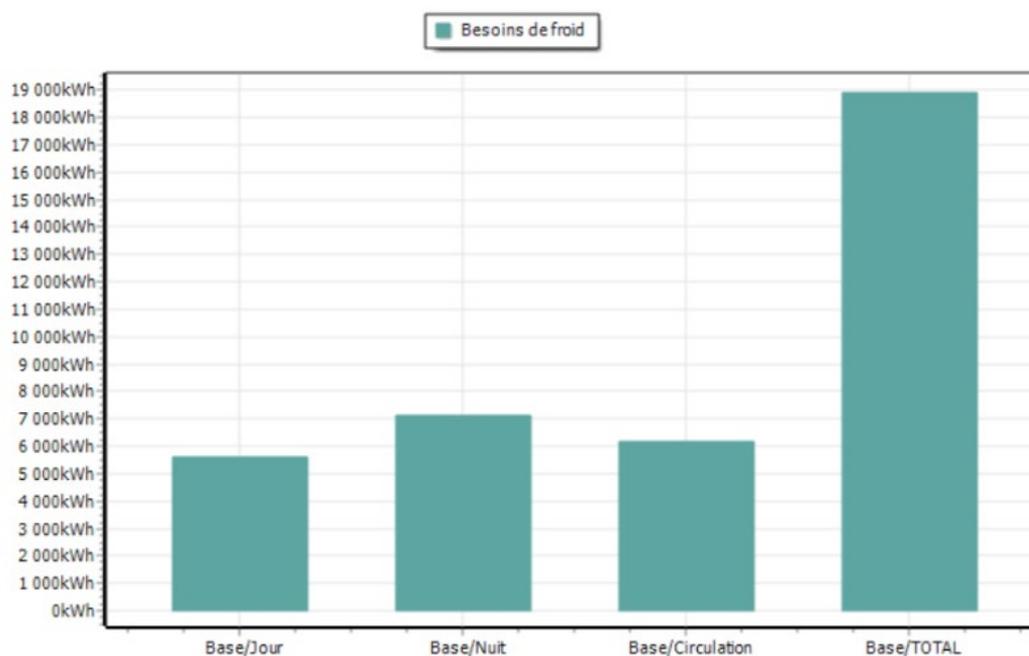


Figure D.15 : histogramme des besoins en climatisation de la maison moderne.
Source : Auteur, 2021.

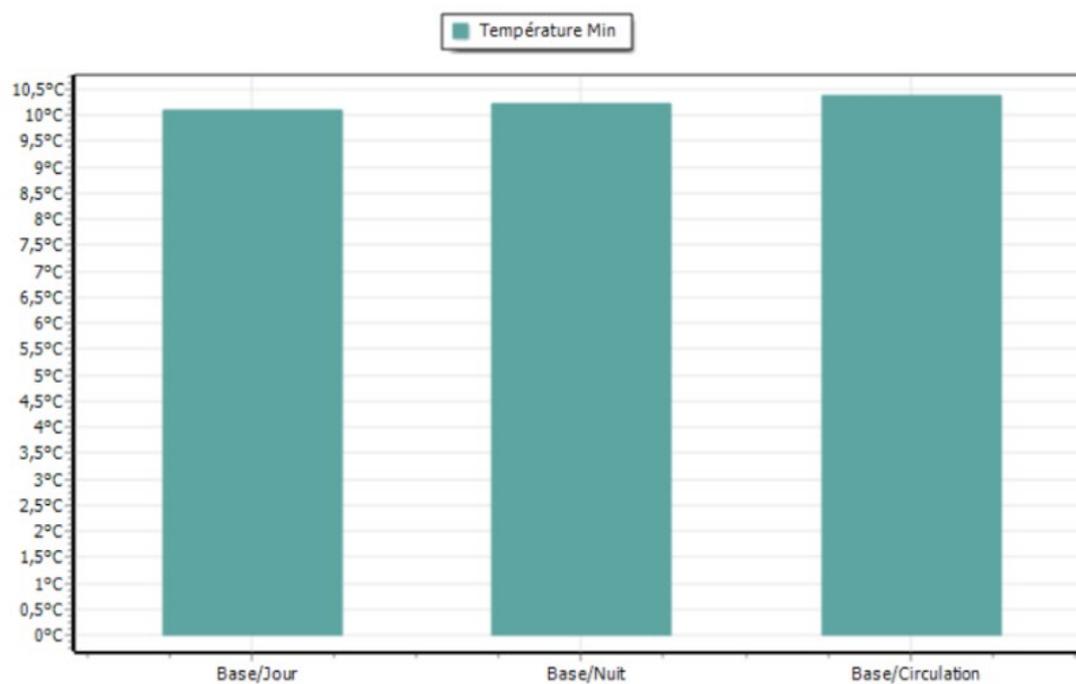


Figure D.16 : histogramme des températures minimales de la maison moderne.
Source : Auteur, 2021.

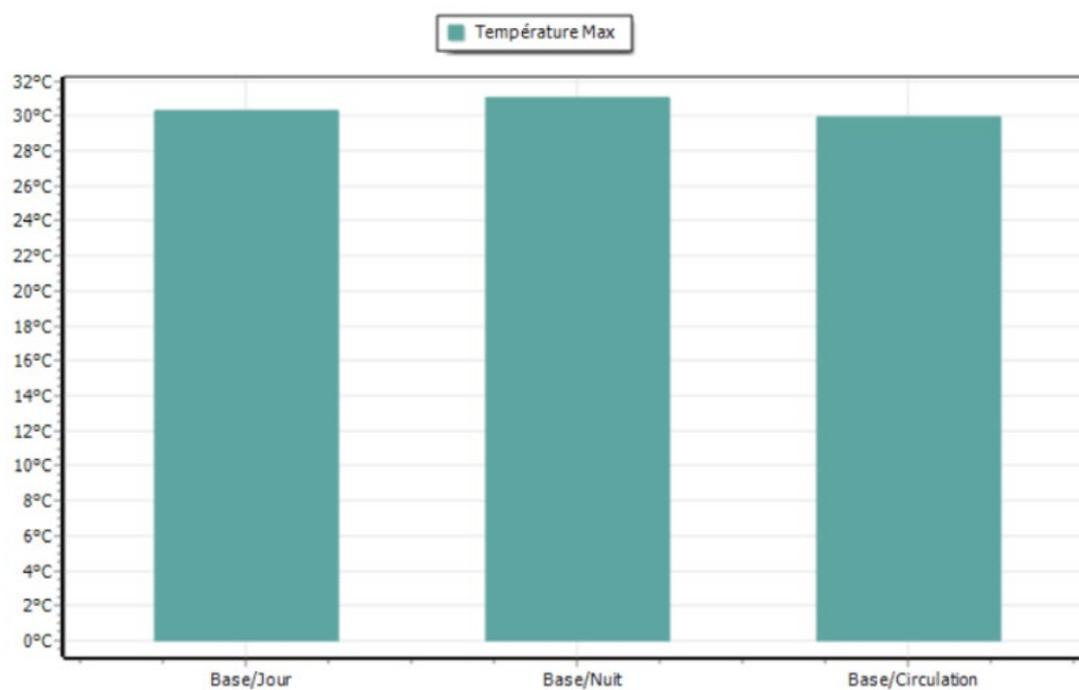


Figure D.17 : histogramme des températures maximales de la maison moderne.
Source : Auteur, 2021.

Histogrammes des besoins en chauffage et climatisation, et températures minimales et maximales, pour la maison moderne après la première amélioration.

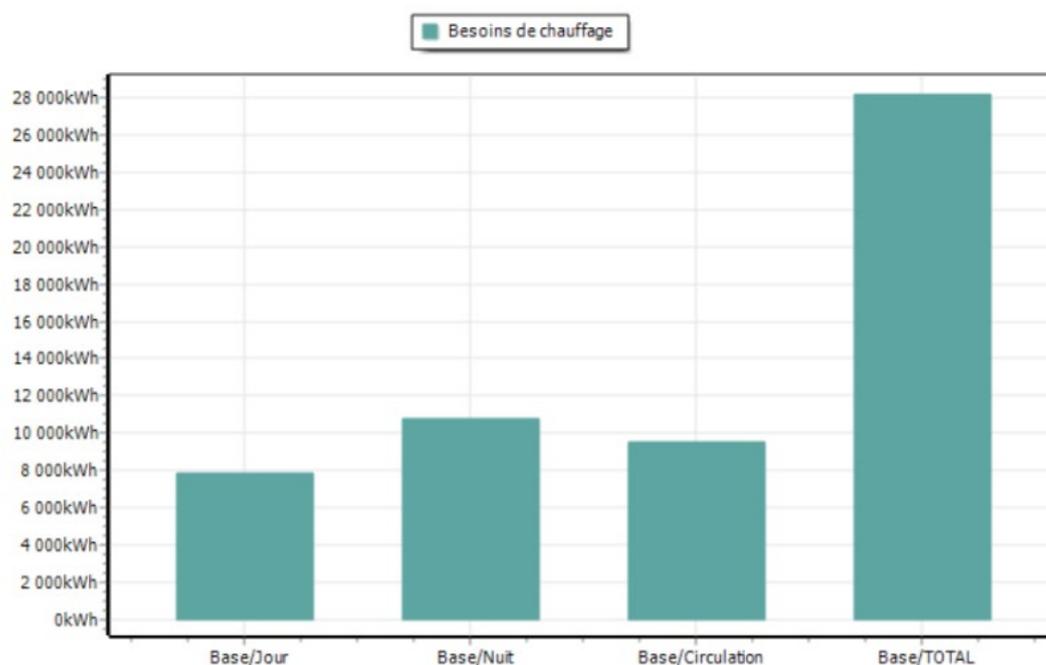


Figure D.18: histogramme des besoins en chauffage de la maison moderne, après la première amélioration.

Source : Auteur, 2021.

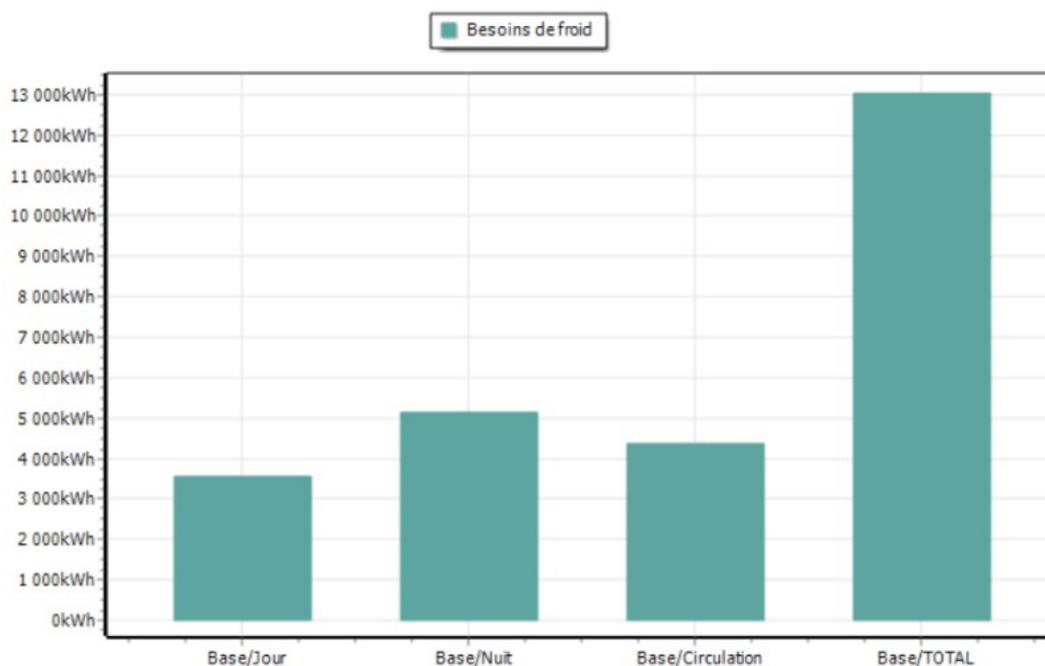


Figure D.19: histogramme des besoins en climatisation de la maison moderne, après la première amélioration.

Source : Auteur, 2021.

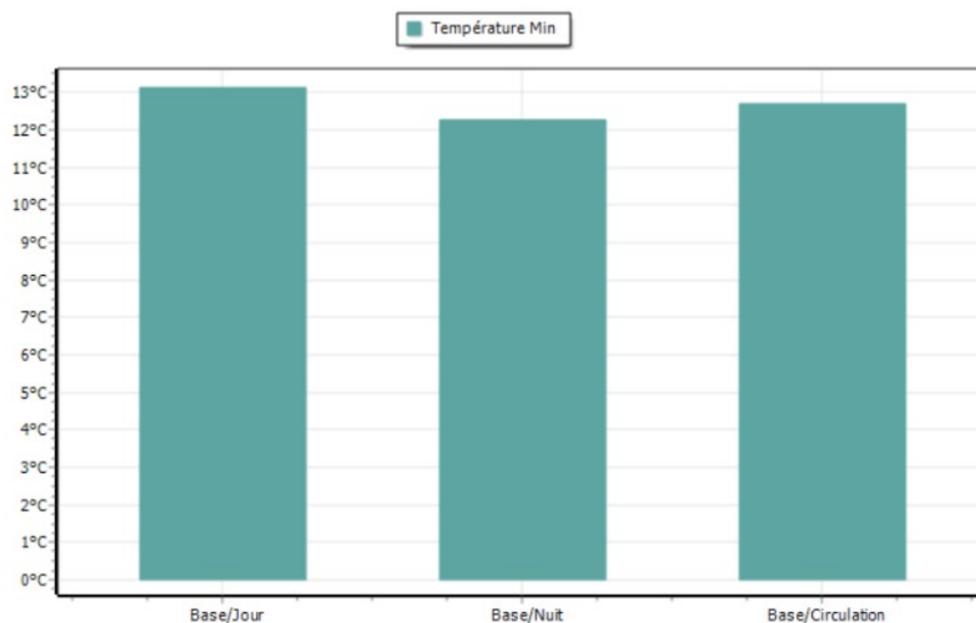


Figure D.20 : histogramme des températures minimales de la maison moderne, après la première amélioration.
Source : Auteur, 2021.

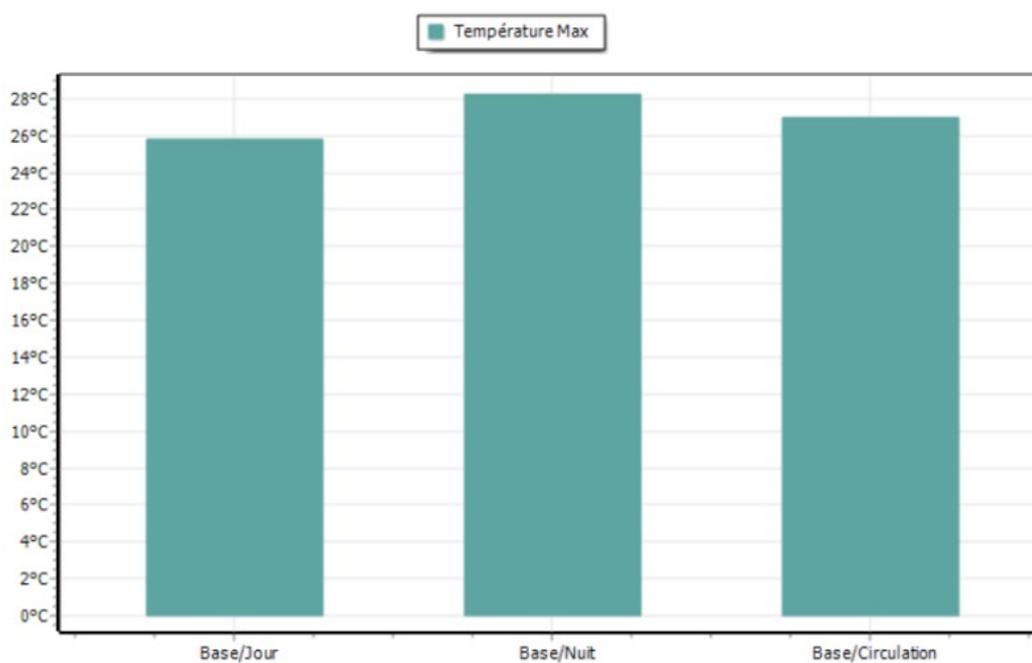


Figure D.21 : histogramme des températures maximales de la maison moderne, après la première amélioration.
Source : Auteur, 2021.

Histogrammes des besoins en chauffage et climatisation, et températures minimales et maximales, pour la maison moderne après la deuxième amélioration.

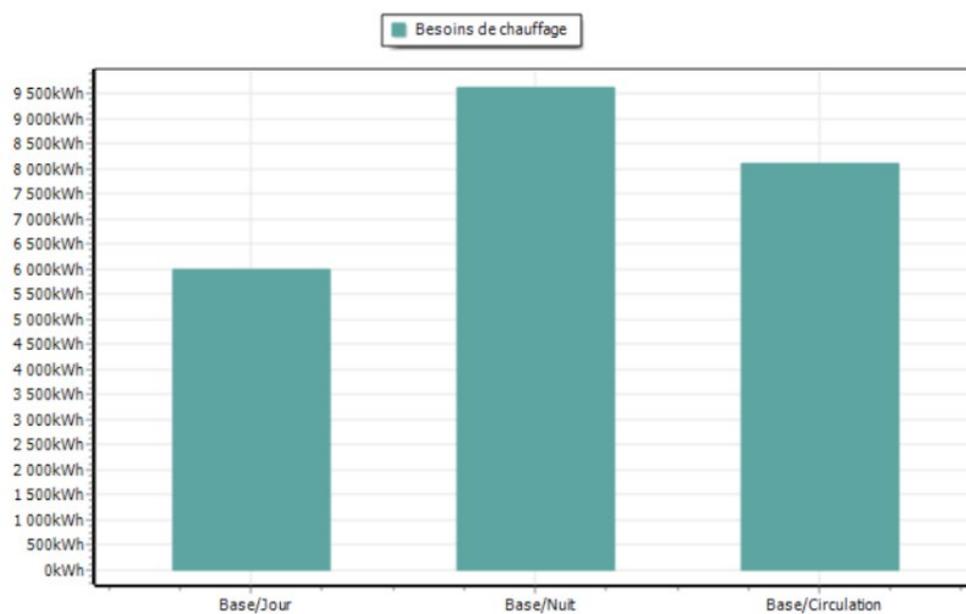


Figure D.22: histogramme des besoins en chauffage de la maison moderne, après la deuxième amélioration.

Source : Auteur, 2021.

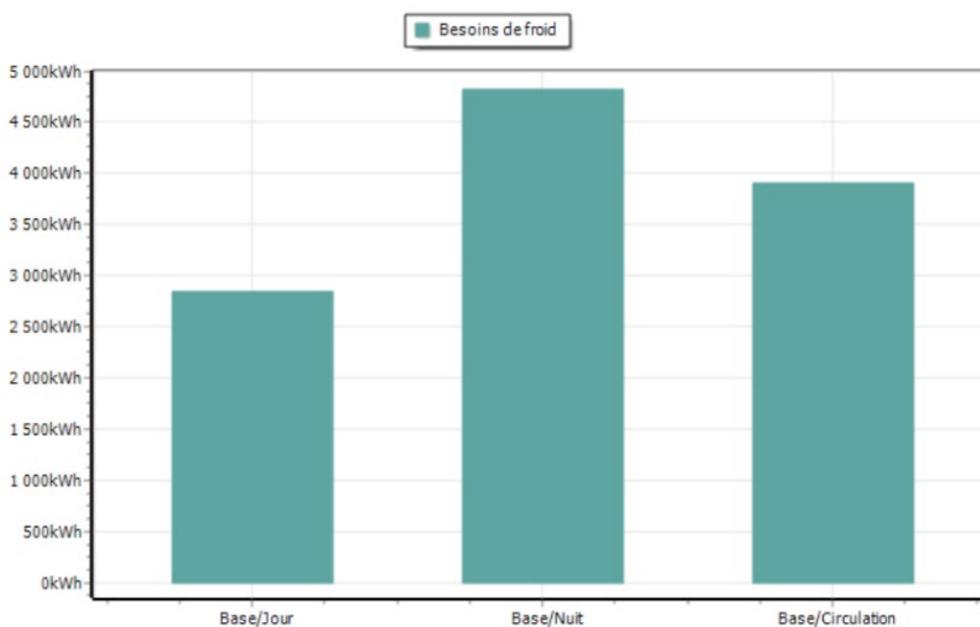


Figure D.23: histogramme des besoins en climatisation de la maison moderne, après la deuxième amélioration.

Source : Auteur, 2021.

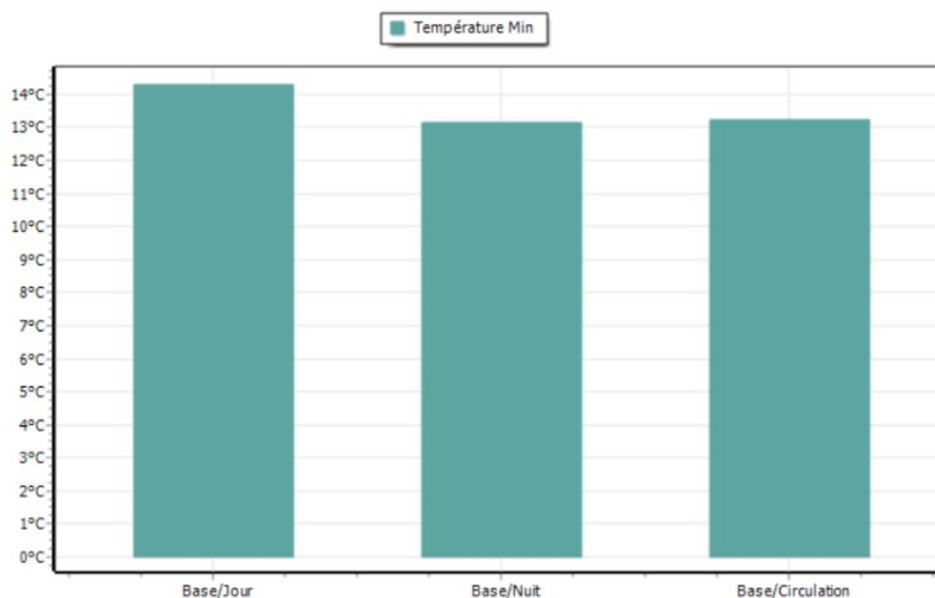


Figure D.24: histogramme des températures minimales de la maison moderne, après la deuxième amélioration.

Source : Auteur, 2021.

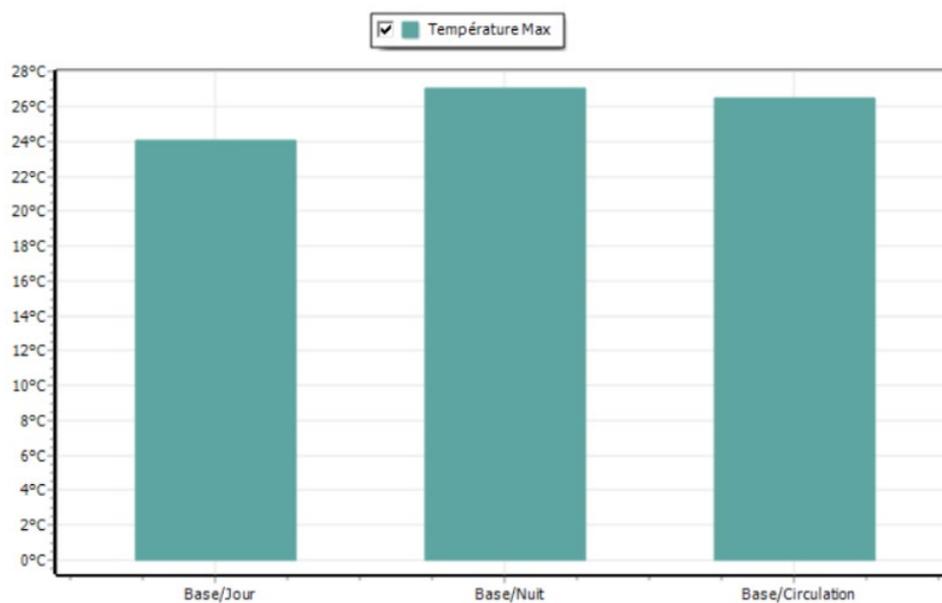


Figure D.25 : histogramme des températures maximales de la maison moderne, après la deuxième amélioration.

Source : Auteur, 2021.

Annexe E

Arrêté du 17 Safar 1434 correspondant au 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.

<p>Par décret présidentiel du 3 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 15 janvier 2013, il est mis fin, à compter du 4 novembre 2012, aux fonctions de sous-directeur chargé de la structure administrative auprès de la chambre à compétence territoriale de Ouargla à la Cour des comptes, exercées par M. Ahmed Ben Hachemi, décédé.</p> <p style="text-align: center;">-----★-----</p> <p>Décret présidentiel du 3 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 15 janvier 2013 portant nomination d'un chargé de mission à la Présidence de la République.</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>Par décret présidentiel du 3 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 15 janvier 2013, M. Mohamed Habeli est nommé chargé de mission à la Présidence de la République.</p>	<p style="text-align: center;">-----★-----</p> <p>Décret présidentiel du 3 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 15 janvier 2013 portant nomination d'un inspecteur au ministère des moudjahidine.</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>Par décret présidentiel du 3 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 15 janvier 2013, M. Tahar Hammou est nommé inspecteur au ministère des moudjahidine.</p> <p style="text-align: center;">-----★-----</p> <p>Décret présidentiel du 3 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 15 janvier 2013 portant nomination d'une sous-directrice au ministère des transports.</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>Par décret présidentiel du 3 Rabie El Aouel 1434 correspondant au 15 janvier 2013, Meille. Oumelkheir Sahli est nommée sous-directrice des transports urbains au ministère des transports.</p>
<h2>ARRETES, DECISIONS ET AVIS</h2>	
<p style="text-align: center;">MINISTERE DE LA DEFENSE NATIONALE</p> <p>Arrêté interministériel du 26 Safar 1434 correspondant au 9 janvier 2013 portant renouvellement de détachement d'un magistrat auprès du ministère de la défense nationale en qualité de président du tribunal militaire permanent de Tamenghasset / 6ème région militaire.</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>Par arrêté interministériel du 26 Safar 1434 correspondant au 9 janvier 2013, le détachement de M. Sadek Fidallahi, auprès du ministère de la défense nationale en qualité de président du tribunal militaire permanent de Tamenghasset / 6ème région militaire, est renouvelé pour une durée d'une (1) année, à compter du 16 mars 2013.</p>	<p style="text-align: center;">MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME</p> <p>Arrêté du 17 Safar 1434 correspondant au 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.</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>Le ministre de l'habitat et de l'urbanisme,</p> <p>Vu le décret présidentiel n° 12-326 du 17 Chaoual 1433 correspondant au 4 septembre 2012 portant nomination des membres du Gouvernement ;</p>

27 janvier 2013	33
<p>Vu le décret exécutif n° 01-105 du 29 Moharram 1422 correspondant au 23 avril 2001, modifié et complété, fixant les conditions et modalités d'acquisition dans le cadre de la location-vente de logements réalisés sur fonds publics, notamment son article 4 ;</p> <p>Vu l'arrêté du 3 Ramadhan 1425 correspondant au 17 octobre 2004 portant approbation du cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente ;</p> <p>Arrête :</p> <p>Article 1er. — Est approuvé le cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente, annexé au présent arrêté.</p> <p>Art. 2. — Les dispositions de l'arrêté du 3 Ramadhan 1425 correspondant au 17 octobre 2004, susvisé, sont abrogées.</p> <p>Art. 3. — Le présent arrêté sera publié au <i>Journal officiel</i> de la République algérienne démocratique et populaire.</p> <p>Fait à Alger, le 17 Safar 1434 correspondant au 31 décembre 2012.</p> <p style="text-align: center;">Abdelmadjid TEBBOUNE. ----- ANNEXE</p> <p style="text-align: center;">Cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente</p> <p>PREAMBULE :</p> <p>Le logement destiné à la location-vente, objet du présent cahier des charges, est destiné à des postulants ayant un revenu moyen conformément aux dispositions du décret exécutif n° 01-105 du 23 avril 2001, modifié et complété, fixant les conditions et les modalités d'acquisition, dans le cadre de la location-vente, de logements réalisés sur fonds publics.</p> <p>Les objectifs recherchés à travers cette consultation doivent traduire la volonté du maître d'ouvrage à trouver les meilleures solutions de manière à répondre qualitativement à une production de logements.</p>	<p style="text-align: center;">CHAPITRE I</p> <p style="text-align: center;">DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES GÉNÉRALES</p> <p>Art. 3. — Les prescriptions techniques générales constituent des indicateurs de référence et un minimum de prestations que doit prévoir le maître d'œuvre chargé des études du projet.</p> <p>Les prescriptions techniques générales doivent servir de base pour l'élaboration des études d'architecture du projet et pour la fixation, par le maître d'œuvre, des prescriptions techniques particulières à son projet.</p> <p>Art. 4. — Les prescriptions techniques ont pour vocation la production d'un habitat de qualité et la réalisation de logements répondant aux exigences locales et dotés d'éléments de confort.</p> <p>Les prescriptions techniques doivent permettre :</p> <ul style="list-style-type: none"> — la production d'un cadre bâti cohérent et harmonieux et en parfaite intégration avec le lieu d'implantation ; — l'amélioration de la qualité architecturale et urbanistique ; — l'introduction de la notion d'efficacité énergétique en intégrant le principe de la conception bioclimatique pour assurer une économie d'énergie ; — l'introduction des nouvelles technologies du bâtiment et des systèmes constructifs de manière à réduire les délais et les coûts de réalisation ; — la promotion, le cas échéant, de locaux de commerce, de services et des équipements de proximité adaptés. <p style="text-align: center;">Section 1</p> <p style="text-align: center;">DE LA COMPOSITION URBAINE</p> <p style="text-align: center;">Sous-section 1</p> <p style="text-align: center;">Des orientations générales</p> <p>Art. 5. — L'implantation du projet de logements destinés à la location-vente doit être conforme aux</p>