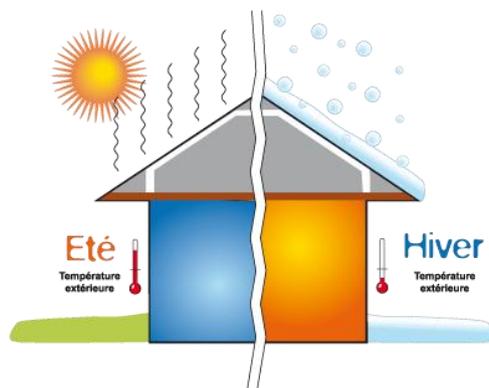




Faculté de Technologie
Département d'Architecture



Thème :

Étude et amélioration de l'influence des matériaux de construction de la façade sur le confort thermique et l'efficacité énergétique des bâtiments tertiaires (cas des hôtels)

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II en Architecture

« Spécialité Architecture »

Préparé par :

GUENANA Nesrine

Mme SOUKANE Samira	MAA	Département d'architecture de Bejaia	Président de jury
Dr. KHADRAOUI Mohamed Amine	MCB	Département d'architecture de Bejaia	Rapporteur
Mr. MERZEG Abdelkader	MAA	Département d'architecture de Bejaia	Examineur
Mme BENALLAOUA Siham	MAA	Département d'architecture de Bejaia	Invité

Dédicace

Je dédie ce travail

À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon héros, mon soutien moral et ma source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir

réussir, à toi mon père Md Larbi

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre à cette source de tendresse, de patience et de générosité À ma mère Zakia

À ma deuxième mère Fatima pour ses sacrifices et son soutien au long de mon parcours

À l'âme de ma grande mère Zineb

À mes petites sœurs Norhane et Syrine

À mon petit frère Islam

À mon grand-père et mes oncles maternels et tous mes proches

À tous les amis, avec lesquels j'ai partagé mes instants de bonheur et de folie, en particulier Thanina, Maissa, Leticia, Inès, Billal et Bilux qui ont été toujours là pour moi

A toutes personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation et à la mise en place de ce travail

Remerciements

Avant toute chose, je remercie le grand Dieu, qui m'a donné le courage pour accomplir ce mémoire.

Je remercie mes très chers parents, ma grande mère, mes sœurs et mon petit frère pour leurs soutiens au long de mon cursus.

Je voudrais remercier très vivement mon directeur de mémoire Dr. KHADRAOUI Mohamed Amine pour son bon suivi, ses conseils et remarques, ses corrections et son accompagnement au long d'élaboration de ce travail.

Mes remerciements sincères vont aussi aux membres de jury ainsi à tous mes enseignants de départements d'architecture.

Un remerciement chaleureux pour mon enseignante de troisième année Mme BABOURI Dounia-Zad, ma gratitude la plus vive à Mme ATTAR Selma.

À mon enseignant de première année, monsieur Mansouri Ahmed.

Je remercie également tous mes amis et mes collègues.

Au final, je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé et m'ont encouragé dans la réalisation de ce travail.

Résumé

Face aux conditions climatiques et économiques, la maîtrise de comportement thermique des composants de bâtiments, notamment la façade deviens une nécessité fondamentale, afin d'assurer la performance thermique et énergétique des bâtiments. En effet ce secteur est considéré comme étant le secteur le plus énergivore à l'échelle mondiale, et plus précisément en Algérie. Ou la plupart des constructions notamment les bâtiments tertiaires, sont des constructions standards, avec l'utilisation des mêmes matériaux de construction, inadaptés au contexte climatique, ce qui a eu une influence négative sur le comportement thermique de ces bâtiments et leur performance énergétique.

Cette recherche a pour objectif d'étudier puis d'optimiser l'impact du choix des matériaux de construction de la façade sur l'amélioration du confort thermique et de l'efficacité énergétique des hôtels à Bejaia. Selon une méthodologie basée sur une investigation empirique, à travers des prises des mesures in situ, accompagnées d'une enquête par questionnaire et un interview, afin d'établir un état de l'art sur le fonctionnement thermique et énergétique de cas d'étude (hôtel Royal), et d'évaluer la satisfaction thermique des usagers. Une autre approche a été réalisée à travers l'étude numérique à l'aide de l'utilisation du logiciel de simulation thermique dynamique, en vue d'étudier l'influence de choix des matériaux de construction de la façade (surface vitrée et surface opaque) et leurs caractéristiques thermiques sur le comportement thermique et énergétique de bâtiment. Les résultats obtenus affirment que le type de vitrage utilisé, et la nature des matériaux de constructions et leurs caractéristiques thermiques, jouent un rôle primordial dans l'amélioration de la qualité de confort thermique des hôtels à Bejaia et leurs performances énergétiques.

Mots clés

Confort thermique, efficacité énergétique, matériaux de construction, bâtiments tertiaire, façade, amélioration, Hôtel.

ملخص

في مواجهة الظروف المناخية والاقتصادية، يصبح التحكم في السلوك الحراري لمواد البناء ، ولا سيما الواجهة، ضرورة أساسية ، من أجل ضمان الأداء الحراري والفعالية الطاقوية للمباني. في الواقع قطاع البناء يعتبر، القطاع الأكثر كثافة في استخدام الطاقة على المستوى العالمي، وخاصة في الجزائر. مباني الخدمات ، هي إنشاءات معيارية تتكرر في جميع المناطق الجزائرية، بنفس مواد البناء، غير الملائمة للسياق المناخي، مما كان له تأثير سلبي على السلوك الحراري لهذه الأبنية وفعاليتها الطاقوية. بينما يعتبر عامل الراحة في هذا النوع من المباني ضرورة أساسية لضمان رضا المستخدم.

يهدف هذا البحث إلى دراسة ثم تحسين تأثير اختيار مواد البناء على تحسين الراحة الحرارية وكفاءة الطاقة للفنادق في بجاية. وفقاً لمنهجية تستند إلى تحقيق تجريبي، من خلال أخذ القياسات في الموقع، مصحوبة باستقصاء من خلال استبيان ومقابلة، من أجل دراسة أداء الحراري لفندق رويال، ولتقييم الرضا الحراري للمستخدمين. تم تنفيذ نهج آخر من خلال الدراسة الحاسوبية باستخدام برنامج محاكاة حراري ديناميكي، وذلك لدراسة تأثير اختيار مواد البناء للواجهة (السطح المزجج والسطح المعتم) وخصائصها الحرارية، على السلوك الحراري والطاقة. من المبني. تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن نوع الزجاج المستخدم وطبيعة مواد البناء وخصائصها الحرارية تلعب دوراً رئيسياً في تحسين جودة الراحة الحرارية للفنادق في بجاية وأداء طاقتها.

الكلمات المفتاحية

الراحة الحرارية، الفعالية الطاقوية، مواد البناء، المباني الخدماتية، الواجهة، تحسين، فندق،

Abstract

Faced with climatic and economic conditions, the control of thermal behavior of building components, including the facade becomes a fundamental necessity, to ensure the thermal and energy performance of buildings. Indeed this sector is considered as the most energy consuming sector worldwide, and more precisely in Algeria. Where most of the constructions, especially the tertiary buildings, are standard constructions, with the use of the same building materials, unsuited to the climatic context, which has had a negative influence on the thermal behavior of these buildings and their energy performance.

This research aims to study and optimize the impact of the choice of building materials on the improvement of thermal comfort and energy efficiency of hotels in Bejaia. According to a methodology based on an empirical investigation, through taking measurements in situ, accompanied by a survey by a quiz and an interview, in order to establish a state of the art on the thermal and energy functioning of the case study (royal hotel), and to evaluate the thermal satisfaction of users. Another approach was carried out through the numerical study with the use of dynamic thermal simulation software, in order to study the influence of the choice of facade construction materials choice (glazed surface and opaque surface) and their thermal characteristics, on the thermal and energetic behavior of a building. The results obtained affirm that the type of glazing used, and the nature of construction materials and their thermal characteristics, play a key role to improve the hotels thermal comfort quality in Bejaia and their energy performance.

Key words

Thermal confort, energy efficiency, construction materials, tertiary building, facade, improvement, hotel, mediterranean climate.

Table des matières

Résumés.....	i
Table des matières	iv
Liste des figures.....	ix
Liste des tableaux.....	xiii
Nomenclature.....	xiv

CHAPITRE INTRODUCTIF

1.Introduction	1
2.Problématique.....	2
3.Hypothèses	3
4.Contexte et objectifs de la recherche	4
5.Analyse conceptuelle.....	5
6.Méthodologie.....	6
7.Structure du mémoire :	6

PREMIÈRE PARTIE : THEORIQUE

CHAPITRE I : La thermique de bâtiment et les matériaux de construction

Introduction	9
I.1. La thermique de bâtiments	9
I.1.1. Les notions de base liée à la thermique des bâtiments	10
I.1.1.1. La notion de la température	10
I.1.1.2. La notion de chaleur	11

I.1.2. Les modes de transfert de chaleur dans le bâtiment	11
I.1.3. Le règlement thermique des bâtiments	12
I.1.3.1. Le rôle de la réglementation thermique	12
I.1.3.2. La réglementation thermique algérienne	12
I.1.4. Les paramètres influençant sur la température intérieure de bâtiment	13
I.1.4.1. Les facteurs architecturaux et environnementaux	13
I.1.4.2. Les sources de chaleur dans le bâtiment	17
I.1.4.3. Les ponts thermiques	18
I.1.4.4. L'isolation thermique	21
I.2. Les matériaux de construction	26
I.2.1. Les méthodes de sélection des matériaux de construction	26
I.2.2. Les critères de choix des matériaux de construction	27
I.2.3. Les caractéristiques physiques des matériaux de construction	28
I.2.3.1. L'inertie thermique	28
I.2.3.2. La masse volumique « ρ »	29
I.2.3.3. La conductivité thermique (λ):	29
I.2.3.4. Diffusivité thermique (a):	30
I.2.3.5. Effusivité thermique (b) :	30
I.2.3.6. la chaleur spicifique	30
I.2.4. L'importance des matériaux de constructions utilisées dans le bâtiment et leurs caractéristiques thermiques	30
I.2.5. Classification des matériaux de construction	31
Conclusion	32

CHAPITRE II : Le confort thermique de l'être humain et l'efficacité énergétique de bâtiment

Introduction :.....	33
---------------------	----

II.1. Le confort thermique de l'être humain :	33
II.1.1. Les paramètres de confort thermique :	33
II.1.1.1. Les paramètres liés à l'individu :	34
II.1.1.2. Paramètres liés à l'environnement :	36
II.1.2. Les modes d'échange de chaleur entre le corps humain et l'ambiance thermique : .	38
II.1.3. Le confort d'hiver : :	40
II.1.4. Le confort d'été :	41
II.1.5. La plage de confort hygrothermique :	42
II.2. La performance énergétique des bâtiments :	42
II.2.1. La consommation énergétique des bâtiments et leur efficacité énergétique	43
II.2.1.1. La consommation énergétique mondiale.....	43
II.2.1.2. La consommation énergétique en Algérie :	44
II.2.1.3. La performance énergétique des bâtiments :	46
II.2.2. Les aspects conceptuels liés à la consommation énergétique des bâtiments :	46
II.2.3. Les facteurs de la performance énergétique des bâtiments :	47
II.2.4. Les solutions passives et actives pour améliorer la performance énergétique des bâtiments	49
II.2.5. La performance énergétique des bâtiments tertiaires cas d'hôtels en Algérie	49
II.2.6. Les méthodes d'évaluation d'efficacité énergétique des bâtiments :	50
Conclusion :	51

DEUXIÈME PARTIE : PRATIQUE

CHAPITRE III : Étude empirique du confort thermique et de l'efficacité énergétique des hôtels à Bejaia

Introduction :	53
III.1. Présentation de contexte climatique de la ville de Bejaia :	53

III.2. Un constat général sur les hôtels a Bejaia :	54
III.3. Étude quantitative sur les hôtels a Bejaia	56
III.3.1. Présentation de cas d'étude	56
III.3.2. Protocole de prise de mesure	58
III.3.3 . Déroulements des prises des mesures	60
III.3.4. L'instrument de prise de mesure	61
III.4. L'étude qualitative	61
III.4.1. Déroulements de l'enquête.....	61
III.5. Interprétation des résultats de l'étude quantitative	62
III.6 Interprétation de résultat de l'étude qualitative :	65
III.6.1 L'interprétation des résultats de questionnaire	65
III.6.2 L'interprétation des résultats de l'interview	73
Conclusion :	74

CHAPITRE IV : Etude et optimisation numérique des matériaux de la façade

Introduction.....	75
IV.1. Présentation de logicielle de modélisation.....	75
IV.2. Présentation de logicielle de simulation.....	76
IV.3. L'étude numérique des composantes de la façade.....	77
IV.3.1. Présentation de modèle de référence.....	77
IV.3.2. Les scénarios de la simulation.....	78
IV.3.3. Résultats et validation de modèle de référence.....	80
IV.3.4. L'interprétation des résultats de modèle de référence.....	80
IV.3.5. Résultat de l'impact de type de vitrage.....	84

IV.3.6. Résultat de l'impact de choix des matériaux de construction de la surface opaque	87
Conclusion :	89
Coclusion générale.....	93
Recommandations	94
Les limites de la recherche	95
Perspectives de recherche.....	95
Bibliographie	96
Annexes	100
Annexe A.....	100
Annexe B.....	101
Annexe C.....	105
Annexe D.....	108
Annexe E.....	110
Annexe F	111

Liste des figures

Figure 1: Schéma de l'analyse conceptuelle	5
Figure 2: Schéma de la Structure générale de mémoire.....	8
Figure I.1: le transfert thermique.....	10
Figure I.2: les différents modes de transfère de chaleur	11
Figure I.3: L'implantation du bâtiment.....	14
Figure I.4: Orientation du bâtiment.....	14
Figure I.5: les résultats d'une comparaison des besoins de chauffage dans un habitat en fonction de son orientation.....	15
Figure I.6: Le coefficient de forme Cf	16
Figure I.7: l'influence de la taille, la disposition et la fraction de bâtiments dans la diminution le Coefficient de forme Cf.....	16
Figure I.8: les différentes formes géométriques et leur coefficient de forme cf	17
Figure I.9: les différentes sources de chaleur dans le bâtiment.....	17
Figure I.10: les différents ponts thermiques existant au niveau de bâtiments.....	18
Figure I.11: l'effet de condensation	19
Figure I.12: les différents ponts thermiques linéaires	19
Figure I.13: pont thermique ponctuels	20
Figure I.14: les méthodes d'évaluation des ponts thermiques	20
Figure I.15: les déperditions thermiques dans un bâtiments isolée et non isolée.....	21
Figure I.16: risque de condensation au niveau de plancher	22
Figure I.17: risque des ponts thermiques	22
Figure I.18: le positionnement correct de linteau et de seuil de fenêtre.....	22
Figure I.19: l'isolation extérieure	23
Figure I.20: les types des isolants.....	24
Figure I.21: le fonctionnement de la protection solaire selon les saisons	25
Figure I.22: façade double peau	26
Figure I.23: les critères de choix des matériaux de construction	27
Figure I.24: l'évolution des températures a l'intérieures d'un bâtiment à forte inertie et dans un bâtiment à faible inertie thermique.....	28
Figure I.25: schéma explicatif de la conductivité thermique.	29
Figure I.26: les valeurs de conductivité thermique des différents matériaux.....	30

Figure II.1 : l'influence de types d'activité effectuée sur la température de confort	34
Figure II.2 : l'influence de l'habillement sur la température de confort.....	35
Figure II.3 : l'influence de la température ambiante et des parois sur la température opérative.....	36
Figure II.4 : la plage de taux d'humidité ambiante	37
Figure II.5 : la température de confort en fonction de changements de la vitesse de l'aire ambiante	38
Figure II.6 : les modes d'échange de chaleur entre le corps humain et son environnement	39
Figure II.7: les principes de confort d'hiver	40
Figure II.8: les principes de confort d'été	41
Figure II.9 : la plage de confort hygrothermique	42
Figure II.10 : évolution de la consommation des énergies primaires mondiales depuis deux siècles	43
Figure II.11 : le pourcentage mondial des bâtiments et de la construction dans le total de la consommation d'énergie et des émissions pour l'année 2019.....	44
Figure II.12 : la consommation totale d'énergie finale en ktep pour les années 1990-2018 en Algérie.....	45
Figure II.13 : Répartition de la consommation finale de l'Algérie en fonction des secteurs d'activité	45
Figure II.14: Les aspects conceptuels liés à la consommation énergétique des bâtiments	47
Figure II.15: Les facteurs de la performance énergétique des bâtiments.....	48
Figure II.16: Chronologie de la création de quelques labels.....	50
Figure II.17: la simulation thermique dynamique par l'utilisation de logiciel archiwzard	50
Figure III.1: Carte des climats de l'Algérie selon la classification de Koppen.....	54
Figure III.2: Typologie des façades des hôtels existant à Bejaia	55
Figure III.3: Le cas d'étude étudié.....	56
Figure III.4: plan de situations de cas d'étude	57
Figure III.5: Coupe schématique présente la composition interne de la façade de cas d'étude	57
Figure III.6: les températures mensuelles de la ville de Bejaia de la période 2009-2019.....	59
Figure III.7: l'emplacement de la chambre choisie.....	60
Figure III.8: l'instrument utilisé pour les prises des mesures	61
Figure III.9: Graphe de la température extérieure et la température ambiante mesurée au sein de cas d'étude (hôtel royale).....	62

Figure III.10: histogramme illustre le pourcentage des interviewés selon leurs sexe et leurs catégorie d'âge	65
Figure III.11: histogramme présente la moyenne de nombre des visites effectuées par les personnes interrogées	66
Figure III.12: histogramme des résultats des différentes conditions thermiques.....	66
Figure III.13: les périodes de la journée dans lesquelles les enquêtés ont occupés leur chambre dans des conditions naturelle.....	67
Figure III.14: les sensations thermiques des personnes interrogées dans les conditions naturelles durant les deux périodes hivernal et estival.....	68
Figure III.15 : graphe illustre la satisfaction thermique des personnes interrogées dans des conditions naturelles.....	69
Figure III.16: les différentes gestes de régulation des personnes interrogées	70
Figure III.17: graphe représentes la période de recoure aux solutions de régulations thermique	71
Figure III.18: la satisfaction des usagers durant le recoure aux solutions de régulation thermique.....	72
Figure III.19: la quantité d'énergie consommée par les équipements de chauffage et de climatisation	73
Figure IV.1: les volumétries de modèle de référence.....	76
Figure IV.2: le logiciel de simulation archiwizard	76
Figure IV.3 : plan de 2, 3,4 e étage de modèle simulé.....	77
Figure IV.4: coupe schématique présente la composition interne de la façade du cas d'étude.	78
Figure IV.5: la brique mono-mur	81
Figure IV.6: histogramme des déperditions thermique de l'enveloppe de modèle de référence	83
Figure IV.7: les apports solaires de modèle de référence	84
Figure IV.8: graphe des températures extérieure et intérieure de modèle de référence.....	84
Figure IV.9: les besoin de chauffage et de climatisation de modèle de référence	85
Figure IV.10 : l'impact de type de vitrage sur les déperditions thermiques des baies vitrées .	86
Figure IV.11: la température intérieure avec l'utilisation de double classique	87
Figure IV.12: la température ambiante avec l'utilisation de double vitrage avec gaz argon....	87
Figure IV.13: les busions énergétique de modèle de référence.....	88
Figure IV.14: les busions énergétique avec l'utilisation de double vitrage avec gaz argon.....	88

Figure IV.15: les déperditions thermique de l'enveloppe en fonction des matériaux utilisé pour la surface opaque	89
Figure IV.16: les déperditions thermiques de modèle optimisé.....	90
Figure IV.17: les températures minimale et maximale enregistrée durant hiver et l'été pour le modèle optimisé	90
Figure IV.18: Les busions énergétique de modèle optimisé	91

Liste des tableaux

Tableau II.1: les différentes activités de corps humain et leur métabolisme produit.....	34
Tableau II.2: les valeurs de la résistance vestimentaire pour différent habillage.....	35
Tableau III.1: les matériaux de construction qui compose la façade et leurs caractéristiques physique	58
Tableau III.2: résumée et comparaison entre les températures extérieures et la température ambiante intérieure (maximale et minimale) enregistré pendant la journée et la nuit	63
Tableau IV.1: les caractéristiques thermiques des matériaux de construction des mus de modèle de référence	78
Tableau IV.2 : la comparaison entre les valeurs de températures de modèle réelle et le modèle simulée.....	80

Nomenclature

Abréviation :

APRUE : L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie

CNERIB : Le centre national d'étude et de recherche intégrée des bâtiments

C_f : Le coefficient de forme

Mtep : Méga tonne équivalent pétrole.

Ktep: kilo tonnes d'équivalent en pétrole.

Indice :

Clo : Unité d'isolement vestimentaire

E : épaisseur d'un mur (m)

U : Coefficient de transmission surfacique ($w./m^2.K$)

T_p : la température des parois (°C)

Trs : la température de confort ou la température opérative (°C).

Ta : température ambiante (°C).

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

Symboles :

λ : la conductivité thermique

Ψ : coefficient linéique

ρ : La masse volumique

d : diffusivité thermique

b : Effusivité thermique

CHAPITRE INTRODUCTIF

Chapitre introductif

1. Introduction

Au fil de temps l'homme a construit son abri dans le but d'assurer des ambiances confortables quels que soit la saison, le souci de l'homme était de se protéger de l'environnement extérieur sans lui nuire, tout en exploitant ses ressources naturelles et ses matériaux locaux. La volonté de l'homme pour assurer son confort n'est pas arrêtée à ce stade seulement mais elle est émergée au fur et à muser avec l'apparition des différentes civilisations et l'évolution de ces abris vers des constructions architecturales propre à chaque civilisation. Où ces constructions étaient faites de telle sorte que la consommation énergétique est presque négligée (Armand, 2010). Jusqu'à la seconde moitié de XIXème siècle, des changements importants ont eu lieux avec la révolution industrielle, une nouvelle architecture totalement industrialisée est apparue (Bihan, 2012). Avec un aspect énergivore des bâtiments, qui a influencé non seulement le bien-être de l'utilisateur mais aussi son environnement, surtout le volet énergétique, nous pouvons remarquer ça à travers la demande mondiale d'énergie qui a vécu une augmentation brutale d'une moyenne de 2% par année (Thierry & Stéphane, 2004).

Après la crise pétrolière de 1973, une prise de conscience avait évolué à l'encontre de la consommation excessive des énergies, pour faire face aux problèmes de réchauffement climatique et la préservation de l'environnement, divers décisions ont été prises ; tel que la création des sommets de la terre (le sommet de 1992 à rio de Janeiro), des nouvelles approches sont apparues comme les labels, ainsi que l'éruption des autres concepts durables inespérés de l'architecture vernaculaire, en revanche l'architecture bioclimatique et écologique. Malgré tous ces efforts, la gestion de la consommation énergétique reste un enjeu majeur jusqu'à aujourd'hui (Armand, 2010 ; khadraoui, 2019 ; Carassus, 2020).

Ces dernières années, l'Algérie a connu une augmentation intense dans le nombre des bâtiments grâce à l'évolution du cadre de vie de la société algérienne, cette augmentation a causé une évolution des exigences des bâtiments en terme de confort; notamment le confort thermique, ce dernier a influencé directement la consommation annuelle des énergies de plus

de 7% depuis 2010, cette croissance est traduite par les installations anarchiques et non contrôlées des dispositifs techniques que ce soit pour la climatisation ou le chauffage. Selon les statistiques de 2017 de L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) 43% de la consommation énergétique en Algérie revient aux bâtiments résidentiels et tertiaires. (Imessad, sd ; Sami-mecheri et al., 2012).

Selon plusieurs recherches menées, les bâtiments tertiaires représentent un grand enjeu en termes d'efficacité énergétique, résultat d'une architecture standard et énergivore (Rahmouni, 2020). Et parmi les bâtiments spécifiques de ce secteur nous trouvons les hôtels qui représentent un nombre assez élevé ; selon les statistiques du ministère du tourisme, il a pu recenser environ 1231 hôtels en 2016. Parmi les critères les plus recherchés dans ce type de bâtiment, nous trouvons le confort thermique, qui est défini comme une notion subjective, souvent maîtrisée grâce au bon choix des matériaux de construction et des isolations, ou par l'emploi de l'approche passive (Boursas & Labidin, 2019), contrairement aux autres approches actives qui influent non seulement la performance énergétique de bâtiments mais aussi la dégradation de son environnement. Il est à remarqué que ce type de réflexion concerne toutes les typologies de bâtiment résidentiel ou tertiaire. Au final une bonne conception d'un hôtel à l'échelle économique et environnementale est celle qui assure une ambiance thermique par sa composition architecturale sans faire recours aux solutions actives.

2. Problématique

A travers l'histoire et avec l'évolution des techniques et les procédés de construction, la façade architecturale a connu plusieurs changements ; nous sommes passés des façades plus épaisses et plus décorées à des façades légères et libres (selon l'expression de Le Corbusier) après l'apparition de mouvement moderne (Amy, 2008). Ces transformations ont influencé non seulement sur le côté formel et constructif de la façade mais aussi sur les ambiances internes des bâtiments ; tel que le confort thermique.

Sous l'influence de ce mouvement moderne et l'apparition des nouveaux matériaux de construction, la standardisation des bâtiments architecturaux est devenue un enjeu majeur aujourd'hui, surtout en Algérie ; un bâtiment typique répétitif dans toutes les régions quel que soit sa situation géographique, une négligence presque totale de la spécificité du contexte climatique de ces régions et de leurs environnement, ce qui a influencé non seulement le bien-être de l'utilisateur mais aussi sur la performance thermique et énergétique des bâtiments,

notamment les bâtiments tertiaires où la consommation finale du secteur a progressé annuellement de 6.6%/an entre 2007 et 2017 Solon L'APRUE¹.

D'après nos observations, nous avons constaté un manque remarquable de confort thermique dans ce type de bâtiment qui s'est traduit par l'installation excessive des équipements de climatisation au niveau des façades de la plupart des hôtels à Bejaia, et ce phénomène est le résultat des conceptions non réfléchies et rapides, souvent précisées par un cahier de charge, qui explique souvent des matériaux standard à une faible inertie thermique qui existent dans le marché, en rajoutant l'utilisation des grandes surfaces vitrées non contrôlées sans aucune étude préalable sur les données du climat local, ni les exigences fonctionnelles de l'espace. Ces éléments provoquent souvent des problèmes sérieux en terme d'efficacité thermique et énergétique du bâtiment, malgré la richesse de notre pays en terme des matières premières durable, le confort thermique dans les espaces de travail et de vie reste un défi pour le concepteur jusqu'à une époque très récente.

Face à cette situation d'inconfort thermique et la forte consommation énergétique dans les bâtiments tertiaires notamment les hôtels, nous nous posons les questions de recherche suivantes :

- **Quel est l'impact de choix des matériaux de construction des façades des bâtiments tertiaires sur le confort thermique et l'efficacité énergétique (cas d'hôtel) ?**
- **Comment optimiser et exploiter les matériaux de construction de la façade afin d'améliorer le confort thermique et minimiser la consommation énergétique de bâtiment ?**

3. Hypothèses

A travers cette recherche, et afin de répondre à la problématique nous proposons les hypothèses suivantes :

- Les caractéristiques physiques des matériaux de construction de la façade (surface opaque et surface vitrée) bien adaptés aux contextes climatiques et le types d'isolant utilisé peuvent avoir un impact positif sur le confort thermique et la performance énergétique d'un bâtiment.

¹ APRUE : L'agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie en Algérie.

- Il semblerait qu'une bonne performance thermique et énergétique dans un bâtiment, reviendrait à l'utilisation des matériaux locaux de façon réfléchi en prenant en considération l'intégration de bâtiments dans son l'environnement.

4. Contexte et objectifs de la recherche

Notre recherche se focalise sur l'étude et l'optimisation de l'impact des matériaux de construction sur le confort thermique dans un espace hôtelier ; qui se situe à Bejaia, dans un contexte climatique méditerranéen, pour un objectif principal qui est la minimisation des consommations énergétiques de bâtiment tout en assurant une bonne ambiance thermique pour les usagers de l'espace, par l'utilisation des matériaux locaux.

D'autres objectifs visés à travers cette recherche sont :

- Étudier et analyser l'état de confort thermique et la consommation énergétique dans les hôtels à Bejaia.
- Étudier et déterminer l'impact des matériaux de construction utilisés (surface opaque et la surface vitrée) sur la performance thermique et énergétique des bâtiments tertiaires (cas d'hôtels).
- optimiser l'impact des différents types des matériaux de construction sur le confort thermique et la performance énergétique des hôtels à travers la simulation d'un modèle numérique.
- Améliorer le confort thermique des espaces de vie et de travail par l'utilisation des matériaux locaux adaptés au contexte climatique de Bejaia afin de minimiser la consommation énergétique et préserver l'environnement.
- Trouver des matériaux de construction locaux et moins coûteux et d'autre approche passive adapté au contexte immédiat local, qui peuvent améliorer le confort thermique et minimiser la consommation énergétique dans les hôtels à Bejaia.

5. Analyse conceptuelle

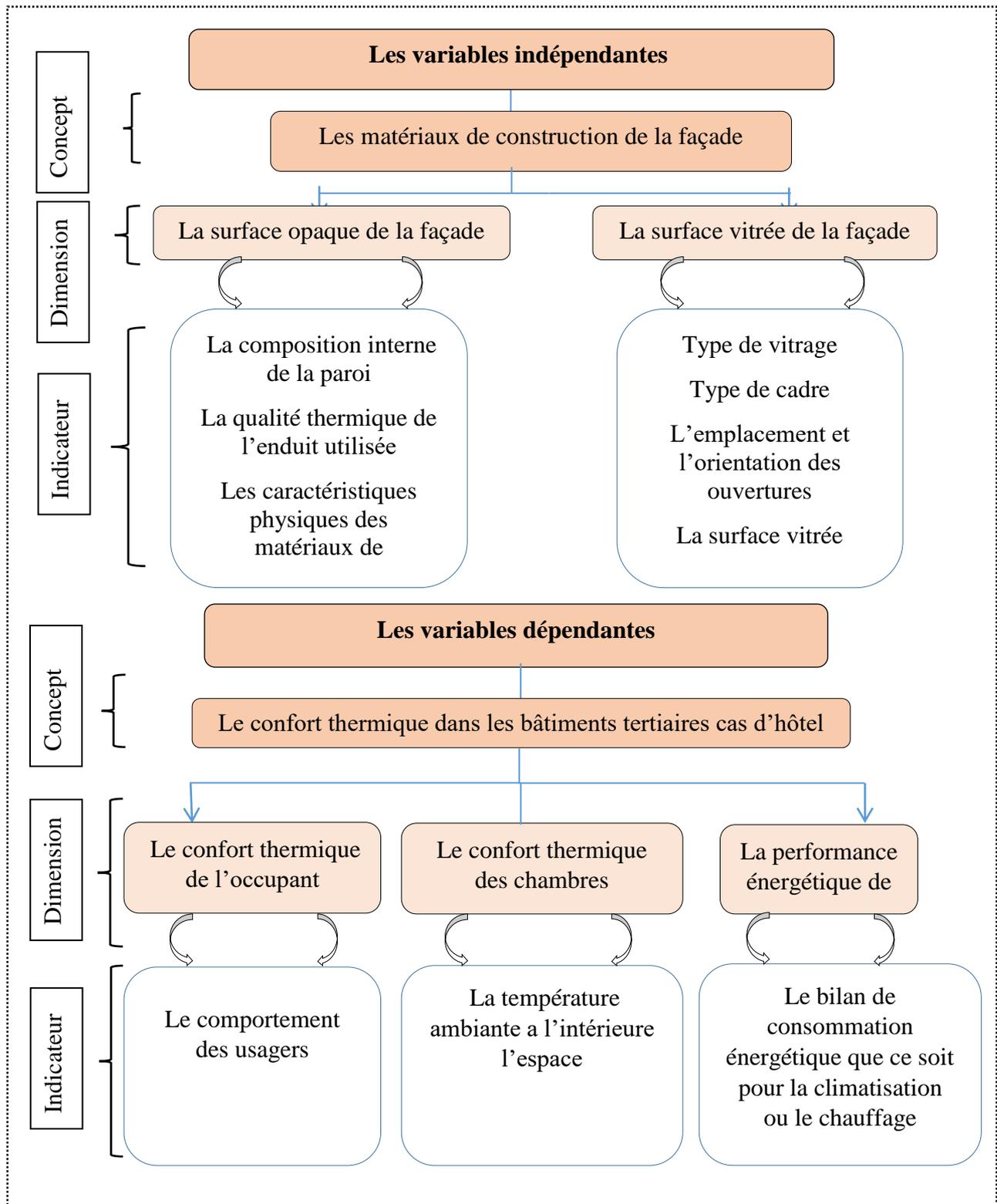


Figure 1: Schéma de l'analyse conceptuelle (source : Auteur, 2021)

6. Méthodologie

Dans l'intention de vérifier l'hypothèse de la problématique posée et répondre sur les questions de la recherche de cette dernière, et afin d'atteindre les objectifs de la recherche cités au paravent, notre méthodologie vas être basée sur la combinaison entre les méthodes suivantes :

- **La méthode bibliographique :**

Elle concerne la partie théorique, qui est basée sur la recherche bibliographique à travers la consultation des différent livres, articles, et thèses, pour traiter et cerner les différents concepts théoriques liées au sujet de recherche, afin de comprendre les notions en relation avec le thème choisi.

- **La méthode empirique :**

Basée sur l'étude et l'évaluation quantitative de comportement thermique des matériaux utilisés dans un bâtiment existant, à partir des mesures in situ à l'ide d'un thermomètre. Accompagnée avec une étude qualitative de confort thermique de l'espace étudié à travers l'élaboration d'un questionnaire. Afin d'évaluer la satisfaction de l'usager vis-à-vis l'ambiance thermique de l'espace.

- **La méthode numérique :**

À travers la simulation numérique, avec l'exploitation d'un logiciel de simulation thermique dynamique archiwizard, pour étudier et optimiser l'impact des matériaux de construction de la façade (surface vitrée, surface opaque) sur la performance thermique, et énergétique de bâtiment.

7. Structure du mémoire

Afin d'atteindre les objectifs tracés, cette recherche vas être divisé en deux parties différentes comme suit :

Le chapitre introductif : englobe l'introduction, la problématique, le contexte et objectifs de la recherche et l'analyse conceptuelle, ainsi que la méthodologie et la structure générale de mémoire.

La partie théorique

Cette partie sera composée de deux chapitres :

- **Le premier chapitre :** englobe les différentes notions liées à la thermique de bâtiments et les matériaux de construction.
- **Le deuxième chapitre :** se focalise sur la question de confort thermique de l'être humain et l'efficacité énergétique d bâtiment.

La partie pratique

Composée de deux chapitres :

- **Le troisième chapitre :** une présentation générale de l'hôtel à Bejaia et son contexte climatique, avec une étude empirique varie entre l'évaluation quantitative et qualitative de confort thermique et la consommation énergétique de cas d'étude (hôtel royal), et à la fin une présentation des résultats de ces études
- **Le quatrième chapitre :** sera consacré pour l'étude et l'optimisation de l'impact des matériaux de construction sur le confort thermique et la performance énergétique à l'aide d'une simulation numérique et l'interprétation des résultats obtenus, pour arriver vers la fin á des recommandations et des solutions.

La Conclusion générale.

La figure suivante présente la structure du mémoire.

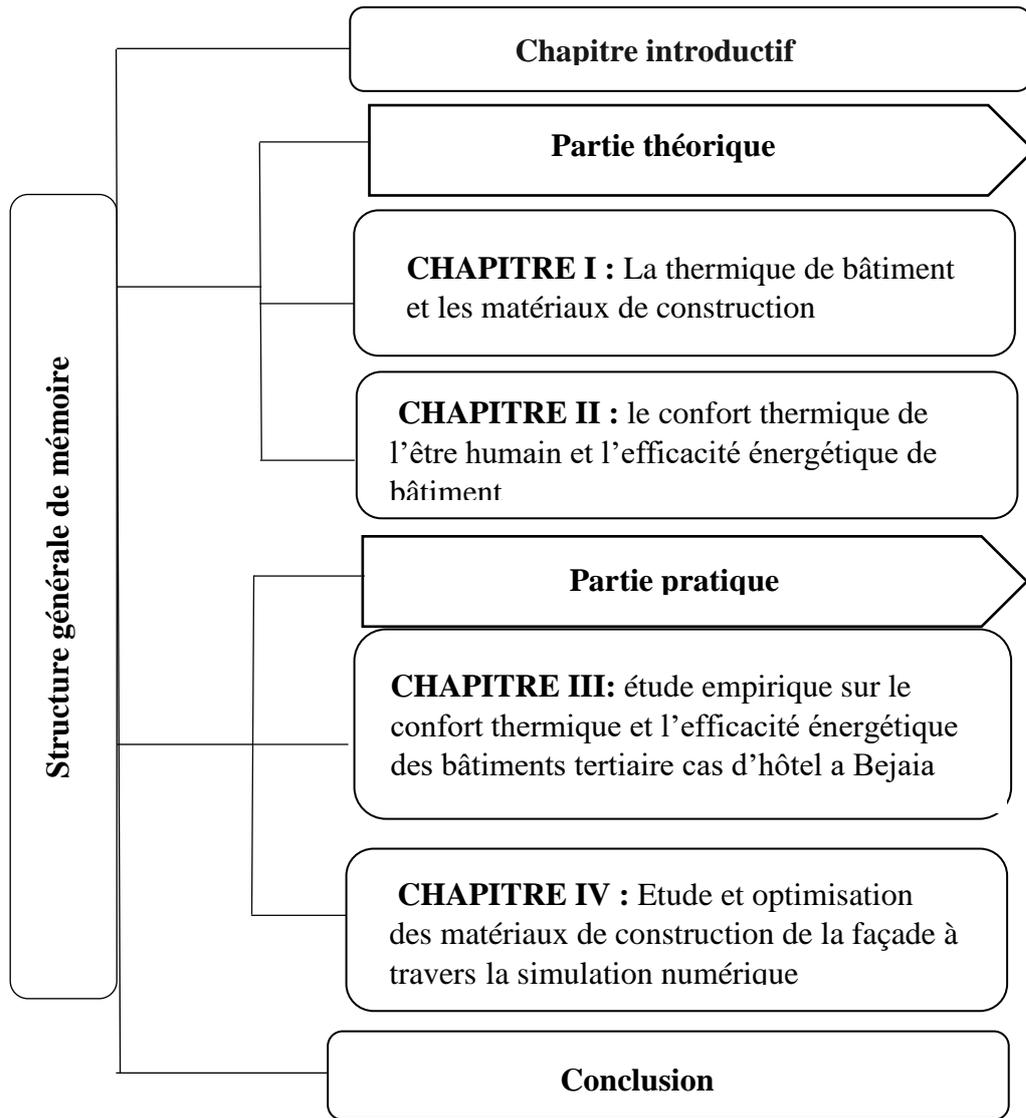


Figure 2: Schéma de la Structure générale de mémoire

(Source : Auteur, 2021)

PREMIÈRE PARTIE : THEORIQUE

CHAPITRE I :

La thermique de bâtiment et les matériaux de construction

CHAPITRE I : La thermique de bâtiment et les matériaux de construction

Introduction

La notion de la thermique de bâtiment présente un champ de recherche très vaste, elle consiste à la fois à étudier et à maîtriser la composition de bâtiment lui-même, et sa relation avec son environnement extérieure; et ça à travers l'exploitation de plusieurs paramètres tel que ; le choix adéquate des matériaux de construction et leurs caractéristiques physiques, l'utilisation judicieuse des dispositifs architecturaux, ainsi que l'intégration de bâtiment dans son contexte topographique et climatique; et effectivement la valorisation de ces paramètre influence d'une manière positive sur le confort thermique intérieure, ainsi sur la quantité des énergies consommées par le bâtiment et sa performance.

Ce chapitre est divisé en deux parties ; la première partie englobe les notions de base liées à la thermique de bâtiment, ainsi que les différents paramètres qui influent sur ce dernier. La deuxième partie de ce chapitre se focalise sur l'importance de choix des matériaux de construction selon leurs caractéristiques thermiques, et leurs impacts sur la performance thermique et énergétique de bâtiment, au final nous avant élaborer des différents types des matériaux existants ; tel que les matériaux locaux, les Eco-matériaux.

I.1. La thermique de bâtiments

D'après Jedid et Benjeddou (2016) dans leur ouvrage « la thermique du bâtiment » la thermique du bâtiment est défini comme l'ensemble des techniques et de séances, qui étudie les différentes composantes de bâtiment, ainsi que les différents paramètres qui influencent l'ambiance thermique intérieure, elle consiste principalement a étudié les changements thermiques établis entre le bâtiment et son environnement extérieur dès la phase de conception, afin d'atteindre les objectifs suivants :

- Améliorer la performance thermique de bâtiments et produire des conditions thermiques intérieures confortables ; par le billet des mesureurs passifs en relation avec le bâtiment et son contexte immédiat afin de réduire les besoins de climatisation et de chauffage.

- Étudier et optimiser l'impact des différents composants de bâtiments tels que les matériaux de constructions et les différents dispositifs utilisés, sur la performance thermique de bâtiment et son efficacité énergétique
- Assurer une gestion optimale de l'énergie afin de réduire la consommation de l'énergie fossile ; vue ces impacts considérables sur l'environnement.
- Préserver l'environnement et réduire les émissions de gaz à effet de serre pour limiter le réchauffement climatique.

I.1.1. Les notions de base liée à la thermique des bâtiments

Sont deux notions différentes, la chaleur s'exprimer en quantité qui est traduit par la pénétration d'une quantité de chaleur qui sortant de l'intérieur à l'extérieur de bâtiments, Ce phénomène est principalement provoqué par une différence de température entre deux milieux, La notion de température est liée au potentielle et plus exactement exprimer la capacité à provoquer un transfert de chaleur qui due au différence de potentielle entre deux espaces (Fernandez & Lavigne, 2009).

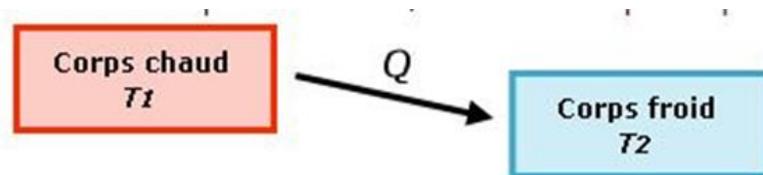


Figure I.1: le transfert thermique (Source: www.maxicours.com)

La pénétration de la quantité de chaleur est établie entre deux ambiances différentes, de température la plus élevée vers la plus basse ; En résumé la température est considérée comme une valeur mesurable et non transférable contrairement à la notion de chaleur qui quantitative et transférable (Fernandez & Lavigne, 2009).

I.1.1.1. la notion de la température :

C'est une notion subjective Par le sens du toucher, nous constatons que certains corps sont plus ou moins chauds. Elle est définie comme un ensemble variable des conditions atmosphérique,. Dont les valeurs de température sont plus souvent mesurées par un instrument de mesure qui est le thermomètre (Perrenoud, 2008). Les valeurs mesurées de température sont souvent exprimées par deux échelles qui sont :

- **L'échelle de degré Celsius** : c'est un simple repère utilisé dans notre vie quotidienne, dans le zéro correspond à la température de fusion de la glace (Fernandez & Lavigne, 2009).
- **L'échelle de kelvin** : dans l'origine est le zéro absolu, qui présente la limite la plus basse de température au le zéro absolu correspond à $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, seule cette échelle présente un réel sens physique exprimé en K, la température représente une potentielle thermodynamique (Fernandez & Lavigne, 2009).

I.1.1.2. La notion de chaleur :

Selon le dictionnaire le Robert la chaleur se définit comme suite « *Phénomène physique qui se transmet et dont l'augmentation se traduit notamment par l'élévation de la température (calorifique, thermique)* » (Le Robert).

I.1.2. Les modes de transfert de chaleur dans le bâtiment :

La propagation de chaleur dans un corps solide et comme dans les bâtiments, ce fait principalement selon trois mode de transfère de chaleur

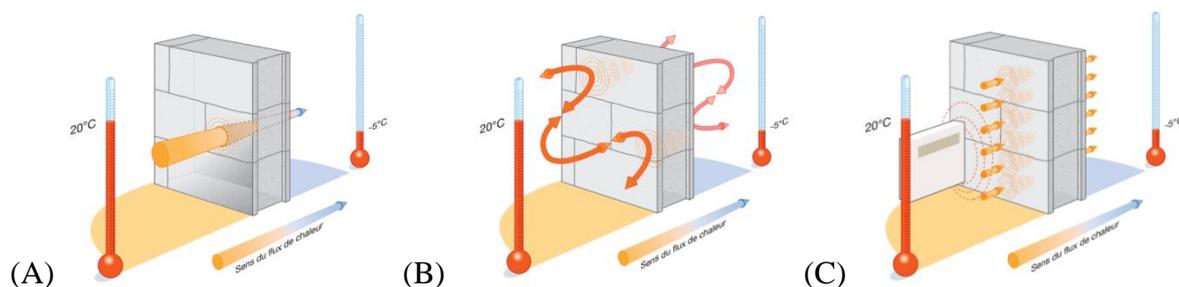


Figure I.2:les différents modes de transfère de chaleur (Source : www.saint-gobain.com)

I.1.2.1. La conduction : C'est la propagation de la chaleur à travers un ou plusieurs éléments par un contact direct entre eux, le sens du flux thermique ce déplace toujours de l'élément le plus chaud vers l'élément le plus froid, La chaleur se propage avec plus ou moins de facilité suivant plusieurs critères (figure A) (Thierry & Fedullo, 2013).

D'après Belgaid, (2021) dans les matériaux, la chaleur se propage selon critères suivant:

- La nature, et la géométrie du matériau.
- la différence de température des deux côtés du matériau.
- la conductivité thermique λ du matériau.
- l'épaisseur e du matériau.

I.1.2.2. La convection : la convection définie comme le mode de transfert de chaleur d'un corps solide vers un corps gazeux, qui veut dire que ce phénomène se produit uniquement au sein des milieux fluides (gaz ou liquides), La transmission de chaleur et sa quantité dépend de la vitesse de l'air et la nature de la surface de contact, ainsi que la différence de température entre les différents éléments (figure B) (Belgaid, 2021).

I.1.2.3. Le rayonnement : le transfert de chaleur est effectué à travers un vide, au la plupart des gaz simples tels que O_2 , N_2 , H_2 , par le rayonnement infrarouge (figure C), ce type de transfert thermique différent des autres transferts par le fait qu'ils ne nécessitent pas de support matériel pour se transmettre, contrairement à la convection (milieu liquide ou gazeux) ou à la conduction (milieu solide) (Belgaid, 2021).

I.1.3. Le règlement thermique des bâtiments :

La réglementation thermique est l'ensemble des règles qui fixent des normes à appliquer dans le domaine de la construction dans le but d'assurer et améliorer le confort des occupants et minimiser la consommation énergétique des bâtiments.

I.1.3.1. Le rôle de la réglementation thermique :

Aide les constructeurs, les architectes et les ingénieurs à produire des constructions qui consomment moins d'énergie que ce soit pour le chauffage en hiver et la climatisation en été ainsi que la protection de l'eau chaude sanitaire, à ce titre la réglementation thermique définit des limites supérieures admissibles pour ces consommations à travers un texte réglementaire qui sera appliqué dans tous les bâtiments (Belgaid, 2021).

I.1.3.2. La réglementation thermique algérienne :

Selon le journal officiel de la république algérienne N67 qui est publié en 13 novembre 2016, l'Algérie dispose d'une réglementation thermique des bâtiments d'habitation ; qui se présente sous forme d'un document technique réglementaire (DTR G3-2), approuvé en 10 décembre 1997, et établi par CNERIB¹, sous le titre « règles de calcul des déperditions calorifique ». Mais malgré la richesse réglementaire que dispose ces documents, le problème d'application sur terrain reste un enjeu majeur pour le secteur de bâtiments ; qui présente 43%

¹ CNERIB : Le centre national d'étude et de recherche intégrée des bâtiments

de la consommation énergétique final en 2017 selon l'APRUE², en effet la construction algérienne aujourd'hui présente un grand échec sur le plan thermique et énergétique.

I.1.4. Les paramètres influençant sur la température intérieure de bâtiment :

Il existe plusieurs paramètres qui influencent sur la température intérieure de bâtiments notamment :

I.1.4.1. Les facteurs architecturaux et environnementaux :

Elle englobe les différents paramètres en relation avec le contexte extérieur de bâtiment que ce soit liés à l'emplacement géographique de ce dernier ou à son orientation, ces facteurs prennent en considération les données climatiques de la région ainsi la nature du sol et le contexte immédiat qui entoure les bâtiments (masque solaire).

I.1.4.1.1. L'implantation du bâtiment :

Selon Liebard et Herd (2005) dans leur livre « traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique », la tâche la plus importante de l'architecte c'est d'assurer une implantation judicieuse de bâtiment dans son contexte immédiat, cette opération détermine la qualité des ambiances intérieures de bâtiment ; tel que l'ambiance thermique, les apports et les masques solaire et les possibilités d'aération , ainsi la qualité sociale de l'habitat en relation avec les différentes vus et les apports de voisinage, et de communication.

Le choix d'implantation doit être particulièrement reposer sur une connaissance des différentes caractéristique de site (le relief et la topographie de site, les conditions métrologiques telle que l'ensoleillement et les vents dominants, la végétation et les différents masques solaires existants) ; car il influe directement sur le confort thermique du bâtiment (Fernandez & Lavingne, 2009).

² L'agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie en Algérie

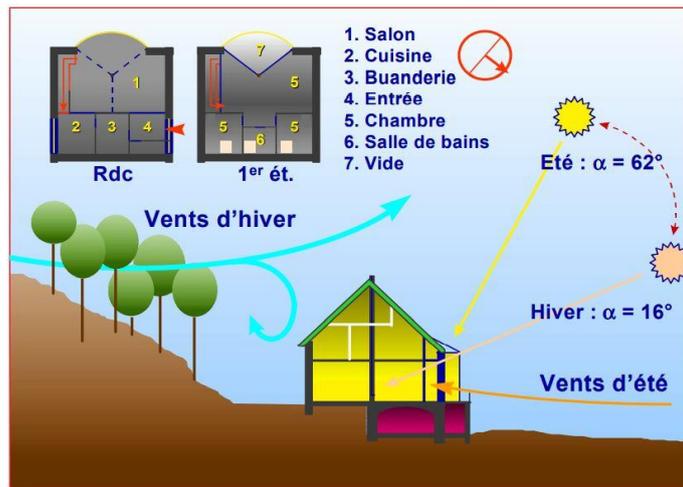


Figure I.3:L'implantation du bâtiment (Source : Liebard & Herd, 2005)

Cette démarche consiste à exploiter les avantages de site d'implantation et corriger ses inconvénients afin d'assurer une ambiance thermique naturelle à l'intérieure avec un moindre cout possible (Fernandez & Lavingne, 2009).

I.1.4.1.2. Orientation du bâtiment :

L'orientation du bâtiment joue un rôle important au niveau de sa performance thermique et énergétique, elle consiste à orienter le bâtiment en sorte à limiter les apports solaire et favoriser la ventilation naturelle en été, contrairement à l'hiver où il s'agit de profiter de ses apports et protéger le bâtiment des vents dominants (Amraoui, 2021).

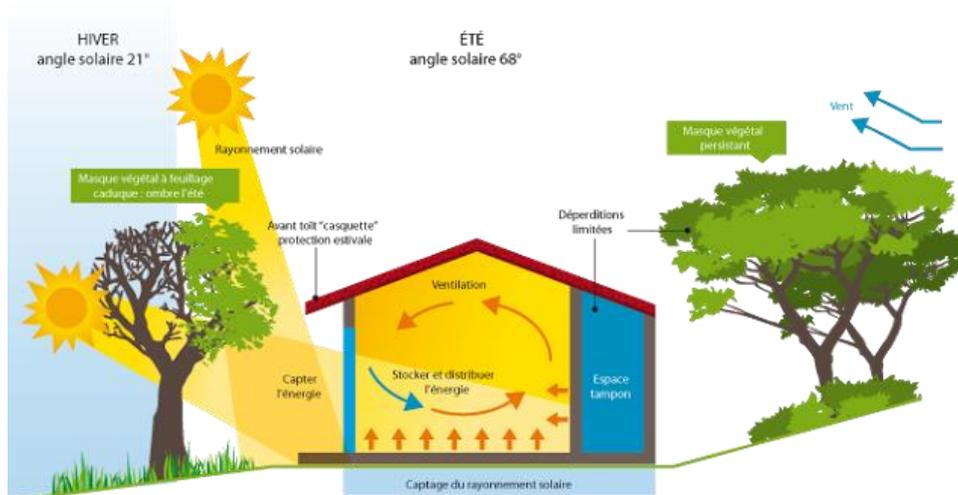


Figure I.4: Orientation du bâtiment (Source : www.e-rt2012.fr.com)

Une orientation bien adaptée permettra non seulement de profiter de soleil afin de capter la lumière Naturelle et la chaleur dans laquelle le bâtiment a besoin, mais aussi de réduire les

consommations énergétiques des différents équipements utilisés pour le chauffage et la climatisation ainsi que pour l'éclairage (Liebard & Herd, 2005).

La figure suivante illustre les résultats d'une comparaison des besoins de chauffage dans un habitat en fonction de son orientation:

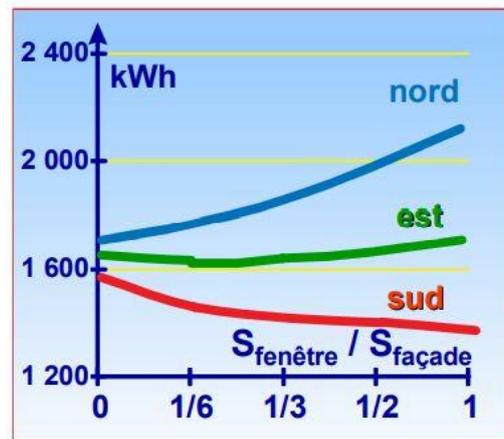


Figure I.5: les résultats d'une comparaison des besoins de chauffage dans un habitat en fonction de son orientation (Source: Liebard & Herd, 2005)

D'après la (figure 5) la quantité d'énergies consommée par le chauffage elle diffère selon l'orientation de bâtiments choisis.

I.1.4.1.3. La Forme du bâtiment :

Il est intéressant pour les concepteurs et les architectes, de savoir que les moyens de construire un bâtiment performant de point de vue thermique et énergétique ne repose pas uniquement sur le choix adéquate des matériaux de construction et d'isolation, au le soin des différents ponts thermique, mais aussi la forme même de bâtiment joue un rôle important concernant la qualité de confort intérieur produit ; la forme de bâtiment détermine le nombre et la surface des parois en relation avec l'extérieur, pour un même volume, le bâtiment qui a la surface des parois extérieures la plus réduite est celui qui présentera le moins de déperditions thermiques (Izard, 2006).

- ✓ Plus un bâtiment est compact, plus il est performant.

La figure suivante présente les différentes formes primaires et leurs coefficients de forme répartie selon la taille, et la forme, ainsi que les contacts établis entre les différents bâtiments :

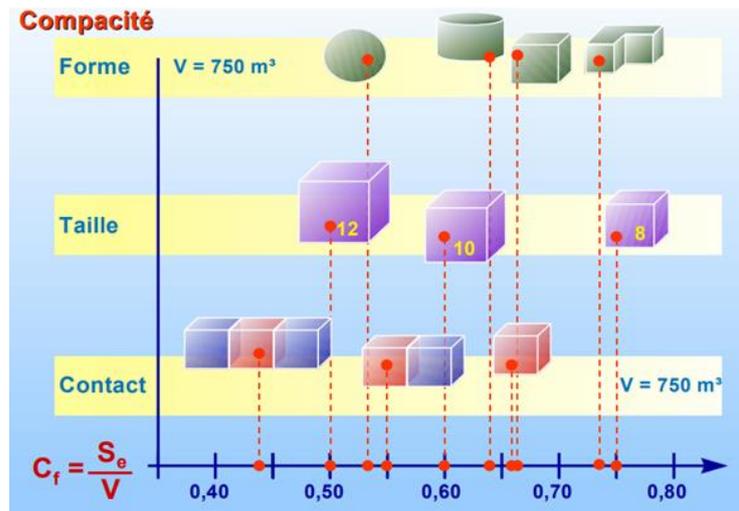


Figure I.6:Le coefficient de forme Cf (Source : Liebard & Herd, 2005)

Là on parle de la compacité de la forme qui se caractérise par le coefficient de forme Cf. Ce facteur est exprimé par le rapport entre la surface exposée à l'extérieur (surface déprédative) et le volume à chauffer ; plus le rapport est minime plus le bâtiment est assez compact (Liebard & Herd, 2005).

D'après Izard (2006) et la lecture de la figure précédente, nous avons remarqué qu'il existe trois façons pour réduire la valeur de coefficient de forme et d'avoir une forme compacte comme suit :

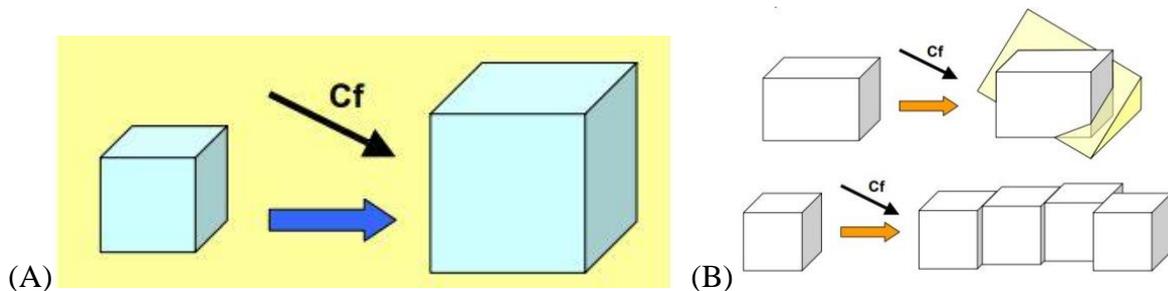


Figure I.7: l'influence de la taille, la disposition et la fraction de bâtiments dans la diminution le Coefficient de forme Cf (Source: Izard, 2006)

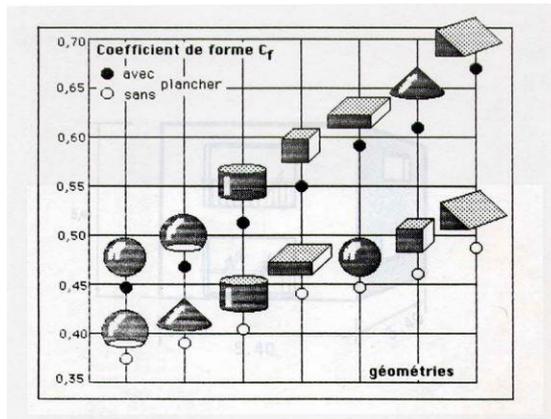


Figure I.8: les différentes formes géométriques et leur coefficient de forme c_f

(Source : Izard.2006)

- L'augmentation de la taille de bâtiment par conséquent son volume comment il est illustré dans la (figure 9-A).
- Agir sur la disposition et la fraction de bâtiment (figure 9-B).
- Le choix des formes géométrique adéquate ; selon (la figure 10) la forme sphérique c'est la plus favorable.

I.1.4.2. Les sources de chaleur dans le bâtiment :

En effet d'après jedid et benjeddou (2016), il existe deux principaux types de sources de chaleur qui influencent la température intérieure des bâtiments :

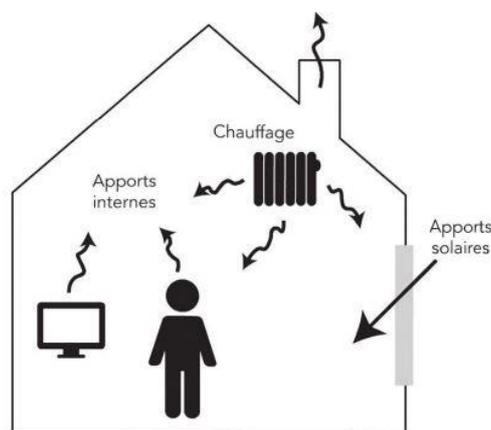


Figure I.9: les différentes sources de chaleur dans le bâtiment

(Source : Jedid & Benjeddou, 2016)

I.1.4.2.1. Les sources de chaleur internes :

- Le chauffage est une source de contribution importante à l'intérieur de bâtiment qui nécessite une attention particulière pour sa consommation énergétique.
- Les appareils électroménagers et le multimédia
- la respiration et les radiations humaines sont également des sources importantes de chaleurs.

I.1.4.2.2. Les sources de chaleur extérieures :

Les rayonnements solaires constituent une des principales sources d'énergie, le choix de la surface vitrée et l'orientation des bâtiments jouent sur les types de rayonnement perçus.

- **Les apports solaires directs** : ce sont les rayonnements solaires qui émanent des fenêtres ou des baies vitrées. Ces derniers représentent une forte charge thermique qui nécessite l'utilisation des protections solaires.
- **Les apports solaires indirects** : ce sont les rayonnements solaires pénétrants à travers les murs extérieurs au d'autres partie constructifs du bâtiment (pont thermique en particulier).

I.1.4.3. Les ponts thermiques :

Les ponts thermiques sont des zones localisées de l'enveloppe où les flux de chaleur sont beaucoup plus élevés que ceux des zones environnantes, sont responsable sur les déperditions de chaleur et la fraîcheur en été dans le bâtiment (Ben Larbi, 2020 ; Rieser, 2012).

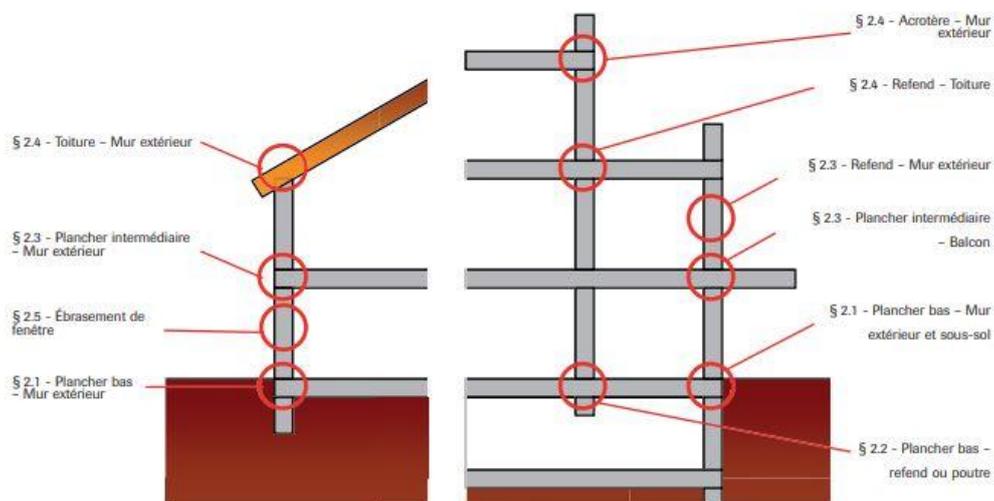


Figure I.10: les différents ponts thermiques existant au niveau de bâtiments

(Source : Rieser, 2012)

Ces fuites de chaleur provoquées par l'absence ou la dégradation et la discontinuité de la liaison entre les différents éléments constructifs illustrés dans la figure 3 ainsi que les procédés d'isolation (Ben Larbi, 2020 ; Rieser, 2012).

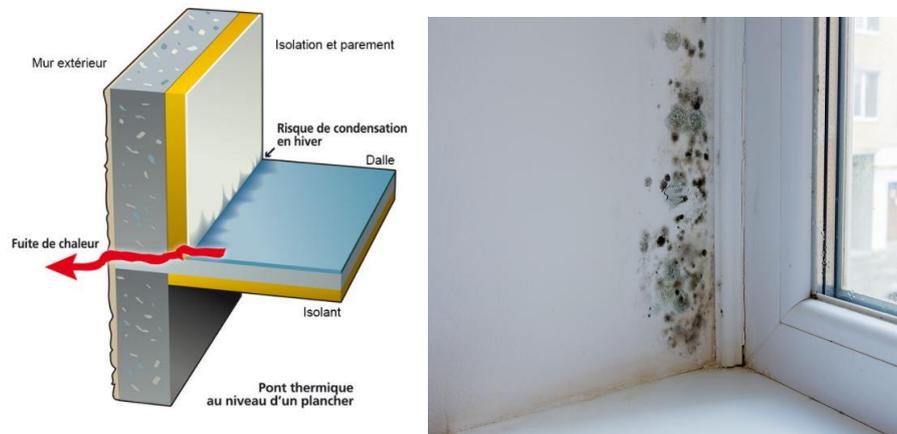


Figure I.11: l'effet de condensation

(Source : www.baticopro.com & www.fuite-assechement.ch)

D'après Gallauziaux et Fedullo (2013) dans leur ouvrage intitulée « le grand livre d'isolation », les conséquences des ponts thermiques est double ; ils peuvent engendrer des désordres dus à la condensation (figure13) et aussi ils sont une source importante de perte de chaleur qui peut aller jusqu'à 40% de la totalité des déperditions thermiques de l'enveloppe.

I.1.4.3.1. Les types des ponts thermiques :

Il existe deux types des ponts thermiques, elles peuvent être linéaires ou ponctuels, comme il est illustré dans les figures suivantes :

- Les ponts thermiques linéaires :



Figure I.12: les différents ponts thermiques linéaires (Source : www.saint-gobain.com)

Souvent la construction architecturale comporte des parties ou des points à faible isolation ou même une isolation inexistante ces parties faibles présentent les ponts thermiques linéaires

qui se situent généralement aux jonctions de plan vertical/horizontal au bien un changement de parois mur/fenêtre, mur /toiture. Ce type est quantifié par le coefficient linéique ψ (psi) exprimé en $W/(m.K)$ (Gallauziaux & Fedullo, 2013 ; Ben-Larbi, 2020).

- **Les ponts thermiques ponctuels :**

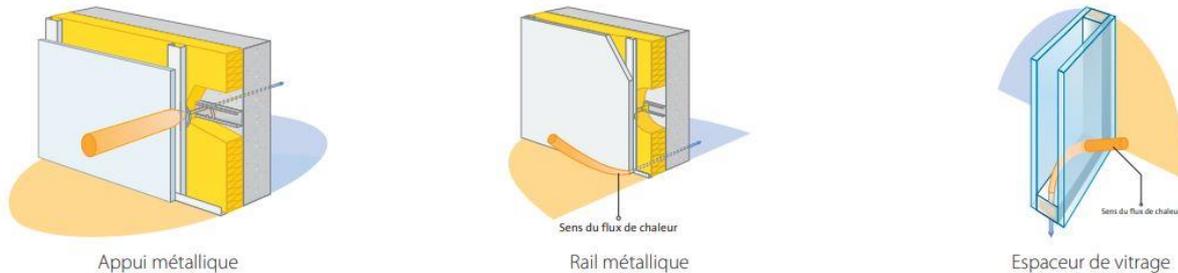


Figure I.13: pont thermique ponctuels (Source : www.saint-gobain.com)

Le deuxième type des ponts thermiques dit ponctuelle ou intégré est souvent engendré par des ossatures secondaires u des éléments de fixation d’isolent ce type des ponts thermiques sont pris en comptes pour le calcul de coefficients de transmission thermique U des parois et il est caractérisé par le coefficient χ exprimé en (W/K) (Gallauziaux & Fedullo, 2013 ; Ben-Larbi, 2020).

I.1.4.3.2. Évaluation des ponts thermiques :

L’évaluation des ponts thermiques est effectuée souvent par la méthode numérique, pour un bâtiment existant l’utilisation d’un diagnostic thermographique permet de détecter les ponts thermiques existants au niveau de l’enveloppe, et permet aussi d’envisager des solutions adéquates pour le traitement et la réhabilitation de l’enveloppe (Ben-Larbi, 2020).

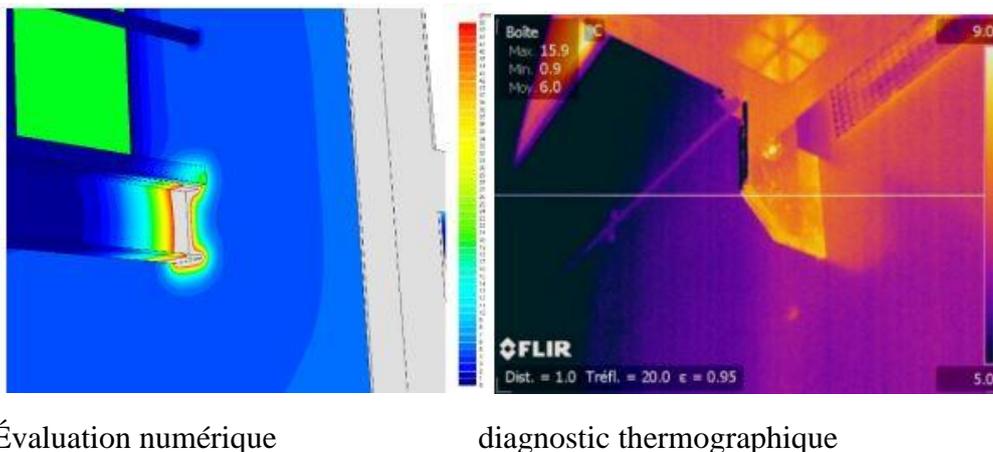


Figure I.14: les méthodes d’évaluation des ponts thermiques (Source : Ben-Larbi, 2020)

I.1.4.4. L'isolation thermique :

Les matériaux de construction couramment utilisés souvent dans les constructions présentent des performances insuffisantes pour avoir un bâtiment construit suivant la réglementation thermique imposée (Thierry & Fedullo, 2013). C'est pour cela les matériaux d'isolations thermiques présentent une partie fondamentale dans la construction, et vu les défis énergétiques et climatiques qui fait face aux bâtiments, l'isolation devient une nécessité pour tous les bâtiments.

Selon l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEM), nous avons plusieurs raisons et bénéfices qui poussent le concepteur à isoler son bâtiment, et parmi ces raisons nous avons :



Figure I.15: les déperditions thermiques dans un bâtiments isolée et non isolée

(Source : www.saint-gobain.com)

- ✓ L'isolation thermique permet d'assurer le confort thermique à l'intérieur de bâtiment à travers la suppression de l'effet des parois froides en hiver et de protéger le bâtiment des surchauffes d'été, ainsi qu'elle permet de réduire des déperditions de l'enveloppe.
- ✓ économiser l'utilisation des énergies fossiles (chauffage et climatisation) qui par la suite permettra de réduire la facture énergétique et effectivement préserver l'environnement.
- ✓ une bonne isolation accompagnée par une bonne aération supprime tout risque de condensation possible dans le bâtiment et elle permet d'offrir une meilleure qualité de vie pour ces occupants.

I.1.4.4.1. Les paramètres à prendre en considération avant l'isolation solen (ADEM) :

- Afin d'éviter les risques de condensation, l'isolation thermique doit être toujours accompagnée par une bonne ventilation que ce soit naturelle ou artificielle.

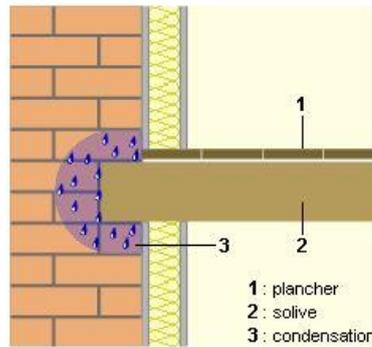


Figure I.16: risque de condensation au niveau de plancher

(Source : www.energieplus-lesite.com)

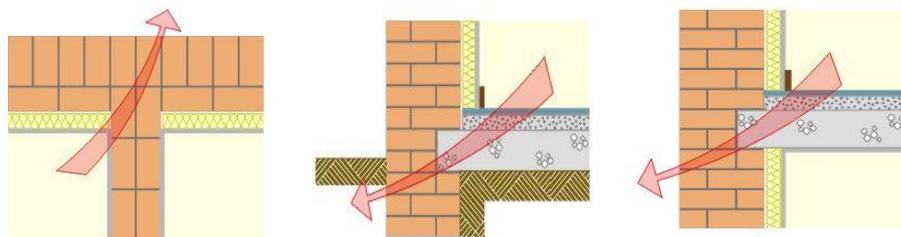


Figure I.17: risque des ponts thermiques (Source : www.energieplus-lesite.com)

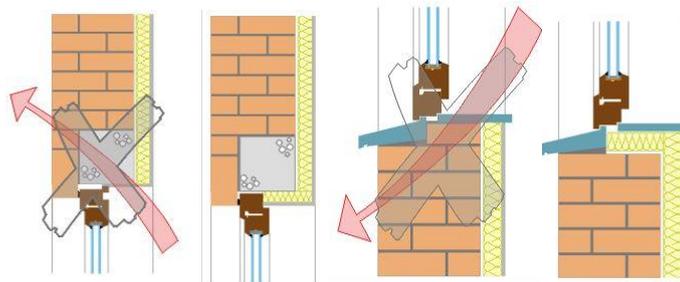


Figure I.18: le positionnement correct de linteau et de seuil de fenêtre (coupe verticale)

(Source : www.energieplus-lesite.com)

- Éviter l'exécution de l'isolation sur une paroi humide et ça à travers la réalisation d'un diagnostic sur les différents composants de bâtiment, qui permettra par la suite de déterminer et traiter les différentes parties humides de ce dernier.
- L'isolation thermique doit être bien conçue afin d'éviter l'effet des ponts thermiques.
- Pour éviter les déperditions de chaleur suite à l'emplacement, le nombre et le type d'ouvertures (Figure 18) (Lmrhari, 2018).

I.1.4.4.2. Les principes et les méthodes d'isolation thermique :

L'isolation de bâtiment peut être effectuée selon trois manières différentes par une isolation répartie, une isolation intérieure, comme elle peut être placée à l'extérieur de bâtiments.

L'isolation répartie : L'isolation répartie est plus proche au procédé constructif que d'isolation, elle se caractérise principalement par l'utilisation des éléments constructifs en tant que des éléments porteurs et isolants en même temps, cette technique est moins efficace pour traiter les ponts thermique mais elle reste une méthode simplifiée pour l'isolation des parois (Gallauziaux et Fedullo, 2013).

L'isolation intérieure : d'après Gallauziaux et Fedullo (2013) dans leurs ouvrage intitulé « le grand livre d'isolation » l'isolation a l'intérieure des bâtiments, se caractérise par une simplicité dans sa mise en œuvre; à travers la réalisation d'isolation de côté intérieur des parois exposées à l'extérieur ou à des locaux non chauffés, et par la suite la surface isolée de la pièce devienne prête à recevoir directement le revêtement intérieur et ça parmi les avantages de cette méthode comme elle présente aussi de nombreux inconvénients tel que :

- Un traitement insuffisant des ponts thermique, (des ponts thermiques issus du traitement insuffisant des matériaux).
- La diminution de la surface habitable à cause de la surface importante occupée par l'isolant à l'intérieure de bâtiment.
- ce principe d'isolation annule les effets de l'inertie thermique initiale du mur ;
- le choix des dispositions adaptés pour la fixation des objets lourds.

L'isolation extérieure : l'isolation thermique extérieure est assurée par un système d'isolation placée sur toutes les parois externes, revêtus de plaques de plâtre ou des panneaux.

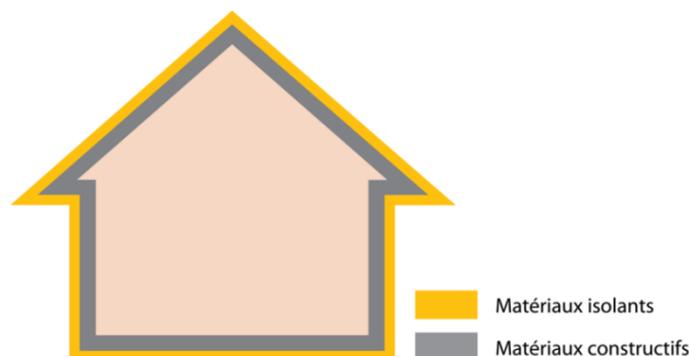


Figure I.19: l'isolation extérieure (Source : Gallauziaux & Fedullo, 2015)

Le toit peut aussi être isolé par le même processus (Gallauziaux & Fedullo, 2015), la réalisation de cette solution est cependant délicate puisqu'il est nécessaire de garantir une étanchéité des façades et de placer un échafaudage, cette méthode d'isolation présente quelques inconvénients par exemple ; il faut protéger l'isolant par un revêtement extérieur pour empêcher sa détérioration et ce revêtement nécessite un entretien régulier. Nous comptons aussi plusieurs avantages de ce type d'isolations qui sont les suivants :

- Le confort intérieur peut être augmenté grâce à la capacité accumulation de chaleur des parois.
- La maîtrise des ponts thermiques.
- La protection externe offre une excellente résistance à la pluie.
- Le mur est donc protégé contre la pluie et sa température demeure stable.
- Une isolation extérieure permet de se protéger du gel et des écarts de température trop élevés (Gallauziaux & Fedullo, 2015).

I.1.4.4.3. Les types des isolants thermiques :

Il existe plusieurs types d'isolants qui varient dans leurs classifications selon la matière brute utilisée, et leurs procédés de fabrication en revanche :



Figure I.20: les types des isolants (Source : www.ecoconso.be.com)

- **Les isolants synthétiques :** ce sont des matériaux créés à partir des produits de la chimie à l'échelle industrielle, ces matériaux sont constitués essentiellement par des matières plastiques
- **Les isolants minéraux :** ce sont les matériaux les plus utilisés dans le bâtiment que ce soit pour l'isolation thermique ou acoustique, ces matériaux sont d'origine minérale

chauffés à très haute température. Ils sont produits à la base d'un mélange d'une matière première et d'autres matériaux sous forme de laine de verre ou de roche, le verre cellulaire, la perlite, la vermiculite et l'argile expansée.

- **Les isolants d'origines végétales :** les fibres produites par de nombreux végétaux peuvent être utilisées pour faire une isolation efficace, naturelle et écologique. Ce type d'isolant d'origine végétal sont mise en forme pour répondre à tous les besoins d'isolation thermique ou acoustique. Les propriétés naturelles de ces isolants augmentent leur taux de réussite.
- **Les isolantes nouvelles générations :** ce type d'isolant a pour but de diminuer la consommation énergétique et les émissions de CO₂ à travers l'amélioration de sa conductivité thermique et en diminuant son épaisseur, pour une meilleure performance, l'élément principal qui donne au matériau sa caractéristique d'isolation est l'existence d'un gaz ou de l'air, le choix de gaz le plus performant permet d'avoir une meilleure performance que l'air.
- **Les isolants d'origine animale :** ce sont des isolants composés principalement de laine de mouton et de plume de canard, utilisés pour l'isolation thermique et acoustique d'un bâtiment, la production de ce type d'isolant nécessite un certain nombre de traitement antifongique, insecticide...etc avant l'avoir commercialisé (Gallauziaux et Fedullo, 2013).

I.1.4.5. Les dispositifs de protection solaires :

I.1.4.5.1. Les protections solaires

Les protections solaires ont un impact positif sur l'amélioration de confort thermique et l'efficacité énergétique des bâtiments à travers la réduction des rayonnements solaires directs et d'offrir l'ombrage nécessaire en été.

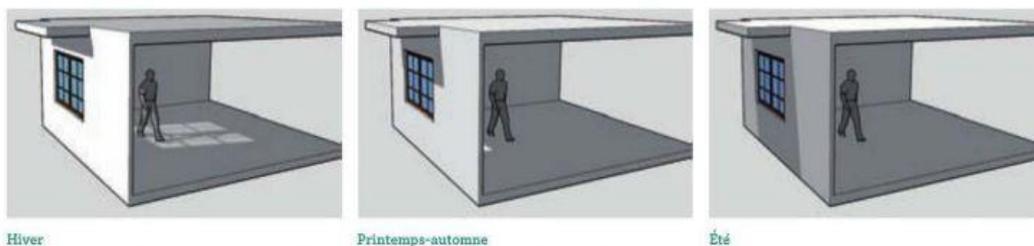


Figure I.21: le fonctionnement de la protection solaire selon les saisons

(Source : Dutreix, 2010)

Il existe plusieurs types de protection solaire entre autre :

- Les protections solaires fixes (immobiles)
- Les protections solaires mobiles : elle peut être verticale au horizontal
- Les protections végétales

I.1.4.5.2. Les protection des façades :

Avec le développement technologique, des nouveaux dispositifs sont apparus, afin de protéger les façades de bâtiments et assurer des ambiances intérieures confortables et parmi ces dispositifs nous avant : la façade double peau, la façade ventilée, la façade photovoltaïque, la façade végétalisée, la façade intelligente, les figures suivantes illustre un exemple d'une façade double peau.

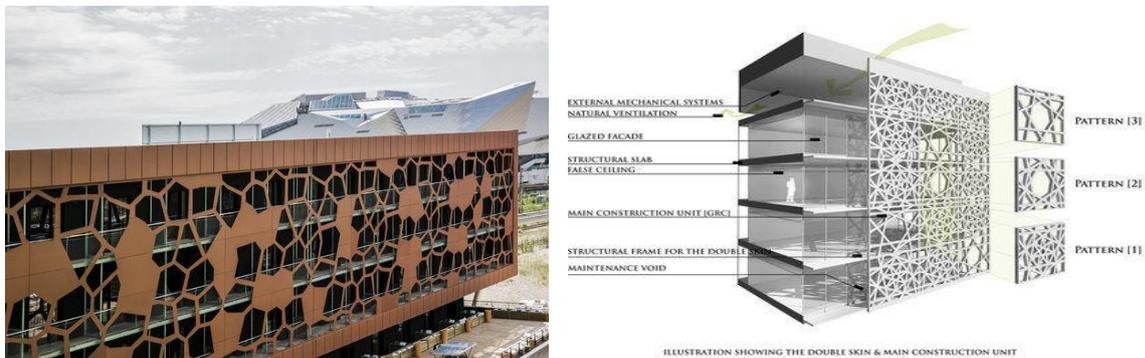


Figure I.22: façade double peau (Source : www.maison.com, www.pinterest.com)

- **La façade double peau :** Le concept de façade double peau, est un type particulier d'enveloppe extérieure, dans laquelle une deuxième peau (vitrage transparent), est disposée à l'avant de la façade, le vide d'air entre les deux faces nommé "canal".

I.2. Les matériaux de construction :

I.2.1. Les méthodes de sélection des matériaux de construction :

D'après Dutreix (2010) dans son livre intitulé « bioclimatisme et performance énergétique des bâtiments), l'utilisation des démonstrations mathématiques compliquées afin de bien choisir un matériaux de construction plutôt un autre est insuffisante pour effectuer un choix idéal, selon lui la meilleure façon pour sélectionner un telle matériaux c'est d'oublier le coté quantitatif de matériau et de se concentrer sur le cotée qualitatif de ce dernier avec l'insertion et l'intégration de contexte climatique de la région concernée dans son choix ; et ça à travers l'exploitation des différentes méthodes de sélection disponible aujourd'hui tel que la

simulation thermique dynamique afin d'étudier et d'optimiser l'influence des matériaux utilisés sur le confort thermique et la consommation énergétique de bâtiment , le calcul structural pour tester et déterminer la performance structurale des matériaux, et au final l'analyse de cycle de vie de matériau et de bâtiment.

I.2.2. Les critères de choix des matériaux de construction :

D'après Dinaer (2016) le choix des matériaux de construction est influencé par des critères multiples en relation avec les contraintes de projet et les réglementations imposées, un choix induit par le projet et sa nature ainsi que les critères liés à l'environnement et la santé de l'être humain.

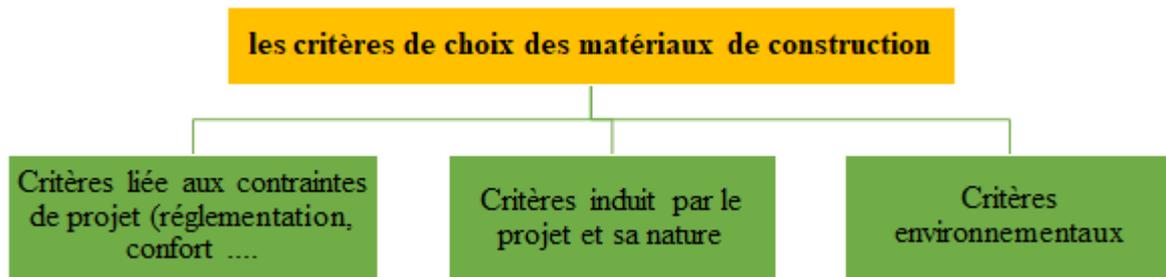


Figure I.23: les critères de choix des matériaux de construction (Source : Dinaer, 2016)

Le choix des matériaux de construction dépend essentiellement de :

Contraintes de projet : cet élément englobe essentiellement les aspects réglementaires, les aspects techniques, les critères économiques e critères spécifique (le confort, le maintien de la qualité des finitions, la facilité d'entretien, la durée du chantier, etc.)

Choix induit par le projet : ce critère prend en considération la localisation du projet, la programmation et le type d'occupation, le parti architectural ainsi que d'autre critères spécifiques tel que la flexibilité et l'évolutivité des espaces, types de support, durée de vie et renouvellement, démontage pour réutilisation potentielle.

Les critères environnementaux : ce critère dépend essentiellement de l'économie de ressources, la maitrise des risques sur l'environnement et sur la santé, la gestion des déchets ainsi que la gestion des nuisances pendant le chantier et durant l'exploitation de bâtiment (Dinaer, 2016).

I.2.3. Les caractéristiques physiques des matériaux de construction :

I.2.3.1. L'inertie thermique :

La notion de l'inertie thermique est définie comme propriété thermique d'un bâtiment à ce dressé contre les variations de température (Izard, 2006). Elle est définie aussi comme étant la vitesse dans laquelle le bâtiment réagit face aux échanges de température extérieure (Chahwane, 2011), en effet une grande inertie thermique permet aux matériaux d'absorber la chaleur de jour et la stocker toute en évitant les surchauffes a l'intérieur de bâtiment pendant la journée, et la restituera la nuit quand la chaleur de soleille disparaître, ce phénomène est donc très intéressant de l'utiliser dans un climat au la différence de température est importante et nocturne comme un moyen de chauffage passif en hiver et l'évacuation de la chaleur en été afin de minimiser les consommations énergétiques (Ahmari, 2019).

Les graphes suivants présentent un exemple de l'évolution des températures à l'intérieur d'un bâtiment à forte inertie et dans un bâtiment à faible inertie thermique

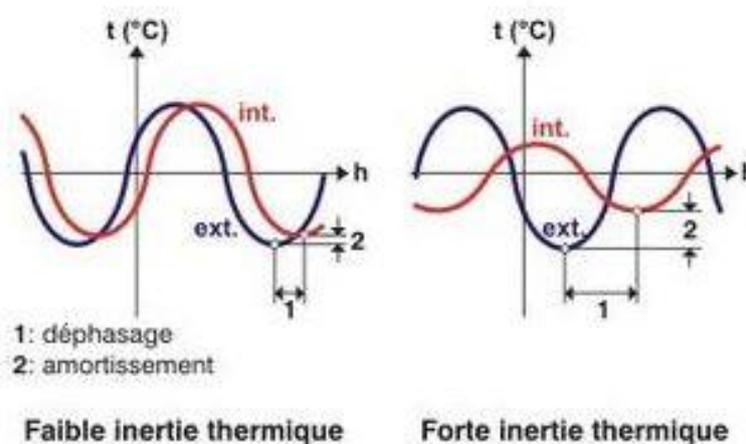


Figure I.24: l'évolution des températures a l'intérieures d'un bâtiment à forte inertie et dans un bâtiment à faible inertie thermique (Source : www.energieplus-lesite.com)

Donc l'inertie thermique permet à la fois de stocker la chaleur et la restituer après certain temps qui appelé le temps de déphasage qui dépend des dimensions des parois ainsi que l'environnement extérieur et par conséquent les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés ; telle que la conductivité thermique, la masse volumique comme elle peut être aussi évaluée grâce ou autre paramètre tel que la diffusivité et l'effusivité thermique des matériaux (Ahmari et al., 2019).

II.2.3.2. La masse volumique « ρ » :

La masse volumique « ρ » (rho) est une grandeur physique appelée aussi densité, elle représente la masse contenue dans un volume de matière, exprimée en kilogramme par mètre cube, c'est une grandeur intensive qui veut dire que c'est la quantité de la matière est modifiée la densité de cette dernière reste constante (Dutreix, 2010).

I.2.3.3. La conductivité thermique (λ):

elle mesure la capacité de conduire la chaleur propre à chaque matériaux et égale à la quantité de la chaleur traverse un mètre d'épaisseur de matériau par unité de temps (seconde) et par unité de surface en mètre carré, elle est exprimée en W/m.k lorsque la différence de température entre deux face de matériaux est de 1k (Dutreix, 2010). Un matériau de construction est considéré comme un bon isolant lorsque sa conductivité thermique est inférieure à 0.065 W/m.k, et l'inverse pour les matériaux conducteurs qui présentent une conductivité thermique supérieure à cette valeur (Liebard & Herd, 2005).

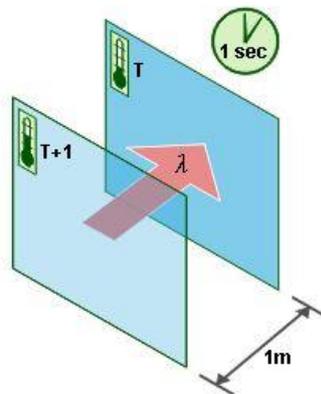


Figure I.25: schéma explicatif de la conductivité thermique.

(Source : www.energieplus-lesite.com)

En résumé plus la conductivité thermique est faible plus le matériau est isolant et plus la conductivité thermique est élevée plus le matériau est conducteur (Liebard & Herd, 2005).

La figure suivante présente quelques valeurs de conductivité thermique pour quelques matériaux connus :

	sec	hum.	
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane
	0,040		laine minérale, liège
	0,058		vermiculite
	0,065		perlite
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs
	0,12	0,13	résineux
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1 000 kg/m ³
	0,54	0,75	briques 1 000-1 600 kg/m ³
	0,90	1,1	briques 1 600-2 100 kg/m ³
Verre	1,0	1,0	
Béton armé	1,7	2,2	
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre
	2,91	3,49	granit, marbres
Métaux		45	acier
		203	aluminium
		384	cuivre

Conductivité thermique λ des matériaux en W/m.K

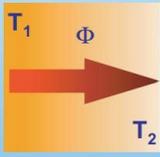


Figure I.26: les valeurs de conductivité thermique des différents matériaux

(Source : Liebard & Herd, 2005)

Nous avons la valeur de conductivité thermique des isolants qui change de 0,3 à 0,04 W/m.k ; l'exemple de polyuréthane, laine minérale, liège, et pour les matériaux de construction légère telle que la brique, le béton armé, le verre se varie de 1 à 3 W/m.k, et au final pour les matériaux lourds la conductivité thermique c'est de l'ordre de 45 jusqu'à 384 W/m.k pour le cuivre (Dutreix, 2010).

I.2.3.4. Diffusivité thermique (a) : La diffusivité thermique fait partie des caractéristiques dynamiques du matériau puisqu'elle participe aux échanges en milieu thermique transitoire. Cette propriété décrit la capacité de transmission de la chaleur d'un matériau. Elle est donnée en $m^2 \cdot s^{-1}$ (Frious, 2010)

I.2.3.5. Effusivité thermique (b) : L'effusivité thermique est la racine carrée de la conductivité thermique A , de sa masse volumique p et de sa capacité thermique spécifique C_p , elle est exprimée en $J^{-2} \cdot m^{-1} \cdot Ks^{-1/2}$, sa grandeur sert à mesurer la capacité d'un matériau à modifier la température quand il subit un transfert de chaleur réparti de manière non homogène (Frious, 2010).

I.2.3.6. La chaleur spécifique ρ : capacité d'un matériau à stocker la chaleur par unité de masse et par degré de différence de température (Wh/kg.°C).

I.2.4. L'importance des matériaux de constructions utilisées dans le bâtiment et leurs caractéristiques thermiques :

Souvent les concepteurs utilisent les matériaux de construction disponibles dans le marché ; qui présente un coût raisonnable pour eux, sans étude préalable sur l'importance de

ces matériaux sur le confort et la santé de l'être humain, et sur son environnement. Les matériaux de construction utilisés déterminent à la fois la qualité et la durée de vie de bâtiment, c'est pour cela le choix d'un matériau idéal doit être bien étudié selon plusieurs critères liée au bâtiment, a son environnements et aux propriétés thermique des matériaux utilisée que ce soit pour la surface opaque, au bien pour la surface vitrée, ou utilisateur, ainsi que a son environnements ; Afin d'assurer à la fois le confort thermique des occupants et la performance structurale, fonctionnelle et énergétique de bâtiment et préserver l'environnement (Chikhi, 2016).

I.2.5. la classification des matériaux de construction :

Plusieurs classification sont utiliser pour différencier entre les matériaux de construction existants que ce soit liée à la composition de ces matériaux, à leur source primaire, ou bien à leur pratique et leurs propriété principale, conformément à ces deux derniers en revanche plusieurs type des matériaux de construction:

- **Les matériaux de résistance :** tous les matériaux qui ont la propriété de résister face aux différentes sollicitations tel que poids propre, surcharge, séisme...il existe plusieurs matériaux que ce soit ancien telle que la pierre la terres ...et d'autre moderne telle que le bois, le béton, la brique creuse, la brique mono-mur....
- **Les matériaux d'isolation :** utiliser pour renforcer la performance des bâtiments et leurs résistances contre les conditions extérieures et même celle de l'intérieure.
- **Les matériaux de protection :** tous les matériaux qui ont la propriété de protéger d'enrober les matériaux de construction principaux cité au paravent face aux actions extérieurs, tels que : Enduits, Peintures... (Boubekeur, 2017).

Conclusion

L'étude thermique des bâtiments consiste principalement à étudier l'influence des différentes composantes de ce bâtiment, et son environnement extérieur sur l'ambiance thermique intérieure , En effet il existe plusieurs paramètres influençant sur cette dernière ; notamment l'orientation et la forme de bâtiment , le types d'isolation choisie, les types des dispositif intégrée, ainsi que le choix des matériaux de construction utilisé et leurs caractéristiques thermiques, qui jouent un rôle primordial dans la définition de la qualité thermique ressentie à l'intérieur de l'espace, La prise en compte de ces techniques dès la phase de conception, permettra non seulement d'assurer le confort thermique intérieure et le

bien être des utilisateurs, mais aussi d'éviter le recours vers les solutions actives et réduire la consommation des énergies fossiles, et effectivement préserver notre environnement.

CHAPITRE II :
**Le confort thermique de l'être humain et l'efficacité énergétique
de bâtiment**

CHAPITRE II : Le confort thermique de l'être humain et l'efficacité énergétique de bâtiment

Introduction

La qualité de l'ambiance thermique ressentie à l'intérieur de bâtiment, influe directement sur l'aspect comportemental des usagers et leurs gestes de régulations, et effectivement la sensation d'inconfort pousse les utilisateurs au recours aux équipements de régulation thermique telle que le chauffage et la climatisation ce qui génère une augmentation dans la quantité d'énergie consommé par le bâtiment. Dans ce chapitre nous allons aborder dans sa première partie la notion de confort thermique de l'être humain, et les différents paramètres qui lui influencent, ainsi que les modes d'échange de chaleur entre le corps humain et l'ambiance thermique perçu, et la deuxième partie de ce chapitre est consacrée pour les différentes notions liées à la performance énergétique des bâtiments.

II.1. Le confort thermique de l'être humain :

Le confort thermique une notion subjective, diffère d'une personne à une autre, et dépend de plusieurs paramètres qui peut être liés à l'être humain ou à son environnement immédiat, elle est souvent définie comme un état de satisfaction envers l'environnement thermique perçu, ce bien être est traduit par l'équilibre dynamique établi par l'échange thermique entre le corps humain et son environnement (Rahmouni, 2020 ; Liebard & Herde, 2005).

Une autre définition plus simple donnée au confort thermique ; où il est défini comme la situation et l'état dans laquelle un être humain ne sent ni chaud ni froid dans un espace intérieur donné (Berkouk, 2017).

II.1.1. Les paramètres de confort thermique :

Le confort thermique de l'être humain est influencé par six paramètres différents ; et parmi ces paramètres en revanche, l'habillement le métabolisme en relation avec les individus, et d'autres paramètres liés à l'environnement immédiat ; tel que la température ambiante, la température des parois, ainsi que la vitesse de l'air et l'humidité relative.

II.1.1.1. Les paramètres liés à l'individu :

II.1.1.1.1. Le métabolisme :

C'est l'opération de la production de la chaleur interne au niveau de corps humain, elle permet de stabiliser la température de corps autour de 36.7 °C (Liébard & Herde, 2005).

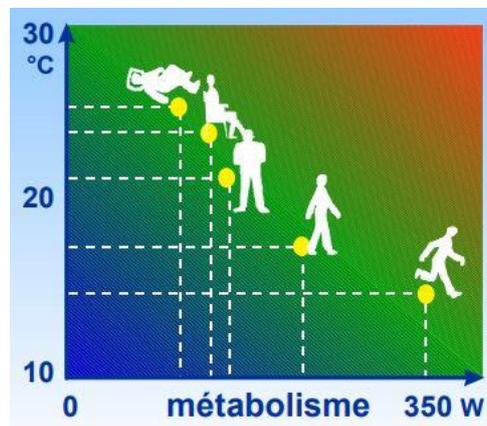


Figure II.1 : l'influence de types d'activité effectuée sur la température de confort

(Source : Liébard & Herde, 2005)

Lors d'une activité quelconque le métabolisme produit s'ajoute au métabolisme de corps humain initial, il se varie en fonction de l'effort effectué (Figure 1) (Liébard & Herde, 2005)

Tableau II.1: les différentes activités de corps humain et leur métabolisme produit (Source : Jedid & Benjeddou, 2016)

Activité	W/m ²	met
Repos, couché	45	0.8
Repos, assis	58	1.0
Activité légère, assis (bureau, école)	70	1.2
Activité légère, debout (laboratoire, industrie légère)	95	1.6
Activité moyenne, debout (travail sur machine)	115	2.0
Activité soutenue (travail lourd sur machine)	175	3.0

D'après la figure 1 et le tableau précédent on trouve que les valeurs de métabolisme accroître en fonction de l'augmentation de l'effort d'activité effectuée.

II.1.1.1.2. L'habillement :

C'est un paramètre très important qui joue un rôle essentiel afin de maintenir une température confortable de corps humain, et ça à travers la résistance thermique vestimentaire contre les échanges de chaleur établis entre la peau et l'environnement extérieur (Moujalled, 2007 ; Liébard & Herde, 2005).

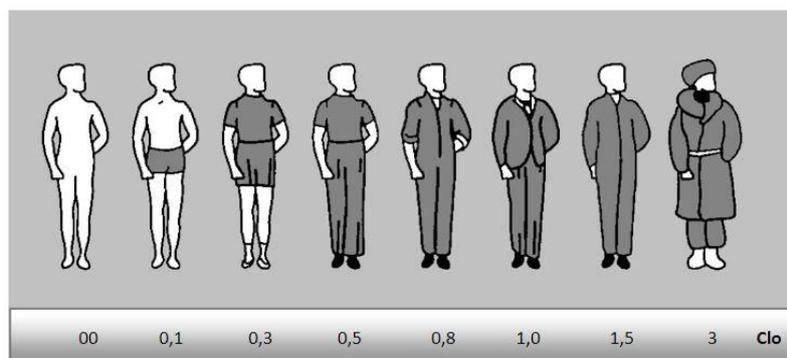


Figure II.2 : l'influence de l'habillement sur la température de confort

(Source : Liébard & Herde, 2005)

Cette valeur est exprimée en **clo** (Unité d'isolement vestimentaire, 1 Clo = 0.155 m² °C.W-1) (Mazari, 2012).

Tableau II.2: les valeurs de la résistance vestimentaire pour différente habillement

(Source : jedid et benjeddou, 2016)

Tenue-vestimentaire	habillement
Nu	0
Short	0.1
Tenue tropicale type (short, chemise à col ouvert et manches courtes, chaussette légères et sandales)	0.3
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussette légères et chaussures)	0.5
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes laine et chaussures)	0.7
Tenue d'intérieur pour l'hiver (chemise à manches longue pantalon, pull-over a manches longue, chaussette épaisses et chaussures)	1.0
Tenue de ville traditionnelle (complet avec pantalon, gilet et veston, chemise, chaussettes de laine et grosses chaussures)	1.5

II.1.1.2. Paramètres liés à l'environnement :

II.1.1.2.1. La température ambiante T_a :

Ce paramètre a un impact important sur la température de confort à l'intérieur de bâtiment (Berkouk, 2017), selon Liébard et Herde (2005) cette dernière dépend de deux températures différentes la température ambiante ainsi que la température des parois (T_p) et elle est calculée par la formule suivante :

$$T_{rs} = (T_a + T_p) / 2$$

- T_{rs} : la température de confort dit encore température résultant sèche ou la température opérative.
- T_a : température ambiante.
- T_p : la température des parois.

II.1.1.2.2. La température des parois T_p :

C'est un paramètre complexe influence directement les échanges thermiques établis par rayonnements et il est calculé par la moyenne de toutes les températures des parois internes (figure 3) (Liébard & Herde, 2005).

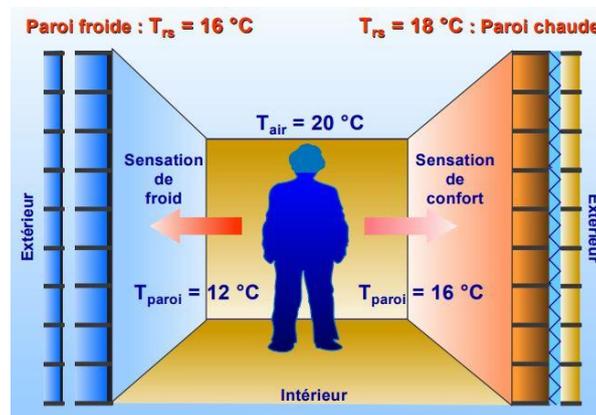


Figure II.3 : l'influence de la température ambiante et des parois sur la température opérative.

(Source : Liébard & Herde, 2005)

La température de confort à l'intérieur de l'espace et effectivement le confort des utilisateurs sont influencés essentiellement par deux températures celle de l'air ambiante et celle des parois.

II.1.1.2.3. L'humidité relative :

Présente le rapport entre la quantité d'eau contenue dans l'air dans une température T_a et la quantité maximale d'eau contenue à la même température elle est exprimé en pourcentage, le diagramme suivant indique la plage de l'humidité ambiante optimale dans le cadre hygiénique (figure 4) (Liébard & Herde, 2005).

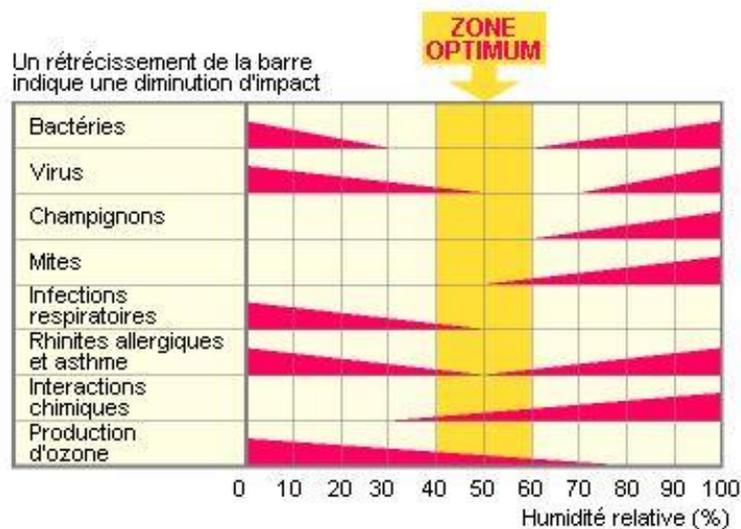


Figure II.4 : la plage de taux d'humidité ambiante (Source : www.energieplus-lesite.com)

L'humidité relative influe négativement sur le confort thermique de l'être humain lorsque sa valeur est en dehors de la plage entre 30% et 70% ; et dans ce cas elle engendre plusieurs problèmes telle que ; les problèmes respiratoires dans un milieu sec, des problèmes de condensation et d'autre liés à la reproduction des champignons ou des virus et même des bactéries dans un milieu très humide.

II.1.1.2.4. La vitesse de l'air :

Est un facteur à prendre en considération lors de la conception, à cause de son impact sur les échange de chaleur par convection, il contribue à l'augmentation de l'évaporation de la surface de la peau, la figure suivante présente les valeurs de température de confort en fonction de changement de la vitesse de l'air ambiante dans le cas d'un habillement moyen (Liébard & Herde, 2005).

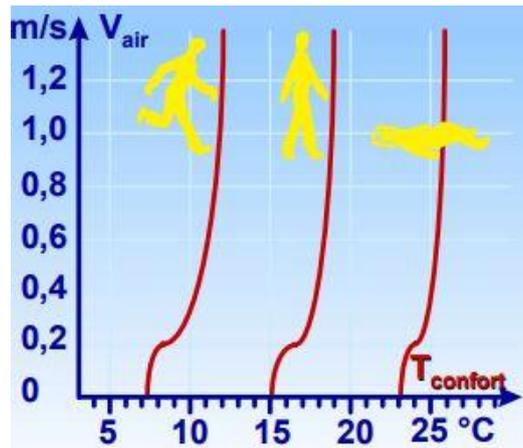


Figure II.5 : la température de confort en fonction de changements de la vitesse de l'aire ambiante (Source : Liébard & Herde, 2005)

Si la vitesse de l'aire dépasse 0.2m/s à l'intérieur de bâtiment elle aura un impact négatif sur le confort des occupants.

II.1.2 Les modes d'échange de chaleur entre le corps humain et l'ambiance thermique :

Le corps humain est toujours en contact avec son environnement et la peau constitue le premier plan de défense entre ces deux derniers, à ce titre là les échanges de chaleur dans le corps humain se fait selon les modes suivant respiration, convection, rayonnement, évaporation et conduction (Batier, 2016).

- **La respiration** : L'individu respire à travers l'échange de l'aire avec son environnement afin d'alimenter son corps en oxygène, cette opération engendre des pertes de chaleur sensible par convection qui signifié l'élaboration d'un changement de degré de température sans changement d'état, et des déperditions de chaleur latente par évaporation due à l'énergie évaporée lors de changement d'état (Batier, 2016).
- **La convection** : C'est une transmission de chaleur entre la peau ou les vêtements et l'air ambiant d'une pièce, cette transmission dépend directement de la vitesse et la température de l'air (Roulet, 2012 ; Lavoye & Thellier, 2019).

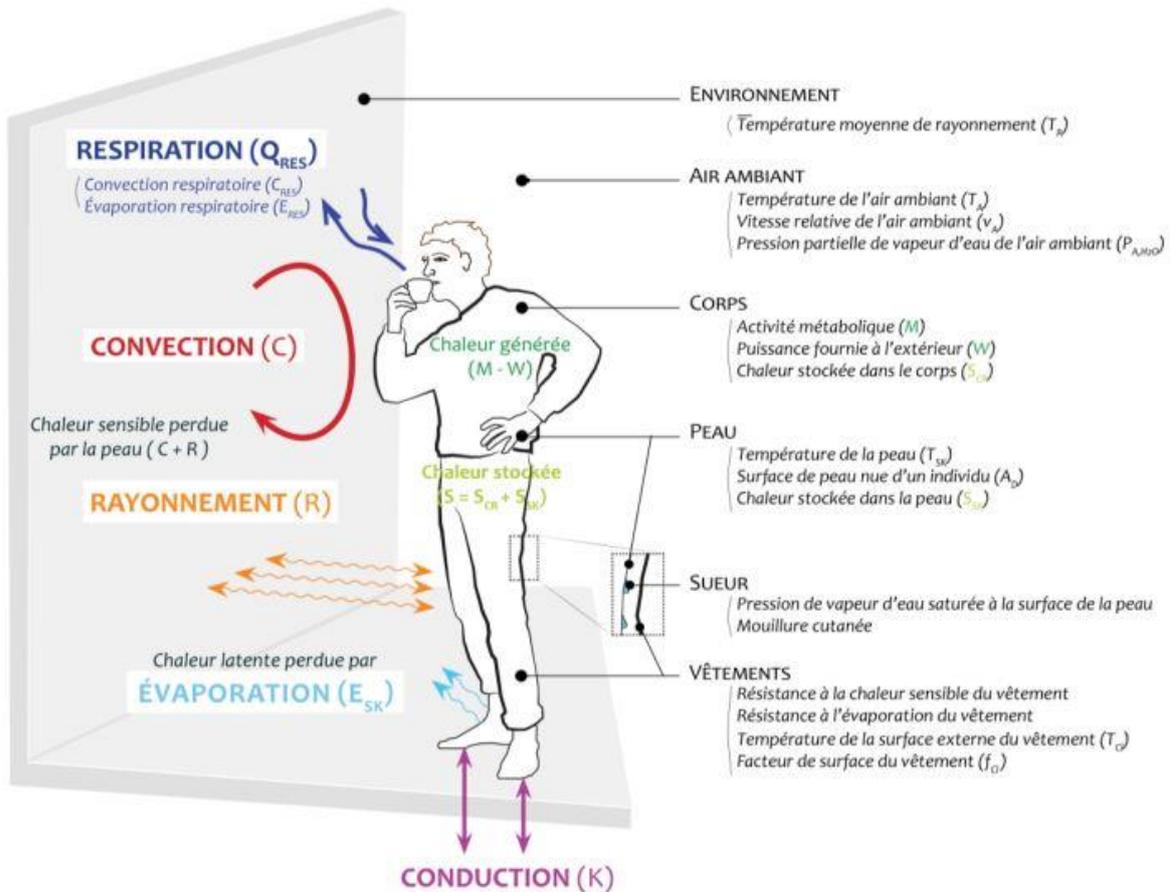


Figure II.6 : les modes d'échange de chaleur entre le corps humain et son environnement
(Source : Batier, 2016)

- **Le rayonnement :** c'est un mode d'échange de chaleur qui se fait entre la surface de la peau ou les vêtements et les surfaces environnantes les plus froides ou l'inverse par rayonnement (ondes électromagnétiques) (Roulet, 2012 ; Lavoye & Thellier, 2019).
- **L'évaporation-condensation :** c'est un échange de chaleur causé par l'évaporation de l'eau au niveau de la surface de la peau, ce mode d'échange permet au corps humain d'expulser la chaleur en ambiance chaude. La quantité de l'eau expulsée est en relation direct à la vitesse de l'air et la pression de vapeur dans ce dernier (Roulet, 2012 ; Lavoye & Thellier, 2019).
- **La conduction :** c'est un change de chaleur qui se fait entre deux objets solides en contact à une température différente, ce changement est et essentiellement causé par le contact du corps avec le sol (Roulet, 2012 ; Lavoye & Thellier, 2019).

II.1.3 Le confort d'hiver :

D'après Liébard et Herde (2005) Le confort d'hiver (figure 7) est la stratégie du chaud qui vise à :

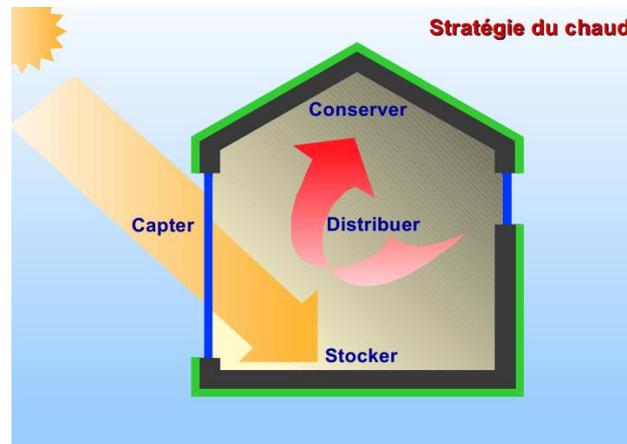


Figure II.7: les principes de confort d'hiver (Source : Liébard & herde, 2005)

- **Capter :** capter la chaleur consiste à accumuler et à transformer l'énergie solaire en chaleur. Le rayonnement du soleil capté par une construction est lié au contexte climatique et à ses fluctuations saisonnières et journalières, ainsi qu'à son orientation, la nature de ses matériaux et de ses parois, la morphologie du lieu, la présence d'ombre, etc.
- **Stocker :** il est intéressant de pouvoir stocker cette énergie produite par le rayonnement solaire afin qu'elle soit disponible en cas de besoin. Ce stockage se déroule au niveau de chaque matériau en suivant sa propre capacité de stockage et ainsi permet de pouvoir absorber de la chaleur et de limiter les changements de température au sein du bâtiment en bénéficiant de son inertie.
- **Conserver :** c'est principalement la forme et l'étanchéité de son enveloppe et les caractéristiques isolantes de ses matériaux qui permettront de maîtriser les pertes de chaleur du bâtiment. Le découpage des surfaces en zones pour former des ambiances thermiques différenciées, adaptées à leur utilisation, permettra aussi de répartir au plus juste la chaleur.
- **Distribuer :** répartir la chaleur au sein d'un local tout en assurant sa régulation permet de la diriger jusqu'aux différents espaces de vie où elle est désirable. Cette distribution peut se réaliser de manière naturelle si la chaleur rassemblée dans un matériau durant la période de soleil est redirigée vers le milieu ambiant par rayonnements et convection.

II.1.4 Le confort d'été :

Selon Liébard et Herde (2005) Le confort d'été (figure 8) est la stratégie du froid qui vise à :

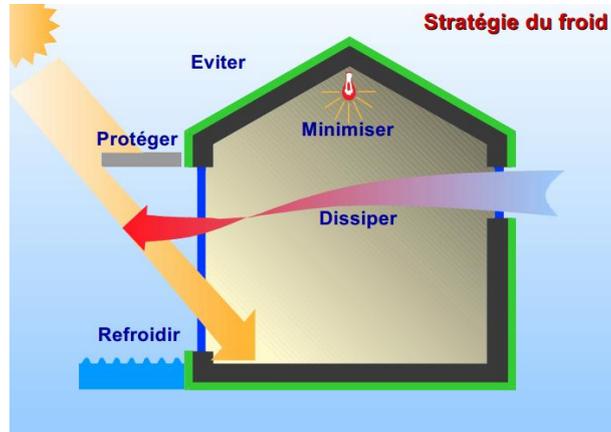


Figure II.8: les principes de confort d'été (Source : Liébard & Herde, 2005)

- **Se protéger des rayonnements solaires :** consiste à protéger le bâtiment, et en particulier ses percements, du rayonnement solaire direct pour limiter les gains directs par la mise en œuvre de protections, si possible extérieures, qui le placent à l'ombre. Ces protections peuvent être fixes, mobiles ou temporaires (végétaux).
- **Minimiser les apports internes :** la diminution des gains internes a pour but de limiter les risques de surchauffe des espaces par les occupants et les équipements : lumière artificielle, installations électriques, taux d'occupation des locaux, etc. On peut facilement réduire certaines contributions en privilégiant, notamment, la lumière naturelle.
- **Dissiper la chaleur :** la dissipation de la surchauffe peut être assurée par la ventilation naturelle, en profitant des écarts de température à proximité des sorties qui produisent un "effet de cheminée". La poussée du vent et la direction des flux d'air permettent aussi de faire sortir du bâtiment l'air surchauffé.
- **Refroidissement naturel des locaux :** le rafraîchissement des locaux peut être facilement réalisé grâce à des solutions naturelles. La première consiste à privilégier la ventilation ou à accélérer la circulation de l'air, en particulier la nuit, pour libérer la chaleur accumulée durant la journée. Une autre solution vise à favoriser le refroidissement de l'air grâce à des éléments naturels comme les plans d'eau, les jets d'eau, la verdure, etc.

II.1.5 La plage de confort hygrothermique :

Elle signifie l'existence d'un équilibre entre la température ambiante et l'humidité, pour assurer une ambiance confortable entre la température de l'aire qui correspond à 22°C il est recommandé que la valeur de l'humidité relative soit entre 40% et 60%, cette valeur est déterminée par le diagramme suivant (Jedid & Benjeddou, 2016).

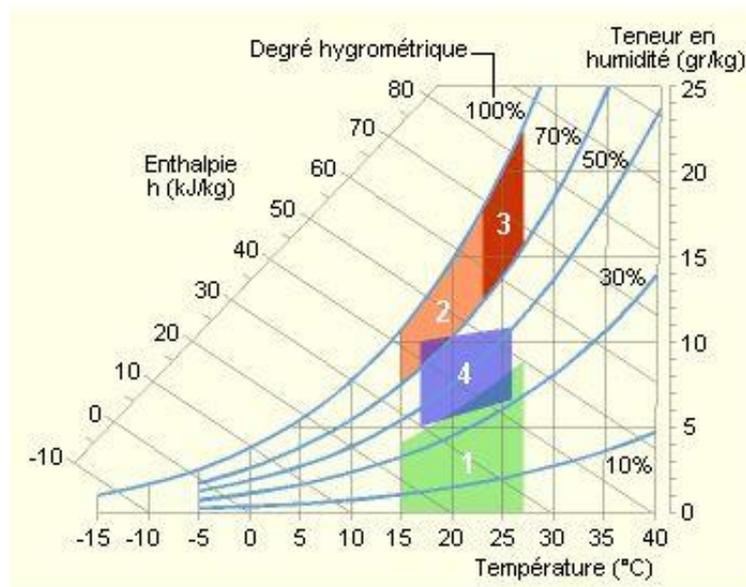


Figure II.9 : la plage de confort hygrothermique (Source : www.energieplus-lesite.com)

- Zone 1 à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- Zones 1 et 2 à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
- Zone 3 à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- La zone 4 Polygone de confort hygrothermique.

II.2. La performance énergétique des bâtiments

Aujourd'hui la notion de l'efficacité énergétique des bâtiments est devenue un sujet d'actualité à cause de son impact considérable sur le confort des utilisateurs et leurs comportements, et effectivement sur la quantité des énergies consommées par le bâtiment et leurs influences sur l'environnement.

II.2.1. La consommation énergétique des bâtiments et leur efficacité énergétique

II.2.1.1. La consommation énergétique mondiale

Après le choc pétrolier de 1973, et compter des années 1980, des changements fatals ont eu lieu dans le monde ; plusieurs pays ont développé des méthodes et des procédés qui visent à mettre en place des solutions durable pour faire face aux combustibles fossiles (Varenio, 2012 ; Mnasri, 2016), La (figure 10) décrit l'évolution de la consommation mondiale d'énergie primaire au cours de deux siècles.

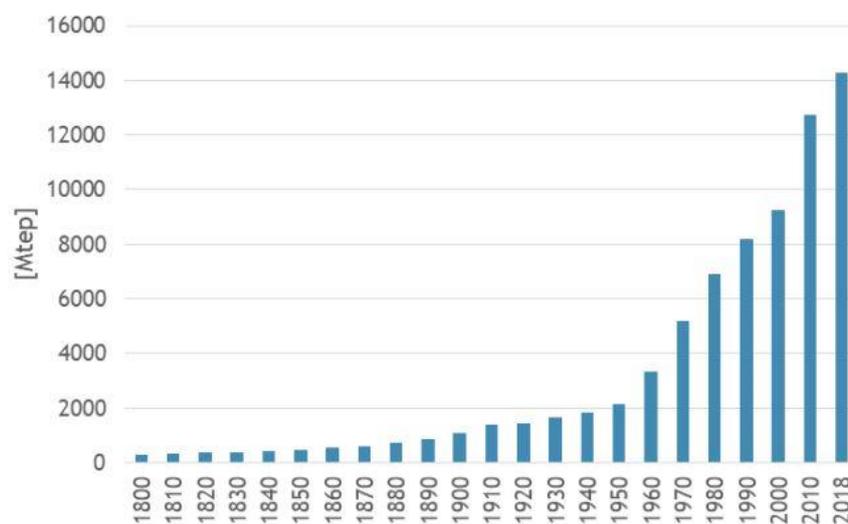


Figure II.10 : évolution de la consommation des énergies primaires mondiales depuis deux siècles (source Chareyron et al., 2020)

Ce phénomène industriel et politique a soulevé la réflexion mondiale vers la rationalisation de la consommation d'énergie dans tous les domaines, mais malgré la conscience qui a été immergée suite à cette crise, cette évolution continue à augmenter au fil des années. La consommation moyenne a progressé de 1,7%/an en 2018, où la consommation mondiale d'énergie a atteint 1400 Mtep¹ (Chareyron et al., 2020).

Cette nouvelle approche a touché plusieurs secteurs consommateurs d'énergie entre autre le secteur de bâtiment qui est considéré d'après Bertin et al dans leurs livre intitulé « bâtiment et performance énergétique » parmi les biens les plus énergétivores qui est responsable d'une grande partie des dioxydes de Carbone rejeter dans l'atmosphère. Où dans plusieurs pays la consommation énergétique dans ce secteur responsable de 25% à 40% de la consommation globale des énergies (Imessad et al., 2017), bien que en 2019 le secteur de bâtiments compris

¹ Mtep : Méga tonne équivalent pétrole.

les bâtiments non résidentiels ainsi que les bâtiments résidentiels et le secteur de la construction de bâtiment atteindre 35% de la consommation mondiale d'énergies finales (figure 11) (Hamilto et al., 2020).

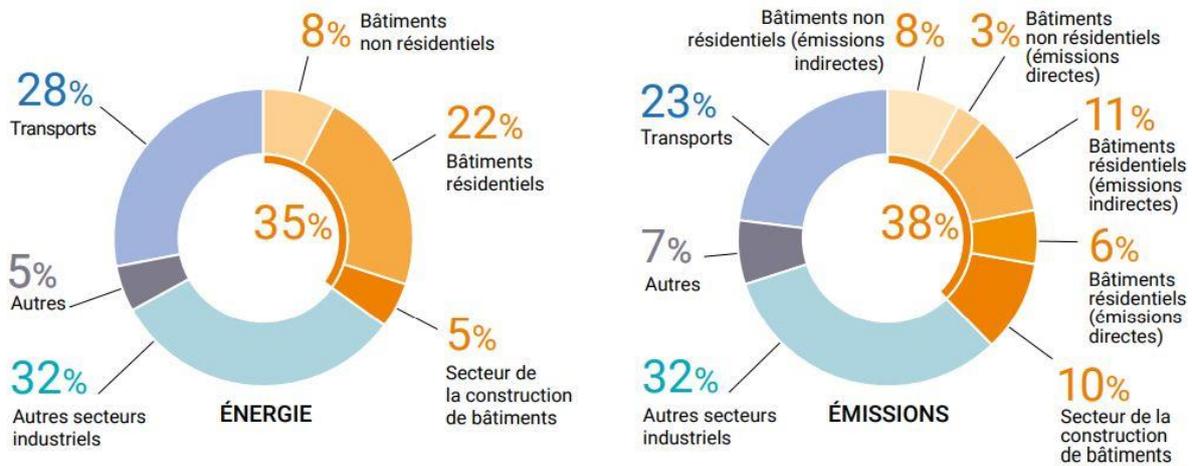


Figure II.11 : le pourcentage mondial des bâtiments et de la construction dans le total de la consommation d'énergie et des émissions pour l'année 2019 (Source : Hamilto et al., 2020)

En 2019, la consommation mondiale Énergétique finale du segment des bâtiments, est maintenue au même niveau que l'année précédente, les rejets de CO2 liés à l'usage des bâtiments, ont progressé pour atteindre leur plus grand niveau, jusqu'à aujourd'hui, près de 10 Gt de CO2, soit 28 % des émissions globales d'énergie, cette croissance dans les émissions de CO2 constatée pour le secteur du bâtiment ; est le résultat d'une consommation intensive de gaz naturel de pétrole, et de charbon, utilisé pour le chauffage et la cuisine, ainsi que la climatisation des bâtiments, Ces statistiques révèlent la nécessité de développer une stratégie ; afin de minimiser la demande d'énergie de ce secteur, et développer d'autre ressource plus durable et plus efficace (Hamilto et al., 2020).

II.2.1.2. La consommation énergétique en Algérie :

La consommation d'énergie en Algérie, comme celle des autres pays du monde, subit une croissance remarquable depuis les dernières années. Le graphe ci-dessous représente la totalité de la consommation d'énergie finale en ktep² pour les années 1990-2018 en Algérie :

² Ktep: kilo tonnes d'équivalent en pétrole.

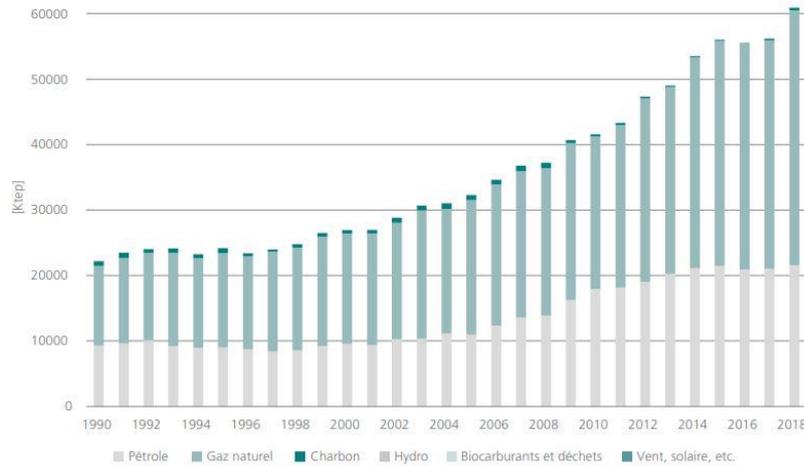


Figure II.12 : la consommation totale d'énergie finale en ktep pour les années 1990-2018 en Algérie (Source : Ersoy et al., 2021)

Les énergies dominantes du bouquet énergétique en 2018 ont été les combustibles fossiles, soit le gaz naturel qui constitue 63,8% le pétrole 35,4 % et le charbon 0,6 %, alors que les énergies renouvelables ont pris une part minime par rapport au total des énergies avec une valeur de 0,1 %, où la croissance de la consommation énergétique en Algérie a été estimée à environ 5 % entre 2000 et 2017 (Ersoy et al., 2021). En effet, conformément à l'APRE³ (2019), la consommation d'énergie provenant du secteur résidentiel et tertiaire représente 43% de la consommation totale par rapport aux autres secteurs, notamment les secteurs de l'industrie, des transports et de l'agriculture (figure 13), où dans la même période le bilan énergétique national indique que la consommation d'énergie finale a atteint 44,65 millions de tep pour l'ensemble des secteurs.

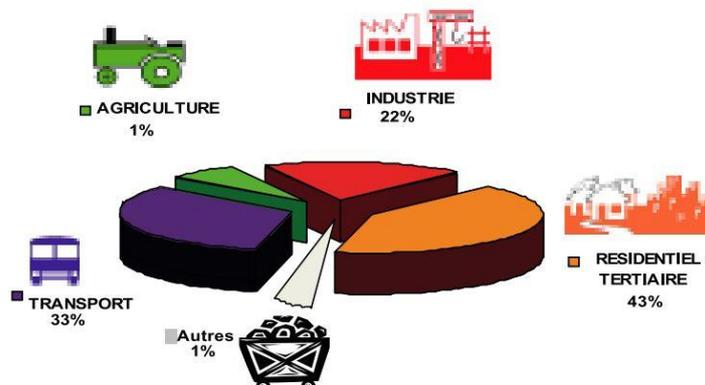


Figure II.13 : Répartition de la consommation finale de l'Algérie en fonction des secteurs d'activité (Source : APRUE, 2019)

³ APRUE : L'agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie en Algérie.

Le recours aux combustibles fossiles a augmenté au fil des années, ce qui nécessite un réel engagement pour mettre en place des solutions plus adaptées et plus rentables afin de favoriser l'utilisation des énergies renouvelables et rationaliser cette consommation pour rendre les bâtiments plus performants en termes de confort et d'énergie.

II.2.1.3. La performance énergétique des bâtiments :

La performance énergétique d'un bâtiment est définie par l'Union européenne comme étant la quantité d'énergie indispensable pour assurer les besoins d'énergie relatifs à un usage habituel du bâtiment, y compris l'énergie consommée par ses installations techniques (Benoudjafer, 2018).

D'après Boudreau (2011) pour qu'un architecte conçoit un bâtiment performant, il faut d'abord maîtriser les pertes thermiques, les apports solaires, ainsi que de profiter au maximum de la lumière naturelle dans son bâtiment, et que ce dernier doit être intégrer au climat ; afin de réduire la part des installations mécanique, et effectivement minimiser la consommation énergétique des bâtiments.

II.2.2. Les aspects conceptuels liés à la consommation énergétique des bâtiments :

Sur le plan énergétique, un bâtiment peut être décrit par plusieurs aspects, exerçant un impact crucial sur la consommation d'énergie de bâtiment, et permettant de déterminer sa performance énergétique, et ses besoins en matière d'énergie ; tel que les besoins de chauffage et de climatisation, et ça par apport au trois premiers aspects (Géométrie, Matériaux, Enveloppe), par contre le dernier aspect (les systèmes) ; permet de répondre au besoin énergétique des bâtiments ; par les différentes installations, à ce titre les quatre aspects différents peuvent être sélectionnés comme suit :

- La géométrie de bâtiment :

Compris les composantes géométriques et l'organisation du bâtiment, à savoir ses dimensions, la distribution des différents espaces intérieurs et leurs rapports avec l'environnement extérieur.

- L'enveloppe de bâtiment :

Ça concerne les composantes en contact avec le milieu extérieur telle que la toiture, les planchers bas, les parois et baies vitrées des façades, ainsi que les différents échanges établis à travers ces éléments ; notamment les déperditions thermiques et les gains solaires.

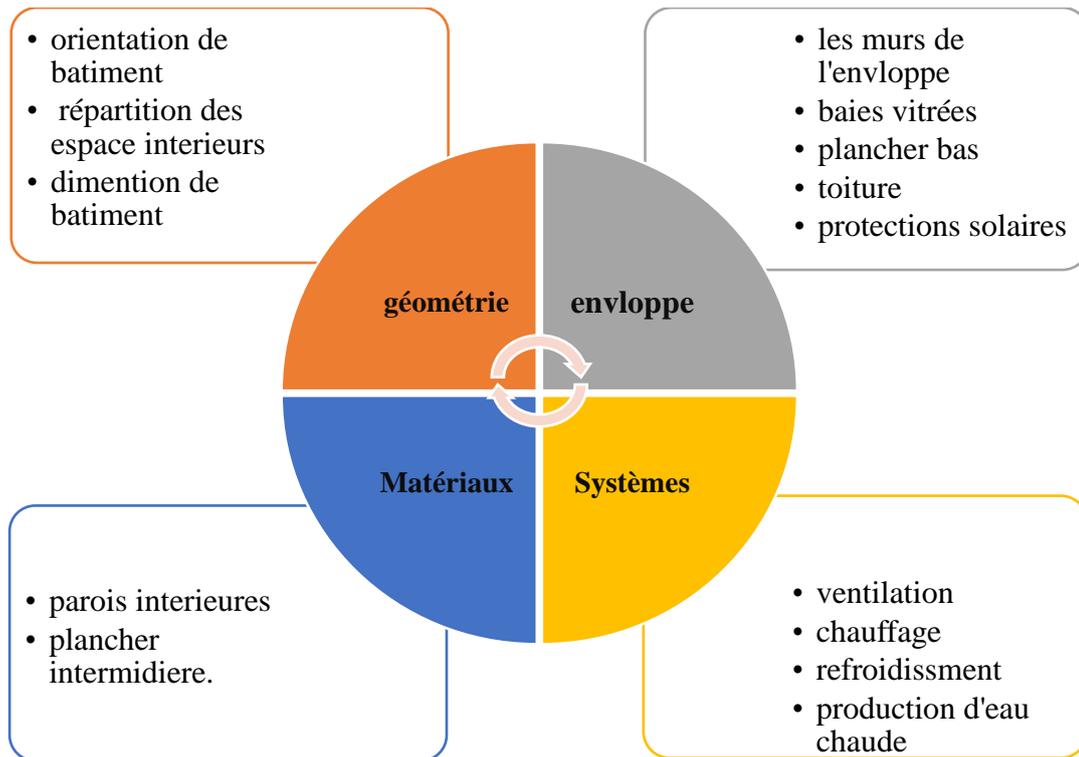


Figure II.14: Les aspects conceptuels liés à la consommation énergétique des bâtiments

(Source : Velazquez Romo, 2015 adapté par l'auteur)

- **Les Matériaux de construction utilisés :**

Ça concerne essentiellement les planchers intermédiaires et différents cloisons verticales, et leurs inerties thermiques.

- **Les Systèmes de régulations :**

Liés au dispositif technique des bâtiments, notamment les systèmes de chauffage, d'éclairage, ventilation refroidissement et de production d'eau chaude sanitaire.

II.2.3. Les facteurs de la performance énergétique des bâtiments :

Selon les recommandations de Morillon et al. (2011), la performance énergétique des bâtiments est déterminée par 5 facteurs :

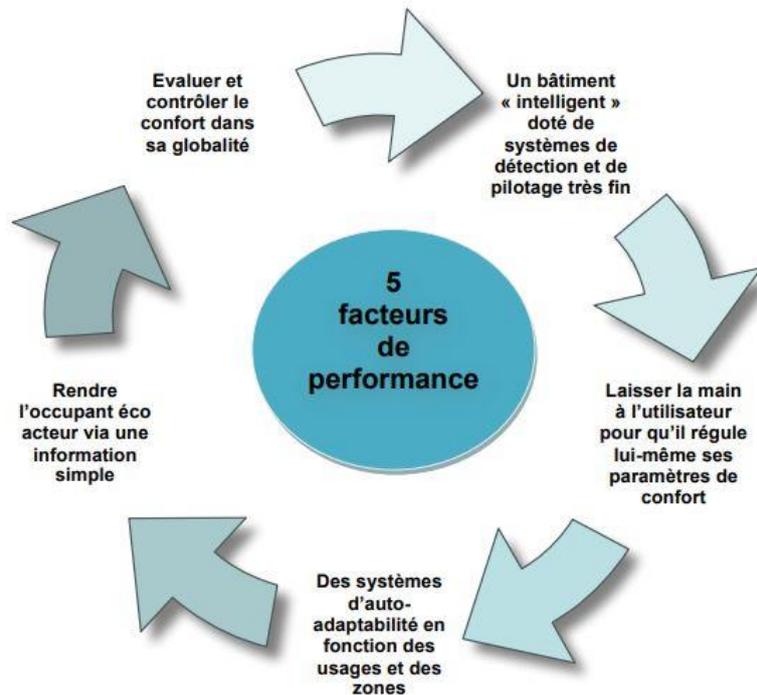


Figure II.15: Les facteurs de la performance énergétique des bâtiments

(Source : Morillon et al., 2011)

- La conception d'un bâtiment intelligent équipé à la fois d'un système de détection et de contrôle notamment la fonction de présence, de mobilité, prévisions météorologiques.
- Laisser la possibilité de contrôle à l'utilisateur afin qu'il puisse réguler ses propres paramètres de confort, mais également la maîtrise des gammes de changement envisageables doit être en rapport avec les conditions extérieures.
- Les installations intégrées dans les bâtiments doivent être accompagnées par des systèmes d'auto-adaptabilité qui agit en fonction de la zone et de son utilisation, cette manière permet d'assurer le bon fonctionnement de bâtiment et elle est nécessaire en raison de la nature de tout être humain qui est exposé à l'oubli.
- Faire participer les usagers en les offrant des renseignements simples et concrets sur les exigences de travail, le confort et leur impact énergétique.
- Évaluer et maîtriser le confort ressenti dans sa totalité (qualité de l'air thermique, olfactive et visuelle, acoustique...) (Morillon et al., 2011).

II.2.4. Les solutions passives et actives pour améliorer la performance énergétique des bâtiments :

En effet selon plusieurs chercheuses telles que Joussellin et al. (2008) ; Benoujafer et al. (2018), confirme que la réduction de la consommation énergétique des bâtiments, se fait selon deux méthodes, l'une passive et l'autre active, la première solution passive, vise à maîtriser les paramètres suivants :

- ✓ L'enveloppe de bâtiments et les déperditions thermiques.
- ✓ La forme compacte et l'orientation de bâtiment.
- ✓ Les matériaux de construction utilisés et leur inertie thermique.
- ✓ L'isolation de bâtiment par l'extérieur.
- ✓ Assurer la ventilation naturelle à l'intérieur de bâtiment .
- ✓ Le type de vitrage utilisé et ça performance (double triple avec gaz).

Dans le cas où les solutions passives intégrées sont pas suffisantes les concepteurs recourent aux solutions actives qui consistent à l'utilisation des installations et des systèmes efficaces disposent d'un système de régulation et de contrôle accessible pour les utilisateurs afin d'avoir de confort à l'intérieur de bâtiment.

II.2.5. La performance énergétique des bâtiments tertiaires cas d'hôtels en Algérie :

Selon l'APRE, la consommation énergétique de secteur tertiaire atteint 4M de tep/pcs en 2017, où la consommation finale de ce secteur a progressé d'un moyen de 6.6%/ans, entre 2007 et 2017. Pendant une période de 10 années, nous avons constaté une augmentation considérable dans la quantité d'énergie consommée par ce secteur, ses statistiques indiquent non seulement l'utilisation excessive des méthodes de régulations actives pour augmenter le niveau de confort, mais aussi elles indiquent que ces bâtiments disposent d'une faible performance sur le plan énergétique ; à cause des constructions standards, avec une négligence totale de la spécificité de contexte climatique algérien, et l'utilisation aléatoire des différents matériaux de construction, ainsi que l'absence d'isolation et des protections solaires, et cette état c'est le cas de la plupart des hôtels algériens ,en effet les espaces hôtelières, demande des conditions de confort thermique assez élevé ; afin d'assurer la satisfaction de ses usagers ; et comme la plus part des hôtels sont mal adaptés au contexte avec un choix des matériaux standards et les installations des équipements de chauffage et de climatisation, on peut remplacer les solution passive en relation avec le bâtiments que l'architecte doit les prendre en considération dès la phase d'esquisse , à ce titre là les

bâtiments tertiaires, notamment les hôtels en Algérie disposent d'une faible performance énergétique.

II.2.6. Les méthodes d'évaluation d'efficacité énergétique des bâtiments :

Il existe plusieurs méthodes d'évaluations de la performance énergétique de bâtiment qui facilite aux concepteurs non seulement le choix des différents éléments conceptuels mais aussi elles permettent de déterminer l'impact de ces éléments sur la consommation énergétique future de bâtiment, à ce titre là Benoudjafer et al. (2018) ; Velazquez-Romo, (2015) proposent deux méthode d'évaluation possible :

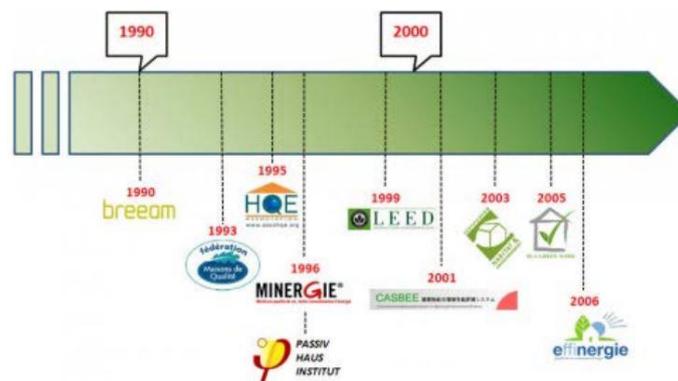


Figure II.16: Chronologie de la création de quelques labels (Source : Benoudjafer, 2018)

- Les certifications environnementales sont aujourd'hui les moyens les plus répandus pour améliorer la performance énergétique et la qualité environnementale des constructions en revanche le BREEAM, HQE, le MINERGIE, le EFFNERGIE etc...



Figure II.17: la simulation thermique dynamique par l'utilisation de logiciel archizard

(Source : www.operaalger.com)

- Les outils numériques tels que les logiciels de simulation

Conclusion :

Les notions de confort notamment le confort thermique de l'être humain est déterminé par l'harmonie établie entre l'utilisateur de l'espace, le bâtiment, ainsi que son environnement, d'après cela plusieurs paramètres peuvent influencer sur le bien être des usagers notamment des paramètres en relation avec l'individu au avec son environnements. En effet, la quantité d'énergie consommée par le bâtiment, et déterminée par la qualité des ambiances thermiques intérieures, suivant l'analyse des données énergétiques mondiale, et au niveau de notre pays, nous constatons une utilisation excessive des énergies fossiles, et qui a eu une influence négative sur l'environnement ; pour cela la prise de conscience sur le danger qui entoure notre planète, devient une nécessité, dans le but de rationaliser ces consommations, grâce à la maîtrise des différentes solutions passives liées, qui permettent d'assurer des ambiances thermiques confortables, sans avoir recours à des solutions actives telles que ; le chauffage et la climatisation.

DEUXIÈME PARTIE : PRATIQUE

CHAPITRE III :

Étude empirique du confort thermique et de l'efficacité énergétique des hôtels à Bejaia

Ce troisième chapitre présente dans sa première partie une description générale du contexte climatique de la ville de Bejaia ainsi que le cas d'étude (hôtel royal), et à la fin de cette partie nous aborderons le protocole de prise de mesures et l'instrument utilisé, puis la deuxième partie comprend les deux études réalisées sur le bâtiment ; l'étude quantitative par la prise de mesures in situ ; afin de comprendre le comportement thermique de ce bâtiment en hiver, puis l'étude qualitative par l'élaboration d'un questionnaire pour les clients et un interview avec les gestionnaires afin d'évaluer la qualité et la satisfaction des utilisateurs, ainsi que celle ayant des informations sur la consommation énergétique du bâtiment, la dernière étape comprend la présentation des résultats et leurs interprétations selon les types de matériaux de construction utilisés et leurs caractéristiques thermiques afin de comprendre l'impact de ces matériaux sur le comportement thermique intérieur du bâtiment et la satisfaction des utilisateurs.

« Il est plus simple d'évaluer le manque de confort que le confort »

W. Rybczynski

CHAPITRE III : étude empirique du confort thermique et de l'efficacité énergétique des hôtels à Bejaia

Introduction :

L'étude empirique détaillée, dans des conditions naturelles considérée comme la clé d'une bonne compréhension de fonctionnement thermique de bâtiment. Et ça sous l'influence de tous les paramètres, qui peut être liés au contexte climatique ou à la composition de bâtiment lui-même, et parmi ces paramètres qui jouent un rôle très important dans la détermination de la performance thermique et énergétique des bâtiments, en revanche la composition des façades, les différents matériaux de construction utilisés et leurs caractéristiques thermiques; que ce soit celles utilisés pour la surface opaque au bien pour la surface vitrée. A ce titre là et afin de mieux comprendre l'impact des différentes composantes utilisées sur le comportement thermique des bâtiments, nous avons basé sur l'étude empirique ; à travers des mesures in situ a l'aide d'un thermomètre, pour mesurer la température ambiante intérieure afin d'évaluer et d'étudier les résultats obtenus dans le but de définir et préciser les différents problèmes, qui nous permet de proposer des solutions adéquates par la suite, cette opération est effectuée dans un hôtel existant situé dans la ville de Bejaia.

III.1. Présentation de contexte climatique de la ville de Bejaia :

L'Algérie s'étale sur une grande superficie enivrent 2 381 741 km², ce qui a lui permet d'avoir une variation climatique divers entre les différentes régions de l'est à l'Oust et de nord au sud, le contexte climatique algérien se devise principalement en 5 zones climatique illustrées dans la figure suivante :

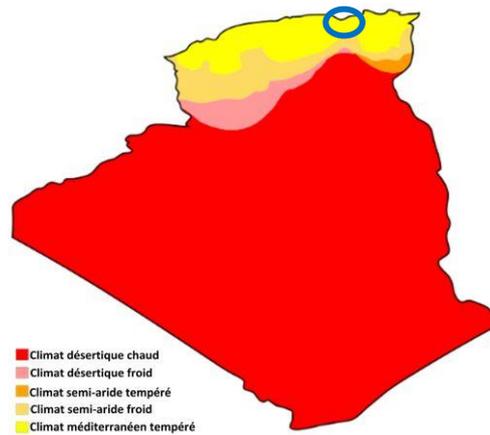


Figure III.1: Carte des climats de l'Algérie selon la classification de Koppen

(Source : Bersi, 2019)

La ville de Bejaia est située au nord-est de l'Algérie à une Latitude Nord $36^{\circ}45'24''$ et une longitude Est $05^{\circ}05'50'$. Elle bénéficie du climat méditerranéen tempéré, caractérisé par un hiver froid et humide et un été chaud, avec une température moyenne annuelle de 16.9°C . Le mois le plus chaud de l'année est août, avec une température moyenne maximale plus de 30°C et minimale de 20°C , et le mois le plus froid de l'année est janvier, avec une température moyenne maximale de 30°C et minimale de 20°C .

III.2. Un constat général sur les hôtels à Bejaia :

La conception des bâtiments tertiaires notamment les hôtels présente un enjeu conceptuel majeur au niveau de la wilaya de Bejaia ; une composition basique des parois avec un choix aléatoire des matériaux de construction et les différents éléments de la façade, l'absence presque totale d'isolation thermique face à une composition simple composée de brique et de béton, dans la plupart de ces bâtiments. Et vu le caractère touristique qu'elle dispose notre wilaya, la demande de ces espaces d'hôtellerie augmente d'une année à une autre, et face à les conditions économiques imposées nous avons comme résultat de produire des conceptions rapides, ordinaires et standards totalement indifférentes au contexte climatique de la ville et la spécificité de la région de Bejaia , qui traite le côté quantitatif et esthétique de bâtiment avec une ignorance totale de la qualité de l'espace produit, tous ces phénomènes influencés négativement la performance thermique et énergétique de ces bâtiments, ainsi que la satisfaction des usagers, et leurs comportements ; qui est traduit par l'utilisation non contrôlée des installations techniques des équipements de chauffage et la climatisation.

Les figures suivantes illustrent les différentes typologies existantes des hôtels à Bejaia avec leur composition :



Figure III.2: Typologie des façades des hôtels existants à Bejaia

(Source : auteur, 2022)

B1 : hôtel Cristal

B2 : hôtel Royal

B3 : hôtel Zyfère

B4 : hôtel Syphax

B5 : hôtel Raya

B6 : hôtel Zyfère la partie de la façade ventilée

D'après nos observations nous avons constaté que la plupart des hôtels à Bejaia se caractérise par :

- Des installations excessives des équipements de climatisation causées par l'absence des études de contexte climatique et sa spécificité.

- Un choix non étudié des matériaux de construction et leurs caractéristiques thermiques non adaptées.
- L'utilisation aléatoire des différents éléments et dispositifs de la façade et une ignorance totale de contexte immédiat.
- L'utilisation excessive des murs rideaux, l'absence des protections solaire et une ignorance de l'orientation de bâtiment ainsi que les besoins de chaque espace selon sa fonction.

III.3. Étude quantitative sur les hôtels à Bejaia :

L'étude quantitative est effectuée sur l'hôtel « royal » qui situé à la ville de Bejaia, la sélection de bâtiment est faite après un choix bien étudié des différents hôtels existants, l'étude a été effectuée à travers des prise des mesures in situ de température ambiante intérieure et la température extérieure.

III.3.1. Présentation de cas d'étude

L'hôtel royal se situe au centre de la ville de Bejaia à proximité de la route qui mène à l'université.



Figure III.3: Le cas d'étude étudié (Source : auteur, 2022)

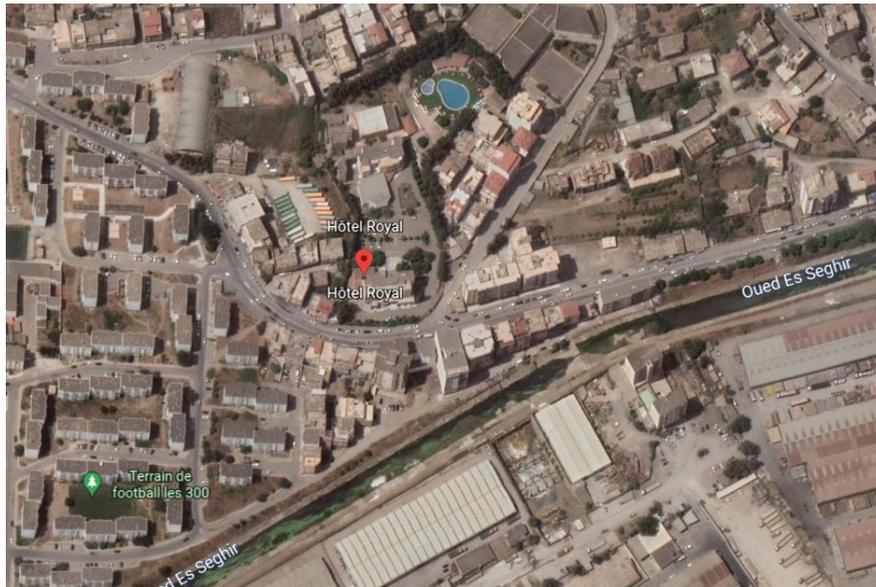


Figure III.4: plan de situations de cas d'étude (source

Le choix de l'hôtel est fait après une réflexion et une analyse de faisabilité effectuée sur les différents hôtels existant au niveau de la wilaya de Bejaia, en prenant en compte les critères de choix suivants :

- La possibilité d'accéder à l'hôtel pendant la période de mesure (24h)
- Avoir l'accord de prendre des mesures dans des conditions naturelles sans chauffage et sans climatisation.
- La possibilité de consulter les dossiers graphiques de bâtiment et d'avoir les informations nécessaires (plans, coupes, façades ...).

La figure suivante présente la composition interne de la façade de cas d'étude :

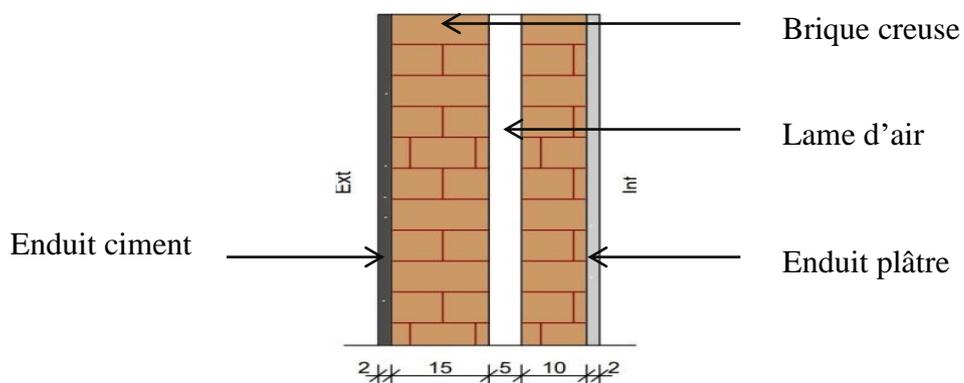


Figure III.5: Coupe schématique présente la composition interne de la façade de cas d'étude

(Source : auteur, 2021)

La composition des façades de ce bâtiment est une composition simple, de brique et de béton sans isolation thermique concernant la surface opaque, et l'utilisation d'un simple vitrage pour la surface vitrée.

Tableau III.1: les matériaux de construction qui compose la façade et leurs caractéristiques physique (source : DTR¹, 1997)

Les matériaux de construction	Epaisseur (cm)	Conductivité (w/m.k)	La masse volumique Kg/m ³	La chaleur spécifique Kj/kg.k
Enduit ciment	02	1.4	2200	1080
Brique creuse	15	0.48	900	1080
Lame d'air de 5cm	05	0.047	1	1000
Brique creuse	10	0.48	900	1080
Enduit plâtre	02	0.35	1150	936

L'objectif de cette étude c'est de montrer et d'étudier l'impact des matériaux de construction de cette composition sur le fonctionnement thermique de bâtiment, vu qu'elle est considérée comme la composition la plus utilisée dans les conceptions des bâtiments à Bejaia.

III.3.2. Protocole de prise de mesure

Afin de déterminer les journées idéales pour les prises des mesures dans la période hivernale, notre choix est fondé principalement sur les données métrologiques de la ville ainsi que les multiples conditions imposées par le bâtiment, la sélection de ces journées est basée sur les méthodes suivantes :

- Le choix de mois le plus froid.

À l'aide des données métrologiques de la ville de Bejaia et à travers l'exploitation des différents graphes qui nous avons obtenus par l'utilisation de site « Métronome » pendant la période (2009-2019) nous avons atteint les résultats suivants :

¹ DTR : document technique réglementaire algérien (ministre de l'habitat)

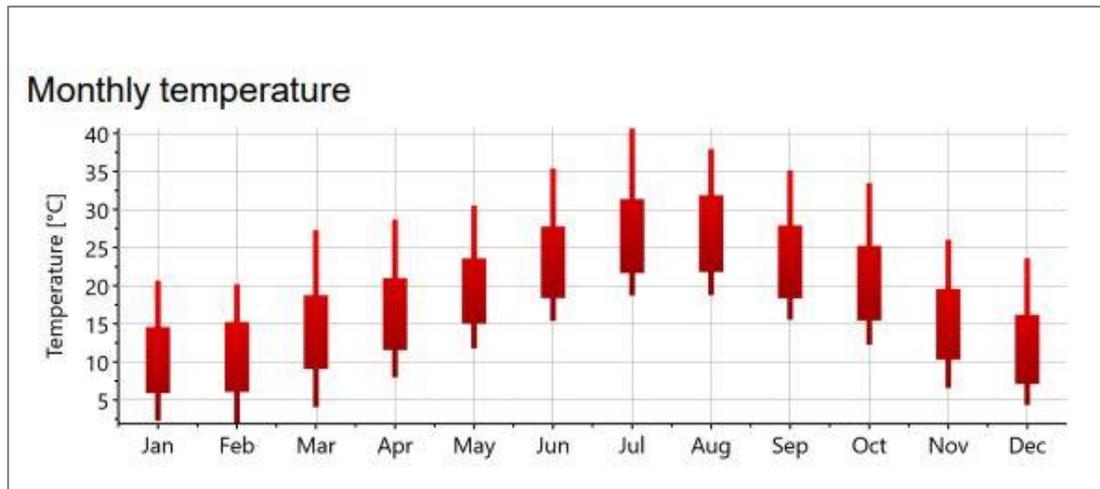


Figure III.6: les températures mensuelles de la ville de Bejaia de la période 2009-2019

(Source : Métronome)

Le mois représentatif durant la période hivernale pour effectuer les prises des mesures est :

- Le mois le plus froid de l'année à Bejaïa est janvier, avec une température moyenne minimale de 8 °C et maximale de 16 °C.
- Le choix de la semaine et la journée représentative (design week et design Day)

Après le choix de mois le plus froid pendant toute l'année, nous avons sélectionné la semaine représentative la plus froide de ce mois, à l'aide des données météorologiques de la ville Bejaia, à travers l'exploitation des résultats de consultation de la météo et les différentes conditions imposées telle que :

- Les prises de mesures qui vont être effectuées dans des conditions naturelles sans chauffage pendant la période.
- L'influence de la typologie sensible de notre équipement et la grande importance donnée pour la satisfaction des clients (l'absence de chauffage)
- Ainsi que la possibilité d'accéder à l'hôtel et disponibilité d'une chambre qui remplit les différents critères nécessaires pour les prise de mesures pendant 24h.

A la base de ces paramètres nous avons choisi les trois journées représentatives dans cette semaine , et vu le nombre des journées limitées par l'administration de l'hôtel, nous avons opté pour le choix d'une seule journée de mesure qui va être le 13/01/2022, durant la période hivernale.

III.3.3. Déroulements des prises des mesures

Les prises de mesures ont été effectuée selon plusieurs conditions à respecter ; premièrement le choix de la chambre adéquate pour les prises des mesures in situ, la chambre choisie se trouve dans le 4eme étage (étage intermédiaire) ; afin d'éviter l'influence de toiture et de sol par les gains de chaleur prévenants de ces derniers, cette chambre est orienté à l'ouest. Parmi aussi les conditions prises en compte, c'est d'assurer des conditions naturelles à l'intérieur de la chambre, nous avons demandé aux responsables d'hôtel pour éteindre le chauffage de la chambre 12 heures avant la journée de prise de mesure, pour éviter l'influence de la chaleur stocker dans les parois sur la température ambiante réelle.

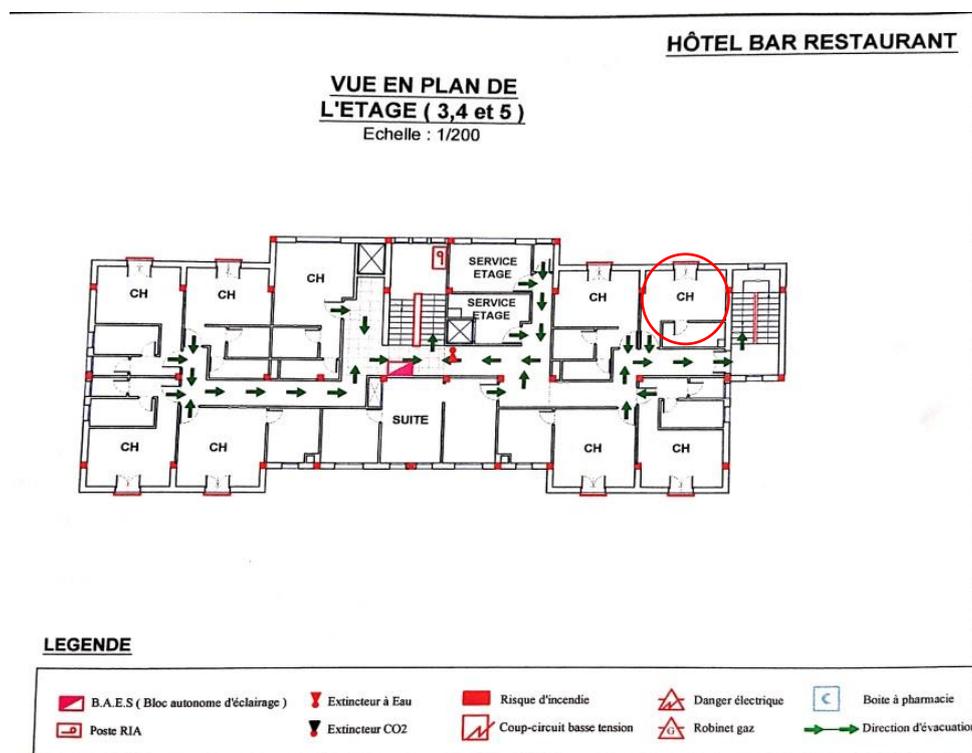


Figure III.7: l'emplacement de la chambre choisie (Source : auteur, 2021)

Le protocole de prise de mesure se définit par des mesures de température ambiante à l'intérieur de la chambre choisie pendant 24 heures, qui sont effectuées chaque une heure au centre de l'espace, à une hauteur de 1.2m. Et en parallèle nous avons pris des mesures de température extérieure chaque une heure pendant les 24 heures.

III.3.4. L'instrument de prise de mesure



Figure III.8: l'instrument utilisé pour les prises des mesures (Source : auteur, 2022)

L'instrument de prise des mesures utilisé est le thermomètre hygromètre manuel TA138A/B, il est destiné pour l'évaluation de la température ambiante d'un espace (voir annexe A).

III.4. L'étude qualitative

En vue de compléter les résultats de l'étude quantitative menée sur les hôtels de Bejaia (hôtel royal), une étude qualitative a été effectuée visant à évaluer la sensation thermique des utilisateurs et leurs degré de satisfaction vis-à-vis l'ambiance thermique perçu, de même que pour déterminer la performance énergétique de ces bâtiments, pour se faire, une enquête a été effectuée sur l'hôtel royal, suivant deux méthodes différentes, afin d'assurer une certaine crédibilité dans les résultats obtenus, la première a été élaborée par le biais d'un questionnaire destiné aux utilisateurs de l'hôtel, et qui cible surtout les clients fréquemment hébergés au sein de ce dernier, la deuxième méthode consiste à élaborer une interview avec les responsables administratifs de l'hôtel dans le but d'évaluer la performance énergétique du bâtiment.

III.4.1. Déroutements de l'enquête

Le questionnaire est distribué au niveau de la réception de l'hôtel royal, à titre administratif, pour une durée d'une semaine, ceci afin de faciliter le contact avec les clients, en effet nous avons déposé 25 questionnaires pour en récupérer 23 exemplaires valides, et deux autres dont les réponses sont incomplètes et qui seront annulés par la suite dans l'interprétation des résultats, la structure du questionnaire est structurée en deux parties (voir annexe B) comme suit :

- des informations générales concernant la personne interrogée (sexe, âge, emplacements des chambres occupées durant la visite, etc.)
- des questions relatives au confort thermique et au degré de satisfaction des utilisateurs en hiver et en été.

Les différentes questions posées sont formulées avec un langage simple et clair, et un choix de réponses allant de trois à cinq échelles, afin de donner à la personne interrogée plus de liberté à exprimer sa sensation thermique et de la mettre à l'aise.

En ce qui concerne l'enquête par interview, est menée avec le responsable de l'hôtel (voir annexe C) d'une manière directe sous forme de question réponse. les questions abordées sont orientées vers la durée de l'utilisation des installations de chauffage et de climatisation, ainsi que vers la quantité d'énergie consommée par ces dernières, en fonction des factures énergétiques de l'hôtel (voir annexe D), afin d'éviter toute subjectivité dans l'interview, celle-ci est structurée en trois périodes : en été, en hiver, et annuelle.

III.5. Interprétation des résultats de l'étude quantitative

Les résultats de l'étude quantitative de la période hivernale, menée à travers des mesures prises pendant la journée type choisie (voire annexe E), sont illustrés dans la figure ci-dessous :

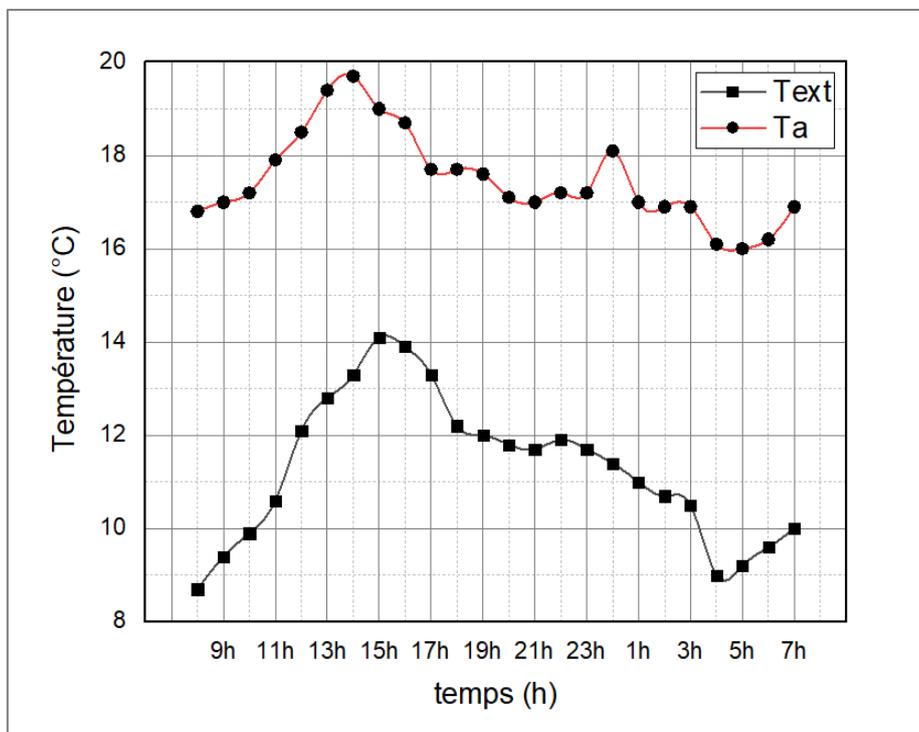


Figure III.9: Graphe de la température extérieure et la température ambiante mesurée au sein de cas d'étude (hôtel royale) (Source : auteur, 2022)

Le graphe montre une comparaison entre la température extérieure mesurée (en noir), et la température ambiante mesurée à l'intérieur de bâtiment (en rouge). Pour une comparaison fiable, nous avons résumé les résultats des températures maximales, et minimales, dans le tableau suivant :

Tableau III.2: résumée et comparaison entre les températures extérieures et la température ambiante intérieure (maximale et minimale) enregistrées pendant la journée et la nuit (source : auteur, 2022)

	Pendant la journée				Pendant la nuit			
	Heurs	Tmin °C	Heurs	Tmax °C	Heurs	Tmin °C	Heurs	Tmax °C
Text	8h	8.7	15h	14.1	4h	9	22h	11.9
Ta	8h	16.8	15h	19.7	5h	16	00h	18.1

Il est important de savoir que les mesures ne sont pas effectuées dans des conditions 100% naturelles à cause de l'influence du chauffage des chambres voisines (le chauffage est seulement éteint dans la chambre au nous avons effectué les mesures), lors de l'interprétation des résultats nous avons pris en considération l'influence des sources de chaleur internes ; dans notre cas c'est l'échange de chaleur par convection entre la chambre voisine plus chaude et la chambre choisie plus froide.

D'après le graphe et le tableau précédent, on remarque que la température extérieure et la température ambiante intérieure, mesurées pendant les 24 heures, varient suivant le même rythme avec un décalage de quelques degrés de température.

Pendant la journée :

En effet au cours de la journée, nous remarquons une augmentation dans la température extérieure enregistrée à partir de 8,7°C à 8h du matin pour atteindre sa valeur maximale qui est de 14,1°C à 15h après-midi, le même rythme de variation est enregistré à l'intérieur de la chambre, tout au long de la journée, avec une température ambiante minimale égale à 16,8°C à 8h du matin, et une valeur maximale équivalente à 19,7°C à 15h l'après-midi, cette température décroît au fil du temps. Si nous comparons les valeurs de la température ambiante à intérieure enregistrée, avec la plage de confort thermique, nous pouvons constater que ces valeurs sont maintenues tout au long de la journée en-dehors de la zone de confort thermique qui entre 20°C et 25°C dans les chambres d'hôtel.

Pendant la nuit :

Durant la nuit nous remarquons une baisse importante dans les valeurs de température, en ce qui concerne la température extérieure, nous avons une valeur maximale égale 11,9°C à

18h et une minimale de 9°C à 4h du matin. Par ailleurs on observe sur le graphe un même comportement pour la température ambiante qui continue aussi à diminuer pendant la nuit, en effet nous avons enregistré une température maximale égale à 18.1°C à minuit qui baisse pour atteindre sa valeur minimale qui est de 16°C à 5 h du matin. Après avoir comparé les valeurs de la température ambiante enregistrées tout au long de la nuit avec la plage de confort thermique, nous avons constaté que ces valeurs se trouvent toujours en dehors de la plage de confort thermique et sont plus loin que celle de la journée.

Pendant les 24h :

Conformément aux lectures précédentes, nous remarquons que la température ambiante à l'intérieur de la chambre tout au long des 24 heures de la journée type, un peu plus élevée que celle de l'extérieur, est qu'elle évolue au même rythme que celle-ci, avec un écart de quelques degrés (5°C à 8°C). Et les valeurs de température ambiante intérieure enregistrées, sont toujours perçues comme étant des températures inconfortables par l'être humain, et qui se trouvent en dehors de la plage de confort thermique. En effet, ceci est dû à plusieurs raisons relatives au mode constructif de bâtiment, inadapté au contexte climatique de la ville de Bejaia, et qui joue un rôle prépondérant dans la détermination qualitative et quantitative des ambiances thermiques intérieures.

Ces températures non confortables, sont essentiellement dû au mode constructif du bâtiment, qui est mal réalisé et mal choisi. Que ce soit par apport à la surface opaque, ou à la surface vitrée. Ce comportement thermique est donc expliqué par la composition ordinaire, des murs extérieurs de la façade, a une épaisseur de 30 cm, qui se compose de deux couches de briques creuses, celle de 15 cm du côté extérieur, et celle du côté intérieur est de 10 cm et une lame d'air de 5 cm . En effet, cette composition possède une faible inertie thermique, ce qui empêche le stockage de la chaleur (faible capacité de stockage) provenant des rayonnements solaires, ainsi que sa restitution après un certain temps (temps de déphasage faible pendant la nuit) ; ceci permet d'expliquer les températures inconfortables enregistrées durant la journée et la diminution importante des températures pendant la nuit, ce phénomène peut être causé par :

- le dimensionnement des murs extérieurs (épaisseur), ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés notamment la conductivité thermique, ou on considère qu'un matériau est un bon isolant lorsque sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/m.k, et que dans notre cas et selon le tableau (III.3) la brique creuse dispose d'une

conductivité thermique équivalente à 0,48 W/m.k soit une valeur supérieure à la valeur de référence (0,065 W/m.k.).

D'autre facteur intervenant dans ce comportement thermique entre autre :

- Une absence d'isolation thermique qui renforce les déperditions thermiques surfaciques ainsi que celles dues aux ponts thermiques, linéaires ou ponctuels entre les murs ou encore entre les murs et le lieu d'implantation des fenêtres.

III.6. Interprétation de résultat de l'étude qualitative :

III.6.1. Les résultats de questionnaire

Les résultats de questionnaire sont illustrés dans les figures suivantes sous forme des graphes indiquent le pourcentage des différentes réponses possible pour chaque question.

Le sexe et l'âge sont des factures très importantes qui peuvent influencer la sensation thermique de l'être humain, la figure ci-dessous présente le pourcentage des personnes interrogées selon leurs sexes et leurs âges.

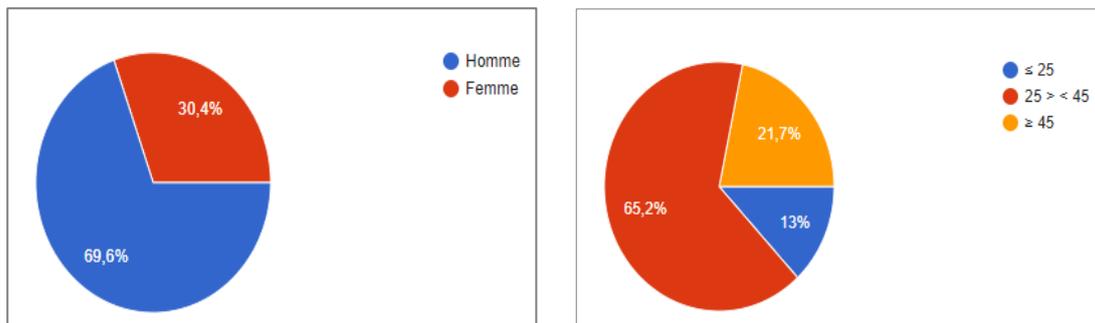


Figure III.10: histogramme illustre le pourcentage des interviewés selon leurs sexe et leurs catégorie d'âge (Source : auteure, 2022)

D'après les histogrammes précédents nous avons

- un nombre des hommes plus élevé avec un pourcentage de 69.6% et 30.4% pour les femmes.
- la plupart des personnes interrogées appartiennent à la catégorie d'âge entre 25 et 45 ans, avec un pourcentage de 65,2 %, par la suite 21,7% de ces personnes représentent la catégorie d'âge supérieure à 45 ans, et au final un pourcentage minime de 13% représente une catégorie d'âge inférieure à 25 ans.

La (figure 11) illustre la moyenne des visites effectuées par les personnes interrogées à l'hôtel royal.

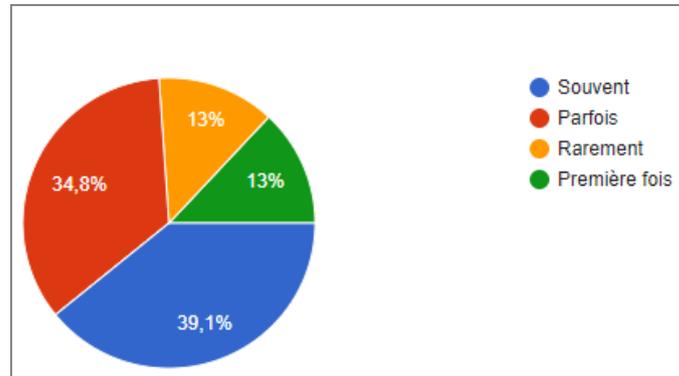


Figure III.11: histogramme présente la moyenne de nombre des visites effectuées par les personnes interrogées (source : auteur, 2022)

Conformément aux résultats de l'histogramme précédemment présenté, nous constatons que la majorité des personnes interrogées sont souvent hébergées au sein de l'hôtel royal avec un pourcentage de 39,1%, puis nous avons les personnes qui font des visites de temps en temps et qui présentent un pourcentage assez élevé égal à 34,8%, à la fin un pourcentage de 13% représente les personnes qui sont rarement hébergées dans l'hôtel pour la première fois.

D'après ces résultats on peut dire que la plupart des personnes interrogées sont effectuée plusieurs visites à l'hôtel, et qui est considérée comme un avantage afin d'assurer des résultats faibles et réelles été comme hiver.

Les résultats relatifs aux conditions thermiques des chambres (avec ou sans chauffage ou climatisation) dans lesquelles ces personnes sont hébergées, figurent dans l'histogramme ci-dessous :

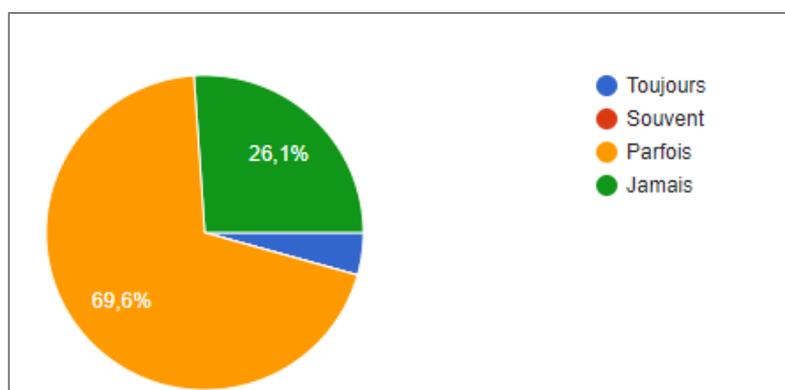


Figure III.12: histogramme des résultats des différentes conditions thermiques (source : auteur, 2022)

D'après la (figure 12) on remarque que la casée totalité des personnes sont parfois hébergée dans des conditions naturelles sans chauffage et sans climatisation avec un pourcentage de 69.6% de la totalité des personnes interrogées, et un pourcentage de 25% présente les personnes affirment qu'ils ne sont jamais hébergés dans des conditions naturelles, une valeur très minime de 4.3% sont toujours occupés des chambres sans allumer le chauffage ou le climatiseur.

De manière générale, nous constatons que la plupart des personnes questionnées sont parfois hébergées dans des ambiances naturelles qui peuvent se manifester à certains moments de la journée, par ailleurs, une partie relativement importante n'est jamais hébergée sans chauffage et sans climatisation, ce qui affirme que les températures intérieures sont souvent en dehors de la fourchette de confort thermique.

Les (figures 13,14 et 15) présentent les résultats de questionnaire relatifs aux catégories des personnes qui sont déjà hébergée dans des conditions naturelles.

Le graphe représenté par la (figure13) indique les périodes de la journée dans lesquelles les enquêtés ont occupé leur chambre sans utiliser le chauffage en hiver ou le climatiseur en été.

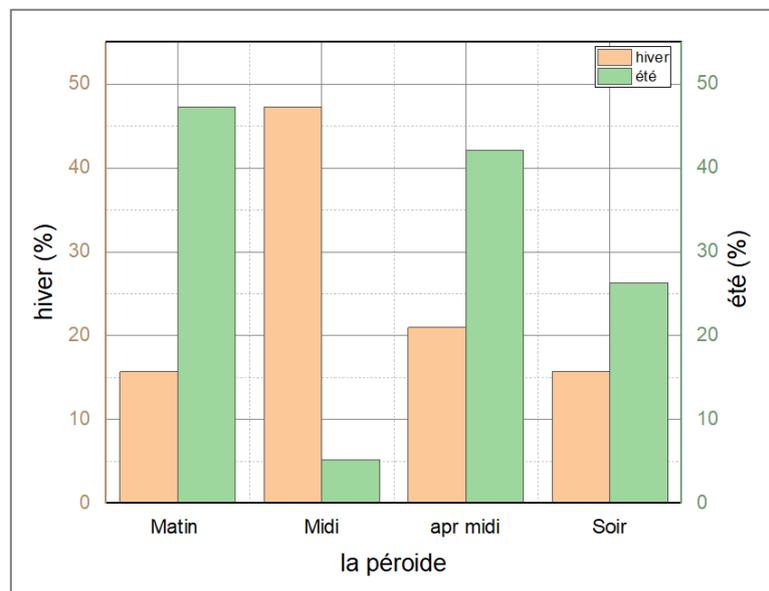


Figure III.13: les périodes de la journée dans lesquelles les enquêtés ont occupé leur chambre dans des conditions naturelles (source auteur, 2022)

D'après le graphe on remarque une certaine contradiction dans les périodes par apport à l'hiver et en été.

Pendant la période hivernale la plupart des usagers restants dans des conditions naturelles à midi avec un pourcentage de 47%, et 21% durant l'après-midi, et uniquement une petite partie de ces personnes occupants leurs chambres sans allumer le chauffage avec un pourcentage égale à 15%.

Durant la période estivale on remarque que la plupart de personnes restantes dans des conditions naturelles la matinée avec un pourcentage de 47%, et l'après-midi avec 42% de la totalité, 26% de ces personnes n'utilisant pas le climatiseur durant la nuit, et uniquement 5% restant sans climatiseur à midi.

D'après ces résultats, on constate que les usagers de l'hôtel, restants dans des conditions naturelles uniquement dans certains moments de la journée ; selon la saison, et que la plupart entre eux, utilisent les équipements de chauffage et de climatisation d'une manière continue.

Le graphe suivant représente la sensation thermique des usages dans des conditions naturelles durant les deux périodes (hiver, été)

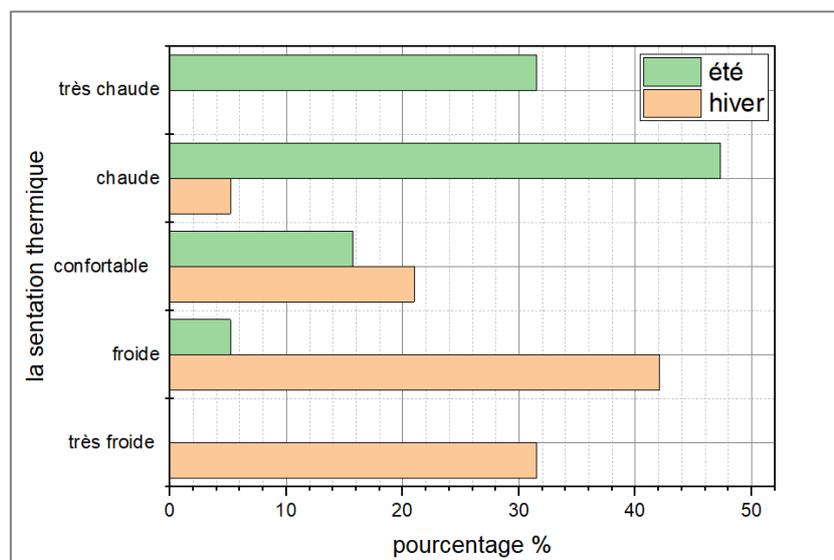


Figure III.14: les sensations thermiques des personnes interrogées dans les conditions naturelles durant les deux périodes hivernal et estival (source : auteur, 2022)

En hiver nous avons 42,1% des interviewés ressentent une sensation de froid, puis un tiers ont une sensation très froide équivalents de 33.5%, et uniquement 5.2% de ces personnes qui ont une sensation de confort thermique.

En été nous avons un pourcentage important égal à 47.3% représente les personnes qui ont une sensation de chaude, et 31.5% l'équivalent d'un tiers ont une sensation très chaude, avec 15% de ces personnes qui ont une sensation de confort.

D'après les résultats obtenus on constate que la sensation vis-à-vis l'ambiance thermique à l'intérieur de l'hôtel, est répartie entre froide puis très froide en hiver, ce qui explique par l'utilisation des matériaux a une faible caractéristique thermique, qui empêche le stockage de chaleurs pendant la journée, ainsi que sa restitution la nuit. Et entre chaude puis très chaude en été causé par l'absence de renouvellements d'air a l'intérieur ainsi que la faible résistance thermique des matériaux utilisés.

La satisfaction thermique (dans des conditions naturelle) :

La figure suivante représente le taux de la satisfaction thermique des personnes interrogées

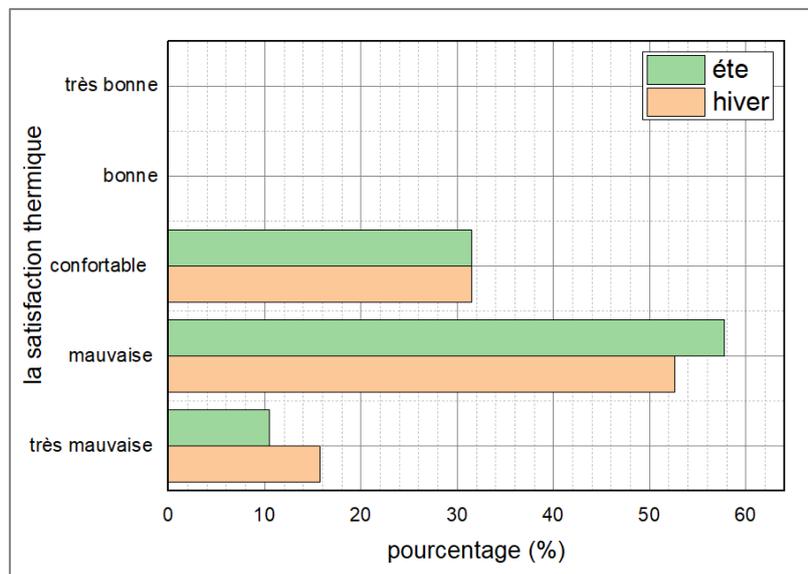


Figure III.15 : graphe illustre la satisfaction thermique des personnes interrogées dans des conditions naturelles (source : auteur, 2022)

D'après le graphe précédant durant la période hivernale, la moitié (55.5%) des interviewés ont une mauvaise satisfaction, et uniquement un tiers qui sont satisfaits avec un pourcentage de 31.5% et 5% présente une satisfaction très mauvaise, pendant l'été nous avons enregistré le même degré de satisfaction dans les conditions naturelles.

Les résultats de figures 13, 14, et 15 affirment que les ambiances thermiques intérieures changent rapidement en fonction des ambiances extérieures (une faible résistance thermique), et que la température ambiante à l'intérieur des chambres est toujours en d'hors de la plage de confort thermique dans les conditions naturelles, ce qui influence négativement sur la satisfaction des usagers et leurs gestes de régulation qui sont illustrés dans la figure ci-dessous :

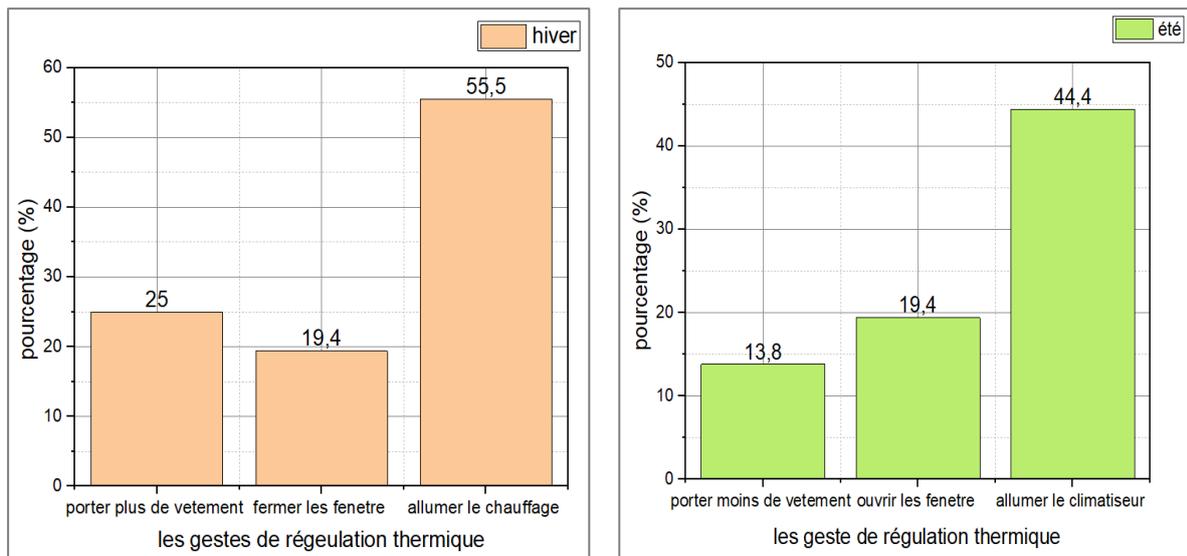


Figure III.16: les différentes gestes de régulation des personnes interrogées

(Source : auteur, 2022)

Durant les deux périodes hiver comme été, la casée totalité des personnes interrogées font recours aux équipements de chauffages et de climatisations, afin de réguler la température ambiante dans le cas de sensation d'inconfort, avec un pourcentage de 55.5% en hiver et 44.4% en été, puis nous avant un faible pourcentage concernent le recours au moyens de régulations naturelles (vêtements et fenêtre) avec 19.4 % pour l'exploitation des fenêtres en hiver et en été , et 25% qui utilisent plus de vêtements en hiver et uniquement 13.8% qui font recours à ce dernier en été comme moyenne de régulation.

Globalement on constate que les équipements de chauffage et de climatisation sont les moyens de régulation les plus utilisée pars les usagers de l'hôtel, qui est causée par l'insuffisance des moyens de régulation naturelle et forte utilisation de ces équipements confirme l'existence d'inconfort thermique au sein de ces espaces.

Les figures 17 et 18 représentent la période de recours aux solutions de régulation thermique et le taux de la satisfaction des usagers après avoir fait recours à cette solution :

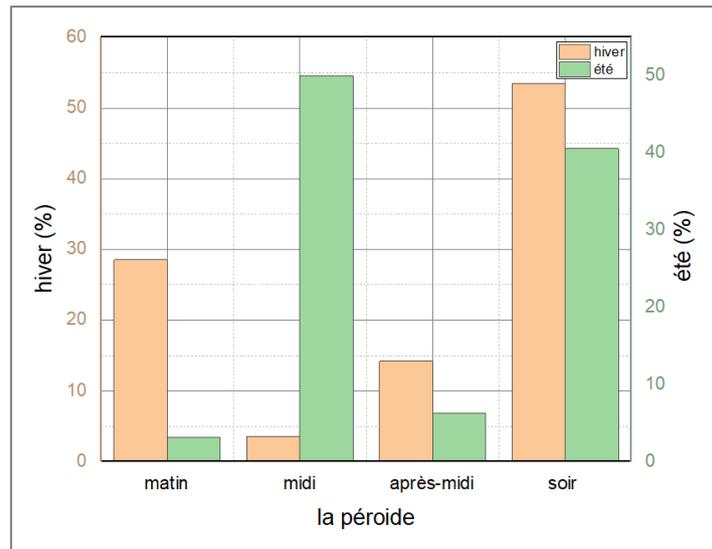


Figure III.17: graphe représente la période de recours aux solutions de régulations thermique (Source : auteur, 2022)

D'après les résultats obtenus dans les graphes de la (figures 16) on constate que les équipements de chauffage et de climatisation, sont les plus utilisés par les usagers. la figure précédente indique les périodes de recours aux différentes solutions de régulations, en hiver et en été, où la casé totalité des usagers font recours à ces solutions le soir, avec un pourcentage de 53.5% et la matinée avec 28.5% en hiver, avec 3.5% dans l'après-midi pour la même période. Ce comportement est causé par la diminution des températures, qui dû à l'absence des rayonnements solaires, et la faible capacité de stockage de la chaleur par apport au bâtiment en été, à midi et le soir sont les périodes dans lesquelles ces solutions sont plus utilisées avec un pourcentage de 50% à midi, et 40.6 % le soir, et un pourcentage très minime pour le matin et l'après midi, dans lesquelles les températures extérieures sont un peu proches à la plage de confort thermique.

La figure suivante représente la satisfaction des usagers lors de l'utilisation de ces solutions

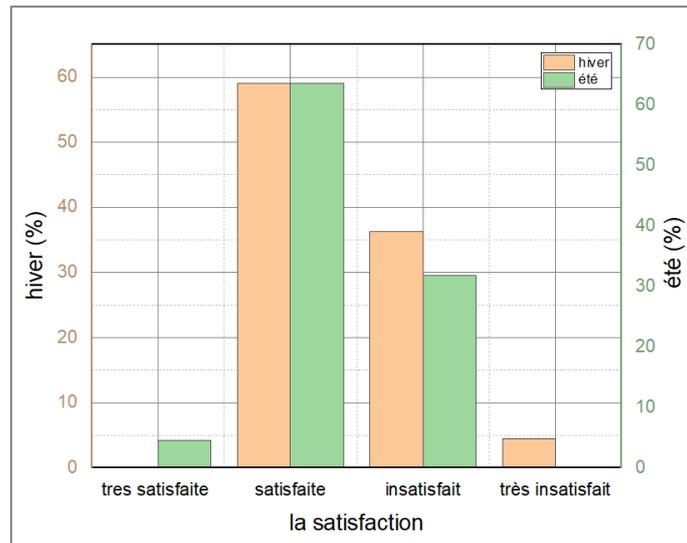


Figure III.18: la satisfaction des usagers durant le recours aux solutions de régulation thermique (Source : auteur, 2022)

En remarque qu'une grande partie des personnes interrogées sont satisfaits lors de recours à ces solutions (le chauffage et la climatisation sont les plus utilisées d'après la figures 16) avec un pourcentage de satisfaction égale à 59% en hiver et 63.6% en été, et que cette solution n'est pas suffisante pour tous les usages afin d'assurer le confort thermique avec un pourcentage de 36.3 en hiver et 31.8% en été.

D'après ces résultats et malgré que les équipements de chauffage et de climatisation contribuent dans l'amélioration des conditions thermiques à l'intérieur des bâtiments pour la casé totalité des usagers, mais elle reste une solution néfaste non seulement sur l'environnement mais aussi sur la santé de l'être humain.

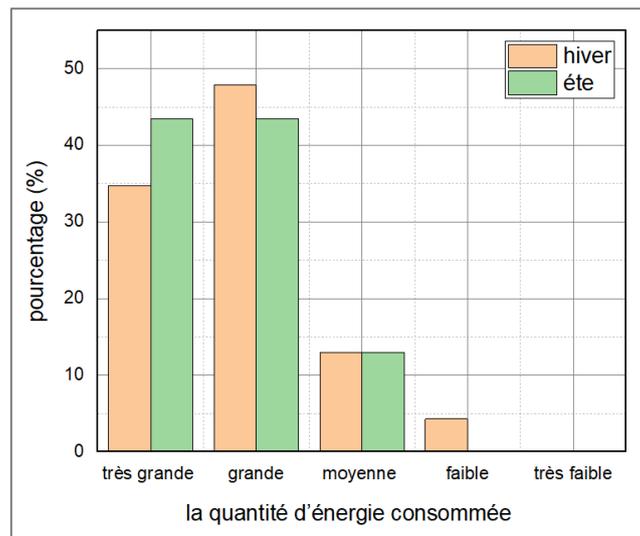


Figure III.19: la quantité d'énergie consommée par les équipements de chauffage et de climatisation

La plupart des personnes interrogées (47.8%), considèrent que la consommation énergétique due au chauffage en hiver est grande, et 34.7% la considère comme étant une quantité très grande, et uniquement 13% qui la considère comme une faible quantité, les mêmes résultats sont enregistrés par apport à l'été.

Les résultats obtenus dans le graphe précédent affirment que la consommation énergétique du au chauffage et ou climatisation est très grande, à cause des ambiances inconfortables à l'intérieur, ce qui pose les usagers de l'espace à recourir aux solutions de régulation thermique énergivores afin de garantir leurs satisfactions thermiques.

III.6.2. L'interprétation des résultats de l'interview

Afin d'évaluer la performance énergétique de cas d'étude (hôtel royal), nous avons opté pour faire une interview avec le responsable de l'hôtel, toute en appuyant sur les données des facteurs énergétiques (voir l'annexe...) de l'hôtel. Les questions posées lors de l'interview sont divisées en trois périodes été, hiver et une dernière pour l'évaluation annuelle.

D'après le responsable administratif de l'hôtel le chauffage est utilisé à partir de mois de d'octobre jusqu'à au mois de février, dans lesquelles l'utilisation de chauffage atteint sa valeur maximale en mois de janvier, avec une durée moyenne d'utilisation de 4h pendant la journée et 8h pendant la nuit, ce qui a causé une grande consommation d'énergie selon le responsable et un cout très élevé (voir annexe...)

En été la climatisation est utilisé à partir de mois de juin jusqu'à au mois de septembre, dans lesquelles le climatiseur est plus utilisé en mois d'aout, avec une durée moyenne de 6h durant la journée et 8h le soir, où la quantité d'énergétique consommé en été d'après le responsable est très grande.

D'après toutes ces données on constate que les équipements de chauffage et de climatisation sont utilisés d'une manière excessive et plus particulièrement le soir d'une manière très excessive, ils sont utilisés même en d'hors de la période d'hiver ou d'été, et par conséquence ça a influencé sur la consommation énergétique de l'hôtel et sa performance, en effet ce comportement est le résultat de systèmes constructif inadaptée au contexte climatique de la ville de Bejaia

Conclusion

En effet l'étude des bâtiments existants permettre non seulement de comprendre et de maitriser le comportement thermique des bâtiments, mais aussi d'étudier ce dernier dans sa globalité, avec l'inclusion de tous les composants notamment, le cotexte climatique du bâtiment. Dans l'objectif d'apercevoir les phénomènes physiques influent sur le fonctionnement thermique de l'espace de proposer des solutions adéquates des problèmes détectés.

Les deux types de l'étude empirique quantitative et qualitative réalisées, permettent de donner une idée globale sur l'impact des matériaux de construction utilisés, sur le comportement thermique du bâtiment, ainsi que la satisfaction des usagers. Les résultats obtenus après les deux études effectuer affirme l'existence d'inconfort thermique à l'intérieur de l'hôtel étudié (hôtel royal), surtout pendant le soir, où les matériaux de construction utilisés disposent des faibles caractéristiques thermiques, avec un faible temps de déphasage. Ces conditions thermiques intérieures engendrent des sensations et des satisfactions thermiques insuffisantes, pour les usagers, ce qui influence sur leurs gestes de régulations thermiques, et effectivement l'augmentation de la consommation des énergies dû à l'utilisation excessive de chauffage en hiver et de climatisation en été.

**CHAPITRE IV : Etude et optimisation numérique des matériaux
de construction de la façade**

CHAPITRE IV : Etude et optimisation numérique des matériaux de construction de la façade

Introduction

Afin de mieux comprendre les différents problèmes relatifs au confort de l'être humain dans le bâtiment, la simulation numérique présente un moyen indispensable largement utilisée par les chercheurs pour étudier et optimiser le comportement, et l'impact des différents composants de bâtiment, sur les ambiances thermiques intérieures, et leurs consommations énergétiques.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier et optimiser, l'impact de choix des matériaux de construction de la façade (surface opaque et la surface vitrée), et leurs caractéristiques thermiques et physiques, sur la performance thermique énergétique d'un hôtel dans la ville de Bejaia. Cette étude sera effectuée a travers une série de simulations de plusieurs scénarios proposée pour la composition de la surface opaque et vitrée de la façade, qui sera validée auparavant par un modèle de refinance de cas d'étude, sous forme virtuelle. Tout ça sera réaliser a travers l'utilisation d'un logicielle de simulation numérique dynamique « archiwizard » pour arriver à la fin à sélectionner le modèle optimisée le plus adaptée.

IV.1. Présentation de logicielle de modélisation :

La modélisation géométrique de modèle de référence de cas d'étude est élaborée par l'utilisation de logiciel archicad version 16, qui est développée par la société Graphisoft.

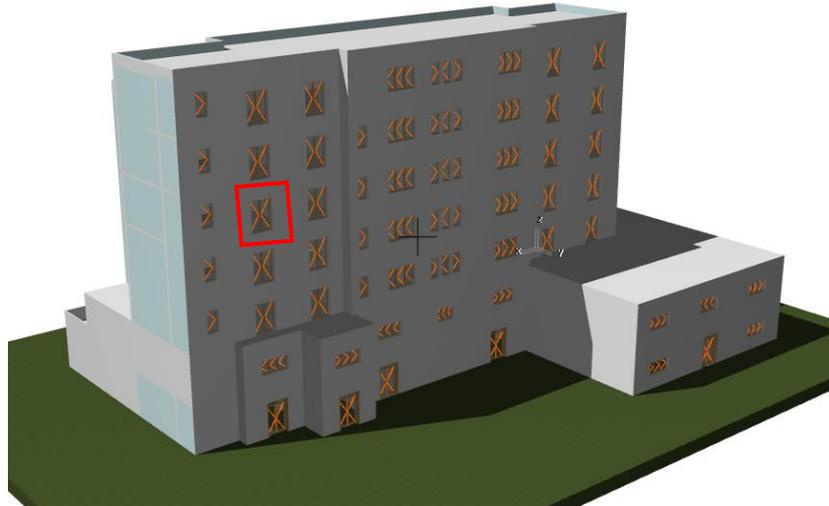


Figure IV.1: les volumétries de modèle de référence

(Source : auteur, 2022)

Après la modalisation nous enregistré le fichier sous format Skp afin de l’exporter vers le logiciel de simulation archiwizard.

IV.2. Présentation de logicielle de simulation :

L’étude numérique est réalisée par l’utilisation de logiciel archiwizard la version 2019, qui développé par la société de groupe GRATEC.

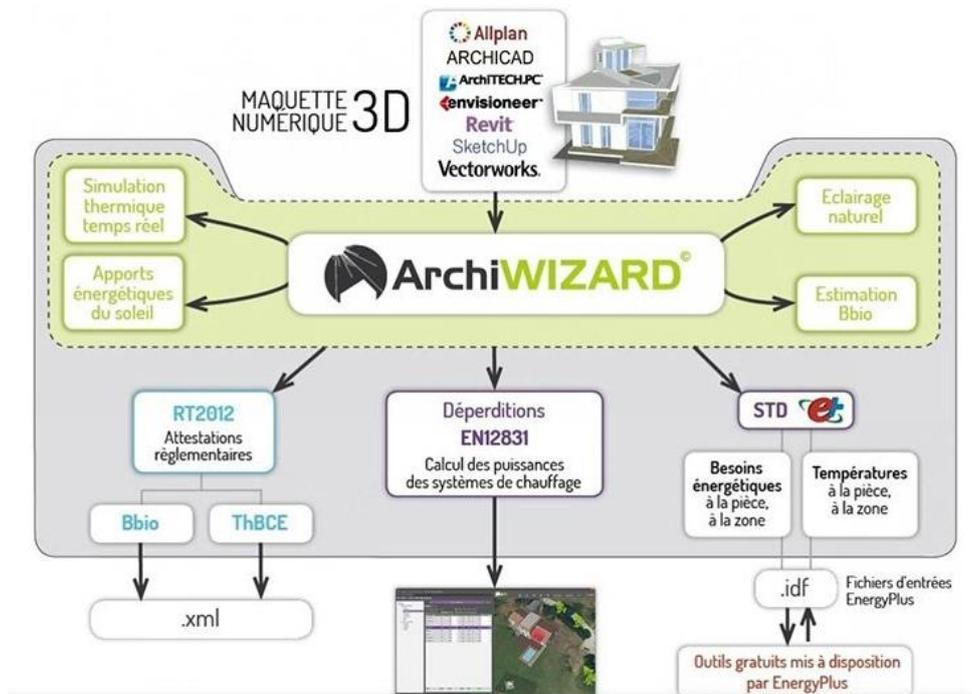


Figure IV.2: le logiciel de simulation archiwizard (source : auteur, 2022)

Archiwizard c'est un logiciel de simulation thermique dynamique, permet de simulé le comportement énergétique des bâtiments selon plusieurs aspects que ce soit thermique au visuelle, en temps réelle et ça grâce au moteur de calcul « énergie plus ».ce logicielle peut être utilisé dès la phase d'esquisse de projet jusqu'à sa conception, et même durant sa rénovation. Il est largement utilisé par les chercheurs et les concepteurs de bâtiment grâce à ces multiples avantages, en effet il nous donne la possibilité d'exporter le fichier climatique de la ville a étudier, ainsi que la modification des paramètre des différents composantes de bâtiment telle que les caractéristiques thermique des matériaux de construction.

IV.3. L'étude numérique des composantes de la façade :

Conformément à plusieurs études réalisées, la façade possède un rôle déterminant sur la qualité des ambiances intérieures du bâtiment, tout comme sur la quantité d'énergie consommée par ce dernier, en effet tous les composants de la façade influencent de manière directe sur le comportement thermique et énergétique de la construction, par conséquent nous avons proposé divers scénarios relatifs aux composant de la surface opaque et vitrée de la façade ainsi que le modèle de référence.

IV.3.1. Présentation de modèle de référence :

Le modèle de référence est présenté par une volumétrie de cas d'étude choisie (hôtel royal), sous format numérique modélisée par l'utilisation de logicielle archicad 16. Le volume se compose de 6 étage, notamment la chambre choisie se situe dans un étage intermédiaire (4eme étage) est-elle orientée vers l'Ouest.

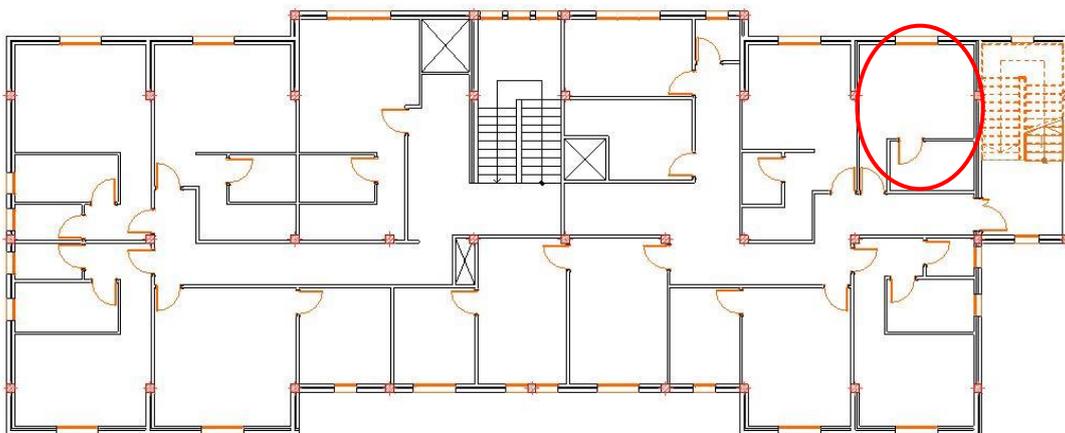


Figure IV.3 : plan de 4 e étage de modèle simulé (Source : auteur, 2022)

La chambre de forme rectangulaire avec une surface de 20 m².

Le schéma ci-dessous décrit la composition des parois extérieures avec leurs caractéristiques thermiques :

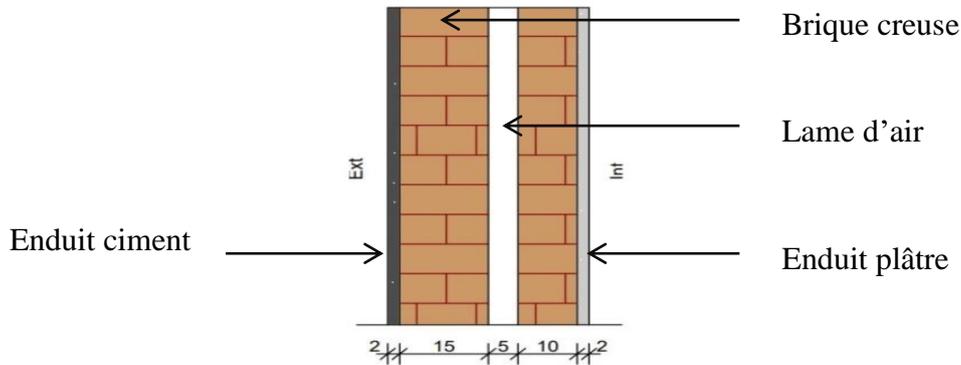


Figure IV.4: coupe schématique présente la composition interne de la façade du cas d'étude. (Source : auteur, 2022)

Les parois extérieure ce compose de l'extérieure ver l'intérieure des composante suivant : enduit ciment, brique de 15 cm, lame d'aire, brique de 10 cm, enduit plâtre.

Tableau IV.1: les caractéristiques thermique des matériaux de construction des mus de modèle de référence (source : DTR, 1997)

Les matériaux de construction	Epissure (cm)	Conductivité (w/m.k)	La masse volumique Kg/m3	La chaleur spécifique Kj/kg.k
Enduit ciment	02	1.4	2200	1080
Brique creuse	15	0.48	900	1080
Lame d'air de 5cm	05	0.047	1	1000
Brique creuse	10	0.48	900	1080
Enduit plâtre	02	0.35	1150	936
Brique mono-mur en terre cuite	30	0.12	700	1000
Isolation (le liège)	10	0.04	120	300

IV.3.2. Les scénarios de la simulation :

Afin d'améliorer le comportement thermique des façades des hôtels a Bejaia, nous avons proposé trois scénarios différents, accompagnés par le modèle optimisé finale, à savoir :

Scénario 1 : l'influence du type de vitrage

Notre choix est porté sur trois modèles, notamment celui du modèle de référence qui est composé d'un simple vitrage :

- Modèle 1 : simple vitrage comme modèle de base
- Modèle 2 : double vitrage classique
- Modèle 3 : double vitrage avec gaze a basse émissivité avec gaze

Scénario 2 : l'influence de choix des matériaux de construction de la surface opaque

- Modèle 4 : le brique mono-mur en terre cuite

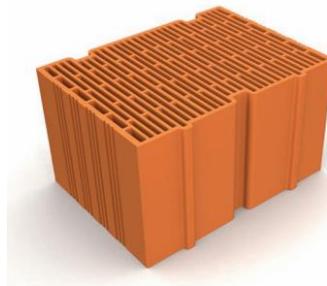


Figure IV.5: la brique mono-mur en terre cuite (source : Delpeix, sd)

La brique de terre cuite à simple paroi possédant un grand nombre d'alvéoles piégeant l'air, ce qui leur permet de ralentir le flux de chaleur, et de jouer un rôle isolant (isolation répartie), qui pourra être amélioré par intégration de l'isolation extérieure, ce type de matériau bénéficie de nombreux autres atouts tels que :

- ✓ Il est un matériau dont la production peut être locale (matériaux locaux)
- ✓ Une bonne contribution au confort thermique, ainsi qu'une bonne régulation hygrothermique
- ✓ Une durabilité élevée et un recyclage facile
- ✓ Un effet très minime sur la santé
- ✓ Possède des bonnes caractéristiques thermiques (voir le tableau IV.1) (ADEME, 2010)
- Modèle 5 : l'intégration de liège comme isolant qui considéré comme un matériau local disponible à Bejaia, il est issu de l'écorce de chêne vert, qui se trouve tout au long de bassin méditerranéen

Scénario 4 : le modèle optimisée

- Modèle 5 : modèle optimisé

IV.3.3. Résultats et validation de modèle de référence

En vue de valider les résultats de l'étude numérique, une simulation thermique dynamique est lancée sur le modèle de référence dans les mêmes conditions climatiques à travers l'insertion de fichier climatique de la ville de Bejaia. Ainsi que l'utilisation des matériaux de constructions similaires à celle utilisées dans le modèle réel, sur les quelle nous avant effectuée les prise des masseurs in situ, avec les même caractéristiques thermique, la validation de modèle sera réalisée par la comparaison entre les valeurs de température enregistrée dans l'étude empirique et celle de l'étude numérique présenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : la comparaison entre les valeurs de températures de modèle réelle et le modèle simulée (source : auteur, 2022)

	Le modèle	Température minimale	Température maximale
Température extérieure	Conditions réelles	8.7°C	14.1°C
	Fichier climatique	6°C	17°C
Température Intérieure	Modèle de référence	16°C	19.7°C
	Modèle simulé	10°C	16°C

Dans notre cas nous avant un décalage de deux degré entre les températures extérieures réelles, et celle de fichier climatique. Est un décalage de 1.5°C 2°C par apport à la température intérieure, nous prenons en considération l'influence de chauffage allumer dans les chambre voisin sur la chambre de prise des mesureurs, nous constatons que les conditions climatique de le modèle numérique est presque similaire à celle réelle, donc le modèle numérique est validée.

IV.3.4. L'interprétation des résultats de modèle de référence

Cette étude se focalise uniquement sur le comportement thermique de la façade de bâtiment, notamment la surface vitrée et opaque, les différente étapes de la simulation sont représentées dans (annexe F), et les résultats de rapport obtenue sont illustrés dans les figures suivante :

L'histogramme ci-dessous représente la répartition des quantités de déperditions thermique de l'enveloppe exprimées en pourcentages.

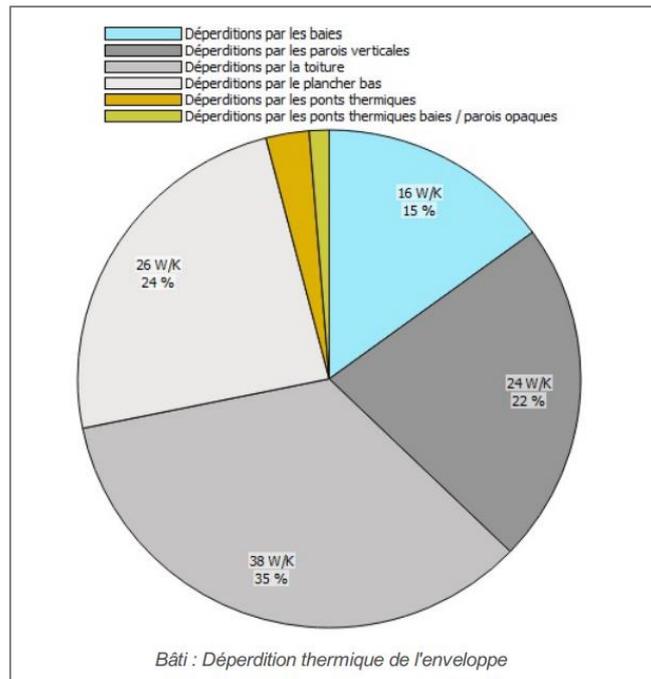
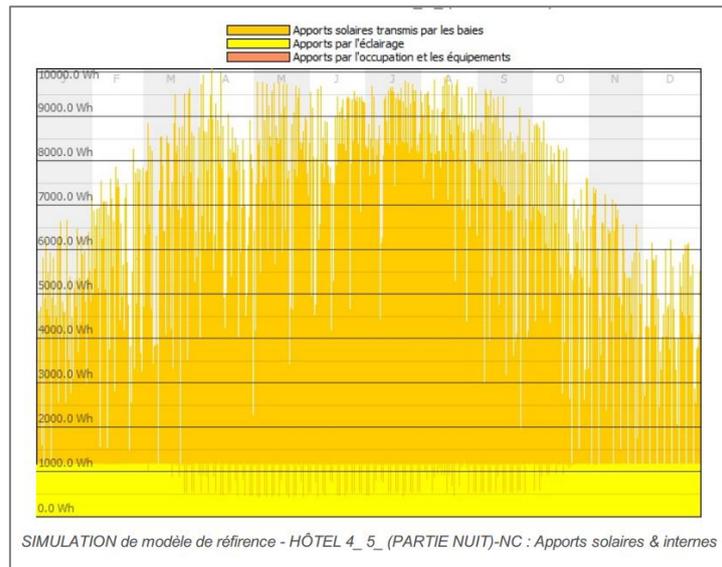


Figure IV.6: histogramme des déperditions thermique de l'enveloppe de modèle de référence (source : auteur, 2022)

D'après la figure précédente nous remarquons que le de modèle de cas d'étude (le modèle de référence), dispose d'un taux des déperditions thermiques par la façade importantes, égales à 37%, au 22% de ces déperditions se fait à travers les parois verticales, et 15% par les baies vitrées.

Selon ces résultats nous constatons que les déperditions thermiques de la façade représentent des valeurs considérables à ne pas négligé, qui sont expliquée par la nature de la composition de la surface opaque et vitrée, due à l'utilisation des matériaux de construction a des faibles caractéristiques thermique telle que la brique creuse utilisée pour la surface opaque, et l'absence de l'isolation thermique, ainsi le type de vitrage simple utilisé a un faible coefficient de transmission (figures 6)



D'après la figure 2 nous remarquons que les la quantité de apports solaire transmis par les baies vitrée et très grande surtout en été avec une valeur maximale atteindre 10000 Wh, ce qui due au type de vitrage simple avec un faible coefficient de transmission.

Les déperditions thermiques et le taux de transmission considérables ont influencés négativement sur la température ambiante intérieure qui est illustrée dans la figure ci-après :

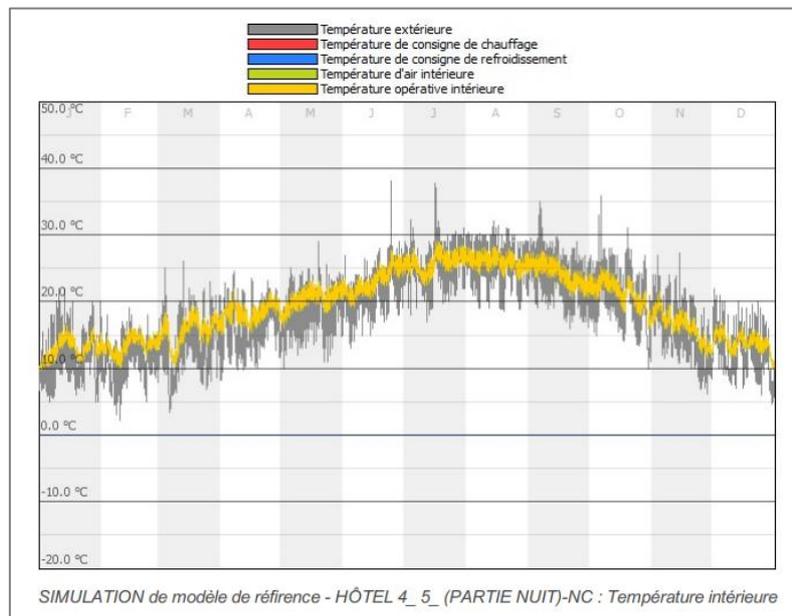


Figure IV.8: graphe des températures extérieure et intérieure de modèle de référence

(Source : auteur, 2022)

D'après l'histogramme précédent et la comparaison effectuée entre les valeurs moyennes des températures extérieures, et les températures ambiantes intérieures, enregistrées durant toute l'année, nous remarquons que ces deux températures évoluent suivant le même rythme avec un intervalle de quelque degré, la température ambiante maximale atteinte 29 °C en été et une valeur minimale égale à 10°C en hiver.

Conformément à ces résultats nous constatons que pour la plupart des mois de l'année les températures ambiantes à l'intérieure de bâtiments sont en dehors de la plage de confort thermique (20°C- 25°C), et effectivement les ambiances thermiques intérieure sont inconfortables presque durant toute l'année, à l'exception de mois de mai et de début de juin, ainsi la fin de septembre et le début d'octobre au nous avant enregistrée des températures assez confortables.

Par conséquence les ambiances inconfortables enregistrées en hiver et en été au sein de la chambre de cas d'étude simulée, influent négativement sur la fréquence d'utilisation des équipements de chauffage et de climatisation et effectivement sur la consommation énergétique de ces derniers, qui est illustrés dans le graphe ci-dessous :

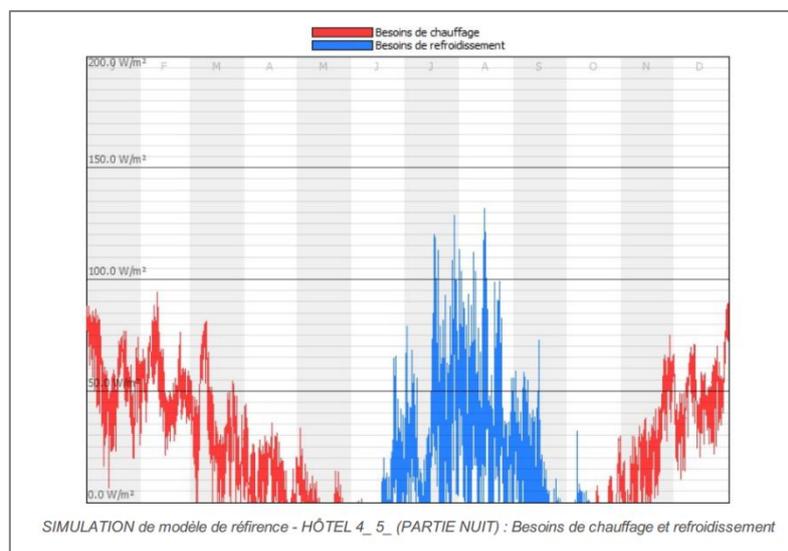


Figure IV.9: les besoin de chauffage et de climatisation de modèle de référence

(Source : auteur, 2022)

Nous remarquons que le chauffage et la climatisation sont utilisés d'une manière excessive en hiver et en été, au le busions de chauffage s'étale durant 8 mois de l'année, avec une valeur maximale atteindre 100 watt sur mètre carré pour la chambre simulée, et un busions de climatisation atteindre 140 watt sur mètre carré.

Conformément à ces résultats d'inconfort nous avons proposé quelques matériaux pour la surface vitrée et la surface opaque. Les résultats obtenus sont représentés dans la partie ci-après.

IV.3.5. Résultat de l'impact de type de vitrage

La (figure 5) représente les déperditions thermiques de l'enveloppe en fonction de type de vitrage utilisée

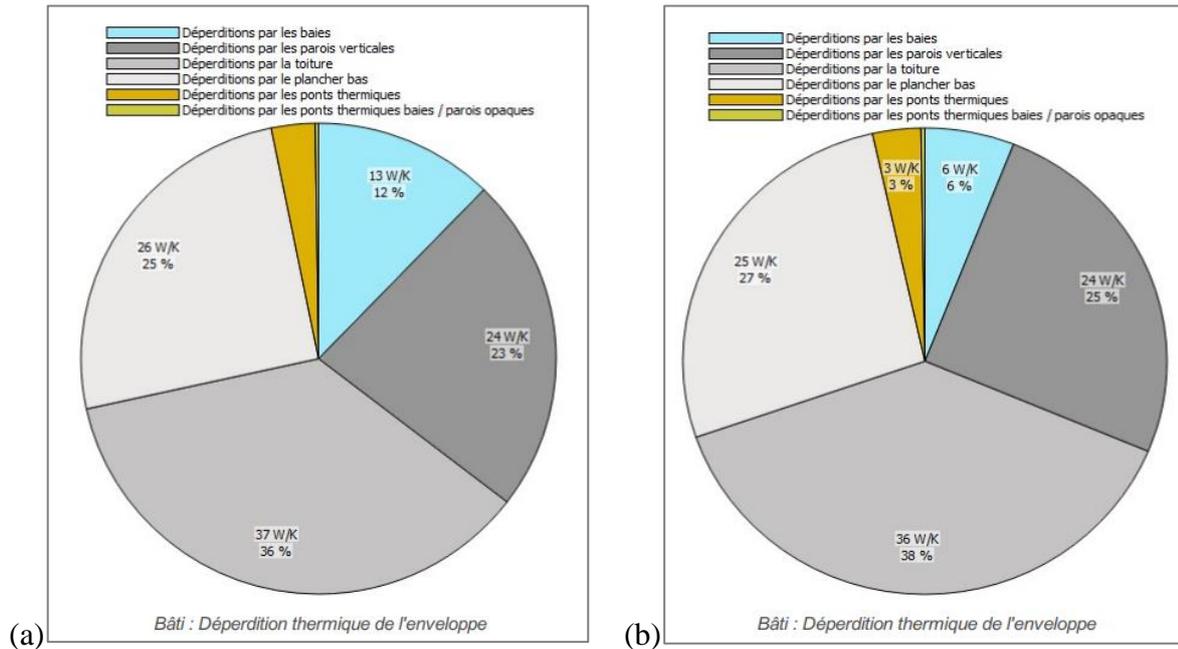


Figure IV.10 : l'impact de type de vitrage sur les déperditions thermiques des baies vitrées (Source : auteur, 2022)

L'histogramme (a) représente les résultats obtenus après l'utilisation de double vitrage classique, au les déperditions thermiques des baies vitrées diminue légèrement de 15% jusqu'à 12%. Par rapport à l'histogramme (b) illustre les résultats des déperditions thermiques après avoir remplacé le vitrage simple par le double vitrage avec gaz, au nous avons remarqué une réduction considérable des déperditions thermiques des baies vitrées jusqu'à 6%.

La (figure 10) représente la variation des valeurs de température durant toute l'année en fonction de type de vitrage utilisé

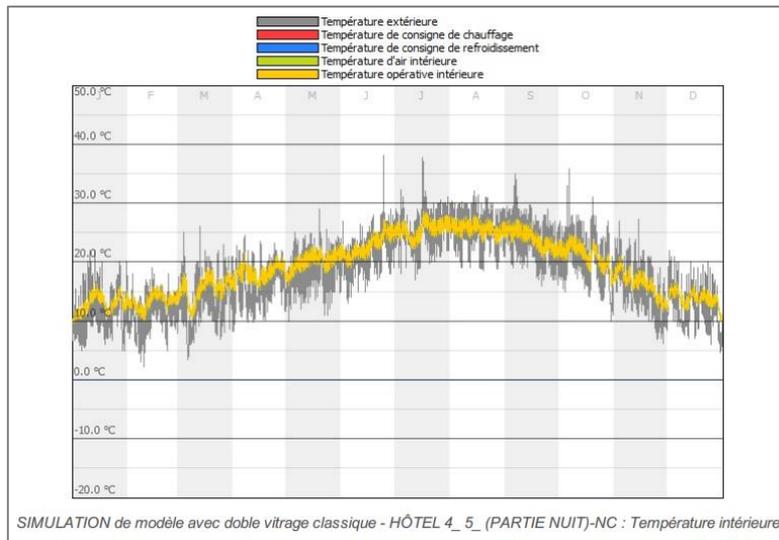


Figure IV.11: la température intérieure avec l'utilisation de double classique

(Source : auteur, 2022)

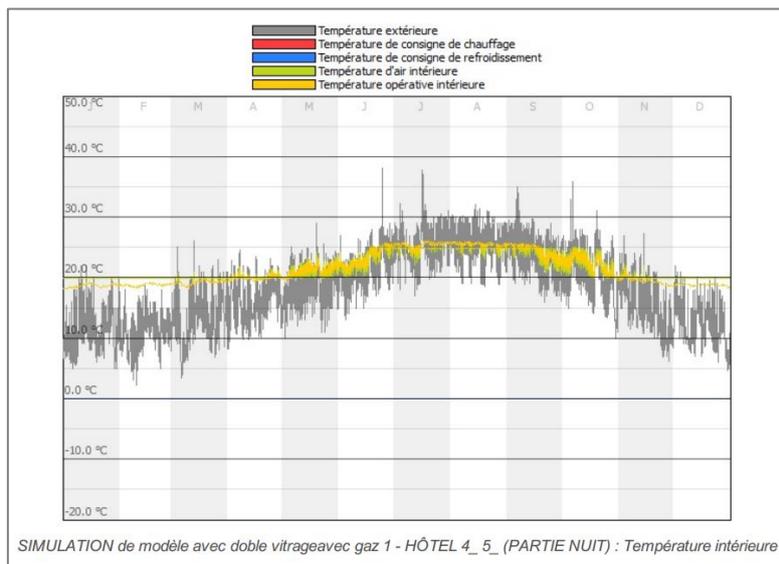


Figure IV.12: la température ambiante avec l'utilisation de double vitrage avec gaz argon

(Source : auteur, 2022)

D'après les graphes précédents nous ne remarquons aucune amélioration remarquable dans les températures ambiantes après l'utilisation de double vitrage classique, par contre une amélioration très remarquable enregistrée après l'utilisation de double vitrage avec gaz argon.

Nous comparons les résultats des déperditions thermiques, obtenues dans le modèle de référence (vitrage simple), avec les résultats de double vitrage classique, ainsi que celle de double vitrage avec gaz. Nous constatons que le type de vitrage utilisé a un impact important

sur les déperditions thermique, et que le troisième modèle avec double vitrage avec gaz argon et plus performant. Au nous avant remarquée une amélioration dans les températures ambiante a l'intérieure de la chambre simulée, après l'utilisation de ce dernier type de vitrage, ce qui influencée d'une manière positive sur la quantité des énergies consommée, les figures ci-dessous représentes une comparaison entre le busions énergétiques de modèle de référence (simple vitrage) et le modèle de double vitrage avec gaz :

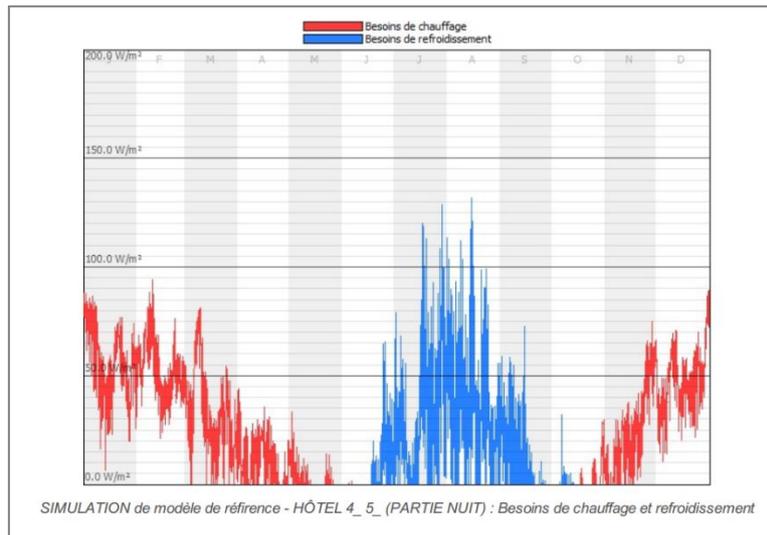


Figure IV.13: les busions énergétique de modèle de référence (Source : auteur, 2022)

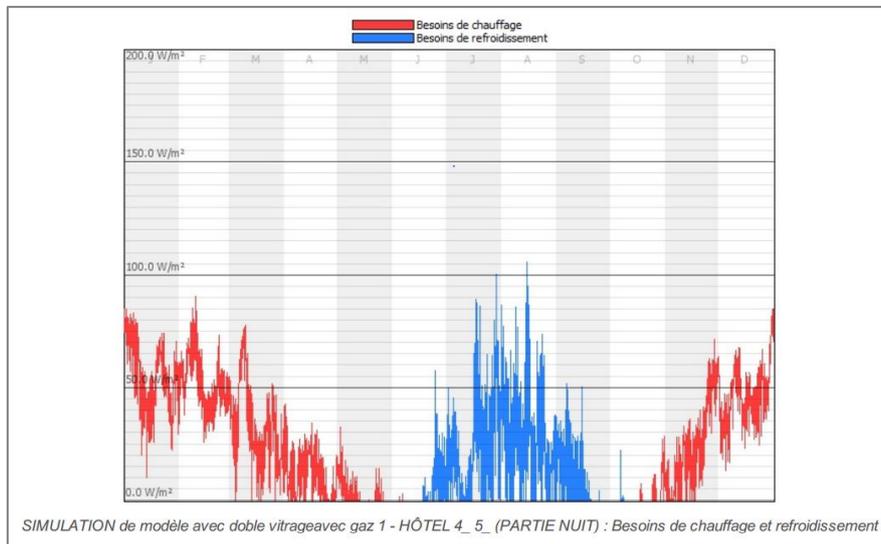


Figure 14: les busions énergétique avec l'utilisation de double vitrage avec gaz argon (Source : auteur, 2022)

D'après les histogrammes précédents nous constatons une diminution importante dans les busions énergétique après l'utilisation de double vitrage avec gaz argon.

IV.3.6. Résultat de l'impact de choix des matériaux de construction de la surface opaque :

Les figures suivant représente les déperditions thermique de l'enveloppe après l'utilisation du brique mono-mur, et une autre après l'intégration de l'isolation dans le modèle de refinance :

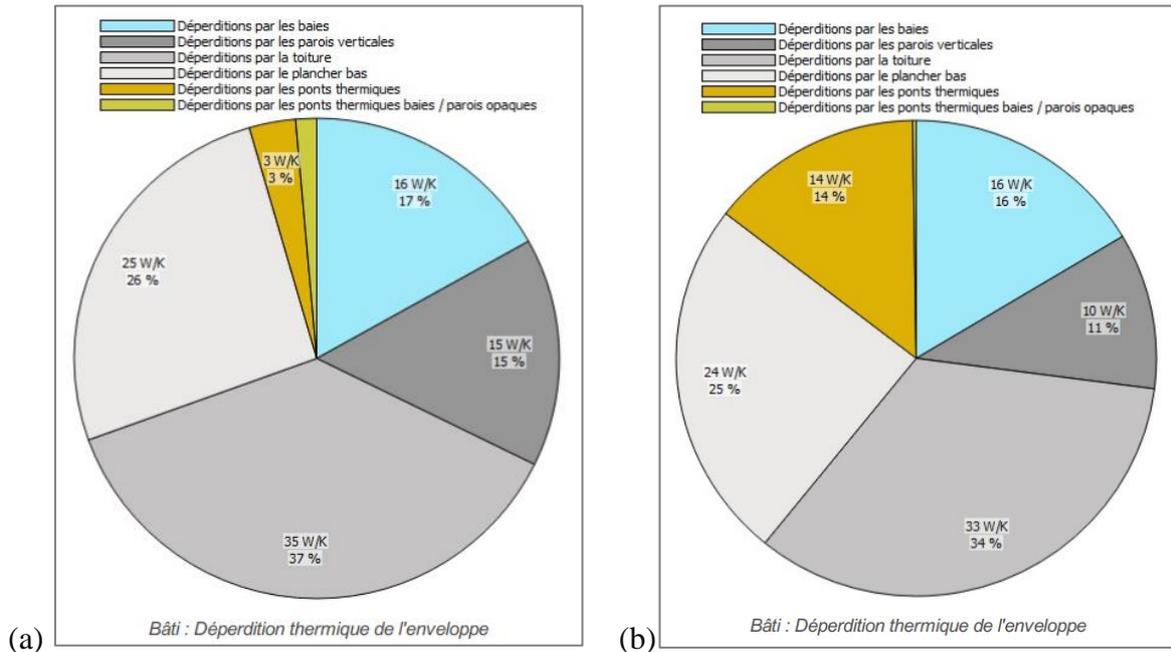


Figure IV.15: les déperditions thermique de l'enveloppe en fonction des matériaux utilisé pour la surface opaque (Source : auteur, 2022)

L'histogramme (a) illustre les résultats des déperditions thermiques de l'enveloppe, enregistrée après l'utilisation du brique mono-mur en terre cuite. Par apport à l'histogramme (b) représente les résultats des déperditions thermiques, après avoir intégré l'isolant de liège, dans la composition de modèle de référence. Nous comparons les résultats déjà obtenu dans ce dernier avec les résultats de ces deux modèle, nous remarquons que les déperditions thermiques des parois verticales diminues par un pourcentage important, de 22% jusqu'à 15%, après l'utilisation du brique mono-mur en terre cuite a la place de la brique creuse. Les même résultats sont obtenu, après l'intégration de l'isolant, au nous avant remarqué une diminution très importante, dans les déperditions thermiques des parois verticales qui est égale à 11%, face à 22% par rapport au modèle de refinance sans isolation.

Et effectivement la diminution des déperditions thermique des parois verticale influe sur l'amélioration des températures ambiantes pour chaque modèle et notamment la diminution des busions énergétique de chauffage et de climatisation approuvée dans le modèle optimisée

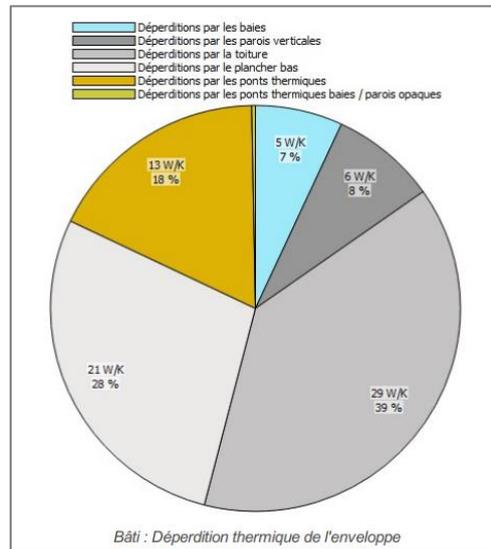


Figure IV.16: les déperditions thermiques de modèle optimisé (Source : auteur, 2022)

L'histogramme précédent illustre les résultats des déperditions thermique de modèle optimisé, au nous constatons une diminution importante, dans les déperditions thermique de la surface vitrée, qui est égale uniquement a 7%, comme celles des parois verticale qui égale à 8%.

la figure suivante indique les valeurs de températures maximale et minimale enregistrée durant toute l'année dans le modèle optimisée avec l'utilisation des trois modèle précédente qui sont le double vitrage avec gaze argon et la brique mono-mur comme matériaux de construction et l'intégration de l'isolant liège.

Confort :		
Température opérative minimale :	19 °C	: 2 Janvier à 6h
Température opérative minimale en occupation :	19 °C	: 2 Janvier à 6h
Température opérative maximale :	26 °C	: 30 Juillet à 16h
Température opérative maximale en occupation :	26 °C	: 19 Juillet à 18h

Figure IV.17: les températures minimale et maximale enregistrée durent hiver et l'été pour le modèle optimisé (Source : auteur, 2022)

Nous avons enregistré des valeurs des températures ambiante proche, au a l'intérieure de la plage de confort thermique (20-25) dans la chambre simulée.

L'histogramme suivant représente la quantité des besoins énergétique de modèle d'optimisé

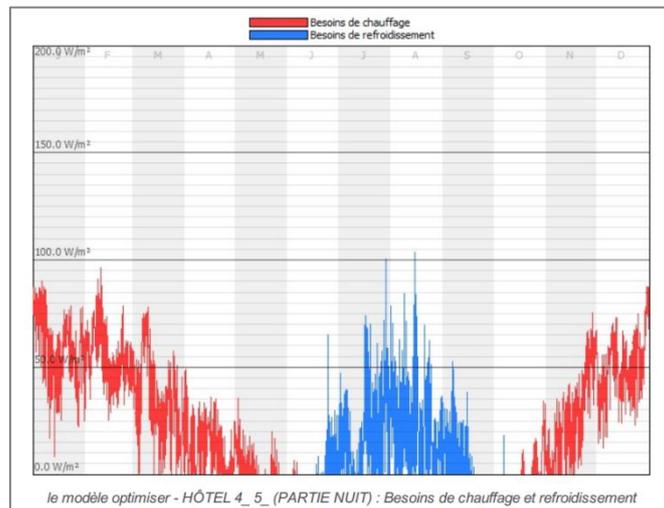


Figure IV.18: Les busions énergétique de modèle optimisé (Source : auteur, 2022)

D'après le graphe nous remarquons une diminution remarquable dans les busions de chauffage et de climatisation, ce qui affirme que la nouvelle composition proposée (brique mono-mur utilisé et l'isolation intégrée ainsi que le double vitrage), est plus performante et mieux adapté au contexte climatique de Bejaia, que celle de modèle de référence.

Conclusion

Une partie importante des échanges thermiques sont effectuée à travers la façade de bâtiment, où les caractéristiques physique des matériaux de cette dernière, joues un rôle primordiale dans la détermination de la qualité de confort thermique intérieure, et effectivement la performance énergétique de bâtiment.

L'étude numérique réalisée dans ce chapitre, nous a permet de mieux comprendre l'impact de ces caractéristiques, sur le comportement thermique des hôtels a Bejaia et leurs performance énergétique. La simulation thermique dynamique, a été effectuée suivant trois scénarios, la validation et l'étude de modèle de référence, l'étude de l'impact de type de vitrage utilisé, anis que l'influence de choix des matériaux de la surface opaque, pour ressortir avec un modèle optimisé. Les résultats obtenus affirment que le type de vitrage utilisé influe sur la quantité des déperditions thermique de la surface vitrée, qui est diminuée de 15%

jusqu'à 7%, après l'utilisation de double vitrage avec gaze argon. Ainsi l'utilisation du briques mono-mur en terre cuite, a augmenté la performance thermique et énergétiques de bâtiment, où les déperditions thermiques des parois vertical de ce dernier, diminue de 22% jusqu'à 15% après avoir remplacée la brique creuse par ce matériaux. Des résultats plus performantes sont enregistrées, après avoir intégrée l'isolant de liège dans le modèle de base dans les quelle les déperditions thermique diminue de 22% à 11% après avoir intégrée le liège comme isolant. Des températures proche au l'intérieure de la plage de confort thermique (20°C 25°C), sont enregistrée dans le modèle optimisée, avec une diminution important de déperditions thermique de la surface vitré et opaque jusqu'à 7% et 8%.

Les résultats de modèle optimisée, montre que le choix adéquate des matériaux de construction, et leurs caractéristiques thermique influe sur l'amélioration de l'efficacité thermique et énergétique de bâtiment.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les échanges thermiques qui s'établissent entre le bâtiment, plus particulièrement la façade, et son environnement extérieur, déterminent à la fois la qualité des ambiances thermique à l'intérieur des bâtiments et sa performance énergétique. En effet plusieurs paramètres influencent ces derniers, soit en relation avec le contexte extérieur ; à savoir la topographie du terrain, le climat, où bien avec le bâtiment lui-même et sa composition, notamment sa forme et sa compacité, le choix des matériaux de construction et leurs caractéristiques thermiques, et encore le type d'isolation utilisé. Le rôle prioritaire de l'architecte et du concepteur est d'assurer la maîtrise de ces paramètres, dès la phase de conception afin de garantir le bon fonctionnement thermique de bâtiment, et minimiser ces dépenses énergétiques, générées par l'utilisation excessive des équipements de chauffage et de climatisation.

En effet, le confort thermique de l'être humain, est conditionné par la cohérence existante entre les utilisateurs de l'espace, le bâtiment, et son environnement. Cette relation harmonieuse rend la notion de confort thermique subjective, dépend de la perception de chaque personne, et qui peut être influencée par plusieurs paramètres, liés que ce soit à l'individu où à son environnement. Souvent la quantité des énergies fossile consommée par le bâtiment déterminée par la qualité de confort thermique intérieure, et effectivement leurs gestes de régulation, qui influent sur la quantité des énergies consommée. En fonction des statistiques énergétiques mondiales et algériennes, il apparaît que les consommations de combustibles fossiles arrivent à des seuils critiques, ce qui nécessite une sensibilisation de cette situation, afin de rationaliser les consommations énergétiques, et de préserver l'environnement, par la maîtrise des différentes solutions passives, sans être obligé de recourir aux solutions actives, pour garantir le confort thermique des usagers.

Pour ce faire, une étude empirique a été réalisée sur les hôtels à Bejaia (hôtels royal), afin de mieux comprendre les différents phénomènes, en relation avec le comportement thermique de ces bâtiments. À travers une approche quantitative, accompagnée par une approche qualitative. Dans le but d'évaluer la sensation thermique des usagers, et leurs satisfactions au sein de ces équipements. Les résultats obtenus affirment le manque de confort thermique dans

l'hôtel étudié, plus particulièrement le soir ce qui confirme le comportement thermique inadapté des matériaux de construction utilisés et leurs caractéristiques physiques.

Une étude numérique a été effectuée afin d'étudier et d'optimiser l'impact de choix des matériaux de construction de la façade, notamment le type de vitrage utilisé et la nature des matériaux de la surface opaque, sur le comportement thermique de bâtiment et son efficacité énergétique. Les résultats obtenus concernant le type de vitrage affirme son influence considérable sur la quantité des déperditions thermique qui été diminuée de 15% jusqu'à 6% après l'utilisation d'un double vitrage à faible émissivité avec gaze argon à la place de simple vitrage, ainsi le même comportement est enregistré après avoir remplacée la brique creuse, par la brique mono-mur en terre cuite, et l'intégration de l'isolant liège, dans ce cas les déperditions thermique de la surface opaque sont réduites de 22% jusqu'à 8%. et effectivement l'amélioration de la qualité des températures ambiante intérieure qui sont a proche au a l'intérieure de la plage de confort thermique et par conséquence la diminution de la quantité des énergies consommée par le chauffage et la climatisation.

Les résultats obtenus d'après cette recherche, affirment que la maîtrise de choix des matériaux de construction de la façade, selon leurs adaptation au contexte climatique, notamment le choix des matériaux locaux, jeux un rôle primordiale sur la détermination de la qualité de confort thermique a l'intérieure de bâtiments, et son efficacité énergétique.

Recommandations

En vue d'améliorer de confort thermique des bâtiments tertiaires, et leurs performances énergétiques, qui sont situées dans un contexte climat méditerranéen, il est recommandé de prendre en considération les points suivants :

- L'utilisation d'un type de vitrage avec une grande performance thermique (double vitrage avec gaz)
- l'utilisation des matériaux de construction locaux, avec des bonnes caractéristiques thermiques adaptées au contexte climatique permet d'assurer le confort thymique intérieur et minimiser la consommation énergétique.
- il recommander d'utiliser la brique mono-mur en terre cuite, a la place de la brique creuse, afin d'améliorer la performance thermique et énergétique de bâtiment.

- l'intégration d'isolation thermique, notamment le liège, permet de minimisée les déperditions thermique de la façade.

Les limites de la recherche

L'inaccessibilité de la plupart des hôtels à Bejaia, nous a empêchés d'effectuer une comparaison entre le comportement de plusieurs matériaux utilisés, dans la conception de ces bâtiments. Ainsi que la difficulté d'accès à ces derniers, présente une limite importante non seulement elle a influencée sur la journée type des prises des mesures, mais aussi sur la période consacrée pour celles-ci. L'indisponibilité des conditions naturelle pour les prises de mesures (sans chauffage), où le chauffage est éteint uniquement dans la chambre où nous avons effectué notre étude. Aussi la distribution et le réassemblage de questionnaire à cause de la nature de l'équipement a tardé l'étude qualitative de la recherche.

Perspectives de recherche

Les résultats obtenus dans cette recherche ouvrent l'axe sur plusieurs futures perspectives liés à l'assurance du confort des usagers de l'espace, notamment :

- ✓ Utilisation des résultats obtenus concernant la thermique et le développement de leurs effets sur les autres aspects (visuel, acoustique, ...);
- ✓ Étude de l'effet des matériaux de construction écologiques sur le confort thermique des bâtiments tertiaires et leurs consommations énergétiques;
- ✓ Étude de l'impact de l'isolation sur le confort thermique des hôtels et leurs consommations énergétiques
- ✓ Influence du type de vitrage et de la surface vitrée sur le comportement thermique et la performance énergétique des hôtels;
- ✓ Minimisation de la consommation énergétique des bâtiments tertiaires en fonction de leurs différents aspects (visuel, acoustique, aéraulique, ...).

Bibliographie

Bibliographie

ADEME. (2010). Fiche matériaux de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Amraoui, K. (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 Mohamed Khider – Biskra.*

Army, S. (2008). Les nouvelles façades de l'architecture. DOI : 10.4000/appareil.287. URL : <http://journals.openedition.org/appareil/287>.

Ahmed, H. (2018). Méthodologie d'Optimisation Énergétique d'un Bâtiment Equipé d'une Double Façade Ventilée (D.F.V). *Thèse de doctorat, université de Batna -2-.*

Ahmari, F., Korichi, A., Gasmi, F. et Krada, S. (2019). Simulation de l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique d'un bâtiment résidentiel dans un climat méditerranéen.

Batier, C. (2016). Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen D'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales. *Thèse de doctorat, université de montpellier.*

Belgaid, B. (2021). Thermique du bâtiment, Institut d'architecture et d'urbanisme Université Batna 1.

Benoudjafer, I. (2018). Vers une amélioration de la performance énergétique des habitations : la certification énergétique comme une stratégie durable. Cas de la ville de Bechar. *Thèse de doctorat, université Mohamed Khider – Biskra.*

Ben Larbi, A. (2020). Performances thermiques des batiments #2 : ponts thermiques et solution. Le faire savoir du CTICM.

Berkouk, D. (2017). Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif : Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra. *Thèse de doctorat, université Mohamed Khider – Biskra.*

Bihan. (2012). ARCHITECTURE ET SOCIETE A L'AGE INDUSTRIEL (milieu XVIIIe-début XIXe siècle).

Boudreau, J. (2011). *L'optimisation énergétique : un travail sur l'enveloppe, Le nouveau terminal de l'aéroport de Benghazi en Lybie.*

Boursas, A. & Labidin, M-Z. (2019). L'impact de choix des matériaux de construction sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment résidentiel.

Boubekour, T. (2017). Matériaux de construction, centre universitaire de Tissemsilt.

Carassus. (2020). Trois modèles de maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Une comparaison internationale. DOI : <https://doi.org/10.3406/aru.2007.2717>. URL : https://www.persee.fr/doc/aru_0180-930x_2007_num_103_1_2717

Chahwane, L. (2011). Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments. *Thèse de doctorat, université de GRENOBLE*.

Chareyron, D., Chareyron, D., Molinaro, H. et Multion, B. (2020). Concepts de chiffres de l'énergie : réserves et ressources en énergie et matière première non énergétique. *Culture science de l'ingénieur*. URL : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>.

Chikhi, A. (2016). Etude du Comportement Thermo-Hydrique des Parois des Bâtiments. Influence des Effets de l'Etat Hygrothermique et des Propriétés Thermo-Physiques. Thèse de doctorat, université de Constantine -1-

Dejeant, F., Dejeant, F., Garnier, P. et Joffroy, T. (2021). *Matériaux locaux matériaux d'avenir ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique*. CRAterre Édition. ISBN : 979-10-96446-33-9.

Dinaer, L. (2016). *Les enjeux liés aux matériaux de construction mise en contexte et derniers évolutions* (communication par affiche), séminaire bâtiment durable, Bruxelles.

Dutreix, A. (2010). *Bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments*. Groupe Eyrolles.

Ersoy, R., Ersoy, S. et Terrapon, J. (2021). *Le système énergétique de l'Algérie*. URL : <https://algeria.fes.de> <https://mena.fes.de/fr/projets/climat-et-energie>.

Frious, F. (2010). Les propriétés thermiques des matériaux et les références métrologiques. URL : www.lne.fr.

Fernandez, P. & Lavingne, P. (2009). Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements et méthodes. France : le Moniteur.

Gallauziaux, T. & Fedullo, D. (2011). *Le grand livre de l'isolation* (3^{ème} édition). Eyrolles.

Gallauziaux, T. & Fedullo, D. (2015). *L'isolation par l'extérieur*. Eyrolles.

Hamilton, L., Hamilton, L. et Rapf, O. (2020). Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction en 2020. *Vers un secteur des bâtiments et de la construction à émission zéro, efficace et résilient*. URL : www.globalabc.org.

Imessad, K. R., Kharchi, S., Bouchaib, A., Chenak, S., Hakem, A., Hamidat, S., Larbiyoucef, S. et Sami, F. (2017). Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 20 N°4*.

Imessad. (s. d.). Pour une construction Eco-énergétique en Algérie.

Izard, L.J. (2006). L'inertie thermique dans le bâtiment. *ENVIROBAT- Méditerranée*.

Jedidi, M. & Benjeddou, O. (2016). *La thermique du bâtiment*. DUNOD. URL : www.dunod.com.

Joussellin, F., Joussellin, F., Faure, X., Johannes, K., Quenard, D. et Pierson, P. (2008). Enveloppe hybride pour bâtiment économe. URL : florence.joussellin@ujf-grenoble.fr, xavier.faure@cstb.fr.

Khadraoui, M-A. (2019). *Etude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique (cas des bâtiments tertiaires dans un climat chaud et aride)* thèse de doctorat. Université Mohamed khider-Beskra.

Lamrhari, H. (2018). Comportement thermique et économie d'énergie dans un appartement avec différentes mesures d'efficacité énergétique dans les six zones climatiques du Maroc. Thèse de doctorat, université Cadi Ayyad.

Loïc, A. & Iratxe, C. (2017). Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie. Lutte contre le changement climatique et maîtrise de la demande d'énergie Vol. 8, n°2. URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11826>. DOI : 10.4000/développementdurable.11826.

Mazari, M. (2012). Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou). *Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou*.

Mecheri, S., Djaffar, S. et Hamid, A. (2012). Efficacité énergétique dans le bâtiment : expérience algérienne. URL : s_sami@cder.dz.

- Mnasri, F.** (2016). Etude du transfert de chaleur et de masse dans les milieux complexes : application aux milieux fibreux et à l'isolation des bâtiments. Thèse de doctorat. Université de lorraine.
- Moujalled, B.** (2007). Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. *Thèse de doctorat. L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon.*
- Perrenoud, A.** (2008). physique 1 température chaleur, haute école spécialisée de suisse occidentale.
- Rahmouni, S.** (2020). *Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National d'Efficacité Energétique.* Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2.
- Roulet, C.** (2012). *Eco-confort pour une maison saine et à basse consommation d'énergie.* Presse polytechnique et universitaires romandes.
- Sami-Mecheri, S., Semmar, D. et Hamid, A.** (2019). Efficacité énergétique dans le bâtiment : expérience algérienne.
- Thierry & Stéphane.** (2004). Thierry, S., Stéphane, B. *La maison des néga watts le guide malin de l'énergie chez soi.* Terre vivante.
- Varenio, C.** (2012). L'efficacité énergétique dans les bâtiments existants : déficit d'investissement, incitations et accompagnement. *Thèse de doctorat. Université de GRENOBLE.*

Annexes

Annexes

Annexe A : Instrument de mesure

Tableau A.1: fiche technique de l'instrument de prise des meures (source: JUMIA, 2021)

SKU :	TA746LB0017D4NAFAMZ
Gamme de produits :	Thermomètre
Modèle :	TA138
Pays de production :	China
Taille (Longueur x Largeur x Hauteur cm) :	15 X 8.8 X 2.5
Poids (kg) :	190
Certifications :	Cuir AFRDI
Couleur :	Blanc
Matériau principal :	ABS
Type de garantie :	Repair by Vendor



Figure A.1: le thermomètre de prise des mesures (source: JUMIA, 2021)

Annexe B : questionnaire

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE A .MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE



Cas d'étude : hôtel royal, Bejaia

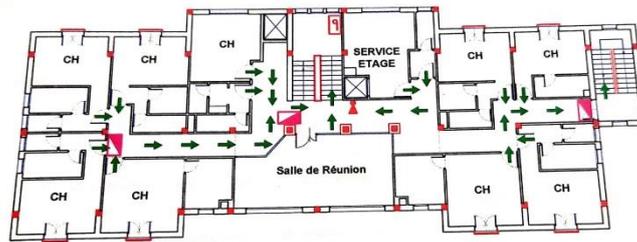
Questionnaire

Dans le cadre d'élaboration de mémoire de master en architecture environnement et technologie dont le thème traitera « **l'influence des matériaux de construction sur le confort thermique et la performance énergétique dans les bâtiments tertiaires cas d'hôtels** » à Bejaia, et afin que nous puissions compléter notre recherche nous vous prions de bien vouloir répondre aux questions, vos réponses permettront d'avoir une idée sur votre satisfaction vis-à-vis de l'ambiance thermique au sein de l'hôtel. Nous espérons que vous coopérerez et nous vous remercions d'avance.

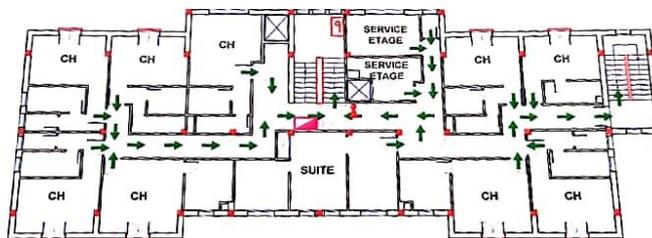
Mettez une croix (X) s'il vous plait dans la case correspondante.

Informations générale :

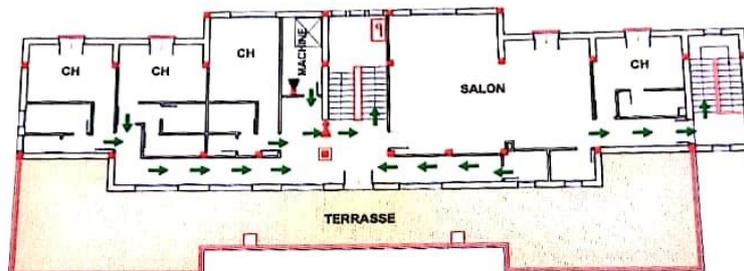
- Sexe : homme femme
- Age : ≤ 25 25 > < 45 ≥ 45
- Votre visite à l'hôtel royal est :
 - Souvent parfois rarement pour la première fois
- Mettez une croix (x) sur le plan pour indiquer l'emplacement des chambres occupées durant votre visite.



Plan de 2eme étage



Plan de (3,4et 5eme) étage



Plan de 6eme étage

Informations sur le confort :

- 1) Vous avez déjà passé votre visite sans allumer le chauffage ou le climatiseur (dans des conditions naturelles) ?

Toujours souvent parfois jamais

- a. C'est votre réponse est favorable indiquez la période et l'heure (sans chauffage en hivers/ sans climatiseur en été)

	Matin	Midi	Après-midi	La nuit
Hiver				
Été				

- b. Dans les mêmes conditions comment jugez-vous la température ambiante à l'intérieur de votre chambre ?

	Très froide	Froide	Confortable	Chaude	Très chaude
Hiver					
Été					

- c. Comment évaluez-vous votre satisfaction vis-à-vis du confort thermique ?

	Très mauvaise	Mauvaise	Acceptable	Bonne	Très bonne
Hiver					
Été					

- 2) Dans le cas de sensation d'inconfort thermique (froid en hiver / chaleur en été) quelle solution optez-vous pour régler le problème ?

Hiver		Été	
Porter plus de vêtements		Porter moins de vêtements	
Fermer la fenêtre		Ouvrir la fenêtre	
Allumer le chauffage		Allumer le climatiseur	

- a. En été à quelle température vous réglez votre climatiseur ?

.....

3) Dans quelle période de la journée optez-vous pour cette solution ?

	Matin	Midi	Après-midi	La nuit
Hiver				
Été				

4) Est-ce que vous êtes satisfait(e) de vos gestes de régulation thermique ?

	Très satisfait	Satisfait	Insatisfait	Très insatisfait
Hiver				
Été				

5) D'après vous quelle est la quantité d'énergie consommée par les équipements de chauffage et de climatisation ?

	Très grande	Grande	Moyenne	Faible	Très faible
Hiver					
Été					

Merci pour votre collaboration et le temps que vous avez consacré à ce questionnaire.

Annexe C : L'interview

Cette partie est réservée pour l'administration sous forme d'une interview avec le responsable.

En hiver :

1. En quel mois de l'année allumez- vous le chauffage dans votre hôtel ?

octobre	Novembre	Décembre	Janvier	février	Mars	Avril

- a. En quel mois le chauffage est-il le plus utilisé ?

.....

2. Quelle est la durée moyenne de l'utilisation de chauffage en hiver dans votre hôtel pendant 24h ?

la période	Pendant la journée	Pendant la nuit
La moyenne par heures		

3. Selon les facteurs énergétiques de votre hôtel, quelle est la quantité d'énergie consommée par le chauffage en hiver ?

.....

- b. Selon vous comment évaluez cette consommation ?

Très grande	Grande	Moyenne	Faible	Très faible

4. D'après les factures énergétiques de votre hôtel, quelle est le cout de cette consommation?

.....

En été :

5. En quel mois de l'année commencez- vous à utiliser les climatiseurs dans votre hôtel?

Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	aout	Septembre	Octobre

c. En quel mois le climatiseur est-il le plus utilisé ?

.....

6. Quelle est la durée moyenne de l'utilisation de climatiseurs dans votre hôtel pendant 24h ?

la période	Pendant la journée	Pendant la nuit
La moyenne par heurs		

7. Selon les facteurs énergétiques de votre hôtel, quelle est la quantité d'énergie consommée par le climatiseur en été ?

.....

d. Selon vous comment évaluez cette consommation ?

Très grande	Grande	Moyenne	Faible	Très faible

8. D'après les factures énergétiques de votre hôtel, quelle est le cout de cette consommation?

.....

Durant l'année :

9. Quelle est la quantité annuelle d'énergie consommée par le chauffage et la climatisation et le cout de cette consommation ?

La quantité annuelle	Le cout annuelle DA

- e. Comment évaluez- vous ce montant ?

Très grande	Grande	Moyenne	Faible	Très faible

10. comment évaluez-vous le comportement (performance) thermique des matériaux de construction de la façade et leurs influences sur la température intérieure ?

	Très bonne	Bonne	Acceptable	Mauvaise	Très mauvaise
Hiver					
Été					

11. D'après vous quelle est la qualité de confort thermique dans votre hôtel sans chauffage et sans climatisation ?

	Très bonne	Bonne	Acceptable	Mauvaise	Très mauvaise
Hiver					
Été					

Annexe D : les facteurs énergétiques de l'hôtel royal

FOURNITURE DE GAZ MOYENNE PRESSION
FACTURE N° : 33A2103M0160 **Mars 2021**

Capital Social de : 64000000000 DA
Direction Distribution: CD BEJAIA
Adresse: CITE TOBBAL
N° RC : 06B0805455-06/92

N° IF: 000609080545593
N° RIB: BNA 00100356030030088622
N° RIP: 00799999000038010820

N°IS: 000625010536164
Fax: (034) 16-07-70
Tél: (034) 16-07-69

Référence : 062024000047180

Client

N° Client : 3380047
Nom du client : SARL LE ROYAL HOTEL RESTAURANT
Poste N°: 61
Designation lieu de consommation: SARL LE ROYAL HOTEL RESTAURANT
Nom & adresse du destinataire de la facture: SARL LE ROYAL HOTEL RESTAURANT , 1000 LOGTS IHADDADEN

N° Contrat: 33A0018G2002
Tél:
Fax:
N° RC: 99B0182729
N° NIF:
N° IS:

ELEMENTS DE FACTURATION

Type: Facture Energie Période de consommation: du 01/03/2021 au 31/03/2021

Température moyenne	Pression moyenne (en bars)	Coefficient d'altitude	Pouvoir calorifique supérieur(en th / m³)	Tarif
15	0,021	0,966	9,45	22

Appareils de mesure	Numéro	Coefficient de Lecture	Ancien Index	Nouvel Index	Différence d'index	Volume Corrigé (15°C, 1 bar)
Compteur	8700	1,00	750 022	756 368	6 346	6 346,00

ELEMENTS	QUANTITE	P.U. (DA)	A DEDUIRE (DA)	A PAYER (DA)
Energie	61 927,95	0,4263		26 399,89
DMD	2 500	3,02		7 550,00
Redevances Fixes	1	788,23		788,23
Total Energie Hors Taxes				34 738,12
TVA		Taux 19 %		6 600,24
Redevance d'entretien du poste de livraison				0,00
Frais de coupure et remise				0,00
Autre Frais				0,00
Montant Hors Taxes Prestation				0,00
TVA prestation		Taux 19%		0,00
Taxes sur vente de produits énergétiques				0,00
Taxe d'Habitation				0,00

TOTAL FACTURE: 41 338,36 DA

Contribution aux coûts permanents du système 0,0070 DA/th (inclus dans le montant global): 43,35 DA

La présente facture est arrêtée à la somme de : Quarante-et-un mille trois cent trente-huit Dinars et trente-six centimes

Veuillez régler par:
- Virement au compte bancaire sus indiqué
- Chèque bancaire adressé à la direction de distribution de CD BEJAIA

BEJAIA, le 11/04/2021
Le Directeur de Distribution
DNC / SGC

Coupon détachable à joindre à votre correspondance

N° Client : 3380047
Facture N°:33A2103M0160
Référence : 062024000047180

Avis Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai, nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la

Clé EBP: 166





الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز
Société Algérienne de Distribution de l'Électricité et du Gaz

FOURNITURE D'ELECTRICITE HAUTE TENSION TYPE A

Capital Social : 64 000 000 000 DA
Direction de distribution : CD BEJAIA
Adresse: CITE TOBBAL
N° RC: 06B0805455-06/92

FACTURE N°:332103A00839

Mars 2021

N° NIF :000609080545593
N° RIB :BNA 00100356030030088622
N° RIP :.00799999000038010820

N° NIS :000625010536164
N° Fax : (034) 16-07-70
N° Tél : (034) 16-07-69

Client

Référence : 062024200398104 N° Contrat: 33A0072E1994
N° Client : 3390398 Poste N°: 3581 N° IS : N° RC : 99B0182729
Nom Du Client :SARL LE ROYAL HOTEL RESTAUR NIF : 099406010237732 Tél : 034814065
Adresse lieux de consommation:312 SARL ROYAL BEJAIA Fax : 034314066
Nom & adresse du destinataire de la facture : SARL LE ROYAL HOTEL RESTAUR RTE DE L UNIVERSITE 06000

Type : Facture cyclique

Tarif: 42

Période de consommation du : 01/03/2021 au 31/03/2021

Consommation :

Compteurs	N° série	Coëff. de Lecture	Index Premier Cadran		Index Second Cadran		Index Troisième Cadran	
			Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau	Ancien	Nouveau
Actif-T-Tarif	031261014167	1.00	1 047 072	1 053 305	629 997	633 666	2 002 032	2 014 991
Reactif-S-T		1.00	2 366 447	2 381 441				
Index Puissance		1.00			74			

Energies	Consommations			Périodes Tarifaires	
	Cadran 1	Cadran 2	Cadran 3	H.Pointe	Pointe
Consom. Active	6 233,00	3 669,00	12 959,00		
P.E.C. Active	105,96	62,37	220,30	20 076,26	3 842,97
P.A.V Active	209,25	111,60	348,75		
Consom. Réactive	14 994,00				
P.E.C Réactive	599,76				20355,36
P.A.V Réactive	4 761,60				

FACTURATION

Veuillez régler par :

- Virement au compte CCP ou bancaire sus indiqué

- Chèque CCP ou bancaire adressé à notre unité

Contribution aux coûts permanents du système:179.39

Avis:

Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai, nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la fourniture d'énergie.

Energie consommée	Quantité	P.U. (cDA)	A déduire	A ajouter(DA)
H.Pointe	20 076,26	180,64		36 265,76
Pointe	3 842,97	872,02		33 511,47
Facteur de Puissance (ER/EA)	85.10 %			
Majoration	8 395,75	45,53		3 822,58
Puissance Mise à Disposition	200	3 870,00		7 740,00
Puissance Maximale atteinte	74	18 058,00		13 362,92
Primes Fixes (DA)	1			515,65
Montant énergie HT				95 218,38
TVA énergie Taux 19%			1265	18 091,49
Location (Comptage, Transformateur)				0.00
Entretien du poste transformateur				0.00
Frais de coupure et remise				0.00
Montant prestation Hors Taxes				0.00
TVA prestation Taux 19 %				0.00
Taxe d'habitation				200.00
Soutien de l'état			0,00	
Taxe sur vente de produits énergétiques				0,00
TOTAL FACTURE:				113 509,87

La présente facture est arrêtée à la somme de :

Cent treize mille cinq cent neuf Dinars et quatre-vingt-sept centimes

Coupon détachable à joindre à votre correspondance

N° Client : 3390398

Facture N°:332103A00839

Clé EBP: 912



Annexe E : résultats de l'étude quantitative

Tableau B.2: Les résultats des prises des meneurs in situ des températures extérieure et intérieure de cas d'étude (hôtel royal)

L'heure	T extérieure	T intérieure
8h	8.7°C	16.8°C
9h	9.4°C	17°C
10h	9.9°C	17.2°C
11h	10.6°C	17.9°C
12h	12.1°C	18.5°C
13h	12.8°C	18.9°C
14h	13.3°C	19.4°C
15h	14.1°C	19.7°C
16h	13.9°C	19°C
17h	13.3°C	18.7°C
18h	12.2°C	17.7°C
19	12°C	17.6°C
20h	11.8°C	17.1°C
21h	11.7°C	17°C
22h	11.9°C	17.2°C
23h	11.7°C	17.2°C
00h	11.4°C	18.1°C
1h	11°C	17°C
2h	10.7°C	16.9°C
3h	10.5°C	16.9°C
4h	9°C	16.1°C
5h	9.2°C	16°C
6h	9.6°C	16.2°C
7h	10°C	16.9°C

Annexe F : Les étapes de la simulation

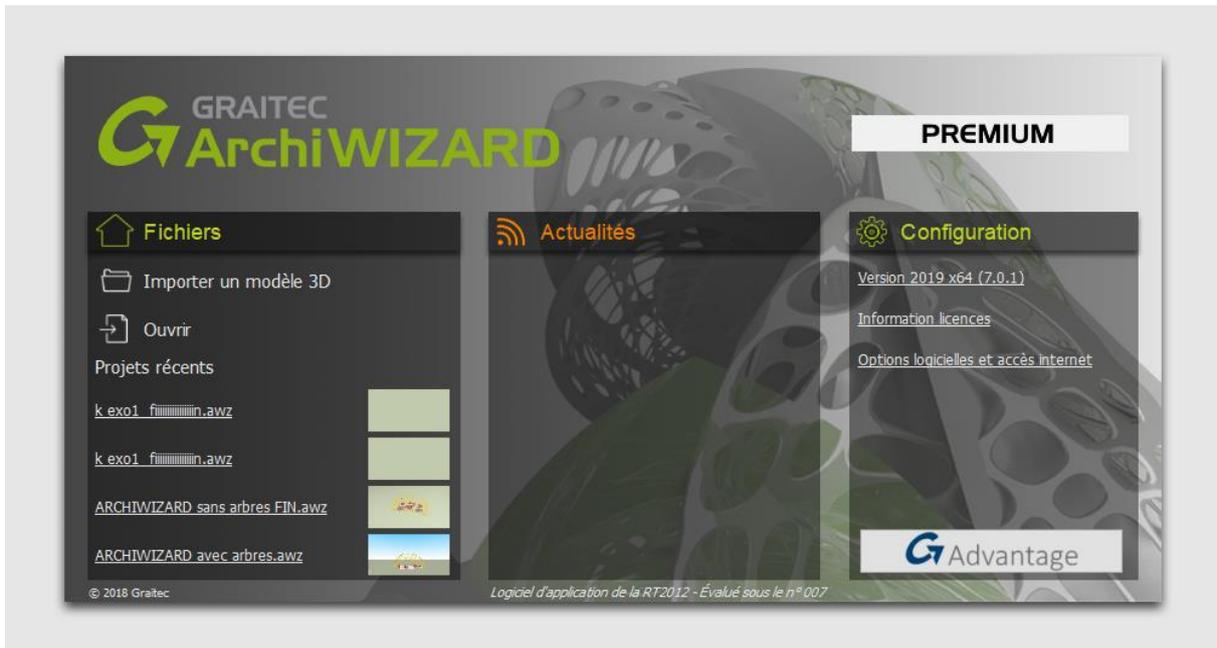


Figure E.2: l'ouverture de logiciel

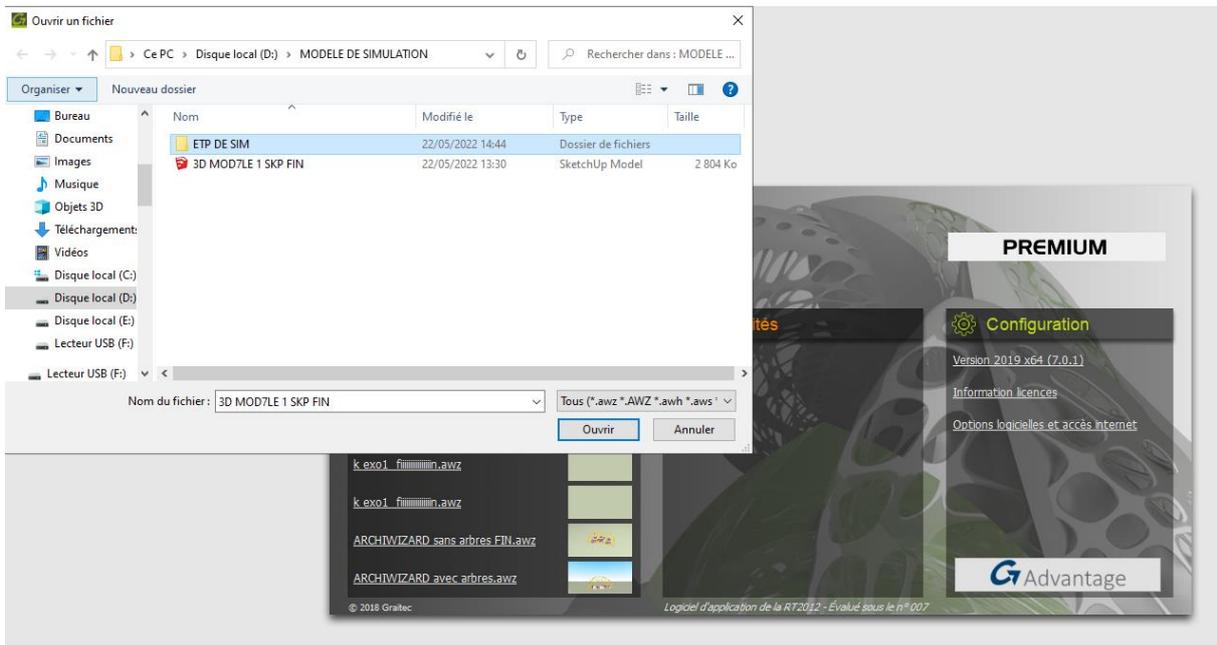


Figure D.3: l'importation de modèle 3D

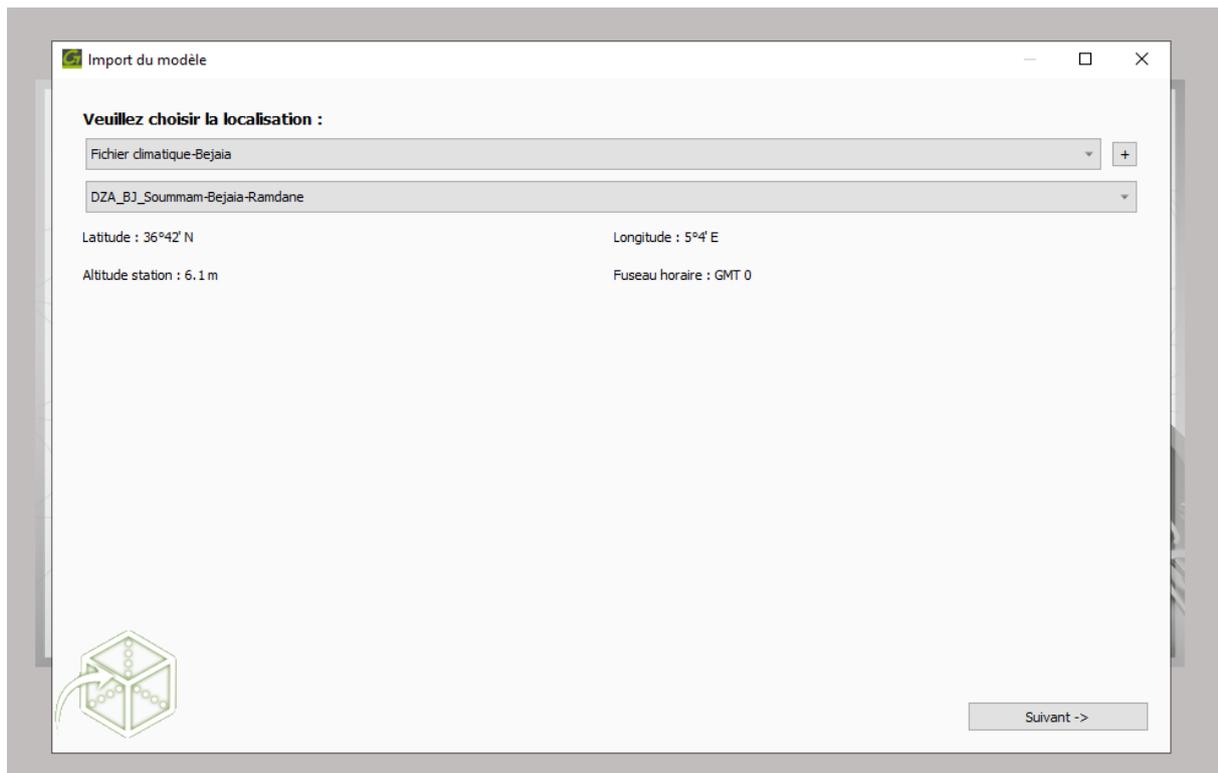


Figure D.4: l'insertion de fichier climatique de la ville de Bejaia

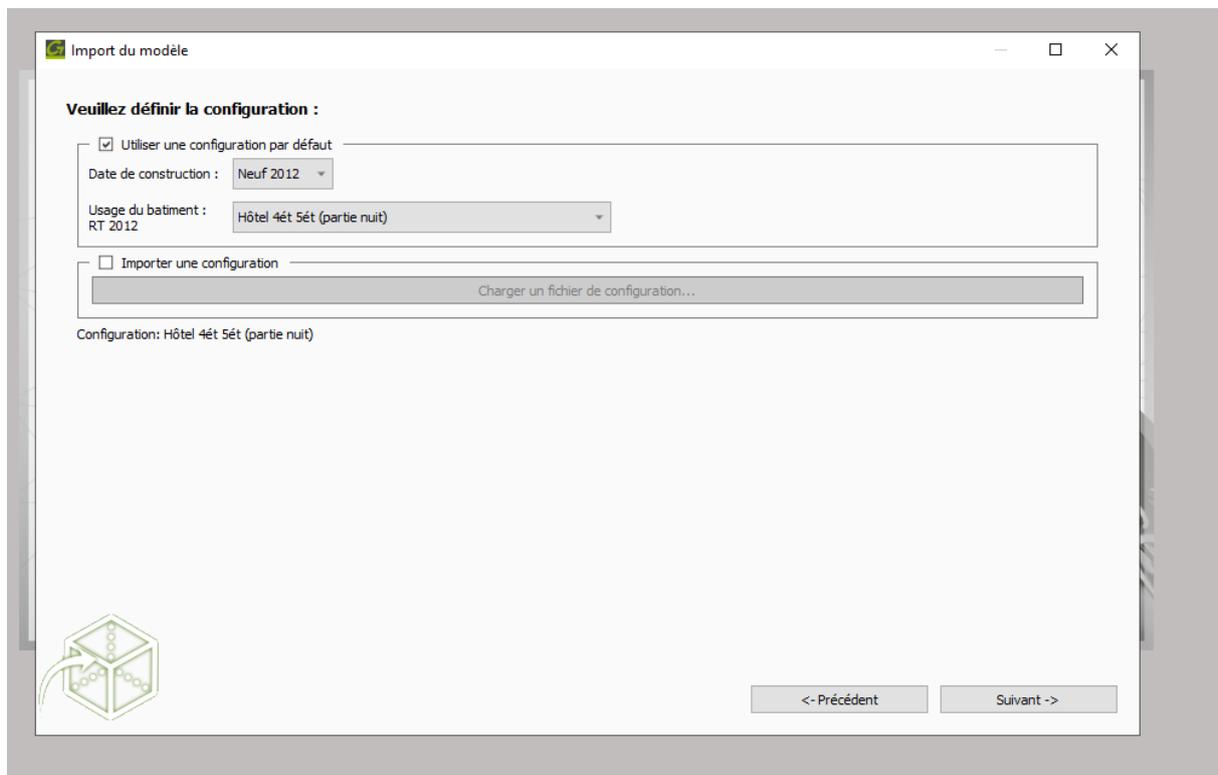


Figure D.5: définir la typologie de bâtiments et sa fonction

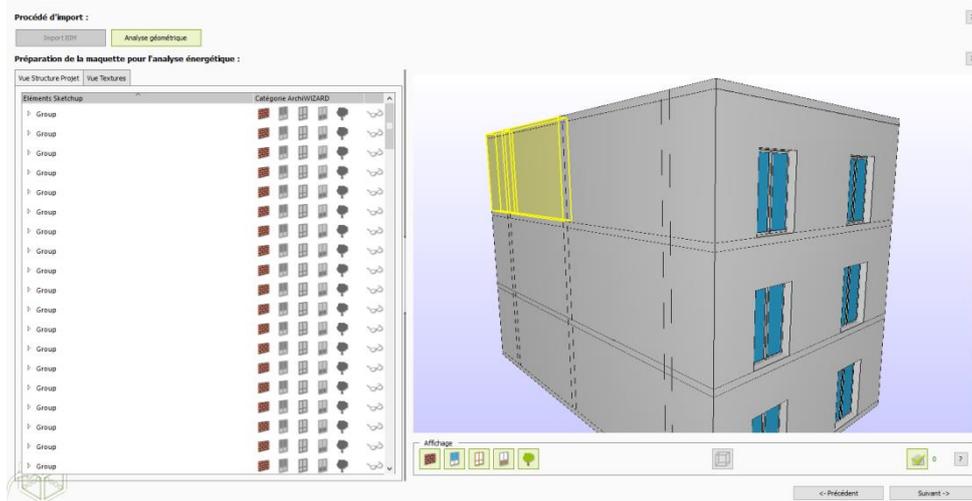


Figure D.6: la correction des différents composants de l'enveloppe

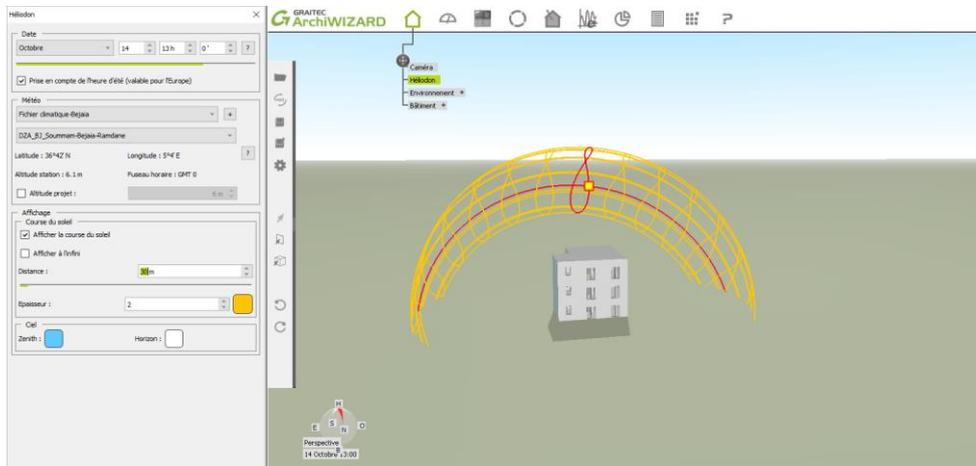


Figure D.7: le réglage des différents paramètres liés à l'ensellement

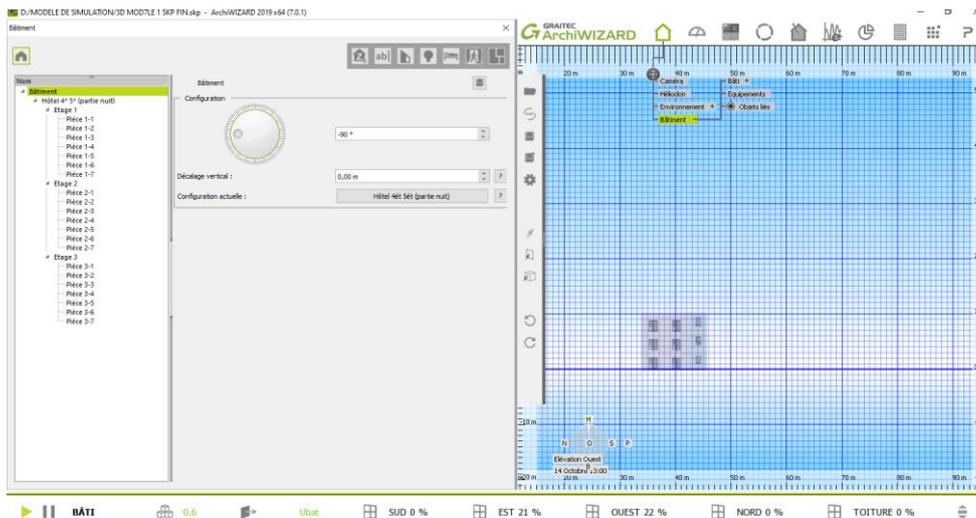


Figure D.8: déterminer l'orientation réelle de bâtiment

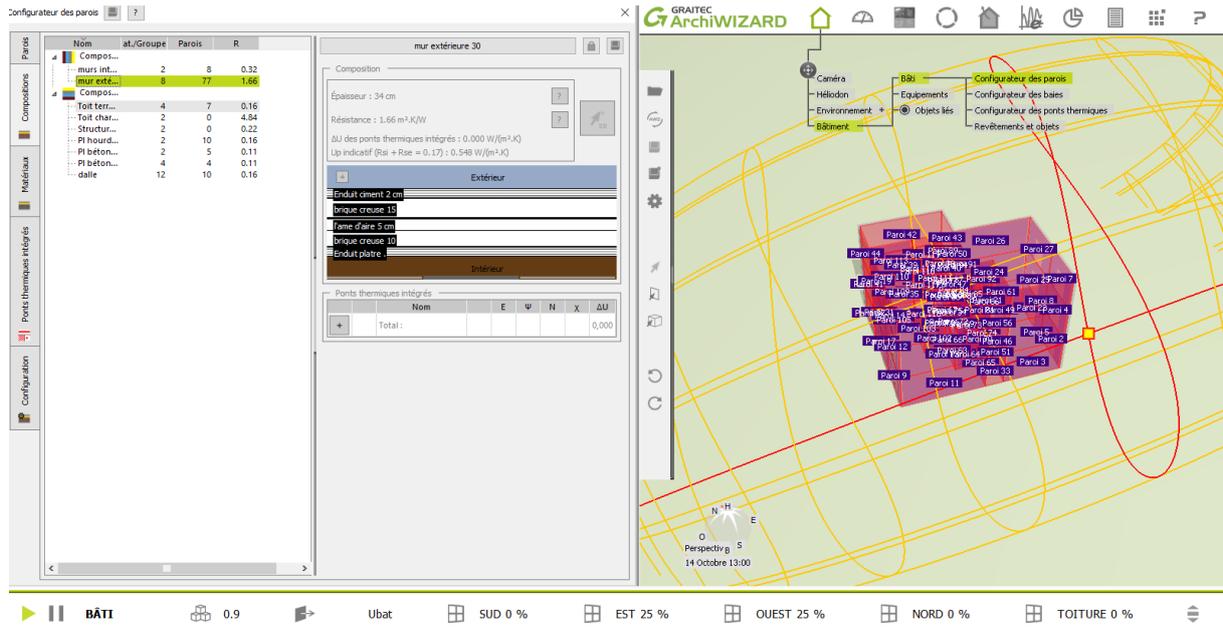


Figure D.9: modifier les caractéristiques thermiques des matériaux de construction et les seuils de températures

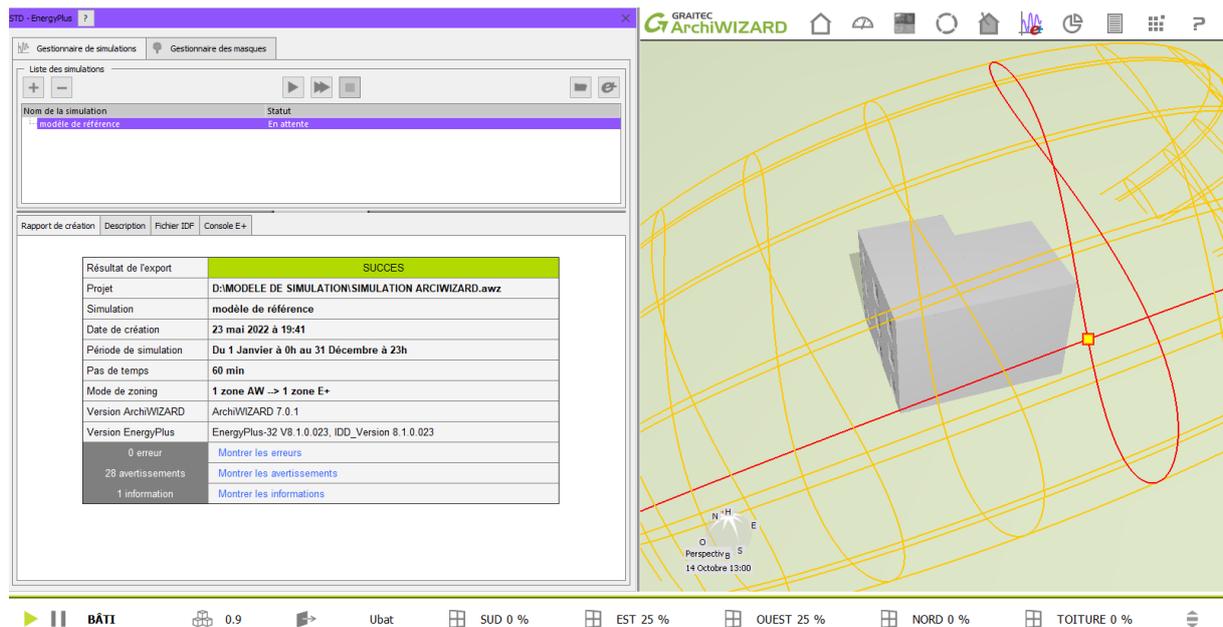


Figure D.10: lancer la simulation thermique dynamique