



UNIVERSITE CONSTANTINE 3
FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

EVALUATION POST OCCUPATIONNELLE ET OPTIMISATION DE LA
PERFORMANCE ENERGETIQUE DU BATIMENT
CAS DES HOTELS URBAINS

THESE

Présentée pour l'Obtention du
Diplôme de Doctorat 3eme Cycle LMD
Spécialité : Architecture
Option : Ville et Environnement Durable

Par
Ghania KIHAL

Année Universitaire
2023-2024



UNIVERSITE DE CONSTANTINE 3
FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° de Série :

N° d'Ordre :

EVALUATION POST OCCUPATIONNELLE ET OPTIMISATION DE LA
PERFORMANCE ENERGETIQUE DU BATIMENT
CAS DES HOTELS URBAINS

THESE

Présentée pour l'Obtention du

Diplôme de Doctorat 3eme Cycle LMD

Spécialité : Architecture

Option : Ville et Environnement Durable

Par

Ghania KIHAL

Devant le jury composé de

Pr. KORICHI Ammar	Président	Université de Constantine 3
Pr. SAFFIDINE ROUAG Djamilia	Directrice de thèse	Université de Constantine 3
Dr. ABADA Djallel	Examineur	Université de Constantine 3
Dr. MEZERDI Toufik	Examineur	Université de Biskra
Dr. KEDISSA Chahrazed	Examinatrice	Université de Oum El Bouaghi
Dr. GUEDOUH Marouane Samir	Examineur	Université de Batna 1

Année Universitaire
2023-2024

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions le Bon Dieu de nous avoir donné la force et la volonté de débiter et de terminer ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude au professeur Saffidine ROUAG Djamilia pour avoir accepté de diriger ce travail, pour son implication, son apport, son enthousiasme et rigueur scientifique, et la confiance qu'elle a mise en moi. Qu'elle soit aussi remerciée pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'elle m'a prodigués.

De manière significative, je tiens à remercier l'ancien professeur LARABA Youcef avec qui j'ai commencé ce travail pour sa disponibilité et son soutien indéfectible tout au long des premières années de recherche.

Je tiens tout particulièrement à remercier les chefs des services techniques des hôtels Ibis à Alger et Hôtel du Nord à Bejaïa pour m'avoir ouvert les portes au sein de leurs établissements sans aucune contrainte, ainsi que pour l'accueil chaleureux, l'aide et l'orientation avisée. En particulier, M. KHELOUFI Noureddine qui était très collaborateur en mettant à ma disposition toutes les ressources documentaires nécessaires pour le déroulement de ce travail.

Ainsi, je tiens à exprimer ma reconnaissance au directeur de service de l'hôtellerie au niveau du ministère du tourisme à Alger pour accepter de partager généreusement avec moi leur riche bagage intellectuel et leur expérience professionnelle dans ce domaine, ce qui m'a permis d'apprendre et d'avancer dans la bonne direction.

Merci aux personnes et clients des deux hôtels avec lesquels j'ai pu travailler et enrichir mes connaissances, et à celles qui ont pris le temps de répondre à notre questionnaire.

J'adresse toute ma plus vive reconnaissance aux membres du laboratoire LAEEE :

Pr. KORICHI Ammar pour son soutien, son apport scientifique, ses conseils pertinents, sa disponibilité et pour le suivi de ce travail avec beaucoup d'attention et de rigueur.

Dr. SOUTHY Walid qui m'a accompagné lors de travail de simulation et qui m'a facilité la manipulation du logiciel "TRNSys 17". Pour les précieuses remarques qui ont guidé ma voie dans le bon sens pour une première ébauche de rédaction d'un article scientifique.

Dr. ABADA Djallal pour à la mise en disposition des appareils de mesure in situ ainsi que les choix convenables par rapport à mes cas d'étude.

Dr. DJEBAILI Imed pour l'aide précieuse concernant le fonctionnement des appareils de mesure ainsi que l'orientation de travail avec le logiciel Climat consultant.

Dr. BOUDJADJA Rafik et Dr. BENSAKHRIA Karima pour les orientations pointilleuses pendant la rédaction finale du manuscrit ainsi que les conseils constructifs pendant la publication des articles.

Ma gratitude s'étend également aux chercheurs du laboratoire GRECCAU de l'École Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux, et tout particulièrement aux Pr Denis BRUNEAU et Pr Aline BARLET pour leurs orientations et conseils pendant la période de stage.

Mes remerciements sincères vont aussi aux mesdames et messieurs les membres du jury qui ont accepté de faire partie du jury et d'expertiser ce modeste manuscrit, et en le portant un regard critique et pertinent.

Pour leur contribution, je remercie également toutes les personnes qui se sont rendues disponibles pour me faire part de leur témoignage.

DEDICACES

A « Mes parents », vous avez toujours été pour moi un exemple des parents respectueux, honnêtes, des personnes méticuleuses. Grâce à vous, j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais vous remercier pour l'amour, la générosité, la compréhension... vos soutiens qui furent une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

A mon époux « Youcef » pour sa présence, son soutien et son aide inestimable, merci d'avoir cru en moi et encouragé à aller de l'avant.

A ma douce et merveilleuse fille « Alae ». Ta présence et tes sourires ont égayé les moments les plus durs de cette recherche.

A mes frères, à mes sœurs qui n'ont pas cessé de m'encourager dans mes études, et de me consolider pour traverser les moments difficiles.

A tous mes collègues.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES ABREVIATIONS	xi
RESUME	xii
ABSTRACT	xiii
ملخص	xiv
CHAPITRE INTRODUCTIF	1
Introduction générale	1
Problématique	3
Hypothèses de recherche	7
Objectifs de recherche	7
Méthodologie de recherche.....	8
Structure de thèse	9
Motivation du choix des bâtiments de type hôtelier	11
Critères de choix des hôtels urbains	11
CHAPITRE I : BATIMENT DURABLE ET METHODES D’EVALUATION	14
Introduction.....	14
1.1 Le concept du développement durable : un bref aperçu	14
1.2 Le développement durable en Algérie	18
1.3 Le concept de l’environnement.....	22
1.3.1 Les impacts environnementaux	22
1.3.2 Impact humain sur l’environnement.....	23
1.4 Evaluation de l’impact environnemental	25
1.4.1 Les méthodes d’évaluation environnementale	26
1.4.2 Synthèse sur les différentes méthodes d’évaluation	35
1.5 Le développement durable au sein du bâtiment.....	36
1.5.1 De la construction durable à un bâtiment performant	39
1.5.2 L’efficacité énergétique du bâtiment	41
1.5.3 La performance énergétique du bâtiment	41

1.6	Les stratégies de l'optimisation de la performance énergétique du bâtiment.....	43
1.7	Méthodes d'évaluation de la performance énergétique du bâtiment	44
1.7.1	Méthode d'évaluation post-occupationnelle de la performance du bâtiment	45
	Conclusion	48

CHAPITRE II : L'HOTELLERIE ET LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX 50

	Introduction.....	50
2.1	Le concept de l'hôtellerie.....	50
2.2	Les enjeux environnementaux relatifs aux hôtels.....	51
2.2.1	Les émissions nocives des hôtels	53
2.3	La consommation énergétique mondiale des hôtels	56
2.3.1	Répartition de la consommation d'énergie par usage.....	60
2.4	Les réponses internationales aux enjeux environnementaux des hôtels	62
2.4.1	Initiative NZEH (Nearly Zero Energy Hotel)	62
2.4.2	Le certificat Eco Label	64
2.4.3	Eco gîte de France (Green globe).....	64
2.4.4	Le label : La clé verte	65
2.5	Développement du secteur hôtelier en Algérie.....	66
2.5.1	Evolution du parc hôtelier en Algérie	67
2.5.2	La Consommation d'énergie des hôtels en Algérie.....	70
2.6	La performance énergétique et confort thermique dans les hôtels (revue de littérature).....	73
2.6.1	Le confort thermique dans les hôtels.....	79
	Conclusion	81

CHAPITRE III : LA NOUVELLE GENERATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION - LES NANOMATERIAUX - 82

	Introduction.....	82
3.1	Le concept de la nanotechnologie.....	82
3.2	Les nanomatériaux en architecture	83
3.3	Application de la nanotechnologie dans les matériaux de construction	86
3.3.1	Les matériaux de structure.....	86
3.3.2	Les nanomatériaux non structurels.....	91
3.4	Contribution de la nanotechnologie au développement des matériaux d'isolation à haute performance thermique	97
3.4.1	Les panneaux d'isolation sous vide (PIV).....	98
3.4.2	Les aérogels	100

3.5	Application de la nanotechnologie dans les hôtels	108
	Conclusion	110
CHAPITRE IV : PRESENTATION DES HOTELS CAS D'ETUDES		111
	Introduction.....	111
4.1	Les caractéristiques climatiques des régions d'études.....	111
4.2	Présentation des cas d'étude	114
4.2.1	Présentation de l'hôtel Ibis 4 étoile à Alger	114
4.2.2	Conditions climatologiques principaux de la ville d'Alger.....	121
4.2.3	Présentation de l'hôtel du Nord 4 étoile à Bejaïa	124
4.2.4	Conditions climatologiques principaux de la ville de Bejaïa	128
4.3	Synthèse sur les stratégies bioclimatiques requises pour les villes choisies	131
4.4	Protocole du travail de terrain.....	135
4.4.1	Protocole de l'étude qualitative subjective.....	135
4.4.2	Protocole de l'étude quantitative objective (prise de mesures).....	136
4.5	Résultats de l'analyse thermographique des cas d'étude.....	142
4.5.1	Analyse des images thermiques des deux hôtels.....	142
	Conclusion	146
CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION DE L'INVESTIGATION IN SITU		147
	Introduction.....	147
5.1	Évaluation de la qualité du confort : évaluation post-occupationnelle des clients dans les chambres d'hôtel	147
5.1.1	Le processus de déroulement l'étude quantitative auprès des clients des deux hôtels.....	149
5.1.2	Présentation des résultats des informations générales sur les personnes questionnées	150
5.1.3	Présentation des résultats d'évaluation de la satisfaction à l'égard du confort thermique dans la chambre en été et en hiver	152
5.1.4	Synthèse.....	168
5.2	Evaluation de la qualité de confort par la campagne de mesures	168
5.2.1	Mesures de la température à l'intérieure et l'extérieure des deux hôtels en hiver.....	169
5.2.2	Mesures de la température à l'intérieure et l'extérieure des deux hôtels en été.....	172
5.2.3	Mesures du taux de l'humidité relative de l'air (HR) à l'intérieur et à l'extérieur des deux hôtels	174

5.2.4	Mesures des températures surfaciques à l'intérieur et à l'extérieur des deux hôtels	177
	Conclusion	180
CHAPITRES VI : EVALUATION ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE DU BATIMENT		181
	Introduction	181
6.1	Déroulement de la simulation numérique	182
6.1.1	Présentation du logiciel choisi pour la simulation	182
6.1.2	La comparaison entre les variables mesurées et simulées par TRNSYS	186
6.2	Evaluation des performances énergétiques des deux hôtels à l'état existant	195
6.3	Evaluation de l'impact des matériaux aérogels sur la consommation énergétique des chambres d'hôtels	198
6.3.1	Évaluation de l'impact de l'isolation avec l'aérogel de silice sur la consommation énergétique des chambres	199
6.3.2	Évaluation de l'impact des matériaux de vitrage en aérogel de silice sur la consommation énergétique des chambres	205
6.4	Evaluation de l'influence des matériaux aérogels sur le confort thermique	211
	Conclusion	215
CONCLUSION GENERALE		217
	Perspective de recherche	222
	Limites de recherche	222
BIBLIOGRAPHIE		224
LISTE DES ANNEXES		243
	Annexe A : Images thermiques des hôtels urbains dans les différentes wilayas	243
	Annexe B : Détails sur le concept de développement durable	246
	Annexe c : Plus des images de l'extérieur et l'intérieur des deux hôtels	249
	Annexe D les données climatiques sous le logiciel climat consultant 6.0	255
	Annexe E : Questionnaire	257
	Annexe F : Principaux logiciels de simulation thermique dynamique	262
	Annexe G : Simulation énergétique sous TRNSYS	265
	Annexe H : Articles publiés	269

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Les principales dimensions du développement durable.....	15
Figure 1.2 : Les six dimensions de la GADD.....	17
Figure 1.3 : Le développement durable en Algérie.	19
Figure 1.4 : Tableaux de bord ODD 2022 pour le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord (niveaux et tendances).	21
Figure 1.5 : Typologie des cibles des impacts sur l'environnement.	23
Figure 1.6 : Les impacts des activités humaines sur l'environnement.	24
Figure 1.7: Exemple d'une Liste de contrôle "Check-lists".	28
Figure 1.8 : Matrice d'interaction synthétisant les relations existantes entre activités agricole et thématiques environnementale pour les productions végétale.	30
Figure 1.9 : Structure générale du cadre de l'ACV.	32
Figure 1.10 : Les piliers de développement durable dans un bâtiment.	38
Figure 1.11 : La consommation d'énergie finale et d'émissions mondiales	41
Figure 2.1 : Classement des hôtels selon les étoiles.	51
Figure 2.2 : Synthèse sur les impacts environnementaux générés par un hôtel.	53
Figure 2.3 : Impact du carbone d'une nuitée dans un hôtel (moitié inférieure).	54
Figure 2.4 : Impact du carbone d'une nuitée dans un hôtel par pays (moitié supérieure)...	55
Figure 2.5 : Impact du carbone d'une nuitée dans un hôtel par continent.....	56
Figure 2.6 : Consommation moyenne totale journalière en électricité d'un hôtel 3*.	60
Figure 2.7 : Les postes de consommation d'énergie dans un hôtel.	61
Figure 2.8 : Evolution de nombre des hôtels en Algérie en période 2000-2022.	68
Figure 2.9 : Répartition des hôtels par vocation.	69
Figure 2.10 : Répartition des hôtels par secteur juridique.	69
Figure 2.11 : Répartition des hôtels par catégorie de classement.....	70
Figure 2.12 : Bilan énergétique de la consommation finale par secteur d'activité.	72
Figure 2.13 : Émissions de CO2 du tourisme mondial entre 2005 et 2035.	73
Figure 2.14 : Schéma synthétique des paramètres influent sur la performance énergétique des hôtels.	78
Figure 3.1 : Nano- Architecture : Nanotechnologies dans les enveloppes de bâtiment.	84
Figure 3.2 : La classification des nanomatériaux.	85
Figure 3.3 : Le nano-Béton.....	87
Figure 3.4 : L'église du Jubilé à Rome, en Italie, 2003.....	87
Figure 3.5 : Centre scientifique Phaeno, Wolfsburg, Allemagne, 2005.....	88
Figure 3.6 : Le ciment et nano-ciment.....	89
Figure 3.7 : Le Pont Seri Wawasan, Putrajaya, Malaisie, 2003.	90
Figure 3.8 : L'idée de verre de contrôle solaire.....	93
Figure 3.9 : L'idée du verre intelligent.....	94
Figure 3.10 : La Bibliothèque Morgan à la Colorado State University, Fort Collins, États- Unis, 2012.....	95
Figure 3.11 : Le processus du mécanisme fonctionnel du PCMS.	96
Figure 3.12 : Un panneau VIP ordinaire avec un noyau de silice pressée.	99

Figure 3.13 : Un bloc d'aérogel dans la main d'une personne.	101
Figure 3.14 : Particules et pores à l'échelle nanométrique dans un aérogel. (a) Architecture du réseau d'un aérogel (b) Micrographie électronique d'une silice aérogel.	102
Figure 3.15 : Les vitrages en aérogel : (a) monolithique (b) granulaire.	105
Figure 3.16 : Prototype de fenêtre vitrée remplie d'aérogel.	106
Figure 3.17 : East Hotel St. Pauli, Hamburg, Allemagne.	109
Figure 4.1 : Carte des climats de l'Algérie selon la classification de Köppen.	112
Figure 4.2 : La carte géographique de l'Algérie indiquant la situation des régions d'étude.	113
Figure 4.3 : Meilleure période de voyage sur la côte méditerranéenne algérienne.	114
Figure 4.4 : Plan de situation de l'hôtel d'Alger.	115
Figure 4.5 : Plan de masse de l'hôtel d'Alger.	116
Figure 4.6 : Plan de sous-sol.	117
Figure 4.7 : Plan de RDC.	117
Figure 4.8 : Plan de 1er étage.	118
Figure 4.9 : Plan de 2ème étage.	118
Figure 4.10 : Plan de 3,4,5ème étage.	119
Figure 4.11 : Plan de 6,7,8ème étage.	119
Figure 4.12 : La façade principale de l'hôtel d'Alger.	120
Figure 4.13 : La façade arrière de l'hôtel d'Alger.	120
Figure 4.14 : L'Environnement intérieur de l'hôtel d'Alger.	121
Figure 4.15 : Diagramme des quantités de précipitations par mois de la ville d'Alger. ...	122
Figure 4.16 : Diagramme des températures Maximales et minimales de la ville d'Alger.	122
Figure 4.17 Figure 4.17 : Diagramme des températures de la ville d'Alger.	123
Figure 4.18 Figure 4.18 : Diagramme des humidités relatives de la ville d'Alger.	123
Figure 4.19 : Plan de situation de l'hôtel de Bejaia.	124
Figure 4.20 : Plan du 1er et 2ème sous-sol.	125
Figure 4.21 : Plan de RDC et du 1er étage.	125
Figure 4.22 Figure 4.22 : Plan de l'étage courant.	126
Figure 4.23 : Façade principale de l'hôtel de Bejaia.	127
Figure 4.24 : Façade arrière de l'hôtel de Bejaia.	127
Figure 4.25 : L'environnement intérieur de l'hôtel de Bejaia.	128
Figure 4.26 : Diagramme des températures Maximales et minimales de la ville de Bejaia.	129
Figure 4.27 : Diagramme des quantités de précipitations par mois de la ville de Bejaia.	129
Figure 4.28 : Diagramme des températures de Bejaia.	130
Figure 4.29 : Diagramme des humidités de la ville de Bejaia.	130
Figure 4.30 : Le diagramme psychométrique de la ville d'Alger et les meilleures stratégies choisies pour un confort 100%.	132
Figure 4.31 : Le diagramme psychométrique de la ville de Bejaia et les meilleures stratégies choisies pour un confort 100%.	133
Figure 4.32 : Enregistreur de données climatiques, TROTEC, BL30.	137
Figure 4.33 : Thermo-hygromètre.	138

Figure 4.34 : Thermomètre infrarouge.	138
Figure 4.35 : Les détails des chambres choisies dans l'hôtel ibis Alger.	140
Figure 4.36 : Les détails des chambres choisies dans l'hôtel de Bejaïa.	141
Figure 4.37 : Caméra thermique TROTEC EC040.	143
Figure 4.38 : Image thermique visuelle de la façade extérieure (hôtel d'Alger).	144
Figure 4.39 : Image thermique et visuelle de la façade extérieure (hôtel de Bejaïa).	144
Figure 4.40 : Image thermique et visuelle des chambres (hôtel d'Alger).	145
Figure 4.41 : Image thermique et visuelle de la fenêtre (hôtel d'Alger).	145
Figure 4.42 : Image thermique et visuelle de la fenêtre (hôtel de Bejaïa).	146
Figure 5.1 : Relation entre le PPD et le PMV.	148
Figure 5.2 : La sensation thermique exprimée.	148
Figure 5.3 : Le processus de déroulement l'étude quantitative auprès des clients des deux hôtels.	150
Figure 5.4 : Répartition en pourcentage du sexe dans chaque hôtel d'étude.	151
Figure 5.5 : Les tranches d'âge des clients participants.	152
Figure 5.6 : Les paramètres influent sur le confort thermique en hiver.	153
Figure 5.7 : Les paramètres influent sur le confort thermique en été.	153
Figure 5.8 : Température souhaitée en hiver dans les chambres d'hôtel.	154
Figure 5.9 : Température souhaitée en été dans les chambres d'hôtel.	155
Figure 5.10 : Evaluation de la sensation de la température ambiante de l'air, en hiver. ...	156
Figure 5.11 : Evaluation de de la sensation de la température ambiante de l'air, en été. ...	157
Figure 5.12 : Résultats d'enquête sur l'humidité relative à l'intérieur des chambres étudiées, en hiver.	158
Figure 5.13 : Résultats d'enquête sur l'humidité relative à l'intérieur des chambres étudiées, en été.	159
Figure 5.14 : Résultats d'enquête sur la satisfaction de la qualité de l'air en hiver.	160
Figure 5.15 : Résultats d'enquête sur la satisfaction de la qualité de l'air en été.	160
Figure 5.16 : Ouverture des fenêtres pour améliorer la qualité de l'air en hiver.	161
Figure 5.17 : Ouverture des fenêtres pour améliorer la qualité de l'air en été.	162
Figure 5.18 : La taille des fenêtres des chambres d'hôtel étudiées.	163
Figure 5.19 : Les ratios de la surface vitrée préférée par les clients.	163
Figure 5.20 : Résultats d'enquête sur le niveau d'éclairage naturel à l'intérieur des chambres.	164
Figure 5.21 : Le réflexe des clients d'éteindre l'éclairage artificiel quand il n'est pas nécessaire.	165
Figure 5.22 : Le réflexe d'ouvrir les fenêtres pour améliorer la qualité de l'air.	166
Figure 5.23 : Motivation pour réduire la consommation d'énergie dans une chambre d'hôtel.	167
Figure 5.24 : La nécessité de l'utilisation d'un système de chauffage ou climatisation dans une chambre d'hôtel.	167
Figure 5.25 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel d'Alger en saison hivernale.	170

Figure 5.26 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel de Bejaïa en saison hivernale.	171
Figure 5.27 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel d'Alger en saison estivale.	173
Figure 5.28 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel de Bejaia en saison estivale.	173
Figure 5.29 : Mesures comparatives du taux d'humidité relative extérieure et intérieure de l'hôtel d'Alger en saison hivernale.	175
Figure 5.30 : Mesures comparatives du taux d'humidité relative extérieure et intérieure de l'hôtel de Bejaia en saison hivernale.	175
Figure 5.31 : Mesures comparatives du taux d'humidité relative extérieure et intérieure de l'hôtel d'Alger en saison estivale.	176
Figure 5.32 : Mesures comparatives du taux d'humidité relative extérieure et intérieure de l'hôtel de Bejaïa en saison estivale.	177
Figure 5.33 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures de mur de l'hôtel d'Alger en saison estivale.	178
Figure 5.34 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures des vitrages de l'hôtel d'Alger en saison estivale.	178
Figure 5.35 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures et extérieures de mur de l'hôtel de Bejaia en saison estivale.	179
Figure 5.36 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures et extérieures de vitrage de l'hôtel de Bejaia en saison estivale.	179
Figure 6.1 : Les créateurs de logiciel TRNSYS 17	183
Figure 6.2 : Schéma descriptif de la méthode de fonctionnement de la simulation sous le logiciel TRNSYS 17.	185
Figure 6.3 : Variation des températures de l'air extérieure mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger.	187
Figure 6.4 : Variation des températures de l'air extérieure mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa.	187
Figure 6.5 : Variation des températures de l'air intérieure mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en hiver.	188
Figure 6.6 : Variation des températures de l'air intérieure mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en été.	189
Figure 6.7 : Variation des températures de l'air intérieure mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa en hiver.	189
Figure 6.8 : Variation des températures de l'air intérieure mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa en été.	190
Figure 6.9 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en hiver.	191
Figure 6.10 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa en hiver.	191
Figure 6.11 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en été.	192

Figure 6.12 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa en été.	193
Figure 6.13 : Variation des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en été.	194
Figure 6.14 : Variation des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaia en été.....	194
Figure 6.15 : Variation mensuelle des besoins énergétiques du chauffage et climatisation des chambres de l'hôtel d'Alger.	196
Figure 6.16 : Variation mensuelle des besoins énergétiques du chauffage et climatisation des chambres de l'hôtel de Bejaïa.	197
Figure 6.17 : Variation de la consommation totale du chauffage et climatisation dans les deux hôtels.....	198
Figure 6.18 : Les Façade de l'extension de l'Ibis Alger.....	200
Figure 6.19 : Comparaison de la variation mensuelle de la consommation énergétique des chambres de l'hôtel d'Alger avec et sans l'isolation en aérogel de silice.	202
Figure 6.20 : Comparaison de la variation de la consommation énergétique totale des chambres de l'hôtel d'Alger avec et sans l'isolation en aérogel de silice.	203
Figure 6.21 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques des chambres de l'hôtel d'Alger avec les différents types d'isolants thermiques proposés.....	205
Figure 6.22 : Comparaison de la variation mensuelle de la consommation énergétique des chambres de l'hôtel de Bejaia avec et sans le vitrage en aérogel de silice.....	207
Figure 6.23 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques des chambres de l'hôtel de Bejaia avec et sans le vitrage en aérogel de silice.	208
Figure 6.24 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques des chambres de l'hôtel de Béjaia avec les différents types de vitrage proposés.....	210
Figure 6.25 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques annuels des chambres de l'hôtel de Béjaia avec les différents types de vitrage proposés.	211
Figure 6.26 : Variation de la température opérative pour le cas existant (hôtel d'Alger).	212
Figure 6.27 : Variation de la température opérative pour le cas optimisé (hôtel d'Alger).	213
Figure 6.28 : Variation de la température opérative pour le cas existant (hôtel de Bejaia).	214
Figure 6.29 : Variation de la température opérative pour le cas optimisé (hôtel de Bejaia).	214

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Les indicateurs d'évaluation de l'impact environnemental.	26
Tableau 1.2 : Différents types de listes.....	27
Tableau 1.3 : Les différentes problématiques de l'aide multicritères.....	35
Tableau 1.4 : Sources de consommation énergétique d'un bâtiment pris en compte dans le calcul de la performance énergétique.	42
Tableau 1.5 : Les certifications et labels les plus répandues.	44
Tableau 2.1 : Les principaux aspects et impacts environnementaux dans un hôtel.	51
Tableau 2.2 : Normes de température pour les espaces hôteliers.....	79
Tableau 6.1 : Composition de la paroi extérieure des chambres (cas existant).....	199
Tableau 6.2 : Composition de la paroi extérieure des chambres (cas optimisé).	200
Tableau 6.3 : Types d'isolation thermique dans bâtiment.....	201
Tableau 6.4 : types de vitrage utilisé dans un bâtiment.....	209

LISTE DES ABREVIATIONS

AIE : Agence Internationale de l'Énergie.

CIBSE : Conseil International du Bâtiment et services d'ingénierie.

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

OMT : Organisation Mondiale du Tourisme.

DEFRA : Département de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires Rurales.

UE : Union Européenne.

APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie.

GES : Gaz à effet de serre

ACV : Analyse de Cycle de Vie.

TRNSYS : Programme de Simulation de systèmes transitoire.

ONU : Organisation des Nations unies.

DD : Développement durable.

ODD : Objectifs de développement durable.

POE: Evaluation Post-Occupationnelle.

NZEB: Nearly Zero Energy Buildings.

NZEH: Nearly Zero Energy Hotels.

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

PPD : Predicted Percentage Dissatisfied.

PMV : Indice de vote moyen prévisible

MCP : Matériau à Changement de Phase.

PIV : Panneaux d'isolation sous vide.

λ : Conductivité thermique W/m-1. K-1.

U : Coefficient de transfert thermique W/m². K.

RESUME

Actuellement, le réchauffement et le changement climatique impliquent une prise de conscience écologique, politique et sociale. En outre, il est bien connu que les ressources non renouvelables sont limitées et que de nombreuses conséquences traitées comme des déchets causent la pollution de l'environnement.

À mesure que la population augmente, toutes les habitudes non durables actuelles du monde ne feront qu'empirer. La conception de bâtiments durables a pris de l'importance au cours des trois dernières décennies à toutes les échelles et dans toutes les industries, y compris les secteurs du bâtiment et du tourisme.

Ces dernières années, l'Algérie a connu une augmentation significative de la construction d'hôtels, dont la majorité est concentrée dans la région méditerranéenne. En raison de leur forte consommation d'énergie, les hôtels ont un impact significatif sur l'environnement. Ces constructions sont des espaces particulièrement énergivores et exigeants afin de répondre aux différents besoins des occupants et d'assurer leur confort. Cette situation est le résultat d'une pratique architecturale indifférente à l'environnement, les aspects thermiques, énergétiques et climatiques étant souvent ignorés lors du processus de conception.

Face à cela, l'objectif principal de cette étude vise à évaluer et optimiser le comportement thermique des enveloppes des hôtels situés en zone urbaine, à titre d'étude de cas des villes d'Alger et de Bejaia. Le travail d'investigation porte précisément sur les éléments de l'enveloppe (matériaux, ouvertures, surfaces et dispositifs) afin de maîtriser et améliorer ses performances thermiques et énergétiques dans le contexte du climat méditerranéen. De plus, l'optimisation a été faite à travers l'intégration de la nouvelle génération de matériaux de construction qui sont progressivement recherchés partout dans le monde.

Pour ce faire, la méthodologie utilisée a été fondée sur une approche empirique (prise de mesures in situ combinée à une enquête par questionnaire) afin d'étudier le fonctionnement thermique des hôtels cas d'étude. Enfin, une étude paramétrique par le logiciel de simulation thermique dynamique TRNSYS a été réalisée afin d'étudier et d'optimiser l'influence de certains matériaux aérogels intégrés en premier lieu au niveau des murs comme matériaux d'isolation en comparaison avec d'autres traditionnels et en deuxième lieu au niveau du vitrage des fenêtres par rapport à d'autres types conventionnels.

En effet, les résultats ont révélé que l'intégration d'aérogel de silice pour l'isolation des murs avec une épaisseur de 5 cm réduit significativement les besoins totaux de chauffage des chambres d'hôtel de 53% par rapport à une chambre non isolée. Pour la période estivale, la protection solaire constitue une bonne alternative de conception combinée avec l'intégration d'aérogel de silice pour l'isolation des murs extérieurs afin de réduire significativement les besoins totaux de climatisation. Elle réduit les besoins à 43 % des chambres étudiées. En outre, les impacts des vitrages nano-aérogel sur la performance énergétique des hôtels et leur faisabilité économique par rapport à d'autres types de vitrage ont été étudiés, dont la recherche a montré que les fenêtres vitrées en nano-aérogel peuvent permettre d'économiser environ 47 % sur la consommation énergétique annuelle.

Mots clés : Consommation énergétique, Hôtels, Aérogels, Confort thermique, Isolation thermique, Evaluation.

ABSTRACT

Currently, global warming and climate change imply ecological, political, and social awareness. In addition, it is well known that non-renewable resources are limited and that many consequences treated as waste cause environmental pollution.

As the population grows, all of the world's current unsustainable habits will only get worse. Sustainable building design has gained prominence over the past three decades at all scales and in all industries, including the building and tourism sectors.

In recent years, Algeria has experienced a significant increase in hotel construction, the majority of which is concentrated in the Mediterranean region. Because of their high energy consumption, hotels have a significant impact on the environment. These constructions are particularly energy-intensive and demanding spaces in order to meet the different needs of the occupants and ensure their comfort. This situation is the result of an architectural practice indifferent to the environment; the thermal, energy, and climatic aspects are often ignored during the design process.

To overcome this situation, the objective of this study is to evaluate and optimize the thermal behavior of the envelopes of hotels located in urban areas, as a case study of the cities of Algiers and Bejaia. The investigation work focuses precisely on the elements of the envelope (materials, openings, surfaces, and devices) in order to control and improve its thermal and energy performance in the context of the Mediterranean climate. In addition, optimization has been done through the integration of the new generation of building materials that are gradually in demand all over the world.

To do this, the methodology used was based on an empirical approach (in situ measurements combined with a questionnaire survey) to study the thermal functioning of hotel case studies. Finally, a parametric study by the dynamic thermal simulation software TRNSYS was carried out in order to study and optimize the influence of some aerogels integrated in the first place at the level of the walls as insulation materials in comparison with others traditional and second to the glazing level of the windows compared to other conventional types.

Indeed, the results revealed that the integration of silica aerogel for the insulation of external walls with a thickness of 5 cm significantly reduces the total heating needs of hotel rooms by 53% compared to an uninsulated room. For the summer period, sun protection is a good design alternative combined with the integration of silica aerogel for the insulation of exterior walls to significantly reduce the total air conditioning needs; it reduces the needs to 43% of the rooms studied. In addition, the impacts of nano-aerogel glazing on the energy performance of hotels and their economic feasibility compared to other types of glazing have been studied, whose research has shown that nano-glazed windows aerogel can save about 47% on annual energy consumption.

Keywords: Energy consumption, Hotels, Aerogels, Thermal comfort, Thermal insulation, Evaluation.

ملخص

في الوقت الحالي، ينطوي الاحترار العالمي وتغير المناخ على وعي إيكولوجي وسياسي واجتماعي. وبالإضافة إلى ذلك، من المعروف جيداً أن الموارد غير المتجددة محدودة وأن العديد من العواقب التي تعامل ككفائيات تسبب التلوث البيئي

مع نمو السكان، ستزداد جميع العادات الحالية غير المستدامة في العالم سوءاً. اكتسب تصميم المباني المستدامة مكانة بارزة على مدى العقود الثلاثة الماضية على جميع المستويات، وفي جميع الصناعات، بما في ذلك قطاعا البناء والسياحة.

شهدت الجزائر في السنوات الأخيرة زيادة كبيرة في تشييد الفنادق، حيث يتركز معظمها في منطقة البحر الأبيض المتوسط، التي تشهد مستويات رطوبة عالية بشكل خاص في الصيف والشتاء. بسبب ارتفاع استهلاك الطاقة، يكون للفنادق تأثير كبير على البيئة. هذه الإنشاءات تتطلب بشكل خاص مساحات كثيفة الطاقة ومتطلبية من أجل تلبية الاحتياجات المختلفة للشاغليين وضمان راحتهم. هذه الحالة هي نتيجة ممارسة معمارية غير مبالية بالبيئة، وغالباً ما يتم تجاهل الجوانب الحرارية والطاقة والمناخية أثناء عملية التصميم.

وللتغلب على هذه الحالة، فإن الهدف من هذه الدراسة هو تقييم السلوك الحراري لمغلفات الفنادق الموجودة في المناطق الحضرية واستخدامه على النحو الأمثل، كدراسة حالة لمدينتي الجزائر وبجاية. يركز عمل التحقيق بدقة على عناصر الظرف (المواد والفتحات والأسطح والأجهزة) من أجل التحكم في أدائه الحراري والطاقة وتحسينه في سياق مناخ البحر الأبيض المتوسط. وبالإضافة إلى ذلك، تم تحقيق المستوى الأمثل من خلال تكامل الجيل الجديد من مواد البناء التي يزداد الطلب عليها تدريجياً في جميع أنحاء العالم.

ولتحقيق ذلك، استندت المنهجية المستخدمة إلى نهج تجريبي (قياسات موقعية مقترنة باستبيان استقصائي) لدراسة الأداء الحراري لدراسات حالات الفنادق. وأخيراً، أجريت دراسة محورية بواسطة برنامج المحاكاة الحرارية الديناميكي من أجل دراسة وتحسين تأثير بعض الأيروجيلات المدمجة في المقام الأول على مستوى الجدران كمواد TRNSYS. عازلة مقارنة بغيرها من المواد التقليدية والثانية بعد مستوى الزجاج في النوافذ مقارنة بالأنواع التقليدية الأخرى.

في الواقع، كشفت النتائج أن تكامل هواء السيليكا لعزل الجدران بسمك 5 سم يقلل بشكل كبير من إجمالي احتياجات التدفئة لغرف الفنادق بنسبة 53٪ مقارنة بالغرفة غير المعزولة. بالنسبة لفترة الصيف، تعد الحماية من أشعة الشمس بديلاً جيداً للتصميم جنباً إلى جنب مع تكامل هواء السيليكا لعزل الجدران الخارجية لتقليل إجمالي احتياجات تكييف الهواء بشكل كبير، مما يقلل من الاحتياجات إلى 43٪ من الغرف التي تمت دراستها. بالإضافة إلى ذلك، تمت دراسة تأثيرات الزجاج بالهواء النانو على أداء الطاقة في الفنادق وجدواها الاقتصادية مقارنة بأنواع الزجاج الأخرى التي أظهرت أبحاثها أن زجاج النوافذ المزجج بالنانو يمكن أن يوفر حوالي 47٪ على استهلاك الطاقة السنوي

الكلمات الرئيسية: استهلاك الطاقة، الفنادق، الأيروجيل، الراحة الحرارية، العزل الحراري

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction générale

Le développement durable d'un pays peut être menacé par de nombreux facteurs, parmi lesquels, citons l'impact environnemental négatif de la combustion des carburants fossiles. Ainsi, différents sommets internationaux se tiennent pour trouver des solutions à cette crise énergétique et environnementale. En particulier, en 1992, le Sommet international de la Terre de « Rio » qui s'est tenu au Brésil. En raison de ses réalisations, cette conférence est considérée comme l'une des plus importantes pour de nombreuses mesures affectant l'activité industrielle, les transports, l'énergie et la gestion des déchets.

Les résolutions de la Déclaration de Rio sont relativement liées à la création et au développement d'un agenda pour le 21^e siècle, nommé « Agenda 21 », celui-ci qui assure le concept de développement durable. Dans ce sens, la bonne gestion des ressources naturelles devient de plus en plus nécessaire, où l'énergie constitue un élément essentiellement important à la prospérité mondiale. La récente baisse spectaculaire des prix du pétrole, ainsi que les questions liées à l'énergie nucléaire et au gaz de schiste, ont également ajouté un élément de vigueur au débat sur le réchauffement climatique, la conversion de l'énergie et même l'énergie nucléaire.

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation mondiale d'énergie a connu une progression de 118 % entre 1973 et 2021, qui aurait connu sa plus forte croissance au cours de la dernière décennie (Elnabawi et al, 2021). On peut s'attendre à ce que celle-ci se poursuive dans un avenir prévisible, malgré les diverses mesures prises actuellement pour la freiner et contrôler l'épuisement des réserves limitées de pétrole et éviter d'autres crises énergétiques.

Dans les pays industrialisés, cette augmentation des concentrations de CO₂ est largement attribuée à la combustion de ressources fossiles pour répondre aux besoins du développement et de l'homme. En outre, il existe d'autres problèmes sociaux et environnementaux liés à l'utilisation toujours croissante de l'énergie non renouvelable et, même si certains ne sont pas aussi imminents, ils finissent par engendrer des coûts lourds que nous devons payer à long terme.

Globalement, les bâtiments représentent environ un tiers de la consommation finale d'énergie, dont la majeure partie est utilisée pour le chauffage, la ventilation et la climatisation (HVAC) (Tokbolat et al, 2019). Ils constituent ainsi les infrastructures qui génèrent de nombreux problèmes environnementaux avec des impacts sociaux-économiques sur la durabilité de la planète. Les modes de conception, de construction et l'exploitation de ces bâtiments ont des impacts variables sur l'environnement. Plus précisément, ils offrent un potentiel important pour réduire la consommation d'énergie du secteur et atténuer les effets du changement climatique et de la crise énergétique. Les facteurs tels que l'adaptation bioclimatique du bâtiment à son site, la spécification des matériaux pour la construction, les techniques et l'usage des matériaux écologiques affectent la durabilité d'un bâtiment.

Actuellement, la nécessité de construire des bâtiments qui prennent en compte les exigences climatiques de la région et l'exploitation des énergies renouvelables est la préoccupation majeure des concepteurs du bâtiment qui visent à la mise en place d'une architecture saine et durable avec un impact réduit sur l'environnement. Ses appellations sont diverses regroupant l'architecture durable, verte, écologique, bioclimatique, passive...etc. En 1994, le Conseil International du Bâtiment (CIB) a défini l'objectif de la construction durable comme « la création et l'exploitation d'un environnement bâti sain basé sur l'efficacité des ressources et la conception écologique » (Kibert et al, 2008).

Par conséquent, les aspects les plus importants de la conception durable dans l'architecture se trouvent étroitement liés aux matériaux de construction, à la manière de leur extraction, à leur manipulation, fabrication et utilisation dans les bâtiments. Ils réduisent, de plus, le potentiel de la conservation de l'énergie, ainsi que la réduction de la consommation de ressources non renouvelables, des déchets, de la toxicité et des émissions de carbone grâce à des applications architecturales de technologies nouvelles et innovantes. Ils perturbent également l'optimisation de la conception de l'enveloppe du bâtiment telle que, l'orientation du bâtiment, les ombrages, les modifications de l'enveloppe (le rapport fenêtre-mur, la toiture) et de la masse thermique des bâtiments. Par rapport à ce registre, il y a un large consensus au sein de la communauté scientifique sur le fait que les premières mesures prises pour optimiser les paramètres susmentionnés entraînent des améliorations substantielles de

l'efficacité énergétique des bâtiments, ce qui, à terme, aidera à atteindre un niveau plus élevé de performance (Kobeyev et al., 2021).

Aussi, plusieurs études ont été menées par les chercheurs pour déterminer les options les plus écoénergétiques pour une adéquation de la construction à un stade précoce. D'une manière générale, on citera les études d'optimisation de la consommation énergétique annuelle des bâtiments dans les différentes zones climatiques en utilisant les propriétés des matériaux de construction comme paramètres de conception. L'objectif de ces recherches a visé également la détermination des formes optimales des bâtiments, l'orientation, la construction des murs et des toits, le type et la surface des fenêtres, le taux d'infiltration, l'épaisseur de l'isolation et l'ombrage des bâtiments.

D'autres recherches se sont concentrées sur la composition des murs, le nombre, le type, les dimensions et le matériau des fenêtres pour optimiser la consommation d'énergie et le coût (Tuhus et al., 2010 ; Ascione et al., 2015 ; Carlucci et al., 2015 ; Wang et al., 2021).

Par ailleurs, le passage des modes de construction traditionnels à ceux de haute performance sera possible grâce à des innovations dans les matériaux structurels et non structurels, l'isolation, les revêtements, ainsi que les technologies solaires. La première de ces technologies innovantes est la nanotechnologie, dont les applications commerciales ont déjà commencé, et c'est bien l'intégration de cette technologie dans les bâtiments et particulièrement dans les hôtels qui nous intéresse dans la présente étude.

Cette recherche relève de ces réflexes, elle s'inscrit dans une démarche qui se base sur l'évaluation et l'optimisation de la performance énergétique des éléments de l'enveloppe par l'intégration des nanomatériaux afin d'améliorer le confort thermique et réduire les besoins énergétiques des bâtiments touristiques, particulièrement les hôtels urbains situés dans un climat méditerranéen.

Problématique

Actuellement, le tourisme est l'un des principaux moteurs de l'emploi et de la croissance, il possède un impact significatif sur les économies locales et le bien-être social. Selon l'Organisation mondiale du tourisme (OMT), 10 % des émissions mondiales de CO₂

sont liées au tourisme, dont 7 % sont dus à l'hôtellerie. Ces chiffres continuent d'augmenter chaque année à mesure que le secteur continue de croître. Une solution prudente pour réduire ces émissions est nécessaire pour éviter une éventuelle crise climatique.

Depuis son indépendance jusqu'à présent et, comme d'autres pays en voie de développement, l'Algérie s'efforce généralement dans tous les domaines afin d'arriver à maintenir un statut remarquable parmi les nations. De plus, les pensées de la mondialisation, l'industrialisation et les énormes développements technologiques sont tous des chemins voies qui l'ont mené vers la réalisation d'intenses constructions et équipements publics à différentes échelles et dans plusieurs secteurs. L'objectif visé a souvent la quantité et la modernité des constructions, sans pour autant penser à prendre en considération la qualité et le confort des usagers.

Notons également que le secteur du bâtiment en Algérie, est le premier en matière de la consommation d'énergie, avec 43 % de la consommation énergétique finale nationale, et le troisième émetteur de gaz à effet de serre avec plus de 16 % des émissions (APRUE, 2017). Les hôtels, sujet de notre étude, sont considérés comme étant des bâtiments qui consomment une grande quantité d'énergie. Ils sont classés parmi les cinq premiers en termes de consommation d'énergie dans le secteur tertiaire.

Mondialement, la consommation d'énergie des hôtels a été estimée à 97.5 TWh, dont l'intensité énergétique moyenne varie entre 69 et 689 kWh/an (Bodach, 2016). Cette énorme consommation est utilisée notamment dans les chambres afin d'assurer le confort exigé par les clients. Comme souligné par Orynycz et al (2021), le chauffage et la climatisation constituent les systèmes les plus énergivores avec une consommation énergétique allant jusqu'à 45 % de la valeur totale.

Plusieurs recherches ont étudié la nécessité de réduire l'impact environnemental et de limiter les émissions de CO₂ produites par les hôtels à l'échelle internationale, certaines d'elles se concentrant sur les moyens d'économiser et d'optimiser l'énergie. Cependant, il existe relativement peu d'études sur le confort thermique et l'efficacité énergétique au niveau de l'enveloppe où se produisent des pertes énergétiques importantes, notamment à l'échelle nationale.

Dans une publication récente, selon le ministre du Tourisme et de l'Artisanat, l'Algérie a enregistré une hausse relativement importante de la construction d'établissements hôteliers afin de pallier l'insuffisance des infrastructures d'hébergement dans le secteur du tourisme (Benelkadi, 2023). Suite à une enquête préliminaire par observation et analyse des images thermiques effectuées sur des façades des hôtels urbains, il est reconnu que ces hôtels sont construits sans trop se référer aux exigences réglementaires et environnementales. Pour certains établissements, des conceptions ont été généralisées à travers le territoire indépendamment du contexte climatique, ce qui résulte des hôtels à forte consommation énergétique.

L'un des problèmes majeurs liés à la conception des hôtels soucieux de l'environnement et économes en énergie réside dans le manque de guides de conception censés procurer toutes les informations et recommandations à prendre en considération par les concepteurs du bâtiment lors de la phase de conception. Cela peut s'expliquer par le manque d'un savoir-faire dans le domaine de la performance énergétique du bâtiment ainsi que l'évolution et l'intégration des matériaux innovants.

Ce problème épineux est plus ressenti sur la côte méditerranéenne de l'Algérie, où un grand nombre d'hôtels a été construits, parmi lesquels un pourcentage de 50 % est situé dans les zones côtières (Naceur,2009). Ces dernières sont caractérisées par le climat méditerranéen connu pour ses étés chauds et secs allant de 25 °C à 40 °C et ses hivers doux et humides de 5 °C en moyenne, et ses saisons intermédiaires pluvieuses (Ahriz et al.,2022).

De ce fait, il devient plus prudent avant la mise en application du nouveau programme de construction des projets d'hôtels, de procéder à l'évaluation des projets en phase d'exploitation afin d'identifier les freins et les leviers pour une architecture durable et performante. L'évaluation des projets en phase d'occupation fait partie des approches scientifiques pouvant mener à l'élaboration de guides de conception, qui sont considérés comme une base de données fondamentale pour le choix des bonnes solutions dans la phase de conception pouvant mener à des projets performants en phase opérationnelle.

Dans le domaine de la construction, des progrès considérables ont été réalisés récemment dans la production de nouveaux matériaux appelés « les nanomatériaux ». Ces

matériaux nanotechnologiques concernent l'ensemble du bâtiment, de la structure de base aux revêtements muraux, de l'éclairage à la production d'énergie, et surtout, il est considéré comme crucial pour l'efficacité énergétique des bâtiments. Cela est dû aux caractéristiques particulières des matériaux à l'échelle nanométrique. Il a été démontré que les matériaux issus de la nanotechnologie possèdent de nombreuses caractéristiques uniques et peuvent résoudre de manière significative différents problèmes sur le terrain (Khandve, 2014 ; Hala, 2020).

Dernièrement, ce domaine a connu une apparition d'une nouvelle génération de matériaux nommés (super-isolant) ayant des performances énergétiques deux à trois fois supérieures à celles des isolants traditionnels, à épaisseur équivalente. Parmi ces derniers sont les matériaux à base d'aérogel, ces matériaux de haute performance pour l'isolation du bâtiment, car ils neutralisent les trois modes de transfert de chaleur (convection, conduction et rayonnement) avec une conductivité thermique pouvant atteindre $0,015 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (Nocentini 2017).

Partant de là, l'importance donnée à ce sujet a posé le problème de cette recherche, où l'étude s'est focalisée sur l'espace clé de l'hôtel qui est la chambre des clients. Elle a pour objectif de déterminer et mesurer les paramètres créant l'inconfort thermique dans ces espaces fortement sensibles, d'évaluer et d'optimiser la performance de l'enveloppe extérieure par l'intégration des matériaux en aérogel pour une conception des hôtels économe en énergie.

Après avoir pris en compte ces considérations et engagé une réflexion approfondie, une question principale a émergé : **quelles sont les stratégies d'optimisation de la performance énergétique et du confort environnemental intérieur des hôtels urbains sous un climat méditerranéen ?**

A partir de cette question générale, deux autres questions plus spécifiques ont été formulées :

- Quelle est la situation des hôtels urbains algériens en matière de consommation d'énergie et de confort hygrothermique ?

- Parmi les stratégies d'amélioration des conditions environnementales intérieures dans les hôtels, les matériaux de nouvelle génération peuvent-ils être une alternative adéquate pour le contrôle de consommation énergétique ?

Hypothèses de recherche

Les questions présentées ci-dessus nous ont permis d'élaborer les hypothèses suivantes :

- La qualité environnementale et surtout la dimension hygrothermique dans les chambres d'hôtels urbains pourrait ne pas être conforme aux normes de confort exigées par la réglementation internationale.
- A l'échelle nationale, les stratégies adoptées pour la performance énergétique dans certains hôtels seraient insuffisantes pour satisfaire les attentes des clients en matière de confort hygrothermique perçu.
- Parmi les stratégies de l'optimisation de la performance énergétique des hôtels, le recours aux enveloppes nanotechnologiques par l'intégration des matériaux en aérogel en combinaison avec les protections solaires contribuerait à la réduction de la consommation d'énergie et à l'amélioration du confort intérieur dans l'environnement d'étude.

Objectifs de recherche

On peut les résumer comme suit :

- Identifier et évaluer les paramètres influençant le confort thermique des hôtels situés en zone urbaine sous un climat méditerranéen.
- Evaluer la contribution de l'intégration des nanomatériaux dans les enveloppes à la réduction de la consommation d'énergie et l'amélioration du confort thermique pendant les saisons d'hiver et d'été dans les hôtels sous un climat méditerranéen.
- Développer un ensemble de recommandations et d'orientations pour les concepteurs du bâtiment afin de réduire la consommation d'énergie dans les hôtels en assurant le confort thermique des clients.

Méthodologie de recherche

Afin d'atteindre les objectifs souhaités par la présente recherche, un cadre méthodologique a été élaboré. Il s'appuie sur la combinaison de deux parties :

La première partie présente l'étude théorique de la recherche à travers l'établissement d'une étude bibliographique des travaux et documents liés à la thématique étudiée. Pour cerner l'état de l'art de cette recherche et en vue de définir son cadre conceptuel, plusieurs types de documents (livres, thèses, articles scientifiques..., etc.) ont été exploités.

La deuxième partie présente le travail sur terrain à travers :

Premièrement, des enquêtes préliminaires de certains hôtels urbains au niveau des wilayas côtières ainsi que des différentes directions, en particulier (APRUE, CDER, CNERIB, Ministère du Tourisme et de l'Artisanat) ou un ensemble d'entretiens et d'interviews avec les responsables ont été effectuées en vue de collecter les informations de la situation énergétique du bâtiment en général et des hôtels urbains en particulier.

Deuxièmement, après le choix des hôtels convenables pour l'élaboration de cette recherche, une étude qualitative a été réalisée par le biais d'une enquête (questionnaire auto-administré) pour évaluer la sensation et la satisfaction des clients dans les chambres par rapport à la situation thermique interne.

Troisièmement, la réalisation d'une étude quantitative à travers une approche empirique présentée par une série de campagnes de mesure in situ des paramètres liés au confort thermique et au bien-être de l'occupant en relation avec la consommation énergétique du chauffage et de la climatisation. Ces mesures sont réalisées à l'aide de plusieurs appareils et permettent d'évaluer l'efficacité thermique de l'enveloppe du bâtiment. Ensuite, pour valider les résultats obtenus par la campagne de mesure, une série de simulations numériques avec le logiciel de simulation thermodynamique TRNSYS 17 a été faite, suivie par des autres scénarios de simulation qui visent à optimiser les éléments de l'enveloppe à travers l'intégration des nanomatériaux.

Structure de thèse

Pour une meilleure maîtrise du thème, cette étude a été divisée en deux parties et scindée en six chapitres, qui constituent le contenu du manuscrit, en plus du chapitre introductif et de la conclusion générale. La première partie est théorique-conceptuelle, composée des trois premiers chapitres consacrés à la compréhension des concepts et concepts de base à travers l'analyse bibliométrique. La deuxième partie s'étend des chapitres 4 à 6. Le troisième chapitre est considéré comme le point de liaison et de transition entre les parties théorique et pratique. Il comprend l'établissement d'un état de l'art sur les recherches menées sur ce sujet, les différentes méthodes utilisées, il fixe ensuite la position épistémologique de cette recherche dans le champ scientifique. Les chapitres quatre, cinq et six sont typiquement méthodologiques, pratiques et analytiques : ils décrivent le contexte et le contenu de la recherche, de la partie expérimentale, et expliquent le processus de réalisation de mesures in situ. Ils présentent les simulations numériques et l'interprétation des résultats afin de répondre à la problématique posée. La structure de cette thèse se décline comme suit :

Un chapitre introductif : consacré à l'introduction générale qui synthétise le champ de l'étude, présente la formulation de la problématique et les hypothèses de la recherche. Il définit le contexte et les objectifs de la recherche, puis il décrit l'analyse conceptuelle, explique la méthodologie utilisée et expose enfin la structure de la thèse et les critères de choix des hôtels.

Le premier chapitre aborde les définitions des différentes notions liées au développement durable, à l'environnement, aux impacts environnementaux. Il étudie et analyse et comprend les éléments qui alimentent la problématique énergétique dans le bâtiment.

Le deuxième chapitre est scindé en deux parties ; dans la première, il traite les impacts environnementaux et les enjeux liés au bâtiment hôtelier, plus les réponses internationales (les labels et certificats) qui ont été adoptées afin de réduire les impacts environnementaux engendrés par les hôtels, plus particulièrement celles qui incitent à minimiser la consommation d'énergie. Ensuite, il traite de la problématique énergétique du

secteur hôtelier dans le monde et en Algérie et décrit la relation entre les stratégies bioclimatiques et la performance énergétique des hôtels.

Le troisième chapitre : une analyse exhaustive de la littérature sur les différents types de nanomatériaux, particulièrement d'isolation thermique des parois et des vitrages, leurs propriétés et leurs applications dans le bâtiment en général et dans les hôtels en particulier. Dans ce chapitre, nous avons dévoilé le positionnement épistémologique de cette étude par rapport au champ des recherches existantes.

Le quatrième chapitre présente le contexte climatique des villes étudiées, il décrit les cas d'étude (échantillons des hôtels urbains). Il aborde aussi le protocole exploité pour faire l'étude qualitative et quantitative.

Le cinquième chapitre est consacré à l'étude expérimentale réalisée sous forme de mesures in situ et d'une enquête au niveau des deux hôtels choisis comme cas d'étude. Il présente l'interprétation des mesures prises à l'intérieur et à l'extérieur des hôtels choisis. Parallèlement, les résultats de l'enquête effectuée auprès des occupants des hôtels.

Le sixième chapitre est consacré au travail de simulation. En premier lieu, il définit le programme de la simulation thermique dynamique utilisé (TRNSYS) et la validation des résultats de mesure in situ, ensuite l'optimisation avec l'intégration des aérogels aux niveaux des parois pour le cas de IBIS Alger et aux niveaux de vitrage pour le cas de HOTEL DU NORD à Bejaïa. Par la suite, il analyse les résultats obtenus afin de montrer l'impact des matériaux aérogels sur la réduction de la consommation d'énergie et sur le confort thermique des chambres étudiées.

Finalement, cette thèse est parachevée par une conclusion générale qui résume toutes les étapes de la recherche et fournit un ensemble de recommandations et d'orientations propices et probantes pour les concepteurs du bâtiment afin de réduire la consommation d'énergie dans les hôtels tout en assurant le confort thermique des clients.

Motivation du choix des bâtiments de type hôtelier

Le secteur du tourisme est une partie de l'économie algérienne qui permet de sortir de la dépendance de notre économie des hydrocarbures. C'est une façon d'aider le pays à diversifier son économie. La situation économique actuelle de bas prix du pétrole qui remonte chaque année attire beaucoup l'attention des experts et des chercheurs, qui s'inquiètent de la vulnérabilité de l'économie algérienne. Le secteur du tourisme est classé parmi les secteurs stratégiques de modernisation et de développement, à l'instar de l'agriculture et de l'industrie.

Toutefois, la diversification des paysages et la différenciation extraordinaire en Algérie à partir du littoral, la grande partie saharienne au sud, les montagnes, sont des points positifs et encourageants pour le gouvernement pour l'élaboration de politiques économiques qui incitent à l'investissement dans le secteur du tourisme (Amnache ,2017). Par ailleurs, il est important de focaliser sur l'exploitation de cette beauté naturelle du pays, à travers des infrastructures qui attirent les visiteurs pour classer ces paysages comme la meilleure destination touristique. Par conséquent, l'Algérie fournit de grands efforts pour l'amélioration et le développement du tourisme par la construction de nombreuses nouvelles infrastructures hôtelières. Actuellement, la mobilisation d'une enveloppe de 3,8 Mds EUR pour le financement de construction des projets d'hôtel publics et privés pour atteindre un chiffre de 500.000 lits d'ici 2030, au lieu de 140.000 lits en 2022. (Mazi,2022).

Suite à cela, l'Algérie assiste cette dernière décennie à une réalisation multiple de projets d'infrastructures hôtelières englobant seulement des paramètres architecturaux et fonctionnels. Cependant ces infrastructures ne sont pas soumises à des exigences réglementaires sur le plan environnemental et énergétique, ce qui conduit à des bâtiments énergivores.

Critères de choix des hôtels urbains

Selon les statistiques du Ministère du Tourisme et de l'Artisanat, le nombre d'établissements du secteur hôtelier en Algérie en 2022 arrive au chiffre de 1576 unités avec une capacité de 145 526 places lits. En outre, le rapport régional élaboré par le réseau MEDENER sur les indicateurs d'efficacité énergétique des pays du Sud et de l'Est de la

Méditerranée estime que la consommation d'électricité des hôtels en Algérie dépasse le 5000 kWh/emploi et présente un pourcentage de 3 % de la consommation énergétique finale nationale.

A travers notre première étude sur terrain et la visite de plusieurs hôtels (Annexe A) dans des différentes villes (Alger, Annaba, Béjaïa...) nous remarquons que tous les hôtels présentent un cadre bâti qui néglige les quantités d'énergies consommées et utilisent des matériaux non adaptés aux exigences climatiques et généralement une standardisation de l'emploi des matériaux dans tous les types des hôtels algériens. Ceci contribue sans doute à une mauvaise conception de l'enveloppe qui augmente les déperditions qui conduit à des besoins en climatisation et en chauffage trop élevés.

Le choix des hôtels urbains pour notre recherche s'est effectué selon la prépondérance de l'hôtellerie urbaine (73 %) comparativement aux autres types d'hôtellerie, avec 1154 établissements totalisant 93906 lits. De plus, notre travail se porte sur des hôtels urbains en climat méditerranéen littoral où la concertation de ces derniers est la plus importante avec un pourcentage de presque 50 %. De ce fait, nous avons choisi pour notre travail deux hôtels urbains dans deux différentes wilayas qui ont le même climat et des enveloppes extérieures différentes (l'orientation, les matériaux, le taux de vitrage, la forme et la dimension des chambres) afin de voir l'impact de la conception de l'enveloppe sur la consommation énergétique et le confort intérieur des clients. Le premier cas est un hôtel urbain à Alger et le deuxième cas un hôtel urbain à Béjaïa. Ces hôtels ont été choisis parmi une large gamme d'hôtels pour plusieurs raisons.

En premier lieu, notre choix s'est fixé sur ces deux cas d'étude, sachant qu'à travers nos premières recherches bibliographiques sur le thème, très peu de travaux ont été réalisés sur ce type de bâtiment, surtout à l'échelle nationale. Cela peut être à cause de la sensibilité et de la difficulté de prendre des informations nécessaires pour le travail.

Ensuite, par rapport aux caractéristiques de l'enveloppe extérieure. Ces hôtels procèdent des deux façades de différentes orientations, dont au moins une exposée au soleil, ce qui nous aide à avoir des résultats d'étude plus profonde lors de l'optimisation de la

performance énergétique pour réduire la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation.

Enfin, nous n'avons pas arrêté de nous attacher à ces deux cas au fil du temps par les enquêtes sur terrain réalisées depuis 2016. En particulier, grâce à la disponibilité de collaboration et à l'autorisation des responsables techniques des hôtels pour l'accessibilité à l'information et les renseignements nécessaires pour commencer le travail (les différents types de plans architecturaux, les informations sur les installations, l'accès aux différentes chambres, les enquêtes, la campagne des mesures).

CHAPITRE I : BATIMENT DURABLE ET METHODES D'EVALUATION

Introduction

Ce chapitre aborde en premier lieu un rappel des notions générales du développement durable et met l'accent sur les impacts générés par le bâtiment sur l'environnement en général, la qualité environnementale requise. Il y est aussi introduit les concepts de construction durable, d'efficacité et de performance énergétique en précisant les paramètres de la construction qui l'influencent d'une manière déterminante. L'objectif principal de ce travail étant d'étudier, d'analyser et de comprendre les éléments qui permettent d'étayer la problématique énergétique dans le bâtiment, ce chapitre englobe une analyse du contexte précis de la recherche et les méthodes d'évaluation précises.

1.1 Le concept du développement durable : un bref aperçu

Selon le rapport de Brundtland en 1987 qui était la synthèse issue de la première commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, la notion de développement durable signifie que « la société humaine actuelle doit vivre et répondre à leurs besoins sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins » (Lukas ,2011). A partir de cette définition, le concept de développement durable repose en fait sur la façon dont une société est organisée pour qu'elle puisse rester dans la durée en tenant compte à la fois des générations présentes et futures. Pour clarifier davantage ce concept, la durabilité est également définie comme l'utilisation harmonieuse des ressources et de la matière, du potentiel naturel et humain d'une manière équilibrée et cohérente afin qu'une société puisse profiter pleinement de ce dont elle dispose en tant que ressources naturelles (Ahmed Khan ,2015).

Les objectifs et l'historique du DD sont globalement résumés dans (Annexe B) dont la figure représente la chronologie de l'émergence et de l'évolution des événements mondiaux phares conférant la problématique de DD.

Pour bien définir et comprendre ce concept, le schéma tridimensionnel ordinaire (économie, environnement et société) indique clairement les trois piliers sur lesquels repose le concept de développement durable (Figure 1.1). L'un des objectifs fondamentaux de ce

concept est de créer un fort équilibre entre ces trois piliers : lorsqu'on parle d'un développement économique durable, on tient forcément compte de l'environnement et de la société. A partir de cette vision, une partie des écologistes croient que l'activité humaine affecte les écosystèmes. Selon eux, un développement humain incontrôlé entraîne des changements irréversibles dans les écosystèmes et menace leur capacité à soutenir sur le long terme l'activité humaine (Lukas ,2011).

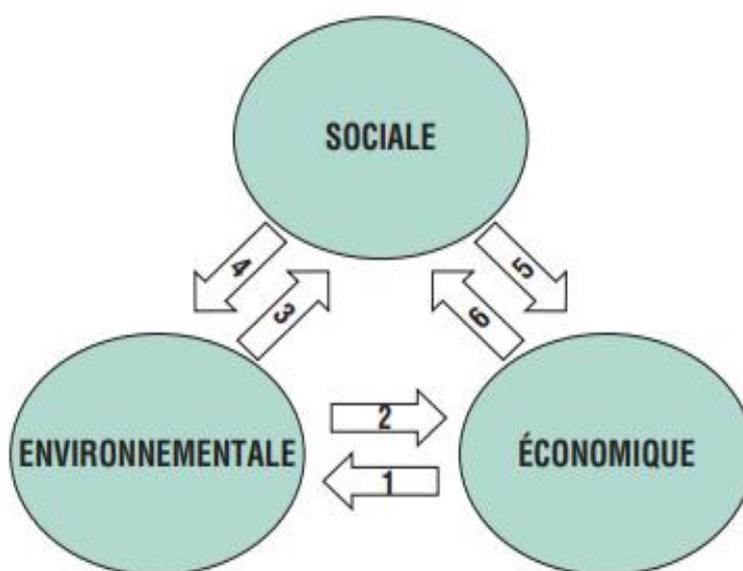


Figure 1.1 : Les principales dimensions du développement durable.

Source : Cahier des statistiques OCDE, 2006.

En résumé le développement durable s'articule principalement autour trois aspects en commençant par l'économie qui est considéré comme un pilier essentiel de notre société de consommation, où le développement durable consiste à modifier les modes de production et de consommation en prenant des mesures pour garantir que la croissance économique ne se fasse pas au détriment de l'environnement et de la société, en parlant du deuxième pilier qui est le social ou bien le pilier humain , pour cet aspect le développement durable comprend la lutte contre l'exclusion sociale en réduisant la pauvreté et les inégalités et en assurant une répartition équitable des revenus et des services, en fonction de la contribution de chacun dont le but est de sécuriser le lien, ce pilier vise la relation entre les entreprises et la société

civile, le troisième pilier qui est l' environnemental dont le développement durable vise à limiter l'impact de l'activité humaine non seulement pour l'environnement naturel, mais aussi pour l'environnement urbain, il s'agit de protéger les ressources naturelles à long terme par l'inacceptation des actions qui nuisent à la planète, la biodiversité, la flore et la faune. (Jeremy Warren ,2010, Martin et al ,2018).

Villeneuve et al. (2016) ont développé une grille d'analyse de développement durable (GADD) qui propose une autre typologie qui inclut six aspects, selon lesquels un projet de développement durable doit être évalué et mesuré en fonction de ces dimensions (Figure 1.2).

En conclusion, la compréhension du concept de développement durable dépend du rôle de chacun. Il est clair que certains domaines du savoir ont été domestiqués, explorés et critiqués, mais la seule vérité est que le développement durable n'est pas seulement une obligation, c'est une contrainte et une réelle opportunité pour réorganiser et renouveler notre société.

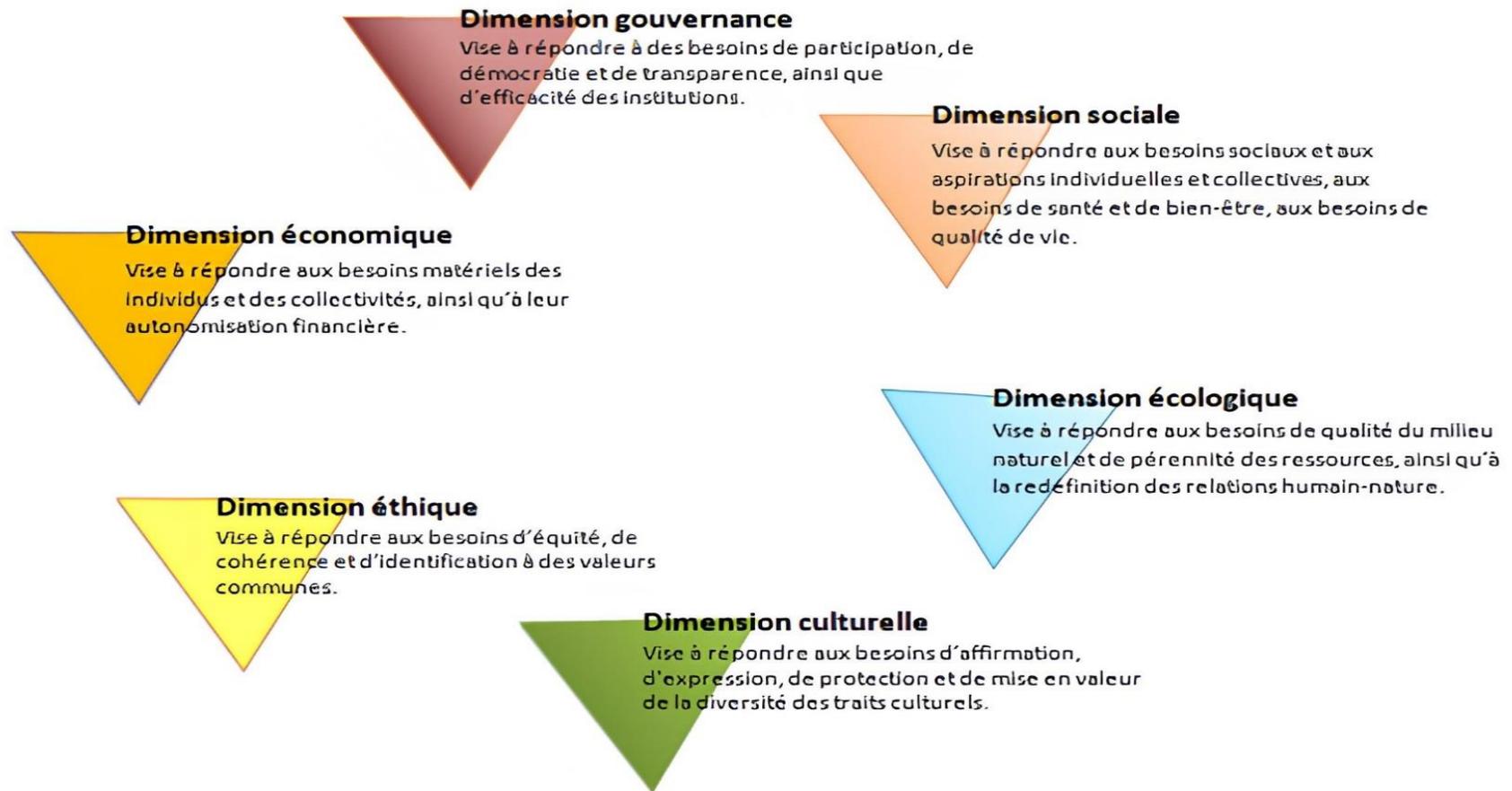


Figure 1.2 : Les six dimensions de la GADD.
Source : Villeneuve et al,2016.

1.2 Le développement durable en Algérie

La question du développement durable est devenue l'une des plus grandes préoccupations mondiales depuis qu'elle a été mentionnée à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement. Face à plusieurs défis de développement durable qui peuvent être illustrés par un ensemble d'indicateurs tels que le taux de croissance économique, le taux de chômage, l'indice de pauvreté, la pollution de l'environnement, le taux d'inflation (Mesbahi ,2021) et dans un contexte international dynamique, l'Algérie s'est engagée sur la voie du développement durable. Selon Alejandro Alvarez, coordonnateur résident des Nations Unies pour l'Algérie, « grâce à d'importants investissements publics, l'Algérie a fait des progrès significatifs vers ses objectifs de développement durable, en particulier dans les domaines qui répondent aux besoins nécessaires de ses citoyens ».

La concrétisation réelle du concept du développement durable dans la société algérienne nécessite une prise en compte de la tradition en parallèle avec les enjeux de modernisation afin de construire une base intense qui s'appuie principalement sur la richesse du patrimoine algérien, notamment en matière d'habitat, d'artisanat et d'artisanat ancestral, et de l'intégrer dans les exigences de l'universalité dont le but est de proposer des objectifs adaptés aux spécificités de la région algérienne et de créer un développement authentique (Tedjani ,2021).

Sur le terrain, c'est une autre réussite pour l'Algérie, et bien que le développement de la politique nationale dans ce domaine soit nouveau et malgré les obstacles, l'Algérie a participé à des événements, adopté des protocoles et été impliquée dans la création des programmes liés à ce concept. La Figure qui suit (Figure 1.3) présente un résumé des efforts de l'Algérie pour atteindre les objectifs de développement durable.

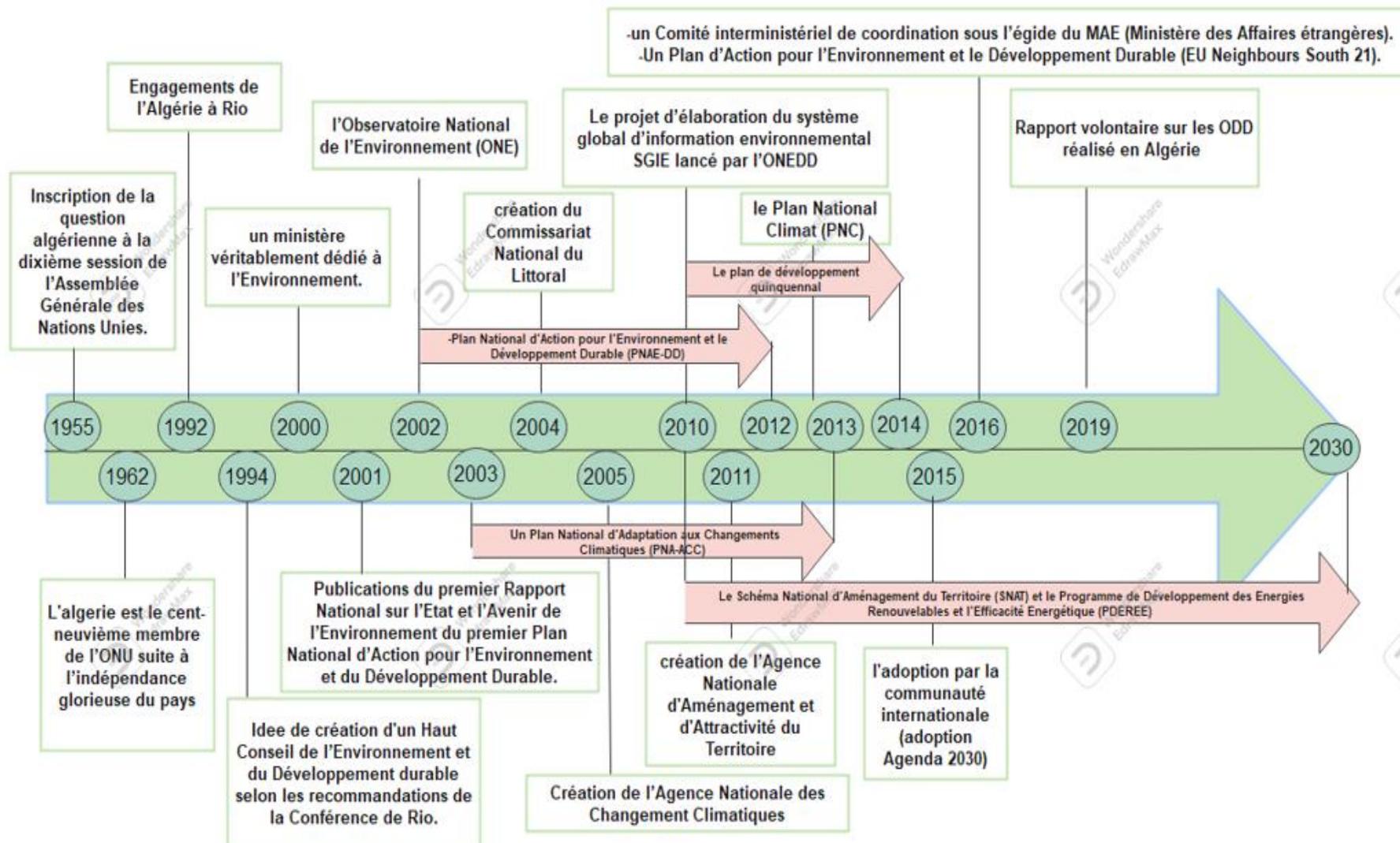


Figure 1.3 : Le développement durable en Algérie.

Source : Auteur, 2021.

Selon le rapport du développement durable publié par Cambridge University Press en 2022, l'Algérie se classe parmi les pays arabes et africains en termes d'atteinte des Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies (ONU) et au premier rang en matière de planification, l'analyse de la figure ci-dessous (Figure 1.4) montre que le pays a obtenu des résultats satisfaisants en termes d'objectifs spécifiques, notamment l'ODD4 (Éducation), l'ODD12 (Modes de consommation et production durable) et l'ODD 17 (Partenariats pour atteindre les ODD).), le pays a également évolué et progressé dans des domaines d'activité spécifiques, en tenant compte des ODD prédéfinis par les Nations Unies tel-que l'ODD9 (industrie, innovation et infrastructure), l'ODD13 (changement climatique), l'ODD15 (vie terrestre) et l'ODD16 (paix, justice et institutions fortes).

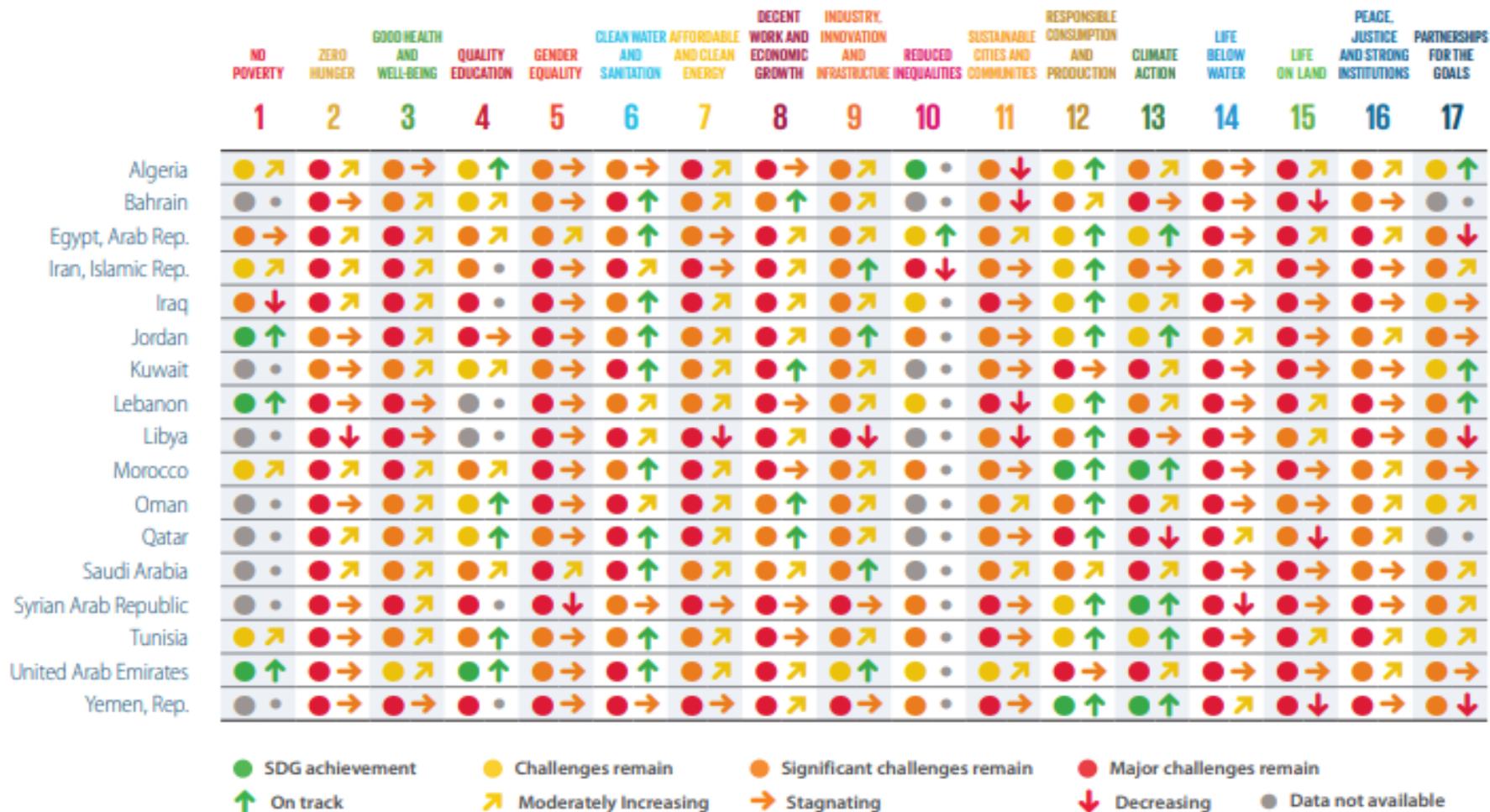


Figure 1.4 : Tableaux de bord ODD 2022 pour le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord (niveaux et tendances).

Source : Rapport du développement durable 2022.

1.3 Le concept de l'environnement

L'environnement est l'une des préoccupations majeures et constantes de tous les gestionnaires et acteurs de divers domaines. Selon la loi n° 12-03 relative aux études d'impact sur l'environnement, il présente « l'ensemble des éléments naturels et des habitats humains plus les facteurs économiques, sociaux et culturels qui facilitent l'existence, le changement et le développement de l'environnement naturel, des êtres vivants et des activités humaines ».

Le mot environnement englobe cumulativement divers sujets, il est soumis à des modes sémantiques qui abusent et généralisent son usage, de plus, les chercheurs ne s'accordent sur aucune signification particulière. C'est pour ces raisons qu'il n'existe pas une définition univoque et universelle de ce mot (Mazari ,2021).

En général, l'environnement est un domaine d'étude et de recherche, non un domaine scientifique. Plusieurs chercheurs ont approuvé ce concept, mais la plupart se concentrent sur les méfaits humains envers l'environnement, les solutions et les engagements pour le protéger.

1.3.1 Les impacts environnementaux

Nous avons vu précédemment que le concept de développement durable est devenu de plus en plus pertinent. Ces derniers temps il est considéré comme un élément déclencheur des problèmes liés à la destruction de l'environnement. Pour cette raison, les questions environnementales gagnent en conscience et en importance face à l'augmentation de l'impact environnemental. Dans le cadre de cette étude et à partir de ce point de vue, il est très important de mettre en évidence les différentes influences destructrices sur l'environnement. Selon l'ADEME (2021), la notion d'impact environnemental est définie comme l'ensemble des effets qualitatifs, quantitatifs et fonctionnels sur l'environnement produits par des projets, des procédés, un ou plusieurs organismes et un ou plusieurs produits. Selon cette définition, les impacts environnementaux sont les activités qui provoquent des changements, des altérations ou des modifications de l'environnement avec une certaine complexité et ampleur. Chaque action a un impact négligeable ou significatif, selon l'activité qui est négative ou positive (Figure 1.5).

Cibles		Pseudo cible
Nature	Ressources	Globe : Couvre toutes les cibles précédentes (nature, hommes, et patrimoine), dont leur environnement physique comme l'atmosphère et les océans
	Écosystèmes : Nature comprise comme un écosystème, c'est-à-dire l'association entre un environnement physico-chimique et abiotique (le biotope) d'une part, et les êtres vivants qui s'y développent (la biocénose)	
Hommes : Humanité, extraite de la nature et réduite à la santé telle que définie par l'OMS	Santé (humaine) : Au sens restreint	
	Bien-être humain	
Patrimoine anthropique : En distinguant patrimoine commun et patrimoine historique		

Figure 1.5 : Typologie des cibles des impacts sur l'environnement.

Source : Joumard, 2014.

1.3.2 Impact humain sur l'environnement

En général, les impacts humains négatifs sur l'environnement sont principalement dus aux activités qui provoquent des émissions de polluants, la production d'eaux usées et de déchets et la consommation de ressources, ce qui entraîne la dégradation des sols et de l'habitat, une étude menée par des scientifiques de huit universités au Canada, en Australie, aux États-Unis et en Europe et l'ONG Wildlife Conservation Society (WCS) estime que l'impact de l'homme sur l'environnement a augmenté de 9 % sur une période de 16 ans, par exemple, en intégrant l'imagerie satellitaire de la déforestation aux données recueillies au sol, l'indice de référence de l'empreinte humaine est passé de 5,67 en 1993 à 6,16 en 2019 (Martine , 2016) , En outre, le co-auteur de l'étude, James Waston, de l'université du Queensland (UQ), a déclaré que les cartes montrent que les trois quarts de la planète sont désormais très altérés, dont 97 % des zones les plus riches de la biodiversité sont certainement affectés. ».

Le graphique ci-dessus (Figure 1.6) montre que même s'il existe des activités humaines qui modifient l'environnement et les écosystèmes, il y a des activités d'exploitation des ressources qui causent des impacts négatifs qui conduisent au réchauffement climatique et à l'épuisement de la nature et à la dégradation des organismes vivants. Par contre, ces exploitations peuvent créer des mesures de protection, notamment le recours aux énergies

renouvelables, ce qui augmente la gestion raisonnable des ressources naturelles et la conservation de la biodiversité.

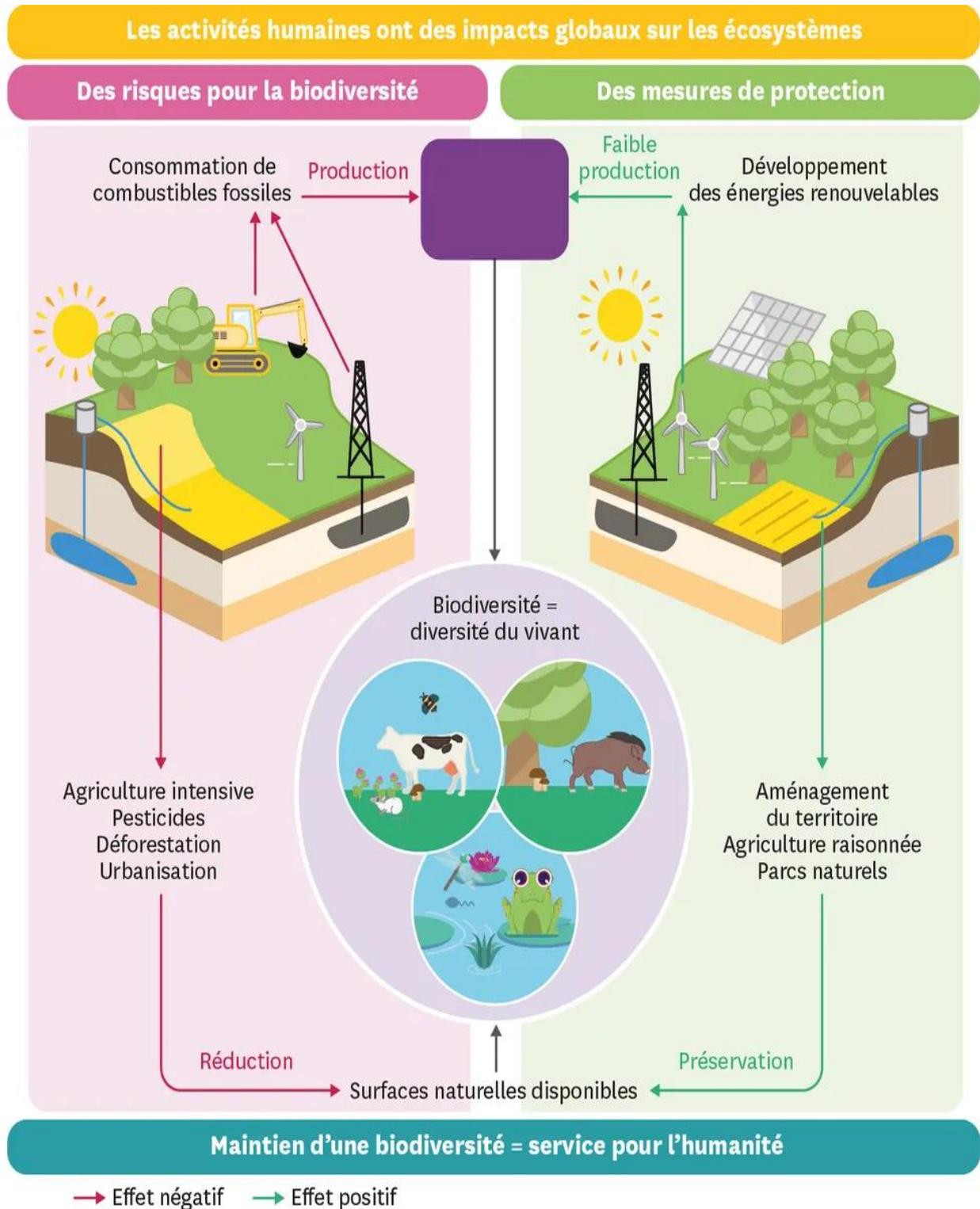


Figure 1.6 : Les impacts des activités humaines sur l'environnement.

Source : lelivrescolaire.fr (2022).

1.4 Evaluation de l'impact environnemental

L'évaluation environnementale, en particulier l'évaluation des impacts sur l'environnement (EIE), est un outil important pour le développement durable. Elle permet d'inclure les environnements dans les processus décisionnels à différentes échelles, de la planification stratégique à la gestion opérationnelle (André et al ,2020). Selon la Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique du ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MELCC), l'évaluation d'impact sur l'environnement est le processus d'intégration de toutes les attentions relatives à l'environnement, de prise en considération des particularités du milieu humain lors de la planification d'un projet, de la mise en œuvre du projet tout en garantissant la protection et la sauvegarde du cadre de vie. Ce processus favorise la collection, le traitement, l'analyse et l'interprétation des impacts pour une évaluation de la convenance environnementale d'un projet et la préparation des décisions et leur mise en service.

Dans l'ensemble, l'évaluation des impacts environnementaux est une approche pour tenir compte de l'environnement lors de l'examen des plans/stratégies/programmes/projets. Plus précisément, il s'agit d'une série d'études systématiques des effets prévisibles directs et indirects résultant d'interventions planifiées dans un environnement donné. L'évaluation d'un impact environnemental est comptée grâce à la mesure d'indicateurs de flux et d'impacts potentiels (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 : Les indicateurs d'évaluation de l'impact environnemental.

Source : (ADEM,2022).

	Les indicateurs
L'air	Abaissement de la couche d'ozone. Particules et effets respiratoires des substances inorganiques. Participation à l'augmentation de l'effet de serre. Formation d'ozone troposphérique. Acidification de l'air.
L'eau	Consommation d'eau (indicateur de flux). Eutrophisation des eaux marines Eutrophisation des eaux douces. Ecotoxicité aquatique.
Le sol et la santé humaine	Occupation des sols. Consommation d'énergie primaire (indicateur de flux). Toxicité humaine. Épuisement des ressources non renouvelables.

1.4.1 Les méthodes d'évaluation environnementale

Dans cette section, nous parlons des méthodes d'évaluation environnementale, où nous ferons une revue exhaustive des différentes méthodes. Cela nous donnera une idée sur les différentes méthodes qui ont été développées dans le cadre de l'évaluation environnementale d'un projet de toute envergure. Ces méthodes offrent plusieurs choix et permettent d'évaluer à plusieurs échelles, du test de dépistage (le questionnaire) le plus simple à l'ACV (analyse du cycle de vie) la plus approfondie.

La signification d'une méthode d'évaluation dépend des objectifs souhaités par cette évaluation. C'est une démarche adoptée qui permet de mener une évaluation. Ces résultats peuvent différer en fonction du type d'approche appliquée, de ses principales étapes et des outils utilisés. Pour un outil d'évaluation, c'est l'ensemble des moyens techniques permettant d'appliquer une méthode (Eugénie, 2013). Nous allons recenser dans ces paragraphes les méthodes d'évaluation les plus utilisées pour évaluer les performances d'un projet sur différents aspects, a fortiori les impacts environnementaux.

1.4.1.1 Les méthodes d'expertise : les listes de contrôle (Check-lists)

Cette méthode est la plus connue et utilisée vue sa simplicité et validité. Pour évaluer un projet, il suffit de créer un ensemble de listes qui constituent des paramètres significatifs (Figure 1.7). Afin d'arriver à un résultat final, la pondération de la cotation des éléments en question est très importante, aussi chaque élément du système de cotation doit s'associer à un poids qui diffère selon les propriétés (kaoula ,2017). Pour plus de détail sur cette méthode, André et al. (2003) distinguent cinq types de listes. Elles sont classées dans le tableau ci-dessous (Tableau 1.2).

Tableau 1.2 : Différents types de listes.

Source : André et al, 2003.

Types de liste	Description
Liste simple	La numérotation des points de contrôle aide à attirer l'attention du lecteur sur les parties essentielles.
Liste descriptive	La numérotation des points de vigilance aide à compléter les données sur les moyens de contrôle.
Listes avec seuils	La numérotation des points avec des seuils précis des valeurs minimales et maximales aide au jugement exact des points.
Liste avec échelle et pondération	Proposer une liste d'indices généraux créée à partir de sous indices mesurés de 0 à 1. Ces derniers sont généralement calculés subjectivement.
Questionnaires	La catégorisation de l'ensemble des questions ainsi que leurs réponses, Les réponses aident à limiter la connaissance et à apprécier les effets éventuels de ce projet.

Les listes de contrôle ont des avantages et des inconvénients, concernant les avantages. La simplicité de l'utilisation, l'adaptabilité et la rapidité d'évaluation sont les marquantes de cette méthode. De plus, elle permet aussi de faire des compensations entre les éléments de la liste, également de se souvenir des points les plus essentiels de l'évaluation, et enfin, fait preuve de cohérence. Cependant les inconvénients sont la nécessité d'une

connaissance détaillée, d'une expérience préalable dans l'évaluation des éléments, c'est-à-dire la difficulté d'appliquer un poids ou un seuil qui doit être mis à jour, car les listes changent. Pour compenser cela, l'utilisation des listes avec des poids, des échelles et des seuils qui doivent être mis à jour, d'autre part, le nombre d'éléments à évaluer est limité aux impacts essentiels afin d'éviter toute complexité et ambiguïté de l'évaluation (Cherqui, 2005).

Paramètres physicochimiques	<input type="checkbox"/>	Biodiversité	<input type="checkbox"/>
Paramètres microbiologiques	<input type="checkbox"/>	Agricole, forestier et pastorale	<input type="checkbox"/>
Reissellement/Infiltration/Perméabilité	<input checked="" type="checkbox"/>	Zone touristique et de loisir	<input checked="" type="checkbox"/>
Régime hydrodynamique	<input checked="" type="checkbox"/>	Site archéologique, historique ou rituel	<input checked="" type="checkbox"/>
Régime morphosédimentologique	<input type="checkbox"/>	Site à accès contrôlé	<input type="checkbox"/>
Qualité du sol/Pédologie	<input type="checkbox"/>	Zone urbaine/préurbaine	<input type="checkbox"/>
Modèle du terrain/Géomorphologie	<input checked="" type="checkbox"/>	Migration/Nomadisme	<input checked="" type="checkbox"/>
Caractéristiques d'ingénierie du sol	<input checked="" type="checkbox"/>	Coutumes/Traditions	<input checked="" type="checkbox"/>
Physicochimique	<input type="checkbox"/>	Démographie	<input type="checkbox"/>
Matières particulaires et en suspension	<input checked="" type="checkbox"/>	Potabilité/Disponibilité de l'eau	<input checked="" type="checkbox"/>
Température/Ensoleillement	<input type="checkbox"/>	Santé	<input type="checkbox"/>
Évapotranspiration/Évaporation/Humidité	<input checked="" type="checkbox"/>	Protection civile/Taux d'accidents	<input checked="" type="checkbox"/>
Précipitations	<input checked="" type="checkbox"/>	Emploi/Revenus	<input checked="" type="checkbox"/>
Vents	<input checked="" type="checkbox"/>	Circulation	<input checked="" type="checkbox"/>
Odeurs	<input checked="" type="checkbox"/>	Équipements collectifs	<input type="checkbox"/>
Bruits/Vibrations	<input checked="" type="checkbox"/>	Coûts des services	<input checked="" type="checkbox"/>
Structure/Densité/Composition	<input type="checkbox"/>	Développement local	<input type="checkbox"/>
Productivité/Succession	<input type="checkbox"/>	Caractéristique du paysage	<input type="checkbox"/>
Espèces rares ou menacées	<input checked="" type="checkbox"/>	Confort public et bien-être	<input checked="" type="checkbox"/>
Habitat	<input checked="" type="checkbox"/>	Services collectifs	<input type="checkbox"/>
Ressources énergétiques et matérielles	<input type="checkbox"/>		

Figure 1.7: Exemple d'une liste de contrôle "Check-lists".

Source : Gaétan, 2006.

1.4.1.2 Les méthodes de labellisation : les matrices d'impact

Une matrice d'impact (Figure 1.8) décrit les conséquences potentielles produites par les activités du projet. Chaque cellule de la matrice présente un rapport de cause à effet avec un résultat potentiel, généralement présenté comme relativement positif ou négatif. Les matrices peuvent être générales, spécifiques à un secteur ou personnalisées pour des projets particuliers. Cette méthode a été utilisée pour la première fois par (Leopold et al, 1971) pour identifier et estimer les impacts du projet. Les matrices sont classées selon le type d'informations contenues dans les cellules. Il existe quatre types : pour le premier type, ce sont les matrices simples caractérisées par une liste d'actions et de composantes pouvant interagir, concernant le deuxième type, présenté par les matrices descriptives qui contiennent

un indice textuel de l'impact et de description (la nature, la grandeur, l'importance de l'impact). Le troisième type sont les matrices numériques qui comportent des indicateurs de l'impact (contenu numérique des cellules, cotation de l'ampleur et de l'importance de l'impact). Le dernier et le quatrième type sont les matrices de symboles qui indiquent la valeur de l'impact (évaluation et signification) et donnent des renseignements sur les interactions sous forme de codes visuels (Rosa et Guesdon , 2011).

Les inconvénients et les avantages de cette méthode sont similaires à ceux des listes de contrôle (check liste) dont elles sont une acclimatation, mais elles permettent un calcul plus intéressant du projet. Dans les lignes suivantes, on cite quelques caractéristiques de cette méthode telles qu'un examen plus détaillé du projet, des problèmes possibles à des étapes intermédiaires du traitement de l'information, l'utilisation fréquente d'outils informatiques pour concevoir le contenu. La démonstration d'intégration d'activités en interaction (souvent appelée interdépendance) dans l'intégration des activités à évaluer.

D'après André et al. (2003), le recours aux matrices présente une étape fréquente, car elle propose des synthèses visuelles des impacts générés par les activités d'un projet, toutefois, malgré que sont caractérisés par leurs limites.

		Activités agricoles																			
		Protection phytosanitaire						Fertilisation						Machinisme		Assolement		gestion de l'eau		Stockage Matière 1 ^{ère}	
		stockage manipulation/utilisation ringage/élimination (fond de cuve)	matériel et entretien raisonnement (seuil, adventices, pluvio...)	Quantité-dose Choix des produits - Matières actives méthodes alternatives	stockage matériel et entretien raisonnement des apports (analyse de sols, date, utilisation outils d'aide à la décision...)	doses d'azote type de fertilisants fractionnement gestion interculture	P et K Amendements minéraux	stockage nature quantité (+/-) date d'apport	MO date d'apport	Elementis traces	Engins motorisés Choix du matériel, travail du sol	Pratiques anti-érosives	Succession culturales	taille d'unité culturale	diversité des cultures	éléments non productifs	origine du prélèvement (eau de source, public) raisonnement de l'apport (pilotage)	matériel et entretien quantité, superficie	betiments spécifiques traitements confinement	production énergie renouvelables gestion des déchets inertes	
thématiques environnementales	eau	qualité (pollution diffuse)																			
		qualité (pollution ponctuelle)																			
	sol	Qualité physique (structure, perte...)																			
		qualité chimique (pollution chimique, ...)																			
	air	qualité																			
	paysage	insertion paysagère																			
	Milieu naturel	biodiversité domestique et sauvage																			
	ressources naturelles	utilisation des ressources non renouvelables																			
utilisation des réserves en eau																					
environnement social	intégration dans le territoire social (puissance sonore, olfactive...)																				

Tableau général de synthèse des relations existantes entre activités agricoles et thématiques environnementales pour les productions végétales
en italique : les activités liées au corps de ferme
pas de relation
relation existante

Figure 1.8 : Matrice d'interaction synthétisant les relations existantes entre activités agricoles et thématiques environnementales pour les productions végétales.

Source : Peschard et al, 2004.

1.4.1.3 Les méthodes d'analyse du cycle de vie (ACV)

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode utilisée pour définir l'impact environnemental de la production d'un objet. L'ACV est une méthode objective permettant de déterminer la quantité de produits chimiques consommés lors de la création d'un produit. Dans ce contexte d'impact quantifié, l'ACV peut être appliquée à plusieurs étapes du cycle de vie d'un produit. L'ACV prend en compte un produit depuis son origine jusqu'à sa fin. Une fois le produit fini, ces informations aident les gouvernements, les entreprises ou les consommateurs à prendre des décisions éclairées sur la manière de minimiser l'impact (Angélique et al ,2019).

Principe d'évaluation des impacts

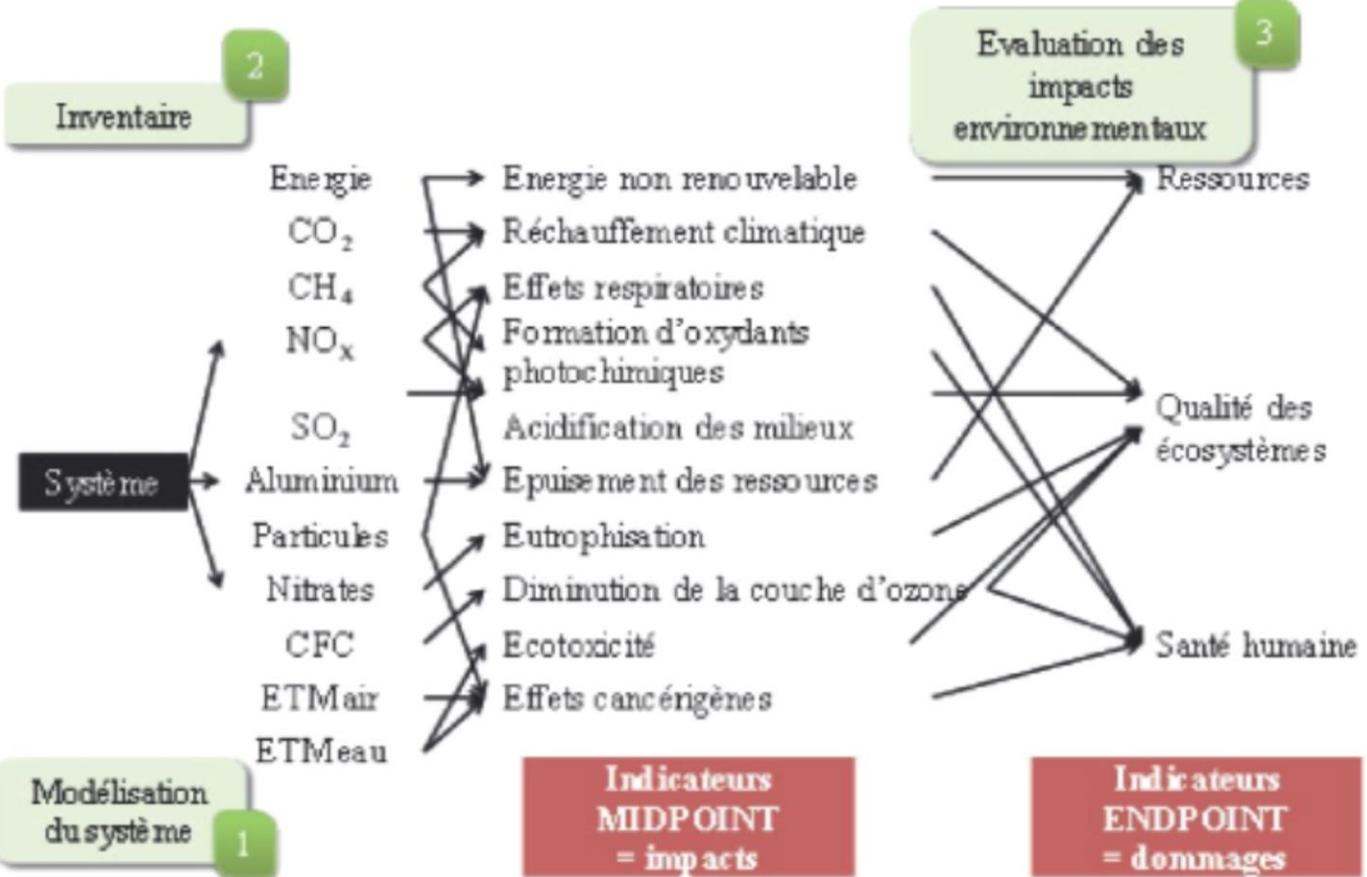


Figure 1.9 : Structure générale du cadre de l'ACV.
 Source : Guérin et Tsanga, 2017.

A travers la (Figure 1.9) qui présente les étapes d'une analyse du cycle de vie (ACV), cette dernière se déroule en plusieurs phases. La première phase commence par la définition du problème, ce qui permet de formuler les objectifs de travail, qui définissent le champ d'application, et l'inventaire des émissions et des extractions. Cette liste d'inventaire permet ensuite de quantifier les émissions dans l'air, l'eau, la terre et les matières premières non renouvelables et renouvelables. Elle définit l'utilisation des sols qui permettra de réaliser une fonction du système. La deuxième phase consiste en l'analyse de l'impact environnemental où l'inventaire des émissions nous permet d'évaluer la contribution des émissions à l'impact environnemental. L'analyse peut être décomposée en trois étapes :

Tout d'abord, elle détermine quelles émissions entraînent quel impact environnemental. Ces impacts peuvent être classés en effet de serre, écotoxicité, émissions toxiques pour l'homme, épuisement des ressources et changement climatique, selon la caractérisation moyenne équilibre.

Ensuite, les émissions pour chaque catégorie d'impact et regroupent enfin les types d'impact en catégories de dommages reliés à la santé humaine, aux écosystèmes, au changement climatique et à l'épuisement des ressources.

En fin de compte, l'interprétation de la logique effectuée sur la base des phases précédentes permet à la fois d'interpréter les résultats obtenus dans chacune des sous-phases précédentes et d'évaluer les incertitudes. (Nahouolo, 2012 ; Féon et Réthoré, 2010).

Similairement aux méthodes précédentes, l'ACV a des avantages et des inconvénients. Premièrement elle est encore en développement, elle n'est pas facile à utiliser et présente certaines limites et difficultés. C'est en raison de sa complexité croissante que l'ACV ne peut jamais obtenir toutes les données. Par exemple, il est difficile, voire impossible, d'avoir tous les flux sur un produit. De ce fait, il est parfois nécessaire d'utiliser des données génériques ou limitées. Il y a aussi les questions importantes de la représentativité et de la précision géographique (UVED, 2012), le manque de disponibilité des informations dans les bases de données (par exemple, dans les secteurs agricoles), ou des données relatives à la fin de vie de certains produits, l'absence de méthodes robustes et consensuelles pour décrire (toxicité) et quantifier (consommation d'eau, perte de biodiversité) les problèmes, les défis découlent de la nécessité de modéliser un aspect particulier de la vie ou d'un processus physique (par exemple, la modélisation de l'utilisation

et du changement d'affectation des terres, les avantages du recyclage ou la séquestration du carbone), la surestimation ou la sous-estimation des impacts possibles ou probables car l'ambiguïté dépendrait des incertitudes relatives aux méthodes de normalisation ou de monétisation, des difficultés à transmettre les informations sur les impacts, de la lenteur des processus de réalisation, de l'absence de consensus sur les méthodes et les techniques de normalisation et de l'incertitude quant à la manière dont les impacts seraient monétisés (Féon et Réthoré, 2010).

Cependant, l'analyse du cycle de vie est l'outil le plus abouti et le plus professionnellement accompli à ce jour. Il est moins ouvert et le retour en arrière est plus facile que toute autre méthode, en raison de son cadre. Le résultat de l'analyse de cycle de vie est que les praticiens maintiennent son existence, la médiation et la prise en compte des effets directs et indirects, l'identification des transferts de pollution, la capacité de modéliser un système : en faisant varier les paramètres, on peut étudier différents scénarios (UVED, 2012).

1.4.1.4 Les méthodes d'aide à la décision

Ces méthodes se procurent d'échanger une idée, c'est-à-dire qu'un choix est proposé sur un ou plusieurs paramètres liés à un projet spécifique. Les intérêts particuliers concernent la construction dans les exemples où la solution n'est pas forcément immédiate. L'utilisation de ces méthodes est plus adaptée aux projets pour lesquels la prise de décision sera ultérieure.

Ces méthodes permettent aussi d'obtenir la décision finale lors de choix de différentes alternatives. De nombreuses méthodes existent pour prendre des décisions, notamment la mise en tableaux des informations, la comparaison de différentes alternatives par critères, la méthode ordinale et l'aide à la décision multicritères (Cherqui, 2005).

La méthode d'aide multicritère à la décision est une méthode dont l'objectif est de mettre en évidence la meilleure alternative disponible pour les enjeux d'une évaluation. Elle est basée sur l'ordonnancement de différentes alternatives en fonction d'une expertise faite sur la base de plus d'un critère (kaoula, 2017). Cette approche évaluative est appelée également approche multicritère ou analyse décisionnelle multicritère. En effet, l'aide multicritères à la décision donne une réponse à quatre problématiques différentes exposées dans le Tableau.

Tableau 1.3 : Les différentes problématiques de l'aide multicritères.

Source : Roy et Bouyssou, 1993.

	Objectif	Résultat
P1	Éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final, ce sous-ensemble contenant les "meilleures" actions ou à défaut les actions "satisfaisantes".	Un choix ou une procédure de sélection
P2	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies à priori en fonction de normes ayant un rapport avec la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.	Un tri ou une procédure d'affectation
P3	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie ("les plus satisfaisantes") des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un rangement ou une procédure de classement
P4	Éclairer la décision par une description, par un langage approprié, des actions et de leurs conséquences	Une description ou une procédure cognitive

1.4.2 Synthèse sur les différentes méthodes d'évaluation

A partir de ce qui précède, nous avons aperçu qu'il existe une importante variété de méthodes pour évaluer un projet, dont les principaux paramètres utilisés pour déterminer si un projet utilise une méthode particulière par rapport à d'autres sont : la simplicité, la clarté et l'efficacité de l'utilisation de cette méthode, la finesse (qui n'équivaut pas nécessairement à l'exactitude), la flexibilité et l'adaptabilité. De plus, le fait est qu'une évaluation ne peut pas se reposer sur une méthode unique. Il est préférable de combiner plusieurs méthodes.

Nous pouvons conclure que ces méthodes sont valables. Pour les listes de contrôle, elles peuvent être très efficaces dans la phase préliminaire de tri répétitif, elles sont également omniprésentes. Les matrices prennent parfaitement en compte les interactions entre les activités d'un projet, les ACV sont courantes pour évaluer les risques et les impacts

environnementaux, les méthodes d'aide à la décision aident à apprendre comment choisir la meilleure option.

Avec la compréhension du concept de développement durable, de l'environnement et de toutes les méthodes d'évaluation en général nous aide à la fourniture d'un bon point de départ pour notre sujet de recherche en mettant l'accent dans la suite de ce chapitre sur l'évaluation environnementale du bâtiment, il est a retenu que la finalité évaluative d'une construction se fait par sa contribution à l'évolution d'un problème à travers différents aspects, à la fois fonctionnels, matériels et technologiques, de contribuer ensuite de manière objective à la réflexion sur plusieurs aspects du bâtiment tels que la programmation, la volumétrie et le choix des matériaux et des aspects techniques lors de la planification du résultat du bâtiment qui parvient à trouver une évolution dès sa naissance, en anticipant les changements possibles dans son occupation ou dans l'environnement, de plus une analyse profonde de la méthode d'évaluation post-occupationnelle sera présentée.

1.5 Le développement durable au sein du bâtiment

La vie des humains produit des effets négatifs sur l'environnement et cela devient l'une des préoccupations majeures de toutes les conversations et les discussions sociales et politiques à l'échelle mondiale. Les bâtiments présentent un grand impact sur le changement climatique et une influence importante sur l'environnement (Reed et al, 2008).

En outre, ce secteur a été considéré comme le premier responsable de la dégradation de l'environnement et contribue d'une manière significative aux émissions de CO₂ tout au long de leur cycle de vie en raison de l'utilisation du chauffage, de la climatisation et de la ventilation et de l'utilisation irrationnelle de l'eau, et ainsi de la grande production des déchets durant tout leur cycle de vie afin de répondre aux besoins de leurs utilisateurs. Les chiffres fournis par différentes institutions à travers le monde, appellent à une action immédiate dans le secteur de la construction afin d'éviter des dommages potentiels pour les générations futures (Rajendra et al, 2007).

Le concept de développement durable touche presque tous les domaines et les secteurs (industrie, transport, construction, produit...). Le secteur du bâtiment et de la construction est parmi les plus concernés par les enjeux du développement durable. De ce fait, il est nécessaire de changer la politique de construction et de commencer à incorporer

le mouvement du nouveau concept du bâtiment soucieux de l'environnement. (Bâtiment durable, bioclimatique, écologique, performant, vert...).

L'objectif principal du développement durable dans le secteur du bâtiment est de le transformer du statut de grand consommateur d'énergie à celui de producteur d'énergie, cela pour résoudre le problème de la production de richesse. Pour ce faire, la préoccupation du développement durable des constructions est reposée sur les trois piliers environnementaux, économiques et sociaux. (Figure 1.10).

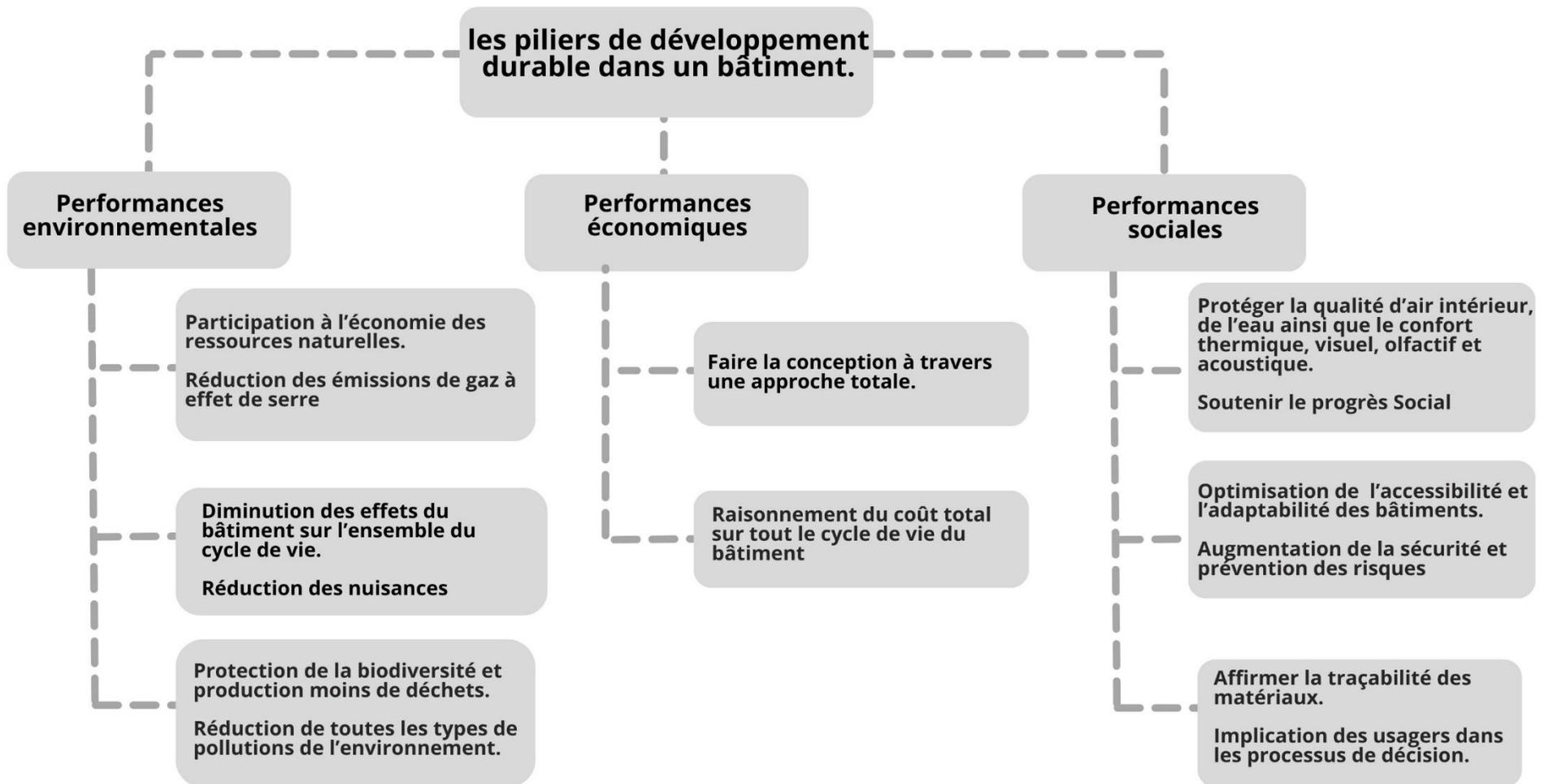


Figure 1.10 : Les piliers du développement durable dans un bâtiment.
 Source : Auteur,2018.

D'après la synthèse de la partie précédente, le concept de l'impact environnemental peut être défini généralement comme le résultat des modifications apportées à un élément ou à une condition de l'environnement par les activités humaines. Tous les changements apportés sur le terrain pour la construction d'un bâtiment, la modification ou l'ajout de produits toxiques, la concentration de gaz à effet de serre et la consommation de ressources naturelles sont le résultat de l'impact environnemental en général. Pour cela, il est important de prendre en considération les impacts générés lors de la réalisation d'un projet de bâtiment, notamment les activités de conception, de construction, d'exploitation, de rénovation et de démolition qui ont des répercussions directes et indirectes sur sa performance environnementale.

En général, un cycle de vie d'un bâtiment passe par quatre phases (Trocmé, 2009), la première est de la construction caractérisée par l'extraction des matières premières ainsi la fabrication et le transport des matériaux suivi par une deuxième phase de l'utilisation du bâtiment caractérisé par la consommation de chauffage et de la climatisation, de l'éclairage et de l'eau, la troisième phase est la rénovation du bâtiment par la modification et l'optimisation de ces composants (les murs, les fenêtres, revêtements du sol et du plafond), une dernière phase qui est la démolition caractérisée par un traitement des déchets suivi par une récupération et mise en décharge.

Pour réduire l'impact environnemental causé par un bâtiment, des mesures sont prises par l'introduction de la notion du développement durable qui s'exprime de plus en plus dans toutes les étapes que traverse un bâtiment et reste présente dès la phase de conception, de construction et de l'exploitation. En outre, l'introduction de nouvelles techniques et technologies dans les processus de construction contribue à évoluer vers une direction respectueuse de l'environnement.

1.5.1 De la construction durable à un bâtiment performant

La construction durable nécessite des recherches sur les matériaux utilisés, le développement de la conception et la construction afin de garantir un impact minimal sur l'environnement à chaque étape. De la recherche des matériaux à la conception, jusqu'à l'utilisation quotidienne, une construction durable doit garantir une qualité de vie supérieure à celle d'une construction classique (Mathieu Brand 2022).

Sur la base de cette définition, les avantages d'une construction durable sont divisés sur deux plans, le premier relatif à l'environnement et le deuxième englobant la qualité de vie des occupants. Dans un contexte environnemental, la priorité est donnée particulièrement aux matériaux locaux et renouvelables, ainsi qu'à la consommation des ressources d'énergie renouvelables par le recours à une conception basée sur l'utilisation des solutions renouvelables, de plus l'optimisation des adaptations au contexte, par exemple les dispositifs d'isolation.

Quant à la qualité de vie des occupants, les avantages les plus importants sont de vivre dans un environnement sain dominé par une bonne qualité de l'air intérieur et un niveau de surveillance et de contrôle de polluants nocifs, de plus un confort de vie optimisé par une isolation efficace du bruit et de la chaleur ainsi qu'une réduction importante des coûts énergétiques.

Globalement, en 2022, la construction et l'exploitation des bâtiments représentent un pourcentage de 37 % de la consommation d'énergie finale mondiale et 34 % des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) (UNEP, 2024) (Figure 1.11).

A partir de ces données effarantes l'idée d'une conception architecturale tenant compte de l'impact environnemental des bâtiments a évolué avec temps par le développement de nouvelles technologies liées à la production de matériaux et à la transformation et la distribution de l'énergie, parallèlement l'architecture a connu aussi une transformation majeure, elle passe d'une architecture essentiellement originale focalisée sur la relation entre le bâtiment et son environnement à une architecture qui intègre fortement les nouvelles technologies et les systèmes innovants et efficaces tels que les matériaux à haute performance pour la construction et l'isolation du bâtiment ainsi l'incorporation des systèmes innovantes de climatisation, de chauffage et de ventilation.(Liébard, 2005). Dans les chapitres suivants, une analyse en détails sur ces nouvelles technologies, particulièrement sur l'industrie des matériaux innovants.

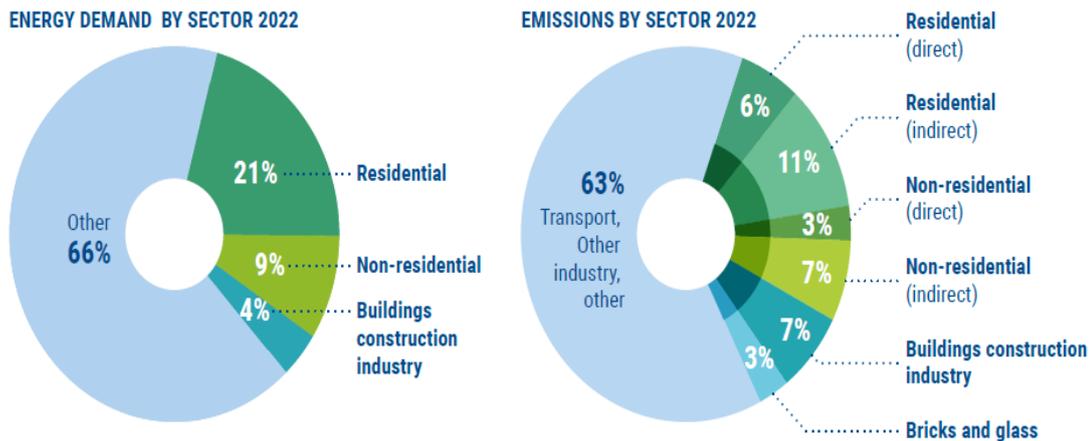


Figure 1.11 : La consommation d'énergie finale et des émissions mondiales Des bâtiments et de construction en 2022.

Source : UNEP ,2024.

1.5.2 L'efficacité énergétique du bâtiment

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments est devenue une priorité majeure pour les politiques de tous les pays afin de lutter contre le réchauffement climatique et de sécuriser les énergies fossiles. En outre, elle signifie une meilleure utilisation de l'énergie existante, d'une autre façon, la réduction de l'exploitation de la quantité d'énergie nécessaire pour faire des services identiques et mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante. Autrement, l'obtention d'un rendement énergétique plus élevé avec une utilisation plus faible de quantité des ressources pour obtenir le même service.

Par exemple, le seul fait de concevoir un bâtiment qui prend en considération et d'une façon correcte l'orientation optimale qui met à profit l'ensoleillement conduit à une diminution de 15 à 30 % des besoins de chauffage et influe sur la consommation d'énergie totale (Thierry, et Bedel ,2004). L'objectif est d'intégrer des solutions permettant d'optimiser la consommation sans compromettre le confort des occupants ni les capacités techniques des équipements spécifiques aux activités d'un bâtiment.

1.5.3 La performance énergétique du bâtiment

La performance énergétique d'un bâtiment est un concept relativement lié à celui de l'efficacité énergétique qui indique le rapport entre l'énergie absorbée par un bâtiment et l'énergie consommée à l'intérieur de celui-ci, alors que pour la performance énergétique, elle présente une référence pour mesurer la dépense énergétique du bâtiment sur la période

d'une année. Elle permet de formuler des objectifs de réduction des consommations d'énergie tout en assurant un certain niveau de confort thermique et une amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Suite à cela, l'optimisation de la performance énergétique du bâtiment présente un des enjeux majeurs de lutte contre les changements climatiques.

Selon la directive européenne 2010/31/UE, la performance énergétique d'un bâtiment signifie la quantité d'énergie indispensable pour réserver l'air intérieur à un niveau constant d'occupation, y compris la demande créée par ses systèmes techniques qui représentent les sources de consommation énergétique à tenir en compte (Tableau 1.4).

De plus, les systèmes et les installations techniques et la composition du bâtiment ont une influence importante d'une manière déterminante sur sa consommation énergétique à travers certains aspects, en citant en premier la géométrie du bâtiment qui englobe les éléments géométriques qui organisent le bâtiment en comprenant ses dimensions et son rapport avec l'environnement et ainsi la répartition des espaces internes.

En deuxième, l'enveloppe du bâtiment présente un aspect très important. Il constitue les éléments qui associent les échanges avec l'extérieur (les murs, les surfaces vitrées des façades, les planchers, le toit), il inclut aussi les pertes thermiques et les apports solaires. En troisième, les matériaux de construction qui présentent les éléments associés à l'inertie thermique du bâtiment. (Velazquez,2015).

Tableau 1.4 : Sources de consommation énergétique d'un bâtiment prises en compte dans le calcul de la performance énergétique.

Source : la directive européenne 2010/31/UE.

Performance énergétique du bâtiment	
Chauffage	Production et distribution de chaleur
Refroidissement	Production et distribution du froid
Ventilation mécanique	Renouvellement de l'air intérieur
Production d'eau chaude sanitaire	Production et distribution d'eau chaude
Eclairage artificiel	Source d'éclairage artificiel

1.6 Les stratégies de l'optimisation de la performance énergétique du bâtiment

Il existe deux grands types d'actions d'efficacité énergétique : les solutions dites « passives » et les solutions dites « actives » pour les stratégies passives. Généralement, c'est un bâtiment confortable avec des températures intérieures idéales toute l'année et une consommation d'énergie minimum pour le chauffage et la climatisation. En minimisant l'utilisation de systèmes mécaniques, il profite du climat, des conditions du site et des matériaux pour créer un bâtiment qui fonctionne en harmonie avec l'environnement. Par ailleurs, il existe des paramètres du bâtiment qui influencent le plus sur l'efficacité énergétique des bâtiments passifs, dont l'enveloppe du bâtiment qui représente un lien entre l'intérieur et extérieur du bâtiment. L'utilisation des stratégies de conception passive, telles que l'isolation renforcée de l'enveloppe, le choix optimal de l'orientation et l'intégration des sources contrôlables de lumière naturelle peuvent diminuer la consommation d'énergie avant même d'appliquer des systèmes avancés d'efficacité énergétique ou d'énergie renouvelable. De plus, la conception de l'enveloppe et de ses composants a une forte relation avec le carbone intrinsèque généré par le total du bâtiment, qui représente jusqu'à 75 % de l'empreinte carbone du bâtiment durant sa durée de vie (Tanya, 2021). Également, le choix des bons matériaux de construction est crucial pour construire un bâtiment passif.

D'un autre côté, les stratégies d'efficacité énergétique actives utilisées afin d'atteindre les objectifs d'optimisation et de guider d'une manière efficace le fonctionnement des systèmes et des équipements par une fusion d'optimisation des équipements et installations techniques tels que les chaudières, les systèmes de lumières, plus une gestion marquante de l'énergie du bâtiment qui se base essentiellement sur la mesure, le contrôle et la régulation d'une façon continue et en fonction des besoins.

Parmi ces stratégies, les capteurs, les contrôles et les réseaux, ces technologies sont installées dans un bâtiment pour renforcer la production de l'énergie nécessaire, notamment pour les équipements de chauffage, de climatisation, de ventilation, les systèmes d'éclairage ainsi que les chauffe-eaux. D'autres stratégies actives sont l'exploitation des énergies renouvelables comme l'énergie du soleil, du vent, de la terre et de la biomasse ainsi que des mouvements des eaux pour contribuer à l'amélioration de la durabilité de l'environnement et à la réduction de l'utilisation des énergies fossiles.

Grâce à ces deux stratégies (passives et actives), un bâtiment peut réduire sa consommation d'énergie et réduire davantage son impact sur l'environnement. Ces solutions sont soit mises en œuvre à l'extérieur du bâtiment, soit utilisées à l'intérieur du bâtiment. Sans oublier le rôle du comportement des occupants qui a une très forte influence sur la consommation d'énergie.

1.7 Méthodes d'évaluation de la performance énergétique du bâtiment

Depuis le début des années 1990, les évaluations environnementales sont en plein essor dans le secteur de la construction. En outre, plus de soixantaine de méthodes d'évaluation ou d'analyse environnementale des bâtiments ont été identifiées dans des études menées à travers le monde. (Fortin, 2009).

Pour la suite d'identification de ces méthodes et pour plus de particularité à notre sujet de recherche la concentration est met sur la présentation des différentes méthodes et approches les plus communes et appropriées à l'évaluation de la performance énergétique du bâtiment ou en mettre l'accent sur les certifications et les labels environnementales qui signifie un processus de vérifier de la conformité d'un bâtiment à un référentiel d'exigences ou une norme imposée par une réglementation , ils désignent les instruments les plus répandues et utilisés pour encourager l'amélioration et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments. Une synthèse sur les certifications et les labels les plus utilisés est présentée dans le tableau récapitulatif (Tableau 1.5).

Tableau 1.5 : Les certifications et labels les plus répandues.

Source : Auteur, 2021.

Certification - Label	Pays	Caractéristiques d'évaluation de la performance énergétique
BREEAM	L'Angleterre depuis 1990	Le calcul du taux de performance énergétique en fonction de la consommation énergétique primaire, des besoins énergétiques en phase d'occupation et de la quantité des émissions de CO ₂ .
LEED	USA depuis 1998.	Les coûts des consommations énergétiques réduits par rapport à un niveau de référence demandé.
HQE	France en 2005	Caractérisé par les deux indices de la réglementation thermique française, le coefficient Bbio de la demande énergétique et la consommation énergétique primaire.

BBC	France 2007	en	Il englobe un ensemble de paramètres liés à l'isolation du, le chauffage et la ventilation, l'éclairage et l'eau chaude, plus l'étanchéité des bâtiments.
HPE	France 2005	en	Assure la conformité des constructions neuves à un référentiel qui incorpore les exigences de la réglementation thermique.
BEPOS	France 2013	en	Exige une consommation d'énergie primaire d'un bâtiment inférieure à la quantité d'énergie produite à partir de ses équipements.
Effinergie	France 2007	en	Afin d'atteindre les objectifs de 2050, il vise à concevoir des bâtiments dont les réductions des consommations énergétiques importantes et la diminution des émissions de gaz à effet de serre sur 4.
Passivhaus	Allemagne en 1996		Créer des bâtiments avec un chauffage conventionnel, ces bâtiments labélisés Passivhaus peuvent obtenir des économies d'énergie de plus de 90% par rapport à un autre classique.
Minergie	Suisse depuis 1998		Les bâtiments Minergie se caractérisent par une réduction remarquable des besoins en énergie et une intégration maximale d'énergies renouvelables. Ces bâtiments sont caractérisés par une enveloppe de bonne qualité avec un renouvellement automatique de l'air.
Active House	Danemark en 2017		Concevoir et évaluer un bâtiment en mettant l'accent sur l'utilisation intelligente de l'énergie, sur le confort des usagers et la réduction de l'impact sur l'environnement.

1.7.1 Méthode d'évaluation post-occupationnelle de la performance du bâtiment

Le domaine de l'architecture, de la construction et de l'ingénierie est responsable de la création et de la gestion de l'environnement bâti (bâtiments et infrastructures) pour faciliter les activités de la vie humaine, soit le travail, les loisirs et le logement au fil du temps.

La création de cet environnement a un impact direct sur les personnes qui occupent ces bâtiments et infrastructures et aussi sur l'environnement extérieur. En citant par exemple que les bâtiments ont une importante consommation des ressources naturelles polluantes et néfastes sur l'environnement, ils sont aussi essentiels au développement socio-économique et peuvent avoir un impact sur la santé et le bien-être des occupants.

Tout au long du cycle de vie d'un environnement bâti, une attention particulière est accordée aux phases de conception et de construction (Roberts et al, 2018). Cependant, l'attention est négligeable en regardant la phase opérationnelle de l'occupation et de l'utilisation du bâtiment, pourtant que dans cette phase la contribution à la pollution, aux coûts du cycle de vie et aux mesures de rendement est la plus importante (Nical et Wodynski, 2016).

Pour cette raison, il faut accorder beaucoup plus d'attention à l'examen et à l'évaluation de la performance des bâtiments en cours d'utilisation. La méthode d'évaluation post-occupationnelle de la performance d'un bâtiment est généralement utilisée pour déterminer si les décisions prises par les professionnels de la conception, de la construction et de la gestion des installations ont satisfait les exigences des occupants. C'est une méthode d'évaluation systématique des bâtiments ou de l'environnement bâti. Elle est apparue pour la première fois dans le domaine de la psychologie environnementale dans les années 1960. C'est une théorie relativement complète proposée par Preiser (Preiser ,1988).

La portée de l'évaluation post occupationnelle (POE) s'est étendue de la psychologie environnementale aux espaces urbains, aux bâtiments, elle est devenue une méthode efficace pour construire une évaluation en plus d'indicateurs objectifs tels que les paramètres thermiques mesurables.

De plus, une évaluation post occupationnelle (POE) peut être développée afin d'évaluer plusieurs caractéristiques d'un bâtiment en cours d'utilisation dont le choix de ces caractéristiques, ou critères, peut varier selon le type de bâtiment et le but de la recherche proposée. Par exemple, l'étude du même bâtiment sous divers aspects, tels que son comportement thermique, la qualité des matériaux et la satisfaction des utilisateurs. Chaque critère peut être évalué qualitativement, à l'aide de méthodes qualitatives (questionnaires ou entrevues) qui mesurent la perception et la satisfaction de l'utilisateur à l'égard du sujet, ainsi que quantitativement avec des mesures sur le terrain lorsque cela est possible (Drielle et al, 2019).

Dans la littérature, une étude sur l'application de cette méthode dans le bâtiment a été faite en 2018 (Peixian et al, 2018). Les auteurs ont examiné 146 projets de POE et ont indiqué que plus de 60 % des bâtiments étudiés étaient résidentiels, 19 % étaient éducatifs, 12 % étaient des bureaux, 2 % étaient médicaux et 0,5 % étaient d'autres bâtiments. Les

mêmes auteurs constatent que parmi les différents facteurs de l'évaluation de la qualité intérieure dans ces bâtiments, l'environnement thermique a été le plus étudié (dans 42 % des études), tandis que l'environnement acoustique a été le moins étudié, dans seulement 13 % des études examinées de ce fait les enquêtes subjectives et les mesures physiques sont les approches les plus largement adoptées dans les études de l'évaluation post occupationnelle où les sondages subjectifs portent sur les perceptions des occupants, leur satisfaction et les plaintes liées aux facteurs environnementaux individuels, ces enquêtes reflètent la façon dont les occupants perçoivent leurs conditions de la qualité intérieure souhaitée.

Les résultats d'une POE peuvent être utiles aux concepteurs, aux gestionnaires d'installations et aux propriétaires de projets de bâtiment (Alborz et Berardi, 2015). Les concepteurs, par exemple, pourraient s'habituer à la performance de leurs conceptions en tenant compte des besoins des propriétaires et des attentes des consommateurs, les gestionnaires peuvent également réduire les dépenses en capital et d'exploitation tout en augmentant le bonheur et la productivité des locataires, les propriétaires peuvent également émettre des recommandations précises aux concepteurs et aux constructeurs de bâtiments pour les nouvelles constructions (Al Fahmawee ,2022). Ce type d'évaluation peut être utilisé afin d'atteindre plusieurs objectifs telles que l'évaluation d'un bâtiment afin de corriger les problèmes immédiatement et continuellement , corriger les problèmes imprévus après l'occupation , ramener des informations sur les caractéristiques positives (succès) et négatives (échec) du comportement des bâtiments afin d'utiliser ces renseignements dans les nouvelles constructions et les rénovations, contribuer à faire un état de l'art du sujet en aidant le volet académique (étudiants, enseignants et chercheurs) et le volet professionnel (architectes, ingénieurs, consultants) (Preiser et al, 2015). De ce fait, une évaluation post occupationnelle peut être considérée comme importante étape pour la cohérence d'un projet régulier avec ses leçons apprises peuvent être utilisées à la fois pour améliorer le bâtiment existant et dans la conception et la programmation du futur bâtiment.

Pour l'élaboration d'une évaluation post-occupationnelle, la plupart des études d'évaluation après occupation ont utilisé une grande variété de méthodes testées qui comprennent en général les mesures, les observations, les interviews et les questionnaires. Le choix des méthodes appropriées, prises individuellement ou combinées, semble dépendre de la particularité des problèmes étudiés, de la spécificité des situations rencontrées et du but de l'étude d'évaluation (Korichi et al ,2007). Pour plus de détails les enquêtes sur les données

et recherche de profils sont considérées comme une étude préliminaire effectuée par le chercheur sur les caractéristiques du bâtiment et de ses utilisateurs, ils peuvent être fait en utilisant d'autres méthodes ensemble comme des entretiens avec des ingénieurs et des questionnaires aux utilisateurs, il ya aussi comme technique les visites guidées pour prendre une vision générale dans le lieu d'étude afin de l'évaluer visuellement, elles peuvent être complétées par des enregistrements photographiques ou vidéo , les Questionnaires qui généralement destinés aux utilisateurs finaux du bâtiment, il s'agit de la partie la plus importante de toute étude d'évaluation de la construction. (Sanni-Anibire, 2016).

En plus de ces techniques, il existe les mesures physiques sur site des critères liés à la qualité intérieure de l'environnement étudié : c'est une technique objective d'extraction de données citant par exemple la température intérieure mesurée. Les interviews peuvent aussi être faites avec les utilisateurs du bâtiment, les professionnels impliqués dans le projet, et d'autres parties prenantes et peut remplir le fond de la recherche (Bordass et al. 2006).

Conclusion

A partir des synthèses de ce chapitre, nous sommes constatés que l'environnement est truffé de problèmes liés aux bâtiments et aux activités humaines, ce qui crée des effets à différentes échelles affectant les différentes parties de l'environnement. Le concept de développement durable touche presque tous les domaines et les secteurs (industrie, transport, construction, produit...).

La nécessité d'appliquer des notions de développement durable dans la conception, la construction et la gestion des bâtiments encourage le développement des méthodes d'évaluation à utiliser par tous les partis impliqués dans le secteur du bâtiment comme support pour concevoir et évaluer des bâtiments nouveaux et existants avec des critères de durabilité. Le choix approprié des méthodes et leur utilisation efficace reste une tâche difficile en raison de la large gamme existante et des différents objectifs couverts, ainsi que de la diversité des critères donnés pour l'évaluation.

L'application d'une méthode post occupationnelle dans un bâtiment donne des renseignements précieux qui aident les décideurs et les concepteurs à évaluer le rendement d'un bâtiment et le niveau de satisfaction des occupants. Une mise en place du point d'entrée

facilitera la détection précoce des défauts de bâtiment qui facilite la proposition des mesures correctives qui peuvent être mises en œuvre le plus tôt possible.

D'ailleurs, le secteur du bâtiment est souvent confronté à des défis en matière de réglementation de la pollution environnementale. Suite à cela, il est judicieux de commencer à envisager une conception respectueuse de l'environnement, tout en modifiant les politiques existantes en matière de bâtiment et de construction. Les conclusions de ce premier chapitre nous permettront de cerner objectivement la problématique posée et de dégager les axes à mener dans les chapitres suivants.

CHAPITRE II : L'HOTELLERIE ET LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Introduction

Il est communément reconnu que les hôtels en parallèle à leurs soucis majeurs de dispenser le maximum de confort à l'utilisateur, constituent des équipements à impacts environnementaux défavorables (parfois fort nuisibles) tels que la consommation excessive de l'énergie, de l'eau, et la production des déchets, ceux-ci, font l'objet de ce chapitre simultanément avec les enjeux qui leur sont connexes et aussi les labels et certifications adoptés à l'échelle internationale dans le but d'améliorer l'interaction hôtel-environnement et d'optimiser l'efficacité énergétique de ce type d'infrastructure.

2.1 Le concept de l'hôtellerie

Le secteur de l'hôtellerie fait partie de l'industrie du tourisme. En général elle est définie comme un ensemble d'établissements touristiques qui offrent une variété de services et louent des chambres avec un bail temporaire. Par conséquent, un hôtel comme "un lieu d'hébergement qui fournit au détenteur abri, nourriture et service, pendant une certaine période, pour un prix connu", La conception d'un hôtel doit être adaptée à son emplacement et à sa fonction (Elkahli, 1998).

Généralement, il existe différentes catégories d'hôtels, mais la majorité des pays optent pour la classification présentée dans le tableau (Figure 2.1) où les étoiles sont attribuées en fonction des critères principaux, en citant par exemple le confort des équipements, la qualité, le genre des services proposés, de plus les bonnes pratiques concernant le respect de l'environnement, plus les services d'accueil des clients en situation de handicap.

Classement	Catégorie d'hébergement
Hôtel 1*	Économique
Hôtel 2*	Milieu de gamme
Hôtel 3*	Milieu de gamme-supérieur
Hôtel 4*	Haut de gamme
Hôtel 5* (y compris les palaces)	Très haut de gamme

Figure 2.1 : Classement des hôtels selon les étoiles.

Source : (DILA ,2024)

2.2 Les enjeux environnementaux relatifs aux hôtels

Les hôtels sont un type de bâtiment qui a besoin de ressources naturelles et d'énergies pour se développer et prospérer en offrant des produits efficaces et des services de haute qualité qui interagissent directement avec les aspects environnementaux, ce qui conduit à des émissions diverses souvent fatales qui provoquent de véritables dommages. En effet, les informations collectées dans le tableau (Tableau 2.1) renforcent la nécessité d'un regard critique relatif aux hôtels parce que dans ce type de bâtiment, même l'activité très simple (le travail d'accueil) peut générer de multiples impacts environnementaux.

Tableau 2.1 : Les principaux aspects et impacts environnementaux dans un hôtel.

Source : (Perinotto,2020).

Le service	Les aspects environnementaux	Les impacts environnementaux
Réception	Consommation électrique Déchets solides ménagers	Égout des ressources naturelles Occupation des décharges et pollution des sols
Toilettes et vestiaires	Consommation d'eau et de gaz Effluents organiques Déchets alcalins Déchets solides ménagers	Égout des ressources naturelles Changement de la qualité de l'eau Occupation des décharges sanitaires et pollution des sols Occupation des décharges sanitaires
Cuisine	Consommation d'eau et de gaz Effluents huileux Déchets solides ménagers	Égout des ressources naturelles Changement de la qualité de l'eau Occupation des décharges sanitaires et pollution des sols

Restaurant/bar	Consommation électrique Déchets solides ménagers	Assainissement des ressources naturelles et pollution des sols Occupation des décharges sanitaires et pollution des sols
Ascenseurs	Consommation électrique	Égout des ressources naturelles
Climatisation	Consommation électrique Émissions de CFC (Les chlorofluorocarbures)	Attaque la couche d’ozone Égout des ressources naturelles
Chauffe-eau	Consommation de gaz Émissions de CO, NO2	Égout des ressources naturelles Changement de la qualité de l’air
Groupes électrogènes	Consommation de carburant Émissions de CO, NO2	Égout des ressources naturelles Changement de la qualité de l’air
Entretien des machines	Résidus d’huile et de graisse	Contamination du sol ou de l’eau
Blanchisserie	Consommation d’eau et de gaz Effluents organiques Déchets alcalins de graisse	Égout des ressources naturelles Changement de la qualité de l’eau Changement de la qualité de l’eau

D’ailleurs, l’utilisation intensive des ressources et la production de déchets par les hôtels entraînent une dégradation importante de l’environnement (Figure 2.2) relativement liée à la consommation d’eau et d’énergie. L’électricité, par exemple, est pour alimenter les systèmes de chauffage et de climatisation, d’éclairage et les processus liés au carburant. L’eau aussi est une ressource essentielle pour de nombreuses tâches quotidiennes, comprenant l’hygiène personnelle, la préparation des aliments, l’assainissement et le blanchiment (ainsi que l’irrigation, l’assainissement et l’entretien).

Des divers types de produits comme le papier, les piles, les ampoules, les meubles, l’équipement et les appareils électroménagers contribuent tous de façon importante aux déchets. En d’autres termes, la grande consommation des différentes ressources affirme que ce secteur forme une influence écologique fatale en raison de leur dépendance importante à l’égard de l’utilisation de l’énergie et de l’eau (Scholz ,2019 ; Fotiadis ,2013 ; Leonidou

,2013).

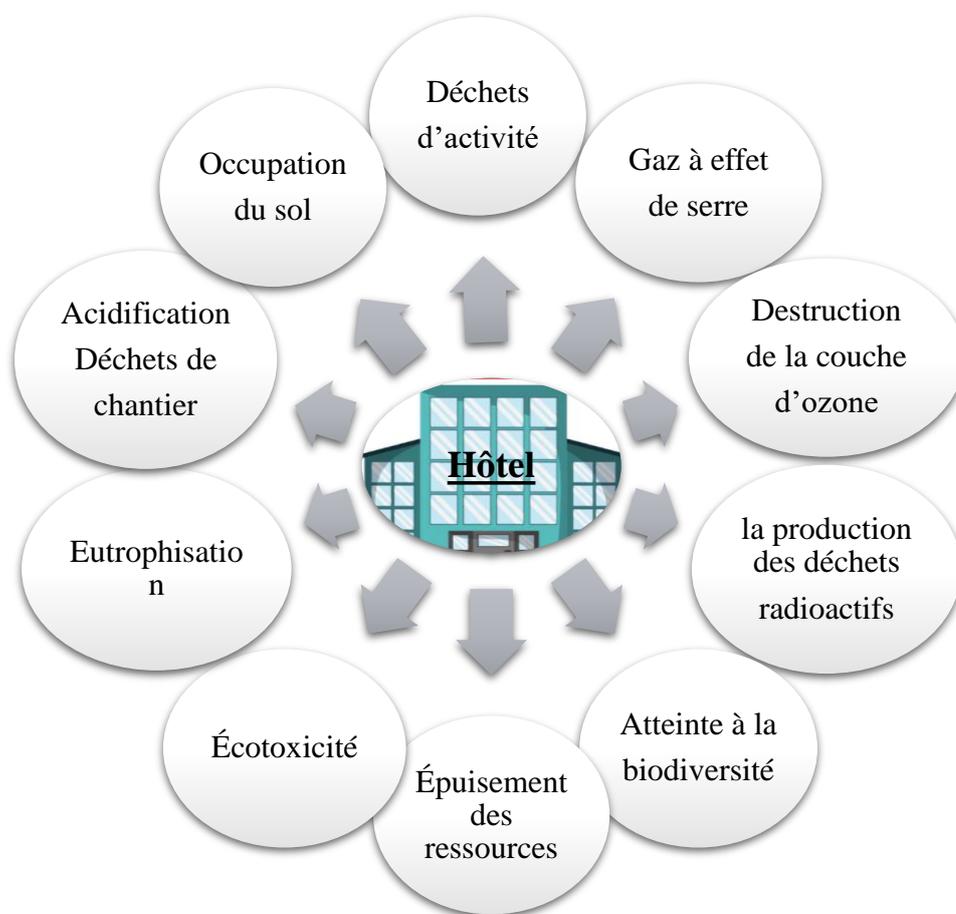


Figure 2.2 : Synthèse sur les impacts environnementaux générés par un hôtel.

Source : Auteur,2018.

2.2.1 Les émissions nocives des hôtels

Les hôtels sont considérés comme l'une des plus grandes sources d'émissions de gaz à effet de serre. Sur les 36,3 milliards de tonnes de dioxyde de carbone émises dans le monde en 2021, les hôtels ont généré environ 363 millions de tonnes, assez pour alimenter environ 45,7 millions de foyers par an. Alors que la moyenne mondiale des émissions de gaz à effet de serre par une chambre est de l'ordre de 0.019 t CO₂e (Kasikorn,2024).

En Algérie, selon les statistiques existantes, le taux d'émission de CO₂ par habitant était de 5,5 tonnes en 2004 contre 3 tonnes en 1990, soit une différence de 10,8 en 14 ans. Ainsi, seuls tous les bâtiments touristiques (type d'hébergement) émettent plus de 467,5 Kilotonnes de CO₂ (Plan Bleu ,2008).

En effet, chaque année, le ministère de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales (DEFRA) publie ses rapports sur les gaz à effet de serre : facteurs de conversion. Cette base de données complète de facteurs est largement utilisée par le Royaume-Uni et les organisations internationales pour rendre compte des émissions de gaz à effet de serre. Dans l'ensemble des données 2022, les facteurs de conversion pour les séjours hôteliers internationaux sont inclus pour 38 pays. Cela permet de comparer les émissions de carbone d'un séjour dans un hôtel sur plusieurs continents. L'ensemble de données publié en 2022 comprend des informations sur les séjours hôteliers dans 38 pays différents. Les figures suivantes (Figure 2.3, Figure 2.4) montrent l'impact carbone d'une nuitée dans chacun d'eux.

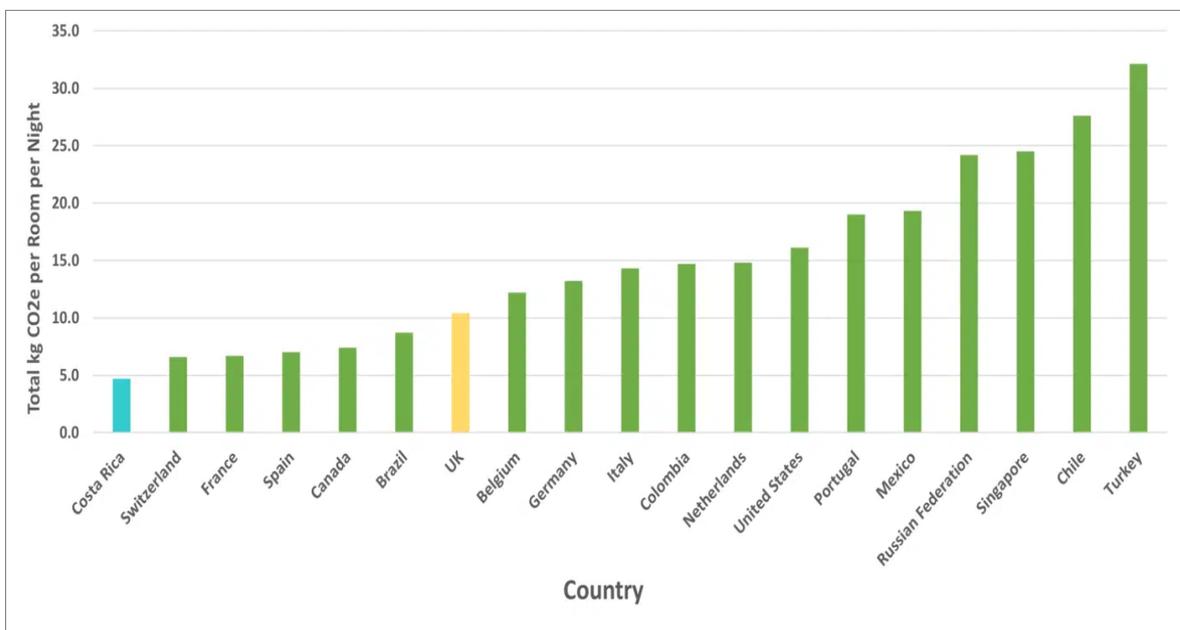


Figure 2.3 : Impact du carbone d'une nuitée dans un hôtel (moitié inférieure).

Source : (DEFRA,2022).

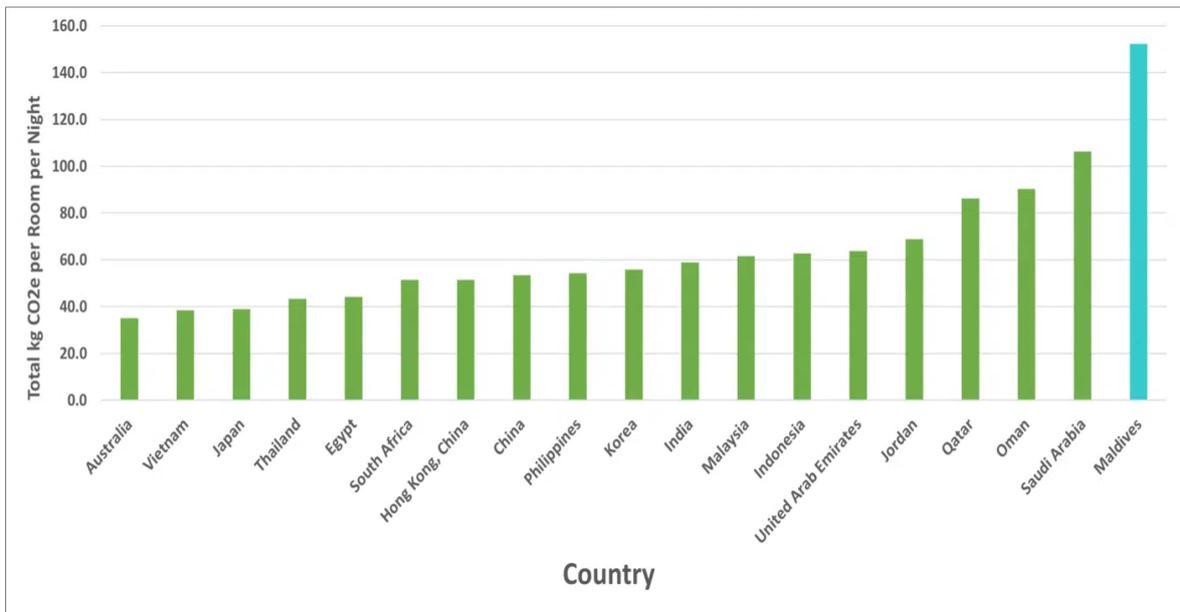


Figure 2.4 : Impact du carbone d’une nuitée dans un hôtel par pays (moitié supérieure).

Source : (DEFRA,2022).

Selon les chiffres ci-dessus, le pays ayant l’impact carbone le plus élevé est les Maldives avec 152,2 kg d’équivalent CO2 par chambre d’hôtel et par nuit. L’impact le plus faible a été celui du Costa Rica, avec 4,7 kg d’équivalent CO2 par chambre d’hôtel et par nuit, soit une différence importante de 147,5 kg d’équivalent CO2. En ce qui concerne la partie inférieure, la plupart des pays ayant le plus grand impact sur les séjours hôteliers se trouvent en Asie. Par exemple, l’Arabie Saoudite, Oman et le Qatar sont parmi les plus touchés.

Concernant les Émissions moyennes par continent présentées dans la figure suivante (Figure 2.5), les données montrent encore une fois que les hôtels situés en Asie ont l’impact moyen le plus élevé par chambre et par nuit. L’information la plus complète disponible concerne l’Asie, avec 17 des 38 pays qui composent les données du DEFRA. Dix autres pays sont Européens. À l’heure actuelle, très peu de pays sont représentés sur les autres continents : deux d’Afrique, quatre d’Amérique du Nord, trois d’Amérique du Sud et une d’Océanie. La petite quantité de données est une limitation et signifie que les moyennes ne représenteront pas mieux l’ensemble du continent. Néanmoins, ils offrent un aperçu intéressant sur les différences d’émissions de séjours hôteliers à travers le monde.

En conclusion, des pays comme les Maldives et l’Arabie Saoudite, qui ont tous deux des émissions de CO2 équivalentes à plus de 100 kg par chambre et par nuit, ont beaucoup

de travail à faire pour réduire l’empreinte carbone de leurs hôtels. Les influences externes peuvent être utiles pour encourager les pays à investir dans des technologies à faibles émissions de carbone. En plus d’essayer de réduire l’impact des séjours à l’hôtel, les particuliers devraient également faire de leur mieux pour réduire leur empreinte carbone lorsqu’ils voyagent. Même si les chiffres dans de nombreux pays peuvent être significatifs pour des vacances de deux semaines, avec l’impact supplémentaire de tout voyage influençant la décision finale, il existe certainement des pays où les voyageurs soucieux de leurs émissions de carbone peuvent se rendre tout en minimisant leurs inquiétudes concernant leur propre empreinte carbone.

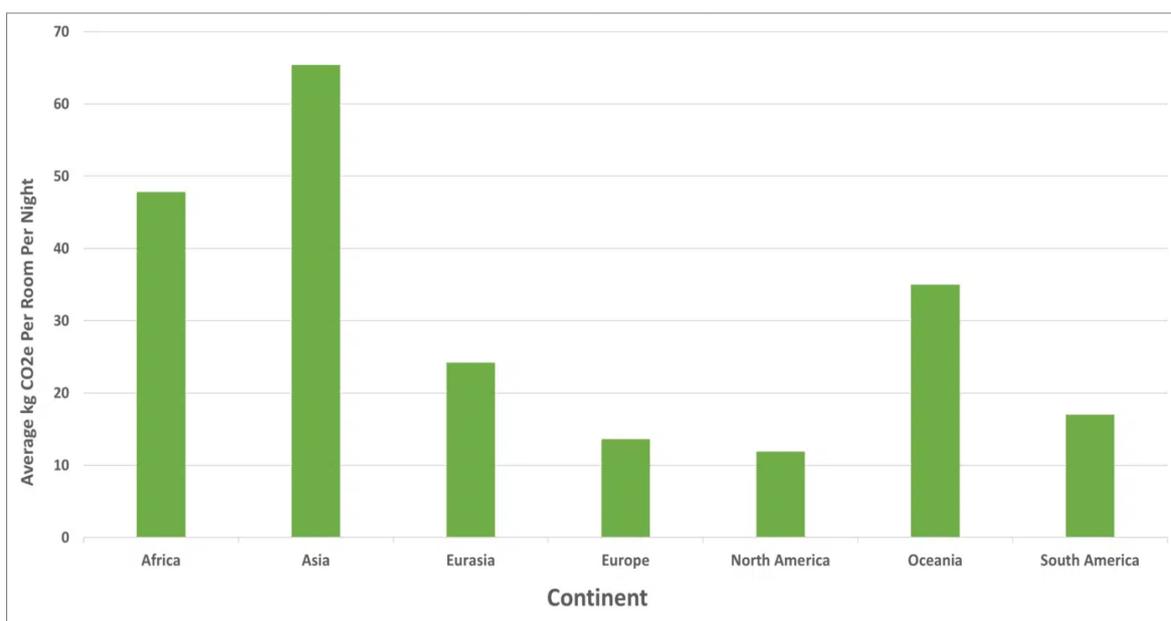


Figure 2.5 : Impact du carbone d’une nuitée dans un hôtel par continent.

Source : (DEFRA,2022).

2.3 La consommation énergétique mondiale des hôtels

Suite aux recherches établies, il n’y a pas de données détaillées récentes sur la taille du secteur hôtelier, mais probablement, elle est estimée à plus de 360 000 établissements et 30 millions de lits dans le monde (IH&RA, 2000).

En février 2012, le bureau d’études global STR a estimé globalement plus de 13.4 millions de chambres d’hôtels. Néanmoins, plus de 90 % du parc hôtelier est situé dans les trois grandes régions touristiques mondiales présentées par l’Amérique du Nord, l’Asie-Pacifique et l’Europe. Les locaux situés en Europe représentent près de 50 % du marché

mondial global et il a été estimé qu'ils consomment 39 TWh d'énergie par an (Ih&Ra ,2000). Les hôtels nord-américains représentent 22 % du marché et en 1995, tous les établissements d'hébergement aux États-Unis utilisaient ensemble 146,5 TWh d'énergie, ce qui représentait 9,4 % de l'énergie totale consommée dans les bâtiments commerciaux aux États-Unis (EIA ,1998).

L'électricité représente généralement 60 à 80 % de l'énergie consommée dans un hôtel, tandis que le reste est représenté par l'utilisation de combustibles fossiles, principalement le gaz naturel et le pétrole (Ah&La, 2001). Les hôtels situés dans des climats froids ont tendance à afficher une part plus élevée de combustibles fossiles dans le mix énergétique (chaudières à combustible pour le chauffage), tandis que les hôtels dans des climats chauds sont plus susceptibles d'avoir une consommation d'électricité plus élevée, en raison de la prévalence du refroidissement électrique des locaux.

La prédominance de l'électricité produite à partir de carburants fossiles et l'utilisation (encore) marginale des ressources énergétiques renouvelables se traduisent par des projections importantes de molécules, d'oxydes d'azote, de soufre et d'autres polluants atmosphériques, tant au niveau local que mondial. La pollution secondaire sous forme de pluies acides provoque l'acidification des lacs et des sols, avec des effets négatifs sur la flore et la faune, la santé humaine et les structures et produits artificiels. On estime qu'un hôtel typique émet environ 160 kg de CO₂/m² de surface au sol par an, ce qui équivaut à environ 10 tonnes de CO₂ par chambre et par an (BRESKU ,1993). À l'échelle mondiale, l'industrie hôtelière est responsable de l'émission d'au moins 130·106 tonnes de CO₂ par an. De plus, la libération accidentelle de réfrigérants à base de fréon, encore couramment présents dans les systèmes CVC utilisés dans les hôtels, constitue une menace sérieuse pour la couche d'ozone.

La nécessité d'une utilisation plus durable de l'énergie dans le secteur hôtelier doit être considérée à la lumière des préoccupations croissantes concernant l'état de l'environnement naturel, ainsi que du fait de la hausse des prix de l'énergie. Les dépenses énergétiques varient selon la région ainsi que le type d'hôtel. Les coûts énergétiques exprimés en termes de revenus hôteliers bruts varient actuellement de 3 à 5 % pour les hôtels à service limité, à 4 à 6 % pour les établissements typiques à service complet, et devraient augmenter à l'avenir. Cependant, les dépenses énergétiques de certains hôtels historiques, de

luxe et/ou de boutiques urbaines devraient atteindre jusqu'à 10 % de leurs revenus bruts (Pateman, 2001). Au milieu des années 1990, les dépenses énergétiques des hôtels américains s'élevaient à 2,08 milliards de dollars américains, soit 5,2 % du revenu brut de l'ensemble de l'industrie de l'hébergement (Wu, 1997).

Environ la moitié de l'énergie totale utilisée dans les installations hôtelières est consommée par les systèmes et processus responsables de la climatisation de l'espace (chauffage, refroidissement, ventilation et climatisation). De nombreux systèmes CVC ont été spécialement créés ou repensés pour les besoins de l'industrie hôtelière (Donough et al, 2001).

Bien que les hôtels (en particulier ceux qui ont une note inférieure) s'appuient fréquemment sur la ventilation naturelle comme source d'air frais et de refroidissement, les techniques sophistiquées de conditionnement de l'espace deviennent de plus en plus courantes et souvent indispensables pour satisfaire les besoins des différentes zones thermiques au sein des installations hôtelières. La conception de systèmes de CVC adéquats et fiables pour les hôtels est une tâche difficile, représentant généralement 10 à 12 % et 16 à 18 % des coûts de construction des immobilisations pour les chambres et les espaces publics, respectivement (Rutes et al, 2001).

Les chambres représentent 65 à 85 % de la superficie totale des hôtels, selon le type d'établissement (Lawson, 2001), et sont généralement caractérisées par des profils de consommation d'énergie difficiles à prévoir. Les clients ont souvent un contrôle total sur les réglages du thermostat intérieur, les unités de climatisation individuelles, ainsi que les fenêtres et les portes ouvrantes, et ceux-ci sont généralement utilisés avec peu ou pas de souci d'économie d'énergie. Les fenêtres et les portes sont souvent laissées grandes ouvertes lorsque les systèmes de refroidissement ou de chauffage fonctionnent à pleine charge. De plus, de nombreuses pièces (louées) restent inoccupées pendant de longues périodes pendant la journée, tandis que les systèmes CVC fonctionnent, souvent à charge maximale. Alors que la qualité de l'air et le confort thermique doivent évidemment être élevés chaque fois qu'une pièce est occupée, les charges doivent être ajustées à des niveaux raisonnables lorsque la pièce est inoccupée.

Étant donné que les hôtels représentent la plus grande consommation des ressources naturelles par rapport aux bâtiments résidentiels et commerciaux, ils utilisent une grande quantité de ressources dans leur fonctionnement, en particulier l'électricité, l'eau et le gaz.

Ce secteur est l'un des plus énergivores, vu qu'il consomme de l'énergie tout au long de son cycle de vie à travers : la production et le transport des matériaux sur le chantier, ou encore le chauffage et la climatisation pendant la phase d'exploitation, la production d'eau chaude ainsi que l'alimentation électrique des équipements. Cela dépend de l'espace occupé et de la capacité d'accueil. Cette grande consommation aggrave la pollution et la dégradation de l'environnement et met en risque les ressources naturelles non renouvelables.

A titre d'exemple, la consommation d'électricité d'un hôtel est estimée à 4705 kWh/jour en moyenne, soit à 1.7 GWh/an (Figure 2.6).

La quantité de la consommation d'électricité de l'hôtel présentée dans la figure ci-dessous atteint en moyenne 4705 kWh par jour un chiffre qui soit près de 1,7 GWh par an, où les fluctuations mensuelles sont limitées, car la consommation estivale de climatisation remplace la consommation hivernale de chauffage et une base de consommation continue provient de la ventilation, de l'éclairage général, des minibars des chambres et de tous les autres équipements de refroidissement. La légère augmentation de la consommation observée en janvier et février est due à l'activation du chauffage électrique, soit en raison de problèmes techniques, soit parce que la température extérieure est trop basse et que la pompe à chaleur ne répond pas aux besoins de confort.

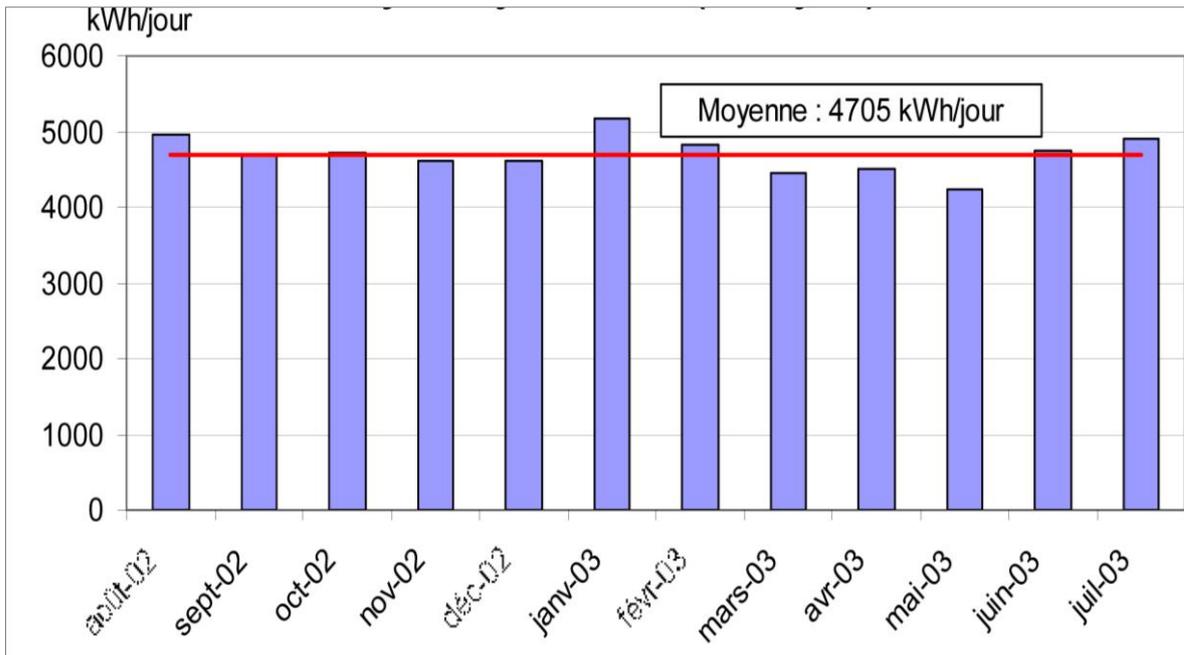


Figure 2.6 : Consommation moyenne totale journalière en électricité d'un hôtel 3*.

Source : (Enertech, 2003)

2.3.1 Répartition de la consommation d'énergie par usage

La consommation d'énergie dans les hôtels varie considérablement en premier selon les différents types d'hôtels. Elle est affectée par sa taille, la classe/catégorie ainsi que le nombre de chambres, en deuxième par le profil du client (visiteurs pour affaires/pour vacances), en troisième par l'emplacement (rural/ urbain) selon la zone climatique, ainsi que par les types de services/activités et équipements fournis aux clients (Eddystone,1995).

Selon ce dernier, un hôtel peut être considéré comme la combinaison architecturale de trois zones distinctes, toutes ayant des objectifs distincts.

1-La zone d'hébergement (chambres, salles de bains/douches, toilettes), ce sont des espaces individuels, souvent avec des vitrages étendus, ce qui présente une utilisation asynchrone et des charges énergétiques variables.

2- Les espaces publics (hall d'accueil, hall d'entrée, bars, restaurants, salles de réunion, piscine, sauna, etc.), ce sont des espaces avec un taux élevé d'échange de chaleur avec l'environnement extérieur (pertes thermiques élevées) et des charges internes élevées (occupants, appareils/équipements et éclairage).

3-La zone des services (cuisines, bureaux, magasins, blanchisserie, installations pour le personnel, salles des machines et autres sections techniques), ce sont des zones énergivores nécessitant généralement une gestion avancée de l'air (ventilation, refroidissement, chauffage).

Pour plus de détails, la (Figure 2.7) suivant les principaux postes de consommation d'énergie dans un hôtel, par ordre : le chauffage, la climatisation et la ventilation avec le pourcentage le plus important de 45 % de la consommation totale, ensuite l'éclairage avec 23 % de la consommation finale. Le rôle des clients est également très important dans la consommation énergétique de l'hôtel, où de nombreuses études ont montré que suivant la région visitée par un touriste, la consommation d'énergie peut varier, en donnant par exemple les clients européens qui sont considérés les plus nombreux par rapport aux clients asiatiques (Wang et Huang, 2013).

En outre, la consommation d'énergie par client et par nuit peut aller de 23 à 113 kWh, ce qui présente des quantités relativement importantes en termes de consommation. Dans une étude précédente, l'estimation de la consommation des hôtels aux États-Unis a été enregistrée à une valeur de 401 kWh/m².an et jusqu'à 688 kWh/m².an dans les hôtels au Canada, ainsi que de l'ordre de 715 kWh/m².an des consommations ont été enregistrées à Londres en 1988 pour le cas européen (Deng et Burnett,2000).

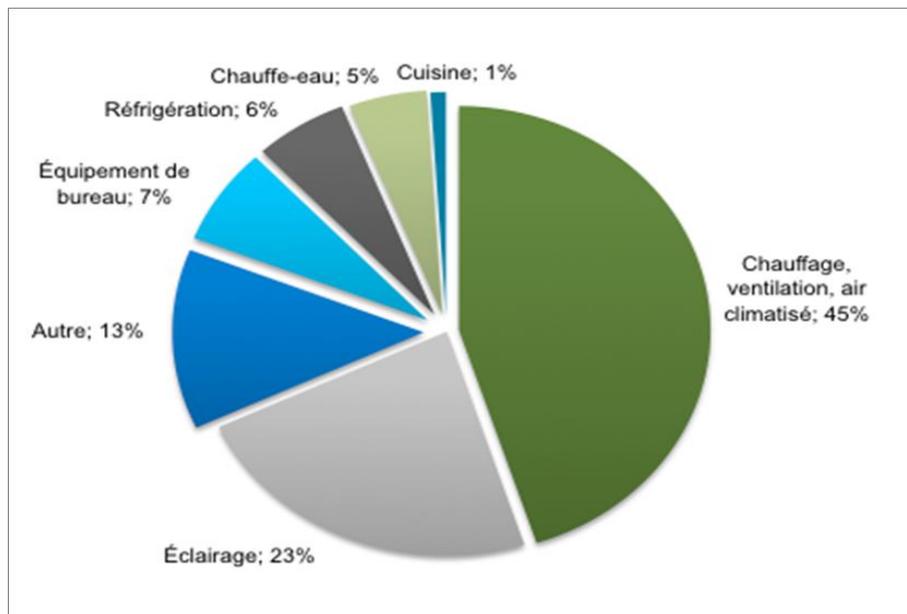


Figure 2.7 : Les postes de consommation d'énergie dans un hôtel.

Source: (Hotel-online.com/News)

2.4 Les réponses internationales aux enjeux environnementaux des hôtels

L'objectif de cette partie est de présenter une brève revue des programmes et les initiatives existants les plus utilisés pour la certification environnementale en mettant l'accent sur ceux destinés aux hôtels, d'identifier leur rôle et leur importance pour le développement de ce secteur.

2.4.1 Initiative NZEH (Nearly Zero Energy Hotel)

Actuellement, l'Union européenne prend en considération de rendre tous les types de bâtiment nouveaux économes en matière d'énergie et pourquoi pas à énergie positive, cela par l'association de la production et de l'utilisation des énergies renouvelables. Cette étape doit passer premièrement par un changement complet et de fond de ce secteur et la construction de nouvelles infrastructures très performantes (SPW,2017).

La directive européenne 2010/30/UE qui constitue l'ensemble des ambitions qui crée la nouvelle dynamique de « Nearly Zero Energy Building » impose que la consommation énergétique de tout le nouveau bâtiment doit se rapprocher d'une consommation d'énergie presque zéro (nulle) (CCW,2014). Cette directive incite les membres à l'appliquer dans leur propre pays.

Récemment, cette directive a vu un amendement par une autre UE 2018/844 ajoutée en 30 mai 2018 dont l'application concerne les bâtiments et constructions neufs sans négliger les bâtiments et les projets de rénovations et dernièrement une nouvelle directive de 14 décembre 2022 révisée à l'art. 9 indique que d'ici 2030 les états membres de l'union européen doivent arriver à une diminution au minimum de 55 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) (par rapport aux valeurs de 1990) plaçant ainsi l'UE plus fermement sur la voie de l'atteinte de son objectif ultime de carboneutralité (neutralité climatique) d'ici 2050 (Shady el al,2022).

Le développement d'une manière cohérente des bâtiments énergétiquement faibles, certainement même à zéro énergie ou bien à énergie positive. Cette transmutation de construction est considérée par les pays qui possèdent une économie assez forte en citant la France, le Danemark, l'Allemagne, la Norvège, l'Autriche et la Pologne. La situation est cependant différente dans les pays en développement, où il est actuellement jugé difficile de suivre cette dynamique (AIE, 2022).

En concrète, la définition d'un bâtiment « Nearly Zero Energy Buildings » s'articule autour de sa capacité de consommer peu d'énergie à travers sa conception en produisant de l'énergie à partir des sources renouvelables, soit directement ou à proximité du site (CREAHd ,2014).

Cette définition partage une certaine difficulté sur le plan économique où elle exige un niveau maximum d'économie d'énergie. En effet, ce dernier est considéré trop différent en fonction des caractéristiques du bâtiment, du climat et ainsi de la région de situation de la construction. Par exemple, le niveau d'économie est influencé par le type de bâtiment, qu'il s'agisse d'un logement, d'un hôtel, d'une école...etc. Cela a été confirmé par plusieurs études de l'Institut de la maison passive qui montrent que l'efficacité économique maximale d'un type de maison individuelle est atteinte lorsque la consommation finale de chauffage atteint environ 15 kWh/m² par an (Feist, 2016).

Pour des bâtiments de type hôtelier, les études sont moins bavardes à cause du très grand et déferent nombre des configurations existantes. Chaque hôtel demande une conception spécifique selon les besoins qui sont totalement différents par rapport à la situation (un hôtel qui se situe par exemple sur les montagnes est différent d'un autre qui se situe sur le littoral (Méditerranée). De plus, ces besoins se différencient selon les exploitations effectuées et les fréquentations de chaque hôtel. En se concentrant spécifiquement sur les bâtiments hôteliers, cette démarche NZEB a un impact significatif sur ce type de bâtiment du fait que la consommation des hôtels est toujours supérieure à celle des autres types de bâtiments (Tsoutsos, 2013).

D'ailleurs, NZEH est une initiative qui a été créée par la Commission européenne entre 2013 et 2016 qui transmet les principes d'un bâtiment NZEB vers le secteur hôtelier qui désigne Nearly Zero Energy Hotel. Elle vise à accélérer le rythme de rénovation des hôtels existants pour devenir des NZEB (Derjanecz,2015). L'objectif principal de cette initiative est d'optimiser d'une façon meilleure la manière d'utiliser l'énergie dans les hôtels en prenant en considération le confort des occupants par des différents moyens exploités par la mise en œuvre en coordination avec des comités techniques créés spécifiquement pour accompagner les gestionnaires de l'hôtel à travers, en premier, un état des lieux actuel des consommations énergétiques de l'hôtel, plus le remplacement de la gestion et management de l'énergie avec les équipes de l'hôtel. En deuxième la réduction des besoins de chauffage

et climatisation par l'intégration de nouvelles stratégies des sources d'énergies renouvelables plus l'amélioration de l'efficacité des équipements et appareils existants.

Les objectifs de la dynamique NZEH allant vers la réduction de la consommation énergétique des hôtels à environ 70 kWh/m²an. (Theocharis et al ,2016). Cette dynamique englobe des multiples bénéfices : économiques par la diminution remarquable des consommations énergétiques affectent directement la comptabilité de l'hôtel, environnementaux à travers le lien entre la réduction de la consommation d'énergie qui influe immédiatement sur la diminution des émissions de G.E.S ainsi des bénéfices sociaux soit par l'impact sur le niveau du confort et ainsi la santé des clients ou par la création d'une nouvelle théorie des hôtels qui permet d'accroître la sensibilisation des visiteurs par des activités organisées autour de cette dynamique.

2.4.2 Le certificat Eco Label

C'est le certificat le plus populaire entre les propriétaires des hôtels, il est connu aussi sous le nom de Fleur de l'UE, développé par l'Union européenne en 1992 et reconnu par la majorité des voyageurs européens. Les critères obligatoires pour un hôtel portés par ce certificat comprennent : la limitation de la consommation d'énergie ainsi que de l'eau , une réduction de la production de déchets et une exploitation des ressources et substances renouvelables moins dangereuses sur l'environnement, la promotion de l'éducation et de la communication environnementales, la réduction des impacts environnementaux de la production et de la transformation des aliments et des boissons comme dernier maillon du processus de distribution.

2.4.3 Eco gîte de France (Green globe)

Le système Green Globe 21 est l'un des premiers systèmes d'autorégulation et est actuellement l'initiative la plus largement reconnue et utilisée par les chaînes hôtelières internationales. Elle est reconnue à l'échelle internationale dans 83 pays. Il comprend 44 critères obligatoires et plus de 380 indicateurs de conformité. Les indicateurs varient dans une certaine mesure selon la région géographique et comprennent des facteurs locaux pour assurer l'harmonisation avec les normes élaborées localement tout en maintenant les critères de base. (Dumont,2022)

Les hôtels doivent satisfaire aux exigences concernant non seulement les questions environnementales par la conservation des ressources, la réduction de la pollution, la conservation de la biodiversité, les écosystèmes et les paysages, mais aussi la gestion durable impliquant la mise en œuvre d'un système de gestion durable, assurant la conformité juridique, le développement/la formation efficace des employés et la gestion, la satisfaction des clients, l'exactitude du matériel promotionnel et le soutien aux entrepreneurs locaux, ainsi que le respect des collectivités locales et la promotion de la culture et du patrimoine culturels locaux (Green Globe,2019).

Néanmoins, le problème important dans Green Globe est qu'il exige la déclaration de l'énergie renouvelable utilisée dans le bâtiment. Cependant, toute la consommation d'énergie, peu importe la source, est prise en compte dans l'estimation annuelle de la consommation d'énergie d'un hôtel (Wu Xuchao, 2007).

2.4.4 Le label : La clé verte

La Clé verte est un label écologique volontaire décerné à environ 3200 hôtels et autres sites touristiques dans 65 pays dans le monde. Le programme de ce label promeut le tourisme durable et vise à contribuer à la prévention du changement climatique en récompensant des hôtels avec des initiatives positives en matière d'environnement. Il vise à la sensibilisation du personnel et des clients de l'hôtel, à l'introduction de méthodes de fonctionnement et de technologie durables, à l'utilisation réduite des ressources et de l'énergie.

Ce label a été lancé en 1994 par une organisation non gouvernementale au Danemark. Actuellement, il opère dans 40 pays et continue de croître en nombre et de se répandre à travers le monde. Les hôtels peuvent recevoir le label de Clé verte lorsqu'ils respectent les critères nationaux ou internationaux exigés. 130 critères de 13 catégories tiennent compte de la gestion environnementale (eau, déchets, énergie, utilisation de produits chimiques), des exigences techniques et des initiatives pour la participation et la sensibilisation des clients, du personnel et des fournisseurs, des responsabilités sociales de l'entreprise, des activités écologiques. Les critères nationaux comprennent la législation locale, l'infrastructure et la culture (Greenkey, 2020).

En résumé, l'application des labels et certifications citées plus d'autres (Earthcheck, Le label bio hôtels, Hôtelcert) dans les hôtels présente des multiples avantages, surtout son

impact positif sur l'environnement grâce aux utilisations des sources d'énergie renouvelables. Ces efforts aident à conserver les ressources naturelles, à protéger la biodiversité et à atténuer les changements climatiques.

2.5 Développement du secteur hôtelier en Algérie

À l'heure actuelle, le secteur du tourisme connaît une croissance et une évolution rapide, particulièrement en matière de capacités d'accueil et hébergement, face à la croissance de la demande des touristes à l'échelle mondiale. En outre, l'augmentation de la capacité d'accueil d'un pays et la diversification des moyens et types d'hébergement présentent une des conditions nécessaires et importantes pour le développement du tourisme.

En Algérie, le lancement de la majorité des hôtels était au cours des premières années de l'indépendance avec la construction des hôtels réalisée par le fameux « Fernand Pouillon » en période de 1968 et 1979 sous la direction de ministre du tourisme dont l'objectif était de renforcer l'aménagement des villes côtières par des équipements touristiques et la création d'un maillage des infrastructures englobant tout le territoire (elwatan,2020).

En raison de l'instabilité connue par le secteur, trois périodes importantes sont retenues :

La première qui a débuté en 1914 avant l'indépendance à travers la création des ouvrages par le gouvernement colonial français en développant un groupe d'initiative touristique aux wilayas d'Oran et Constantine. Par la suite, en 1919, la fondation de la première fédération touristique qui réunit les 20 associations touristiques existantes. Ainsi, en 1929, la création de crédit hôtelier suivie en 1931 par le développement de l'Office algérien des activités économiques touristiques. La durée de 1963 à 1979 (après l'indépendance) est caractérisée par un nombre de 5 900 lits en situation de délabrement, ce qui décourage le gouvernement algérien de se concentrer sur le développement du secteur de tourisme. Cependant, en 1970 et dans le but de promouvoir le tourisme à l'échelle internationale, l'attention est mise sur les types de haute gamme comme le complexe touristique de Sidi Fredj, Zeralda et Les Andalouses. Depuis 1977, une évolution des infrastructures hôtelières a été remarquée avec 130 hôtels exécutés, dont 25 % sont réalisés dans la wilaya d'Alger ,11 % et 9 % à Oran et Annaba (FERNANE, 2011).

La deuxième période qui s'étale de 1980 à 1990 est caractérisée par une réorganisation radicale contre la situation médiocre du secteur hôtelier, mais l'insuffisance des capacités d'accueil et le manque de professionnalisme restent des obstacles qui affectent l'image de l'Algérie et son attrait comme destination touristique. De 1990 à 2000, une période qui a été caractérisée par une diminution remarquable du nombre de touristes à cause de la dure situation sécuritaire intérieure au cours de ces années.

Cependant, le nombre des hôtels de catégorie non étoilée a vu une augmentation d'environ 827 hôtels durant, mais la mauvaise qualité de services de ces infrastructures reste toujours un défi majeur pour le gouvernement afin d'améliorer les compétences en communication et le savoir-faire. Par ailleurs, dans le but d'améliorer l'image de marque de ces infrastructures, le gouvernement s'est proposé comme le premier principal agent pour encourager et accorder tous les besoins essentiels en matière de ressources et le soutien nécessaire pour le développement (Alliouche et Bendimared, 2016).

Troisième période de 2000-2011, le lancement d'une stratégie de développement du secteur hôtelier à long terme (une vision jusqu'à 2025) par le ministère de l'aménagement du territoire, de l'environnement et du tourisme pour mettre fin aux transformations des actes dans le secteur public ainsi que du privé. Après cette période, jusqu'à présent, l'Etat a augmenté sa participation marquante au développement de ce secteur.

2.5.1 Evolution du parc hôtelier en Algérie

Les hôtels sont considérés comme un pilier essentiel du secteur du tourisme, qui présente un des piliers essentiels de l'économie nationale. De ce fait, un large plan d'investissement et de réhabilitation des hôtels est en cours de réalisation avec l'engagement de plusieurs chaînes hôtelières internationales pour la construction de nouveaux établissements hôteliers et la gestion et le management des hôtels déjà existants.

Les dernières statistiques du Bureau national de la statistique et du ministère du Tourisme (Figure 2.8) montrent un développement remarquable du nombre d'hôtels en Algérie. Avec un taux de croissance de 90,56 %, l'équivalent du double par rapport au nombre en 2008, cette croissance continue s'explique par les efforts vers le développement de l'hôtellerie en Algérie pour soutenir l'activité touristique dans le cadre du programme de développement touristique SDAT Horizon 2030, qui vise à renforcer l'activité touristique en tant que moteur majeur de la croissance économique.

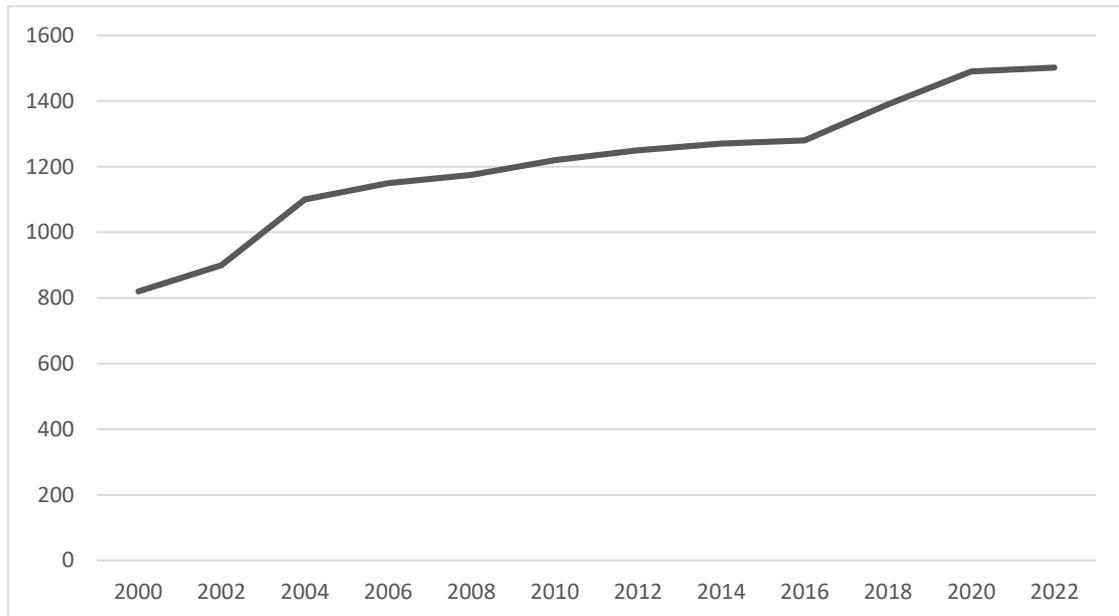


Figure 2.8 : Evolution du nombre des hôtels en Algérie en période 2000-2022.

Source : Auteur. 2023.

(A partir des données du ministre du tourisme et de l'artisanat. www.mta.gov.dz).

La répartition des hôtels algériens existe en différents types selon la dernière classification approuvée par le ministre du tourisme et de l'artisanat en 2022. Cette différence conduit à distinguer le type de services hôteliers fournis aux clients, dont les plus importantes sont la répartition par catégorie de classement (Figure 2.9), la répartition par vocation où les statistiques montrent que les hôtels urbains occupent la grande capacité en lits (Figure 2.10) et ainsi la répartition par secteur juridique (Figure 2.11) où les hôtels qui appartiennent au secteur privé prennent la grande place.

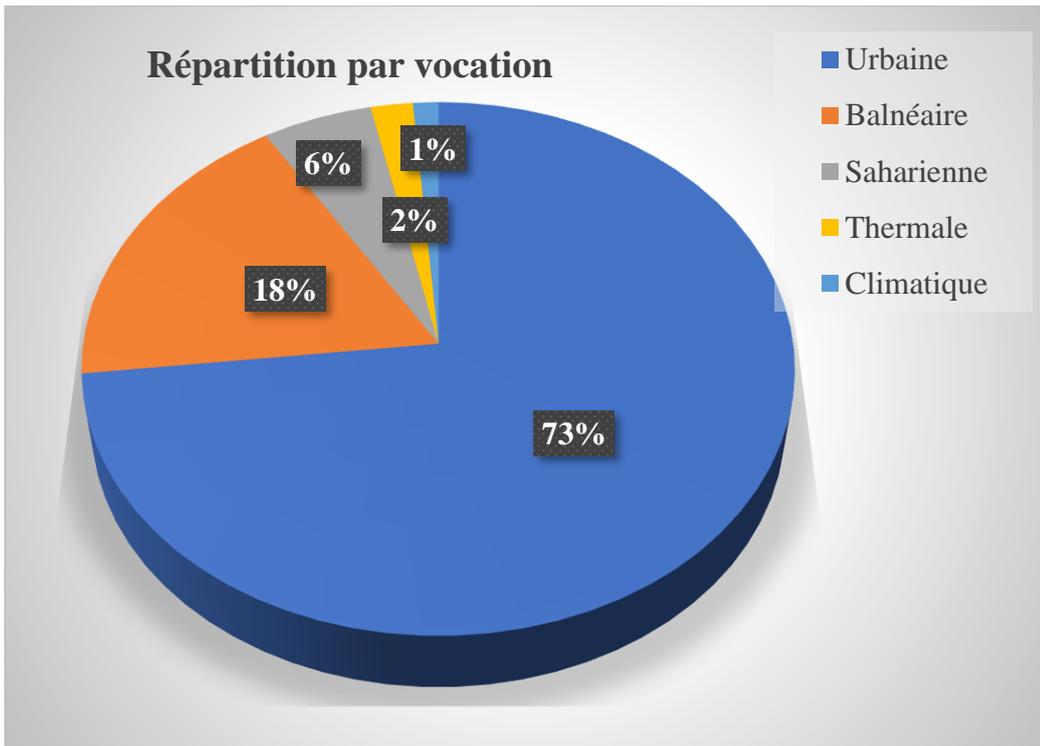


Figure 2.9 : Répartition des hôtels par vocation.

Source : Auteur. 2023.

(A partir des données du ministre du tourisme et de l'artisanat. www.mta.gov.dz).

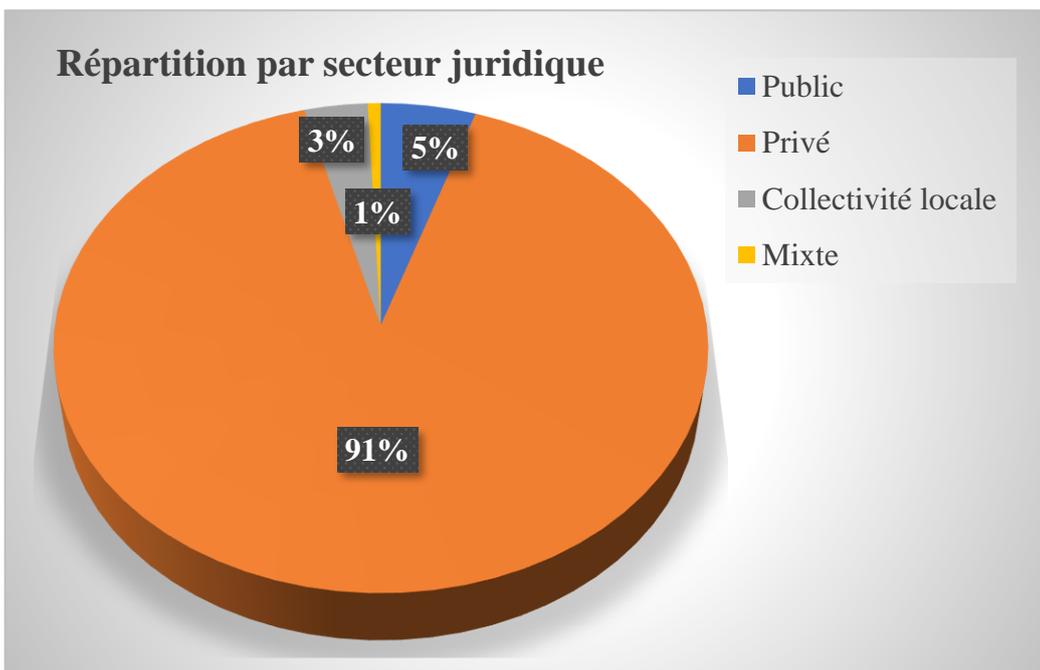


Figure 2.10 : Répartition des hôtels par secteur juridique.

Source : Auteur. 2023.

(A partir des données du ministre du tourisme et de l'artisanat. www.mta.gov.dz).

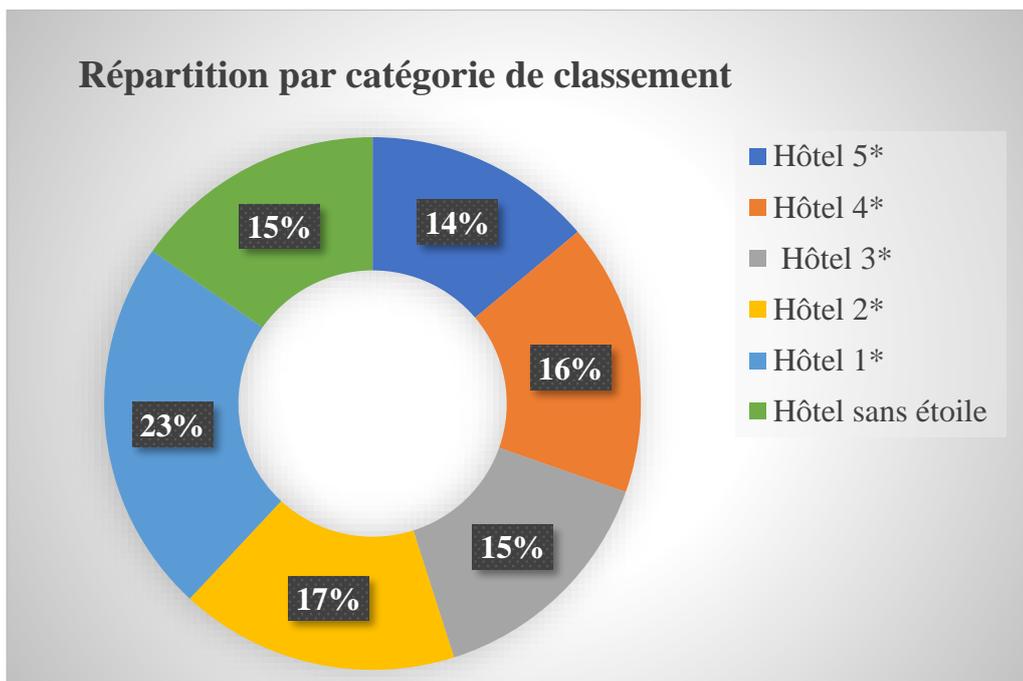


Figure 2.11 : Répartition des hôtels par catégorie de classement.

Source : Auteur. 2023.

(A partir des données du ministre du tourisme et de l'artisanat. www.mta.gov.dz).

2.5.2 La Consommation d'énergie des hôtels en Algérie

L'énergie est l'un des piliers les plus importants des sociétés qui joue un rôle majeur dans le processus de développement économique. Il représente la clé principale de la croissance de la civilisation humaine sur Terre. En effet, la lutte contre les changements climatiques et la diminution de la consommation des ressources naturelles devient le sujet d'actualité des pays industrialisés. L'Algérie est parmi les pays qui voient une augmentation accrue de ces consommations d'une année à l'autre. Selon l'APRUE, la consommation de l'électricité a connu une hausse importante de 10 % à l'année 2023 comparativement à celle de 2022 avec une valeur de 60 GWH (un pic de consommation de l'électricité en Algérie de 18377 mégawatts a été enregistré mardi 11 juillet 2023 à 14h09).

De plus, les foyers algériens arrivent à une consommation d'énergie plus de 10 par rapport aux normes à l'échelle internationale et deux fois plus que la moyenne à l'échelle des pays maghrébins. La consommation d'énergie ne cesse d'accroître, ce qui produit des effets négatifs sur l'environnement.

Un grand nombre d'initiatives et démarches nationales et internationales, telles que la réglementation thermique algérienne (DTR) et le programme national de maîtrise de l'Energie (PNME) et aussi des agences et des centres de recherche comme l'APRUE soutenu par son aide financière par le fonds national pour la maîtrise de l'Energie (FNME), les centres de recherches liées au domaine des bâtiments en citant le centre du développement des énergies renouvelables (CDER) et le centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB). Toutes ces entités visent désormais à réduire la consommation énergétique des bâtiments tout au long de leur cycle de vie. Malgré ces tentatives importantes, les chiffres de consommation énergétique dans le bâtiment restent en augmentation persistante. Néanmoins, le fait de se concentrer uniquement sur ces tentatives ne peut jamais aider à arriver à des bâtiments économes, vu le manque des guides et des informations nécessaires dédiées aux concepteurs du bâtiment.

Le secteur du bâtiment est caractérisé par des taux élevés de consommation d'énergie et d'impacts sur l'environnement, dont le parc immobilier (résidentiel et tertiaire) est responsable de 43 % avec une valeur de 22,4 Mtep de la consommation d'énergie finale et de 15 % des émissions de CO₂, suivi par le secteur des transports (33 %) et l'industrie (22 %) (Figure 2.12). En fait, cette hausse est en relation directe avec la croissance démographique estimée à plus de 45 millions d'habitants à la fin de l'année 2020 ainsi qu'à la progression du besoin des foyers en énergie. Le secteur du transport présente aussi une part énergétique non négligeable, soit 30,6 %, qui dépasse le secteur de l'industrie en raison de l'augmentation remarquable au niveau des activités aériennes et maritimes ainsi que de la progression du parc des automobiles.

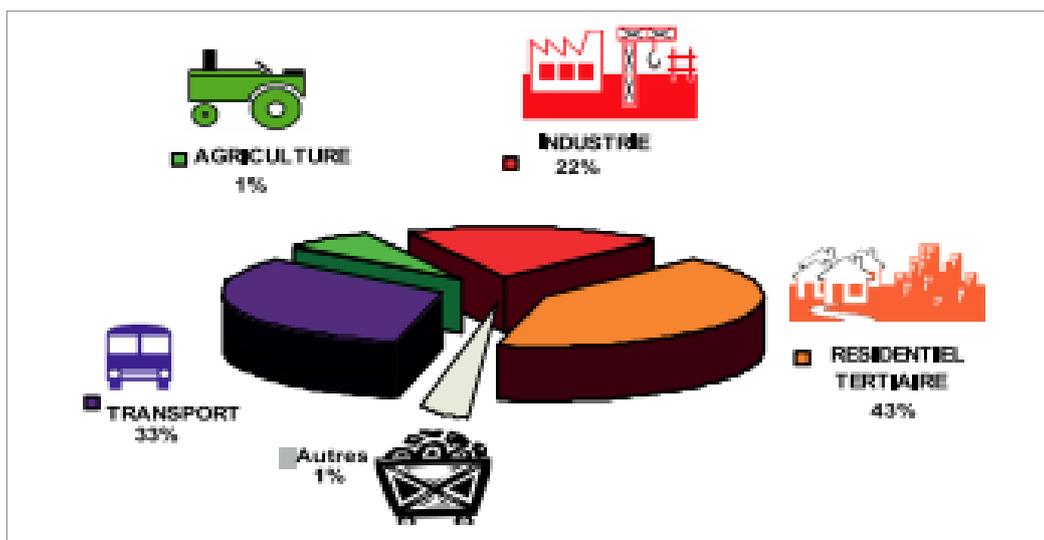


Figure 2.12 : Bilan énergétique de la consommation finale par secteur d'activité.

Source : APRUE,2017.

En général, la consommation moyenne d'un hôtel est estimée à 270 kWh/m²/an. Certains d'autres peuvent arriver jusqu'à 500 kWh/m²/an de consommations (Antipolis ,2011). Par conséquent, ce chiffre de consommation moyenne de 270 kWh/m²/an conduit à une facture énergétique moyenne de presque 24,3 €/m²/an. Cela confirme pourquoi les experts en énergie apprécient la capacité du secteur hôtelier à participer à la réalisation des grandes économies d'énergie, vu la conception particulière donnée à ce type de bâtiment qui aide à faciliter de faire une division spécifique des consommations énergétiques, ce qui permet à proposer des nouvelles solutions efficaces de gestion de l'énergie.

De plus, la consommation d'énergie dans un hôtel est fortement influencée par le niveau élevé de besoin de confort souhaité par les clients, ce qui en fait des bâtiments plus énergivores que les autres bâtiments. D'ailleurs, les clients dans un hôtel ont tendance à changer leur consommation d'énergie (éclairage, électricité, eau, etc.) par rapport à une consommation au domicile, par exemple de l'eau : en moyenne, un client consomme 300 litres d'eau pendant le séjour d'une seule nuit par rapport à 150 litres à la maison (Advizeo, 2020).

2.6 La performance énergétique et confort thermique dans les hôtels (revue de littérature)

Dans le secteur du tourisme, plus de 20 % des émissions carbone sont issues de l'hébergement et près de 2/3 des émissions de CO₂ de la consommation d'énergie. Ces chiffres ne cessent d'augmenter chaque année, vu que la croissance continue de ce secteur peut entraîner une part grandissante des émissions mondiales de gaz à effet de serre. De ce fait, il est nécessaire de réagir attentivement afin de minimiser les émissions de CO₂ pour éviter une éventuelle crise climatique.

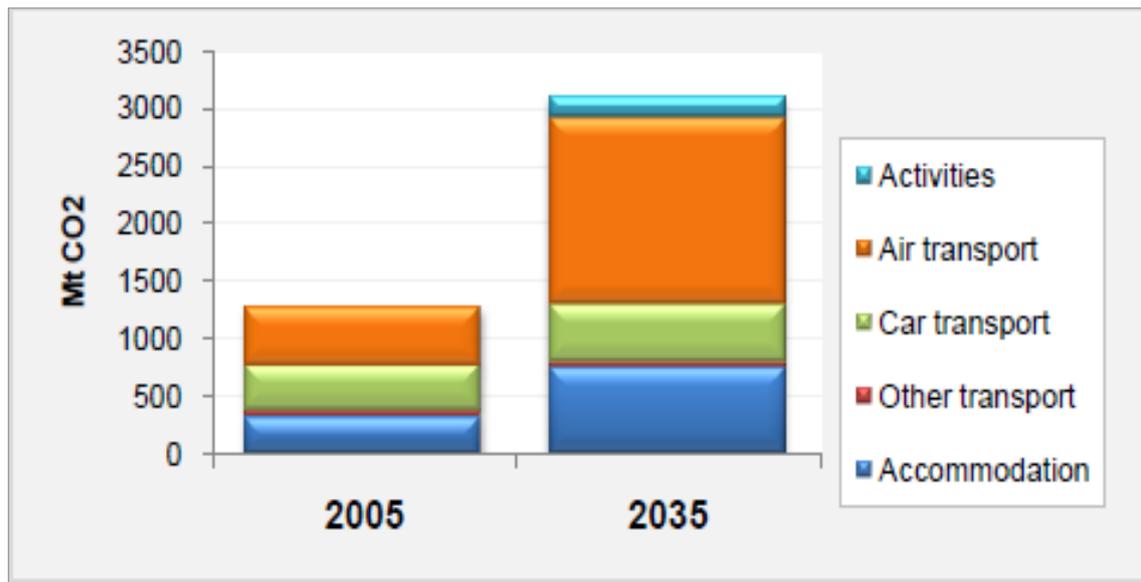


Figure 2.13 : Émissions de CO₂ des activités touristiques mondiales entre 2005 et 2035.

Source : Reshma ,2015.

La figure ci-dessus (Figure 2.13) montre les émissions de CO₂ du tourisme mondial, d'après cette dernière, la partie des hébergements continue à augmenter d'une façon remarquable, Les hôtels sont des bâtiments qui consomment une grande quantité de ressources naturelles (énergie, eau, nourriture...) afin d'atteindre le confort exigé par les clients. En effet, les hôtels sont parmi les plus énergivores par rapport aux autres types de bâtiment similaires.

A travers cette constat plusieurs travaux de recherche ont étudiée la nécessité de réduire l'impact environnemental et limiter les émissions de CO₂ produit par les hôtels dans le monde entier ,parmi tous ces travaux nous sommes intéressés par celles qui concentre sur la performance énergétique et les manières de conservation et l'optimisation de l'énergie

puisque les hôtels sont classés parmi les 5 premiers en termes de consommation d'énergie dans le secteur tertiaire, la consommation d'énergie des hôtels dans le monde a été estimée de 97.5Twh dont l'intensité énergétique moyenne se varie entre 69 à 689 KWh/an (Hôtel Energy solutions, 2011), Nous avons divisé les études précédentes en quatre catégories :

la première catégorie traite les concepts, initiatives, les labels et les certifications pour des hôtels économes en énergie afin d'encourager ce secteur à diminuer sa consommation d'énergie et la réduction des émissions des CO2 en citant par exemple l'incitatif NZEH un projet européen apparu en 2013 dont l'objectif est de diminuer la consommation d'énergie dans les hôtels et inciter à intégrer les nouvelles technologies des énergies renouvelables non polluants sans perdre le confort des occupants, plusieurs chercheurs ont étudié l'application de cette initiative en zone méditerranéenne (Tsoutsos ,2013 ; Giuseppe ,2016) ont confirmé l'efficacité marquantes de cette initiative.

Par ailleurs, le projet XENIOS qui a démontré que les hôtels ont le potentiel d'économiser 25 % à 30 % d'énergie, dont 15 % à 20 % pour le chauffage, 5 % à 30 % pour la climatisation 40% à 70% pour l'eau chaude et plus de 7% pour l'éclairage. En outre, le projet ELTAS a défini des critères à prendre en considération afin d'arriver à minimiser la consommation d'énergie dans les hôtels qui sont le type d'alimentation en énergie, l'efficacité des équipements, les caractéristiques du bâtiment et les mesures de gestion d'énergie.

La 2ème catégorie est concentrée sur les statistiques et les données des consommations énergétiques des hôtels à travers les enquêtes et les études sur le terrain dans plusieurs. Des études menées dans de nombreux pays ont révélé que les hôtels sont l'une des catégories de bâtiments les plus énergivores. Santamouris et al. (1996) ont recueilli des données sur la consommation d'énergie de 158 hôtels helléniques et ont estimé le potentiel d'économie d'énergie par des améliorations techniques, l'intégration des matériaux ou des systèmes écoénergétiques. La consommation annuelle totale d'énergie dans ces hôtels était de 273 kWh/m². En revanche, la consommation annuelle d'énergie dans les immeubles de bureaux et les bâtiments scolaires n'était que de 187 kWh/m² et 92 kWh/m² respectivement.

Au Canada, Zmeureanu et al. (1994) ont étudié le rendement énergétique de 19 hôtels d'Ottawa et ont constaté que leur intensité moyenne de consommation d'énergie était de 612 kWh/m². Un projet réalisé en collaboration avec le ministère australien du tourisme et des

ressources avec l'association des hôtels australiens a interrogé environ 50 hôtels en Australie. En résultat, des indicateurs de référence distincts de la performance des meilleures pratiques ont été proposés pour les hôtels d'hébergement et d'affaires, qui étaient de 208 kWh/m² et 292 kWh/m² (Australian Government, 2002).

Deng et al.2003 ont signalé une intensité énergétique moyenne de 564 kWh/m², une autre étude menée dans 36 hôtels de Hong Kong a révélé que l'intensité moyenne de la consommation d'énergie était de 542 kWh/m². Cependant, les résultats obtenus dans les hôtels tropicaux de Singapour sont généralement comparables à ceux obtenus dans les hôtels subtropicaux. De ce fait, la base de données APEC Energy Benchmark contient des données sur la consommation d'énergie de 29 hôtels à Singapour dont l'intensité énergétique moyenne de ces hôtels était de 468 kWh/m² (APEC, 1999). Shehu et al, (2019) ont confirmé que les facteurs qui affectent la consommation d'énergie dans les hôtels se différencier selon des facteurs physiques l'emplacement, le climat, le nombre d'étoiles, le taux d'occupation et la performance des équipement plus les installations utilisées dont l'efficacité des systèmes intégrés et le type d'énergie sont discutés, en effet le chauffage et la climatisation sont les activités de consommation d'énergie les plus important qui présentent presque la moitié de la consommation totale d'énergie.

La 3eme catégorie a traité les alternatifs de l'amélioration de la performance énergétique des hôtels à travers des évaluations des intégrations des énergies renouvelables, de conception bioclimatique, des nouvelles technologies et de gestion énergétique. Les études (Kyriakia ,2015 ; Bodach ,2016 ; Biljana ,2017 ; Hamid, 2013) ont montré que les principales pertes d'énergie dans les hôtels se focalisent dans l'enveloppe externe, notamment les façades vitrées, en confirmant qu'avec une enveloppe bien conçue qui repose sur une bonne orientation, une meilleure forme, une isolation renforcée et une intégration des stratégies de contrôle solaire, plus le bon choix des ouvertures, les hôtels peuvent limiter ou supprimer totalement l'utilisation des installations de chauffage ou de climatisation.

La 4ème catégorie (Bohdanowicz 2002 ; Buso, 2017 ; Qi,2017 ; Acosta, 2016) s'est intéressée par l'évaluation du confort thermique à l'intérieur des espaces hôteliers et la qualité de l'environnement intérieur, en particulier dans les chambres, en se basant sur la qualité de l'air et les températures intérieures, vue que les clients ont toujours senti inconfortable et insatisfait de ces critères.

D'autres travaux de recherche ont proposé des solutions techniques de l'efficacité énergétique dans les hôtels. Des détecteurs d'occupation ont été testés dans les chambres d'un hôtel en Jamaïque (Plant 1997). Ces appareils fonctionnent sur le même principe que les interrupteurs électriques principaux, en ce sens que tous les systèmes, sauf les plus « vitaux », sont coupés chaque fois que des capteurs indiquent une vacance. Dans le cas des interrupteurs électriques principaux, la plupart des systèmes (à l'exception des minibars, des prises électriques pour les chargeurs et de la climatisation de l'espace de charge de base) sont éteints lorsque le client retire la carte-clé de sa prise. En insérant la carte-clé, le contrôle total de tous les équipements est rendu au client. Dans ce projet pilote jamaïcain, le coût de la climatisation (AC) a été réduit d'environ 30 %, tandis que la majorité des clients ignoraient totalement que les paramètres du système AC de la chambre avaient été modifiés et contrôlés pendant leur absence (Plant, 1997).

Les systèmes informatisés (Bohdanowicz, 2002) de gestion des hôtels offrent le contrôle le plus complet et le plus sophistiqué sur l'environnement et la consommation d'énergie dans divers espaces hôteliers. Ces systèmes permettent une manipulation complète des réglages de température, le fonctionnement des systèmes CVC ainsi que le contrôle d'autres appareils électriques directement depuis la réception. De plus, lorsqu'ils sont combinés avec le système de réservation informatisé, ils permettent d'ajuster les conditions dans les chambres en fonction de l'occupation prévue, optimisant ainsi la performance énergétique de l'installation.

Un compromis peut peut-être être atteint en permettant aux températures intérieures des hôtels de varier plus que ce qui est « toléré » par les normes en vigueur, et de suivre dans certaines limites les variations de température extérieure, tout en permettant aux clients d'exercer un certain degré de contrôle (par exemple +/- 1°C). Si les clients ont besoin de conditions de chambre sensiblement différentes de celles présentes, ils peuvent par exemple demander au personnel de l'hôtel d'adapter individuellement le niveau de confort à quelque chose de plus approprié. Une approche plus flexible du conditionnement de l'espace est susceptible d'entraîner une consommation d'énergie globale inférieure, en particulier si les points de consigne de température par défaut sont conservateurs. Afin d'augmenter encore les économies d'énergie, les systèmes CVC doivent fonctionner à des charges minimales/économiques chaque fois que les pièces sont inoccupées pendant de longues périodes.

Cependant, les systèmes doivent être conçus pour rétablir raisonnablement rapidement des conditions thermiques acceptables. Techniquement, toutes les solutions mentionnées ci-dessus sont possibles et des outils pertinents sont disponibles sur le marché, y compris des commutateurs de carte maîtresse/électricité, des contrôles de thermostat précis, ainsi que des systèmes de gestion de bâtiment informatisés.

D'après cette revue de littérature (Figure 2.14), les hôtels présentent un réel potentiel de conservation d'énergie à travers l'intégration des énergies renouvelables et la conception bioclimatique.

Dans le contexte algérien, il y a des difficultés pour arriver à appliquer ces offres de conservation à cause du manque de connaissances et d'expérience, de plus la non-maîtrise de ce domaine par les concepteurs et l'insuffisance des acteurs techniques appropriés.

À travers cette réflexion, nous sommes arrivés à cerner notre recherche dans tout ce nombre d'études par la porte d'intérêt, en premier lieu, sur l'évaluation de la performance thermique des hôtels en Algérie, plus la satisfaction des occupants, afin d'arriver à identifier les parties les plus intéressantes pour améliorer la performance énergétique des hôtels en Algérie particulièrement en zone méditerranéenne, la région où se concentrent la majorité des hôtels urbains.

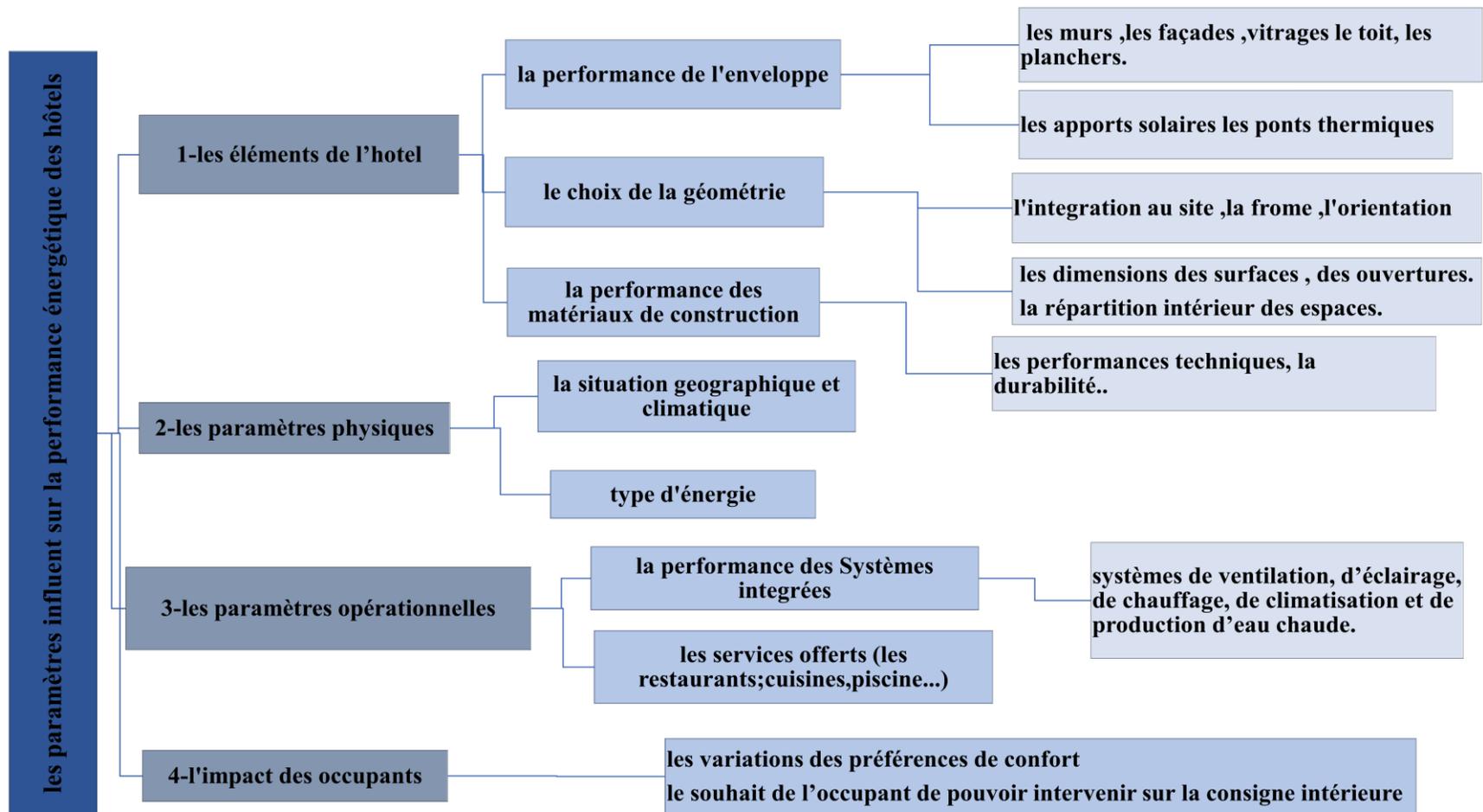


Figure 2.14 : Schéma synthétique des paramètres influençant sur la performance énergétique des hôtels.

Source : Auteur,2018

2.6.1 Le confort thermique dans les hôtels

Les normes concernant le confort thermique pertinentes pour les hôtels comprennent la norme ASHRAE 55/92, ainsi que la norme ISO 7730. Les recommandations générales de la norme 55/92 relatives aux plages de confort thermique acceptables ont été légèrement modifiées par l'industrie pour mieux répondre aux exigences des différents espaces (Figure 2.14).

Tableau 2.2 : Normes de température pour les espaces hôteliers.

Source : Auteur 2020, basé sur les recommandations de la CIBSE citées dans Lawson 2001.

Types d'espace	Température, C°	
	Chauffage (en hiver)	Climatisation (en été)
Les chambres	24	20-22
Restaurants	21	22
Salle de conférence	20-21	22
Hall de réception	18-20	27
Couloirs, escaliers	20	23
Aire d'activité	12-16	
Vestiaires	26-28	
Piscines	27-28	
Autres	24-26	
Ordinateurs, équipement, stores	18-20	27
Cuisines	15-18	23

Malgré ces recommandations relativement détaillées concernant les niveaux appropriés de températures intérieures dans les hôtels, la pertinence et l'applicabilité des normes actuelles ont été largement remises en question. La majorité des enquêtes de terrain sur la perception du confort thermique dans les hôtels ont indiqué que les modèles théoriques de confort thermique basés sur le laboratoire ne tiennent pas toujours dans des situations réelles. Les enquêtes ont montré que la différence entre les températures recommandées par l'ASHRAE et celles décrites comme acceptables par les occupants peut atteindre jusqu'à 5°C.

De ce fait que l'approche adaptative de la gestion du confort thermique peut s'avérer plus appropriée que ce qui est recommandé par les normes en vigueur (De Dear & Brager 2002).

Ce concept d'approche adaptative du confort thermique a émergé d'une série d'études de terrain réalisées dans le monde entier, indiquant des écarts entre les températures prescrites par les normes comme confortables et celles perçues par les occupants comme acceptables. Il a été observé que les gens ont tendance à ajuster leur comportement en tentant de rétablir le confort thermique lorsque celui-ci est diminué d'une manière ou d'une autre. Cette observation a conduit à la conclusion que les humains sont remarquablement capables de s'adapter et d'adapter leur comportement aux environnements intérieurs changeants (comme ils le font généralement dans des conditions extérieures variables), à condition que les changements ne soient pas extrêmes et que les occupants disposent de suffisamment de temps pour s'adapter.

Cependant, jusqu'à présent, aucune enquête détaillée n'a examiné son potentiel pour les environnements intérieurs des hôtels et autres établissements d'accueil. Alors que les avantages d'adopter une approche plus flexible et adaptative de la gestion du confort thermique dans les hôtels peuvent sembler évidents (diminution de la demande et des coûts énergétiques, systèmes plus simples/plus petits, moins d'émissions et un impact environnemental global plus faible), des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre comment, et dans quelle mesure une telle approche serait adaptée aux environnements hôteliers.

Généralement, dans sa conception, l'approche adaptative du confort thermique apparaît la mieux adaptée aux occupants intérieurs habitués à un climat extérieur particulier et à ses variations. Cependant, les voyageurs sillonnent souvent les zones temporelles et climatiques sur de courtes périodes de temps, et la durée de leurs séjours dans des zones climatiques sensiblement différentes de la leur peut être trop courte pour qu'ils aient une chance de s'adapter. En outre, les voyageurs facturant des primes pour un hébergement hôtelier de courte durée s'attendent généralement à un niveau élevé de confort (y compris thermique) et de service en retour. De ce fait, le client hôtelier moyen est susceptible d'atteindre un confort intérieur fiable et raisonnablement contrôlable, et l'application du confort thermique adaptatif dans les hôtels peut ne pas être aussi simple, comme par exemple dans les immeubles de bureaux (Bohdanowicz 2002).

Conclusion

L'augmentation de la demande d'énergie, l'augmentation de la charge sur la gestion des déchets solides et la pollution des plans d'eau, du sol et de l'air sont parmi les principaux effets négatifs sur l'environnement dans le secteur de l'hôtellerie et du tourisme, L'hôtellerie est un secteur énergivore. Suite à la revue de la littérature, il est entendu qu'il existe de nombreux facteurs contribuant à une consommation d'énergie élevée dans les hôtels et aux variations de la consommation d'énergie entre les hôtels. Même si ces facteurs sont identifiés, les façons dont ils affectent la consommation d'énergie des hôtels peuvent ne pas être claires, et parfois les conclusions de différentes études ont des contradictions apparentes.

Cela indique que les résultats d'une étude ne peuvent pas être empruntés pour s'appliquer directement à une autre, surtout si leurs objets d'étude se trouvent à des endroits très différents. Actuellement, il n'y a pas eu beaucoup de travail sur la performance énergétique des bâtiments hôteliers dans les différents climats en citant le Méditerranéen. Par conséquent, mener une étude approfondie pour évaluer et optimiser la performance énergétique des hôtels dans ce type de climat est une pratique significative.

De plus, dans un hôtel, le besoin de confort augmente la consommation d'énergie en comparaison avec les autres types de bâtiment. Le secteur hôtelier est confronté à un problème supplémentaire, car les besoins énergétiques varient selon le type d'installation, la surface exploitée, la conception définie, l'âge et le climat, et ainsi le taux d'occupation, le nombre des chambres qui affectent de manière significative la consommation énergétique. Pour cette raison, il est difficile pour les équipements hôteliers de mettre en œuvre des projets cohérents de gestion énergétique sur l'ensemble de leur parc immobilier.

CHAPITRE III : LA NOUVELLE GENERATION DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION - LES NANOMATERIAUX -

Introduction

La nanotechnologie présente une des applications les plus importantes qui a connu un succès remarquable au cours des deux dernières décennies, ce qui en fait l'un des domaines de recherche les plus répandus dans les domaines scientifiques modernes.

Des recherches récentes sur les nanomatériaux et les nanotechnologies se sont concentrées sur la possibilité d'utiliser ces matériaux dans divers domaines tels que la médecine, la construction, l'industrie automobile, l'énergie, la communication et les mathématiques de l'électricité. En effet, il a été démontré que les propriétés matérielles particulières des produits nanotechnologiques présentent de nombreux avantages à l'échelle nanométrique. Ces caractéristiques uniques peuvent résoudre de manière significative de nombreux problèmes sur le terrain.

Ce chapitre présente une analyse exhaustive de la littérature sur les différents types de nanomatériaux, particulièrement d'isolation thermique des parois et des vitrages, leurs propriétés et leurs applications dans le bâtiment en général et dans les hôtels en particulier. Il dévoile le positionnement épistémologique de cette recherche par rapport au champ des recherches existantes.

3.1 Le concept de la nanotechnologie

La nanotechnologie est définie par la recherche et le développement technologique à des niveaux atomiques, moléculaires importants en utilisant une échelle de 1 à 100 nm TA. C'est une technique qui donne la capacité de contrôler directement les matériaux, ce qui donne au matériau de nouveaux comportements et propriétés (Abdallah et al,2020). Le "Nano" est un terme qui fait référence à quelque chose de très petit ou minuscule, ce terme est dérivé du mot "nanos" originaire de la Grèce et signifie "nain". C'est une unité de mesure extrêmement petite qui mesure un millionième de millimètre et est impossible à voir à l'œil nu ou avec un simple microscope (Abdullah Ahmed, 2017).

Par conséquent, la nanotechnologie peut être définie comme la science qui étudie comment modifier la matière au niveau nano pour produire de nouveaux matériaux ou des

dispositifs avancés qui peuvent être utilisés pour les besoins humains dans de nombreux domaines (Drexler ,1986).

À propos du domaine de l'architecture et de la construction du bâtiment, les applications des nanotechnologies vont de l'amélioration des propriétés mécaniques traditionnelles du béton à la protection anticorrosion de l'acier d'armature, en passant par les matériaux et les produits tels que les peintures, les produits d'étanchéité et le verre à l'amélioration des propriétés thermiques et pyro-résistantes des matériaux (Moreno et Solache ,2017).

La nanotechnologie a la capacité de réorganiser les atomes et les molécules pour des matériaux innovants, qui jouent un rôle majeur dans l'architecture, en particulier ses applications aux enveloppes et son interaction face aux influences extérieures. Ainsi, l'utilisation de ces matériaux en combinaison avec des matériaux structurels ou non structurels conduit à l'amélioration de la qualité de la construction, ce qui augmente son efficacité (Sameh, 2019). De ce fait, l'application des nanomatériaux dans la construction, en particulier dans les enveloppes des bâtiments, conduit à la préservation de l'énergie de l'environnement et à la conservation des ressources.

3.2 Les nanomatériaux en architecture

Une architecture qui intègre la nanotechnologie ou le « nano architecture » signifie l'incorporation de la nanotechnologie avec l'architecture, ce qui contribue à une nouvelle génération de conceptions architecturales qui affecte les enveloppes du bâtiment et l'environnement bâti (Elegbede, 2020) (Figure 3.1).

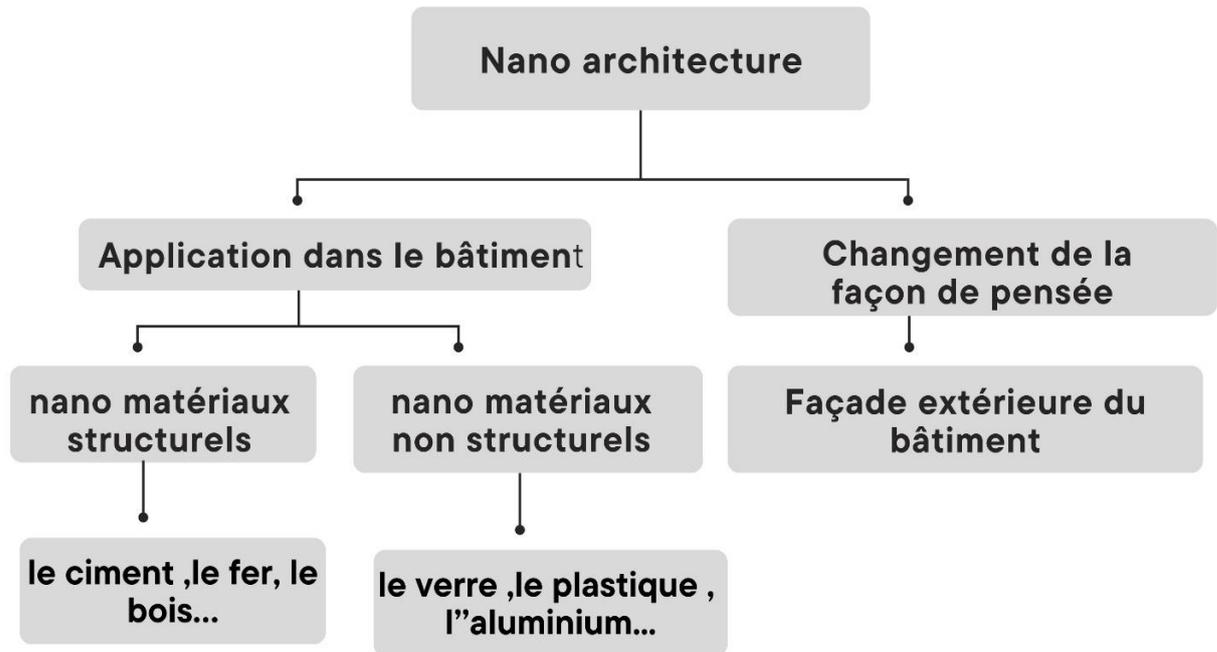


Figure 3.1 : Nano- Architecture : Nanotechnologies dans les enveloppes de bâtiment.

Source : Alsaied Farid et al,2019. Adapté par l'auteur.

La capacité de la nanotechnologie de traiter les propriétés des matériaux encourage les concepteurs du bâtiment et les architectes à rechercher l'utilisation de cette technologie dans l'environnement bâti et à développer des matériaux traditionnels qui ont des caractéristiques différentes et innovantes.

En général, les nanomatériaux sont des substances (poudres, aérosols, suspensions liquides, gels) qui possèdent des propriétés uniques en raison de leur petite taille et de leur structure nanométrique. Ils sont souvent obtenus par des procédés nanotechnologiques, contrairement aux nanoparticules qui peuvent être obtenues à partir de sources naturelles ou produites par des procédés industriels (Hadeif, 2019). Cette discipline utilise de nouveaux nanomatériaux tels que le graphène, le fullerène et les nanotubes de carbone dans la conception de nouveaux bâtiments. La fonction de ces nanomatériaux est comme les nano-composites qui peuvent être préparés en combinant les matériaux traditionnels avec des nanomatériaux. Ces matériaux nano-composites sont utiles pour le revêtement des surfaces, des toits et des fenêtres et ils sont respectueux de l'environnement. Ils sont classés en trois types (Figure 3.2) (Dahlan,2019).

Les nanomatériaux unidimensionnels qui peuvent être utilisés comme des matériaux de revêtement pour réguler la chaleur et la lumière dans les maisons intelligentes.

Les nanomatériaux bidimensionnels sont définis comme les nanotubes, les nanofils, les nanoparticules qui peuvent être utilisés pour augmenter les propriétés mécaniques des matériaux de construction.

Les nanomatériaux tridimensionnels peuvent être utilisés dans les applications de construction telles que les lubrifiants à haut rendement, les renforts structurels.

Afin d'améliorer les propriétés physiques et chimiques des matériaux traditionnels il y a un certain nombre des nanomatériaux qui peuvent être appliquées à divers matériaux de construction en citant par exemple : l'amélioration des résistances du béton fabriqué avec du ciment portland ajouté avec des nanomatériaux, l'amélioration de l'acier d'armature à propos de la corrosion et la détérioration en ajoutant des nanomatériaux , utilisation de nanocomposites pour repousser l'humidité, la poussière, les empreintes digitales et les bactéries dans les composants de construction, utilisation des nanomatériaux pour l'isolation thermique, l'utilisation dans les cellules et les panneaux photovoltaïques et dans les matériaux d'étanchéité, peintures, colles et scellant de haute qualité et durabilité , dans les télécommunications et l'éclairage pièces et composants électroniques , pour produire des filtres à eau, des purificateurs et systèmes de traitement (Moreno et Solache , 2017).

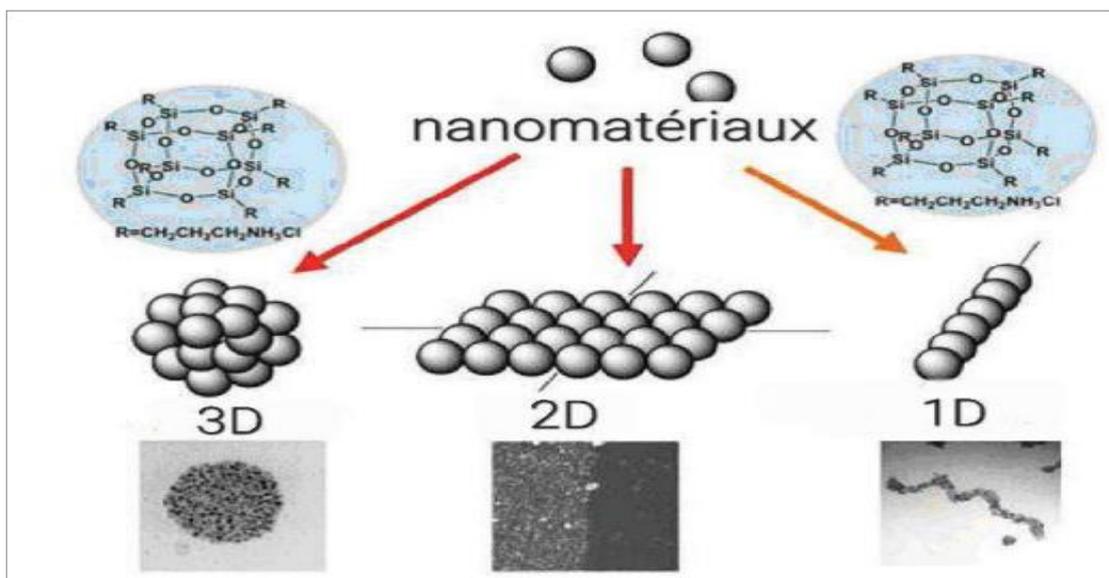


Figure 3.2 : La classification des nanomatériaux.

Source : Madoui ,2018.

3.3 Application de la nanotechnologie dans les matériaux de construction

L'application de la nanotechnologie dans les matériaux de construction offre plusieurs avantages : ceux-ci comprennent les propriétés mécaniques et thermiques améliorées, une durabilité et une longévité améliorées, un rapport résistance-poids accru et une meilleure résistance à la corrosion et à l'usure. En outre, la nanotechnologie permet le développement de matériaux auto-nettoyants et autocicatrisants ainsi que l'incorporation de caractéristiques écoénergétiques telles que l'isolation et le captage d'énergie solaire. Généralement, l'intégration des nanoparticules dans les matériaux de construction (le béton, les revêtements, l'isolation ...etc.), améliore considérablement leurs propriétés. Ils s'appliquent dans :

3.3.1 Les matériaux de structure

3.3.1.1 Le Nano-béton

Le béton est un matériau de construction essentiel pour créer la forme structurale d'un bâtiment. Il est parmi les matériaux les plus répandus et même les plus utilisés. L'application de la nanotechnologie dans le béton (Figure 3.3) a pour but d'améliorer ses propriétés en ajoutant des matériaux comme les nano-silice, les nanotubes de carbone et le nano dioxyde de titane, ce qui lui a donné de nouvelles propriétés qui peuvent être utilisées pour améliorer sa durabilité, le rendement élevé et augmenter sa résistance. La conductivité thermique des constructions en béton, qu'elles soient armées ou non, peut varier entre 1,70 et 2,50 W.m-1. K-1 (Bigley, 2003).

Dans le cas des nanopores ouverts et fermés, la conductivité thermique du nano béton est un critère important à prendre en compte. La conductivité thermique du nano béton est inférieure à 0,04 W.m-1. K-1 (Jelle BP ,2011). Par conséquent, il présente des caractéristiques structurelles essentielles qui se rapprochent de celles du béton.

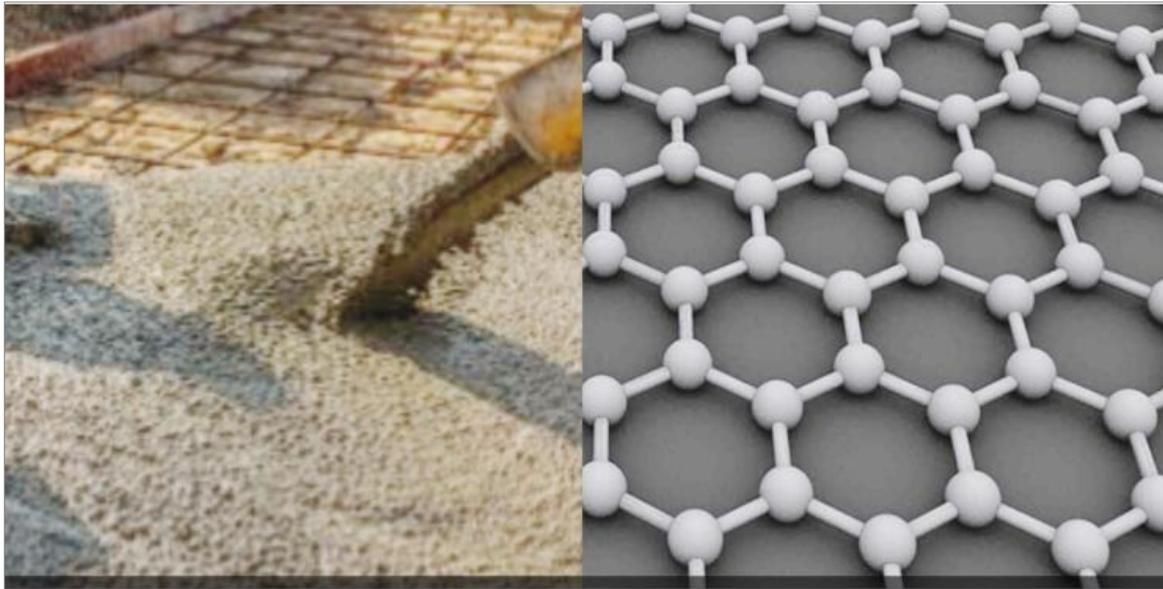


Figure 3.3 : Le nano-Béton.

Source : <https://civilmint.com/nano-concrete/>.

La (Figure 3.4) présente L'église du Jubilé à Rome, en Italie, conçue par Richard Meier est un bâtiment en béton conçu pour contrôler les gains de chaleur internes dus à la grande masse thermique de ses murs en béton. Il représente un exemple d'un bâtiment dont les murs en béton contiennent du dioxyde de titane pour conserver l'apparence de l'église blanche.



Figure 3.4 : L'église du Jubilé à Rome, en Italie, 2003.

De l'autre côté, la figure (Figure 3.5) présente le centre scientifique Phaeno de Wolfsburg en Allemagne conçu par Zaha Hadid. Il est considéré comme le bâtiment en Europe construit en béton auto-compactant. La difficulté d'atteindre la forme diversifiée de ce bâtiment exige l'utilisation de ce nouveau type de béton. Comprenant des salles d'exposition, un laboratoire et un théâtre scientifique, Phaeno brise de nombreuses conventions en architecture et reste certainement une référence importante pour les conceptions futures (Hristijan,2016).



Figure 3.5 : Centre scientifique Phaeno, Wolfsburg, Allemagne, 2005.

3.3.1.2 Le nano-ciment

Le ciment est un type de matériau de construction (Figure 3.6). Généralement, il est utilisé dans le mortier et le béton. Le ciment est une forme d'additif de stabilisation des sols. De l'alumine en poudre, de la silice, de la chaux, de l'oxyde de fer et de l'oxyde de magnésium brûlés dans un four et pulvérisés pour produire du ciment. Lorsque la taille des particules est de 10 nm à 9 nm, l'activité chimique des matériaux augmente considérablement et augmente la ductilité des matériaux et réalise de nouvelles propriétés précieuses. En raison

de l'absence d'utilisation de produits chimiques lors des étapes de purification, le nano-ciment est considéré comme un produit approprié (Abi Rekha et al,2016).

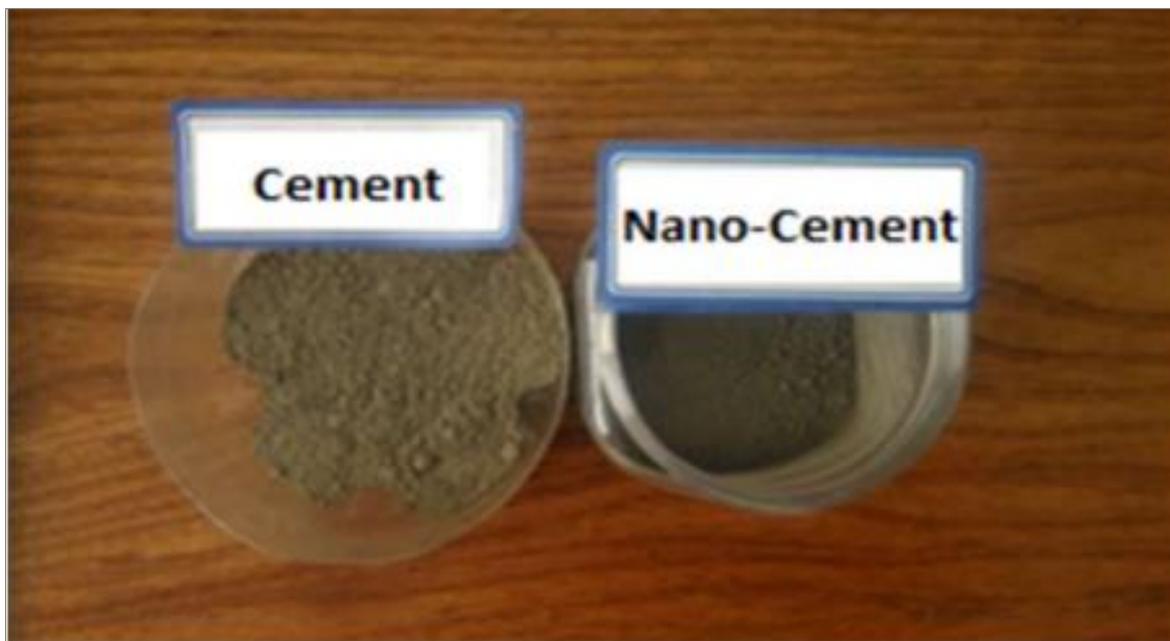


Figure 3.6 : Le ciment et nano-ciment.

Source : Niroumand,2023.

3.3.1.3 Le nano-Acier

L'acier est utilisé pour la construction de bâtiments et de ponts, ceci est dû à leur introduction dans le domaine des nanoparticules métalliques (NPS). L'acier est défini comme un alliage fer-carbone ayant une teneur en carbone allant jusqu'à 1,7 %. En plus du carbone, d'autres éléments comme manganèse, cuivre, silicium, nickel et molybdène sont également présents en quantités mineures. A partir du fer, les autres éléments d'alliage sont destinés à augmenter la résistance, la dureté et la résistance à la corrosion de l'acier. Par exemple, l'ajout de nanoparticules de cuivre est utilisé pour réduire la rugosité de surface et améliorer les activités anti-corrosion (Khitab et Tausif,2014).

En effet, la nanotechnologie est largement utilisée pour améliorer la résistance et la durabilité de l'acier de construction. Les modifications de nano telles que le raffinement de taille de grain de matériau peuvent réduire la fissuration dans la structure en acier. L'utilisation de nanotubes de carbone augmente la résistance à la traction de l'acier de construction jusqu'à 150 fois tout en réduisant le poids de l'acier de six fois par rapport aux structures métalliques conventionnelles dans la construction (Teizer, 2012).

L'utilisation des structures en acier plus légères dans le domaine de la construction (Figure 3.7) réduit considérablement les besoins en main-d'œuvre et en énergie. L'un des problèmes les plus importants de l'acier dans la construction du bâtiment est la fatigue. Elle entraîne des défaillances structurales lors des charges cycliques et raccourcit le cycle de vie de l'acier. Par conséquent, l'utilisation des nanoparticules en cuivre peut surmonter ce problème en créant des surfaces lisses et uniformes qui réduisent les contraintes sur la structure en acier. La nanotechnologie peut également être utilisée pour améliorer la résistance à la corrosion de l'acier en concevant des matériaux en acier inoxydable de nouvelle génération (Rao, 2015).



Figure 3.7 : Le Pont Seri Wawasan, Putrajaya, Malaisie, 2003.

3.3.1.4 Nanotechnologie et bois

En général, le bois est l'un des matériaux de construction les plus utilisés. Dans une certaine mesure, il est considéré comme un matériau simple. Par conséquent, la nanotechnologie, qui collecte les particules de bois avec des nanomatériaux et les réorganise, est utilisée pour rendre le bois plus stable et plus résistant que les matériaux naturels (Abdallah et al,2020).

La nanotechnologie peut être appliquée à cette fin par imprégnation du bois avec une suspension de nanoparticules métalliques ou par encapsulation de biocides avec des nano supports. De plus, divers nanomatériaux peuvent également être utilisés dans la modification du bois, en particulier dans le traitement du revêtement, pour offrir une capacité de service supérieure (Teng ,2018), La nanotechnologie est appliquée aux matériaux de structure en bois, aux composites et aux matériaux à base de bois sous deux formes stratégiques (Shema et al ,2018) : la première est de mettre en valeur la mise en œuvre des technologies applicables utilisant des nanomatériaux et des nanocapteurs et les intégrant dans les produits forestiers. Cette stratégie améliore la structure du bois et ses propriétés, en augmentant la résistance à l'eau du revêtement. La deuxième stratégie est de développer un matériau entièrement nouveau à partir des propriétés nanométriques du bois afin de créer un matériau léger et économique, capable de rivaliser avec le béton et l'acier.

3.3.2 Les nanomatériaux non structurels

3.3.2.1 Nanotechnologie et verre

La nanotechnologie est devenue un domaine prometteur dans le domaine de la fabrication du verre. Son intégration dans la production du verre a ouvert de nouvelles possibilités pour améliorer les propriétés et les fonctionnalités des matériaux en verre. En manipulant la structure et les propriétés du verre à l'échelle nanométrique, les chercheurs ont pu créer du verre avec une résistance, une transparence et une conductivité thermique améliorées. En outre, l'utilisation de la nanotechnologie dans la fabrication du verre a conduit au développement de revêtements autonettoyants et anti-reflets, ainsi que du verre résistant aux rayures et aux empreintes digitales. Ces avancées dans le verre infusé de nanotechnologie ont révolutionné diverses industries, y compris la construction. L'intégration de la nanotechnologie dans la production de verre a ouvert de nouvelles possibilités pour améliorer les propriétés et les fonctionnalités des matériaux en verre.

Dans le secteur du bâtiment, le verre est l'un des matériaux les plus importants utilisés pour remodeler les façades extérieures, donnant aux bâtiments un aspect esthétique, fournissant le processus de l'entretien et l'éclairage naturel afin de créer un climat pour les espaces intérieurs des bâtiments. La nanotechnologie a varié dans la fabrication de verre avec des spécifications élevées telles qu'une transparence élevée appelée « verre actif » en couvrant la surface externe des nanoparticules qui fonctionnent pour enlever les polluants et

les poussières déposés sur le verre à l'extérieur, car chacun d'eux est une couche transparente entre les panneaux de verre (comme couche intermédiaire), cette couche est constituée de nanoparticules de poussière de silice (SiO_2). De plus, son auto nettoyage contre les impacts extérieurs (la pluie, l'eau.....etc.) est facile.

En outre, l'une des caractéristiques de ce type de verre est de permettre d'économiser de l'énergie et de l'électricité. Grâce à la nanotechnologie, la chaleur et la lumière sont introduites à partir du verre utilisé dans les façades extérieures et des pigments fins appliqués comme le « thermo chromatique ». Ce type de verre qui fonctionne sur la thermique appropriée pour fournir l'éclairage approprié, et il y a une autre application de verre en plaçant une couche de nanoparticules de dioxyde de silice (SiO_2) entre les panneaux de verre (en tant que couche intérieure) qui protègent contre la chaleur. (Abdulmajeed ,2022).

D'après la littérature, il existe certains types de verre combinés avec les nanomatériaux en citant :

Verre réfléchissant : c'est un type de verre réfléchissant pour empêcher la pénétration du soleil dont le rayonnement pénètre dépend de la présence d'une mince couche transparente qui peint sur une face ordinaire ou un verre absorbant la chaleur, de préférence que la face extérieure transparente soit face au soleil. Par conséquent, le processus de revêtement doit avoir lieu pendant la fabrication du verre, mais si le revêtement est fait à un stade ultérieur, la couche métallique n'est pas en mesure de résister aux facteurs météorologiques, il est utilisé à l'intérieur seulement et la couche réfléchissante réduit la transmittance du verre en général, surtout si la couche de revêtement est utilisée sur le verre absorbant (Verre absorbant réfléchissant) (Fikri,2006).

Verre de contrôle solaire : c'est un type de verre dont l'unité se compose de plusieurs couches d'oxyde d'étain revêtement SnO_2 dont l'épaisseur de cette couche détermine la couleur réfléchi du verre et de son épaisseur varie entre 10 à 100 nanomètres selon les couleurs argentées reflétées sur le verre (Figure 3.8).

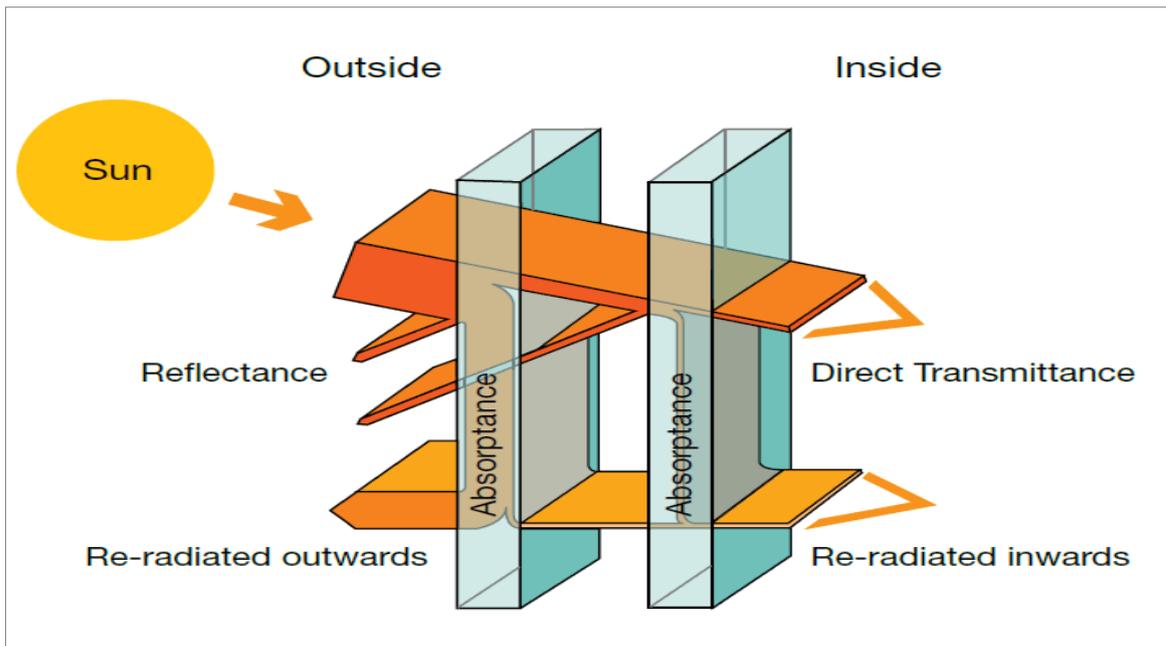


Figure 3.8 : L'idée de verre de contrôle solaire.

Source: <https://www.pilkington.com/en-gb/uk/architects/types-of-glass/solar-control-glass/how-it-works>

Le verre nano-traité : un autre type de verre qui a des propriétés distinctives qui augmentent son efficacité et réduisent clairement les caractéristiques de transmission indésirables, qui fournit une flexibilité au concepteur pour rendre l'appropriation des espaces pour les ouvertures dans les bâtiments afin de fournir de l'éclairage et un climat adapté aux espaces intérieurs loin du coût de l'éclairage artificiel et de la climatisation mécanique, ce qui préserve ainsi l'environnement extérieur (sylvia,2008).

Le verre intelligent (changement de couleur électrolytique) (Figure 3.9) : c'est un verre électriquement commutable qui change ses propriétés pour transmettre la lumière lorsque la tension est appliquée. Ces types de verre permettent aux utilisateurs de contrôler la quantité de lumière et la chaleur, de passer du verre transparent au verre translucide et de bloquer partiellement la vision à travers le verre tout en préservant la lumière. Ce type de verre a la capacité de résister au feu, de sauver les coûts d'entretien et également la capacité de changer l'intensité de l'éclairage à l'intérieur des bâtiments et de réduire l'énergie utilisée pour refroidir ou chauffer les bâtiments (Ashby et al ,2009).

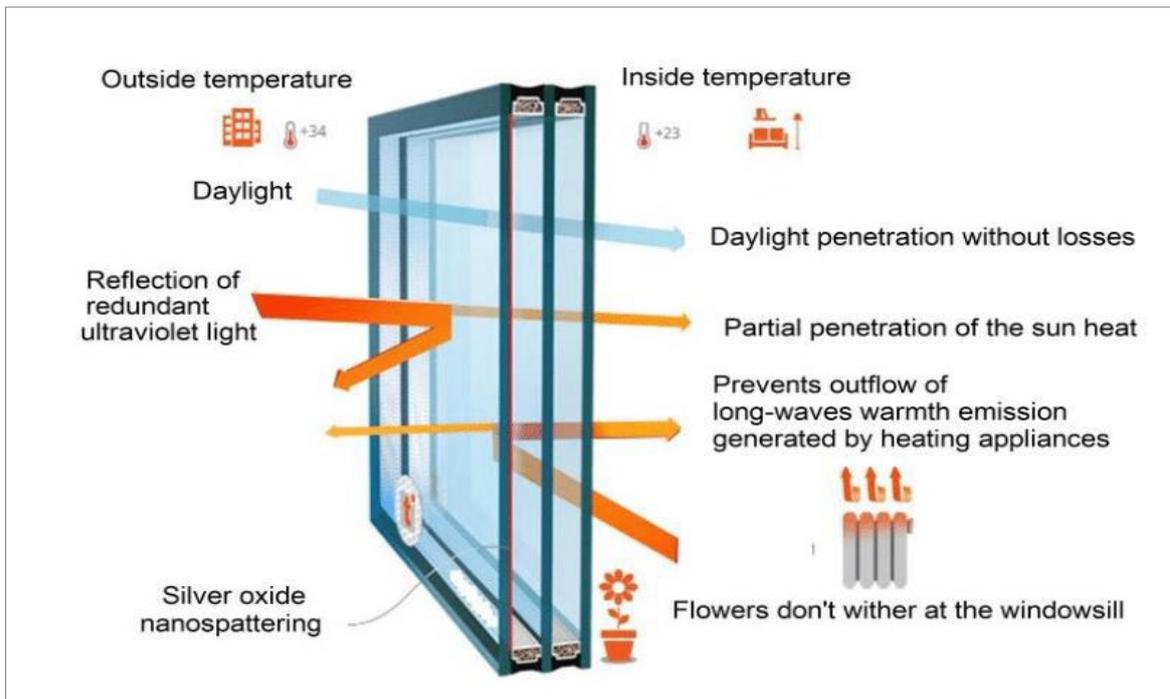


Figure 3.9 : L'idée du verre intelligent.

Source: <https://www.pilkington.com/en-gb/uk/architects/types-of-glass/solar-control-glass/how-it-works>.

En synthèse de l'application de la nanotechnologie au niveau du vitrage, cette dernière peut améliorer les propriétés du vitrage, en particulier pour le gain et la perte de chaleur, soit par les revêtements en couches minces, les technologies thermochromiques et les photochromiques et électrothermiques. En effet, les revêtements à couche mince sont des applications de surface sensibles au spectre pour le verre de fenêtre qui filtrent la lumière infrarouge pour réduire le gain de chaleur dans les bâtiments. Le verre thermochromique, par exemple, change de transparence en réponse aux applications de chauffage de température, tandis que le verre photochromique change de transparence en réponse à l'intensité lumineuse.

Enfin, la technologie de verre adaptable la plus prometteuse est le verre électrochromique qui est développé pour réagir aux changements de tension appliquée en utilisant une couche d'oxyde de tungstène devenant plus transparent au toucher d'un bouton, en citant par exemple le cabinet d'architectes (Figure 3.10) qui a utilisé des vitrages dynamiques sur le mur ouest de la bibliothèque Morgan à la Colorado (State University) afin de gérer le gain de chaleur. Ce verre cube est l'un des bâtiments pionniers dans l'application du verre électro-

chromique (Hristijan ,2016). Toutes ces applications en verre visent à réduire la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation et contribuent à réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments.



Figure 3.10 : La Bibliothèque Morgan à la Colorado State University, Fort Collins, États-Unis, 2012.

3.3.2.2 Les revêtements de nanomatériaux (les nano-revêtement)

Les revêtements de nanomatériaux sont de plus en plus utilisés dans le domaine de la construction sur les surfaces telles que les murs, les portes et les fenêtres, car ils ouvrent de nouveaux horizons pour les bâtiments durables et respectueux de l'environnement. Fournissant une couche protectrice liée au matériau de base, ils créent une surface des propriétés protectrices ou fonctionnelles souhaitées, dont le concept de mécanisme clé des nano-revêtements est leurs capacités d'auto-guérison par un processus d'auto-assemblage (Patel Abhiyan,2013) qui présente un phénomène où les composants d'un système s'assemblent spontanément via une interaction pour former une unité fonctionnelle plus grande. Cette organisation spontanée peut être due à une interaction directe spécifique et/ou indirecte à travers leur environnement (Whiteside,2002).

A cet égard, les chercheurs (Karlessi et al,2011) ont étudié la performance des matériaux organiques à changement de phase (MCP) dans les revêtements de bâtiment. Le résultat a démontré des températures de surface inférieures à celles des matériaux de revêtement conventionnels (Figure 3.10). En principe, ils s'intègrent aux surfaces extérieures comme les murs, fenêtres, planchers pour être exposés à l'air pendant une certaine plage de température. En outre (Zhou et al,2012 ; Agyenim et al,2010) montrent qu'avec une conductivité thermique élevée, les nano paraffines composites sont capables de stocker et de libérer de grandes quantités d'énergie par absorption de chaleur ou libération de chaleur lorsque le matériau passe du solide au liquide et vice versa. D'autres chercheurs (Motahar et al,2014) ont également trouvé des nanoparticules de silice mésoporeuse (MPSiO₂) efficaces comme nouveau composite pour le stockage thermique. La (Figure 3.11) montre le mécanisme fonctionnel des (MCP).

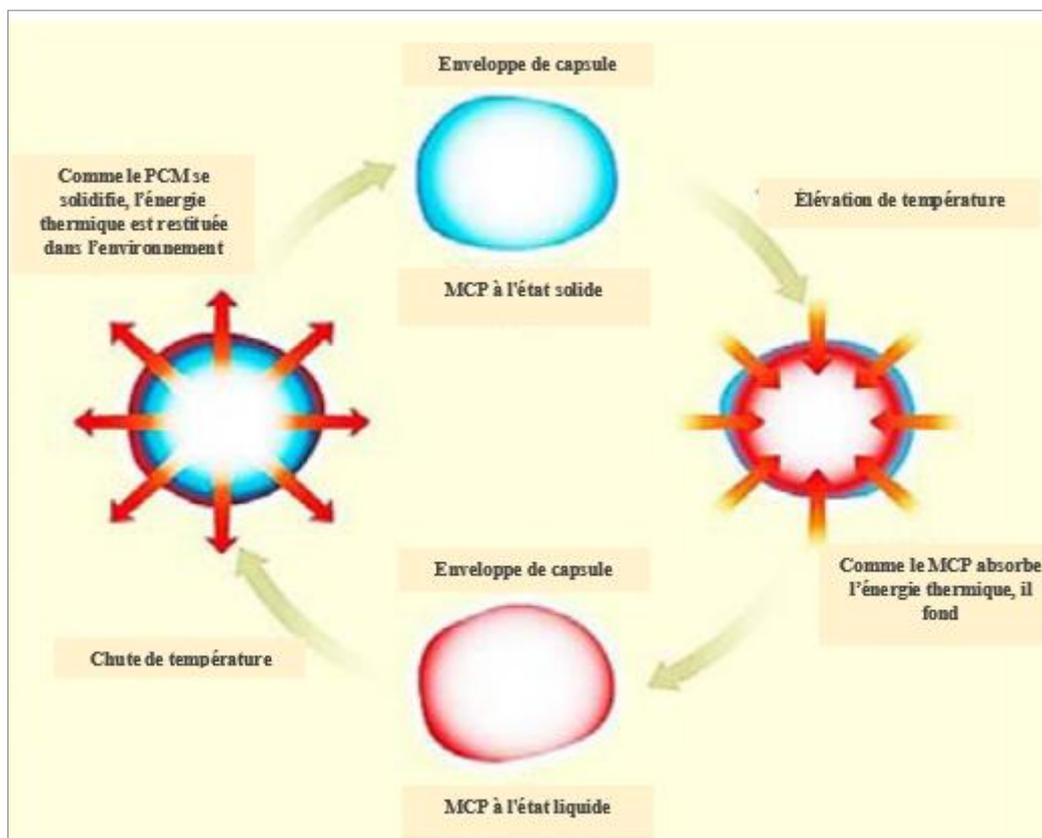


Figure 3.11 : Le processus du mécanisme fonctionnel du PCMS.

Source : (PCM,2015), adapté par l'auteur.

3.3.2.3 Nanotechnologie et isolation

Il convient de souligner que les bâtiments sont responsables d'un quart des émissions de carbone, dont 70% proviennent du chauffage. En économisant sur le chauffage des espaces grâce à une meilleure isolation, l'Union européenne a déclaré qu'elle pourrait réduire les émissions de dioxyde de carbone de 100 millions de tonnes par an et, ce faisant, garantir que l'Europe seule pourrait atteindre son objectif de réduction des émissions de carbone de 25 % d'ici 2030. La nanotechnologie garantit de rendre l'isolation d'un bâtiment plus efficace, moins dépendante de ressources non renouvelables et moins toxique. De plus, les producteurs des matériaux estiment que les matériaux d'isolation à base des nanotechnologies seront plus efficaces d'environ 30% que ceux des matériaux conventionnels (Torgal, 2016).

Les nanomatériaux ou des nanoparticules peuvent être appliqués aux substrats utilisant le dépôt chimique en phase vapeur, l'immersion, le ménisque, le jet, et le revêtement de plasma pour créer une couche liée au matériel de base. Ces matériaux ont la capacité de piéger l'air immobile à l'intérieur, augmentant ainsi leur rapport surface-volume. Ces matériaux d'isolation à l'échelle nanométrique peuvent être intercalés entre des panneaux rigides, appliqués en couches minces ou peints comme revêtements (Sev, 2014).

3.4 Contribution de la nanotechnologie au développement des matériaux d'isolation à haute performance thermique

Dans la quête actuelle d'efficacité énergétique et de durabilité, le développement de matériaux d'isolation thermique à haute performance est crucial. La nanotechnologie offre des solutions prometteuses dans ce domaine en améliorant la conductivité thermique des matériaux polymères. Grâce à l'incorporation de nanomatériaux tels que des nanotubes de carbone, du graphène et des nanoparticules métalliques, les nano-composites polymères peuvent atteindre des propriétés thermiques améliorées telles qu'une conductivité thermique accrue et des taux de transfert de chaleur améliorés.

Ces nanomatériaux, avec leur conductivité thermique intrinsèque élevée, forment des réseaux thermo conducteurs efficaces au sein de la matrice polymère, donnant lieu à des matériaux capables de réduire considérablement le transfert de chaleur et d'améliorer les performances d'isolation. De plus, l'utilisation de la nanotechnologie dans les matériaux d'isolation thermique permet de personnaliser des propriétés telles que la flexibilité, la

durabilité et la résistance au feu. Elle permet le développement de matériaux isolants légers et fins, ce qui les rend adaptés à diverses applications dans les secteurs de la construction, de l'automobile, de l'aérospatiale et de l'électronique. L'intégration de la nanotechnologie dans le développement de matériaux d'isolation thermique à haute performance a révolutionné le domaine en offrant des niveaux sans précédent d'efficacité énergétique, de durabilité et de rentabilité. (Bozsaky, 2018).

3.4.1 Les panneaux d'isolation sous vide (PIV)

Un panneau de vide se compose d'un matériau intérieur rempli de vide et d'une enveloppe étanche au gaz qui maintient le vide (Figure 3.12), donnant dans un panneau avec une conductivité thermique inférieure à $0,004 \text{ W/(m.K)}$. La conductivité ultra-faible est obtenue en optimisant le matériau de base en conjonction avec une faible pression interne. Le retirer de la pression provoque l'effondrement du panneau et augmente la conductivité thermique à environ $0,020 \text{ W/(m.K)}$ (Thorsell, 2012).

L'avantage fondamental de l'utilisation des panneaux d'isolation sous vide est que l'épaisseur de la couche d'isolation nécessaire est réduite, il varie de 2 mm à 40 mm. Des résistances thermiques égales sont atteintes à l'intérieur d'une épaisseur 5 à 8 fois plus petite que les isolants thermiques conventionnels avec une conductivité thermique k de $0,004$ à $0,005 \text{ W/(mK)}$, (Pacheco et al, 2013). En outre, selon les essais scientifiques effectués par l'IRC-CNRC au Canada sur une période de sept ans sur 20 produits de PIV, la durée de vie est d'au moins 25 ans. Les résultats indiquent une perte moyenne de résistance thermique de 2 % par an (Kalnæs,2014).

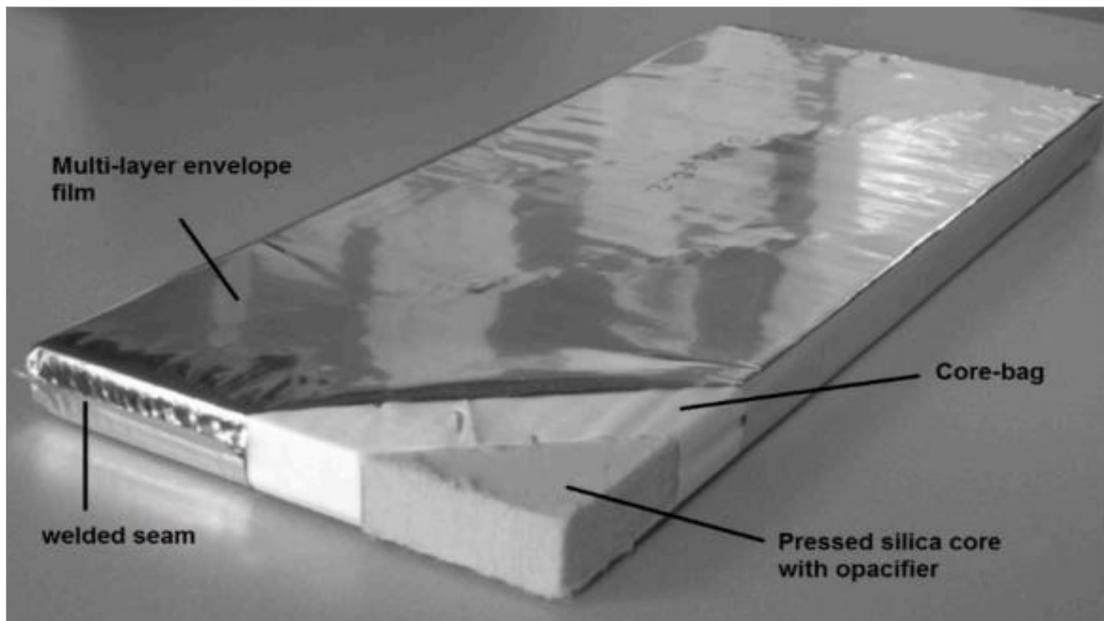


Figure 3.12 : Un panneau VIP ordinaire avec un noyau de silice pressée.

Source : Peyman,2015.

Les PIV, comme tout autre type de nanomatériaux sont utilisés et conviennent pour l'isolation de tout type de bâtiment, mais ils sont particulièrement bien adaptés aux interventions de restructuration ou de restauration extérieurs et/ou intérieurs de bâtiments, en particulier dans les bâtiments historiques présentant des limites architecturales. Ils conviennent aux applications extérieures et intérieures où un confort de vie et une efficacité énergétique accrue tout en utilisant le moins d'espace possible.

Les PIV peuvent être utilisés de différentes manières dans un bâtiment. Des études à grande échelle sur le potentiel des panneaux d'isolation sous vide dans les enveloppes de bâtiments isolés ont été menées, et plusieurs applications de PIV de la construction ont été suggérées et/ou testées. Par exemple, (Kalnæs et al,2014) ont présenté une revue de pointe des produits PIV disponibles sur le marché, en plus des efforts pour explorer les futures opportunités de recherche pour ces produits dans le bâtiment. D'autres études comprennent les modèles analytiques pour calculer les effets de pont thermique causés par les enveloppes minces à haute barrière autour des PIV (Tenpierik et al ,2007) et les simulations hygrothermiques en utilisant WUFI (Johansson et al,2014). Le rapport de l'IEA/ECBCS contient un certain nombre d'études qui ont effectué des évaluations des risques de la performance physique des bâtiments (chaleur, air et humidité) dans des bâtiments modernisés avec les PIV.

3.4.2 Les aérogels

3.4.2.1 Les matériaux aérogels pour la construction

Les aérogels, qui s'appellent également "fumées gelées" ou "sols gelés" présentent des matériaux poreux à structure tridimensionnelle qui sont appliqués dans les diverses applications de construction. Particulièrement, leur structure formée en 3D reliée aide à développer en fait des matériaux absorbants prometteurs qui élimine le pétrole et les polluants organiques de l'eau (Vinayak et al., 2023).

Ces dernières années, une grande variété des types d'aérogels tels que la silice, le graphène, le carbone, le chitosane et la cellulose ainsi que d'autres polymères naturels étudiés pour la possibilité de les intégrer dans la construction des bâtiments. Dans le domaine de la construction, les aérogels sont utilisés pour leurs propriétés uniques telles que leur faible conductivité thermique, leur légèreté et leur résistance structurelle. Ainsi, ils sont utilisés dans l'isolation thermique des bâtiments, la réduction du bruit et l'absorption des vibrations et l'isolation acoustique, la filtration de l'air et l'étanchéité des joints.

De nouvelles voies basées sur les polysaccharides et les protéines doivent être évaluées afin de développer une troisième génération d'aérogels à base de matériaux biosourcés et hybrides pour le domaine de la construction. Les aérogels offrent d'énormes avantages en termes de performance énergétique et de durabilité. Ce matériau, surnommé « fumée gelée », est un gel dans lequel un composant liquide a été remplacé par du gaz. Malgré sa légèreté (Figure 3.13), il peut supporter plus de 2000 fois son propre poids. Ses propriétés physiques uniques se traduisent par une faible conductivité thermique et une faible vitesse acoustique, ainsi qu'une transparence élevée. Étant donné que les aérogels nanoporeux peuvent être sensibles à l'humidité, ils sont souvent commercialisés en sandwich entre des panneaux muraux qui repoussent l'humidité. Les applications architecturales de l'aérogel comprennent les fenêtres, les puits de lumière et les panneaux muraux translucides.

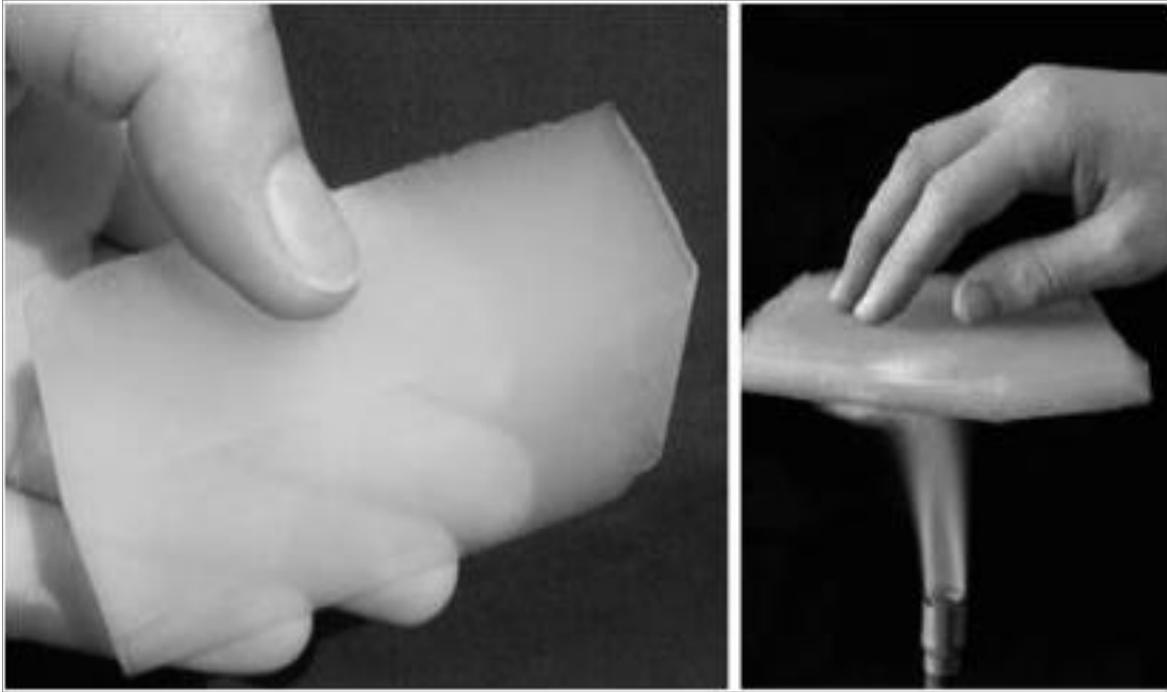


Figure 3.13 : Un bloc d'aérogel dans la main d'une personne.

Source : <https://decoproyec.fr/aerogel-decoproyec>.

3.4.2.2 Les matériaux aérogels pour l'isolation

Selon l'UICPA, l'aérogel est défini comme un gel composé d'un solide microporeux dans lequel la phase dispersée est un gaz (Naught et al ,2007). En outre, (Aegerter et al,2011) ont défini les aérogels comme des gels dans lesquels le liquide a été remplacé par de l'air, avec un retrait très modéré d'un réseau solide.

Ce matériau est essentiellement un poreux synthétique ultra léger dérivé d'un gel dans lequel le liquide le composant du gel a été remplacé par un gaz, en citant par exemple les aérogels de graphène qui sont si légers qu'ils peuvent reposer sur une feuille d'herbe. La combinaison de la porosité élevée et des pores extrêmement petits fournisse aux aérogels leurs extrêmes propriétés : solide avec une densité et une conductivité thermique extrêmement faible (Guinness ,2002) ce qui lui forme une structure typique (Figure 3.14).

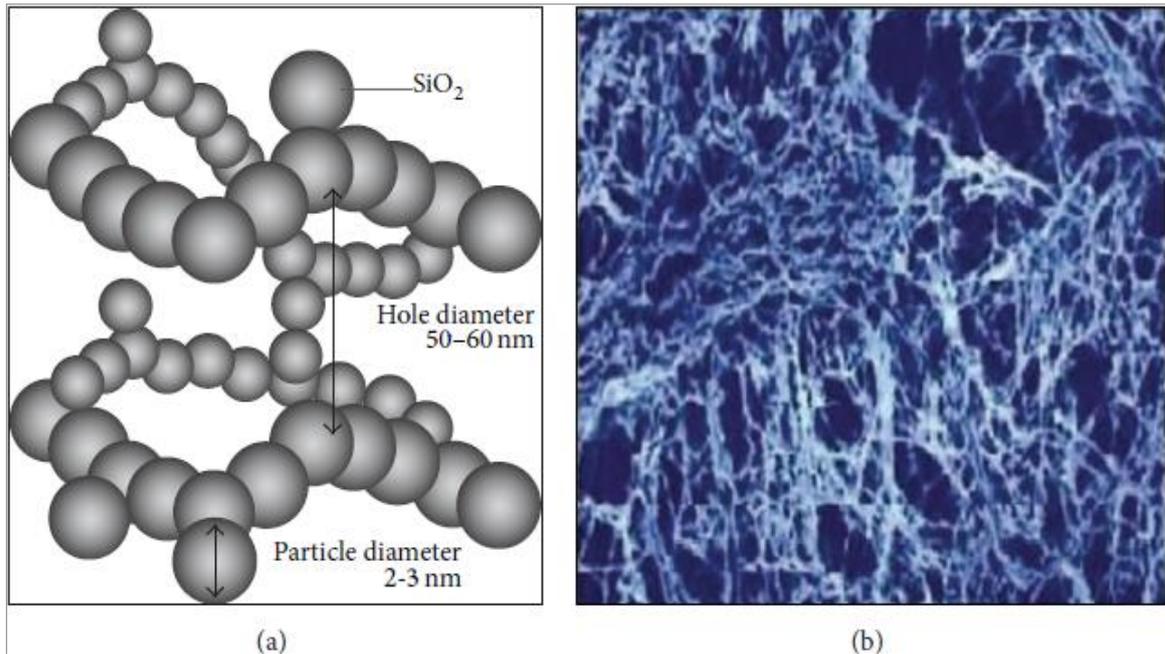


Figure 3.14 : Particules et pores à l'échelle nanométrique dans un aérogel. (a) Architecture du réseau d'un aérogel (b) Micrographie électronique d'une silice aérogel.

Source : Thapliyal et al,2014

Les qualités de l'aérogel ne se limitent pas seulement à améliorer la température intérieure d'un bâtiment, mais aussi il a un impact remarquable sur le côté acoustique puisqu'il atténue considérablement les nuisances sonores environnantes (Géraldine, 2020). Les aérogels sont considérés parmi les matériaux d'isolation innovants composés de mousses solides extrêmement légères, car elles sont constituées d'un réseau de porosités nanométriques composés jusqu'à 99,8 % d'air (Arnaud, 2019) .

En effet, il existe cinq types d'aérogels : la silice, l'oxyde métallique, les aérogels organiques, carbonés et hybrides et composites parmi ceux-ci, l'aérogel de silice est le type le plus étudié et utilisé. Cependant l'utilisation de ces aérogels est limitée à cause de leur coût élevé, mais inévitablement, l'aérogel deviendra rapidement l'un des matériaux les plus attractifs du futur, vu les récentes recherches pour le développement de nouvelles techniques de fabrication moins coûteuses et plus enclines à l'industrialisation (Nocentini, 2018).

Des chercheurs ont développé des nouveaux matériaux à partir d'une combinaison entre les aérogels et les matériaux standards (Wernery et al,2017) ont développé des Aéro-brick en ajoutant un nouveau composé d'aérogel hautement isolant, ce qui réduit sa

conductivité thermique de 91 à 59 mW / (m · K), correspondant à une valeur U de ces «Aéro-brick» de seulement 0,157 W / (m² · K).

Dans ce sens , (Ganobjak et Carstensen ,2019) ont confirmé la performance de cette combinaison pour l'isolation des enveloppes du bâtiment en ajoutant que l'optimisation de la topologie de ces Aero-brick offre de nouvelles possibilités pour la conception d'éléments de construction à haute performance. (Liu et al , 2018) ont développé un matériau d'aérogel SiO₂ (FC-SA) renforcé de mousse de béton dont la conductivité thermique du composite FC-SA a été mesurée aussi bas que 0,049 W / m K, soit une diminution de 48,4% par rapport au béton cellulaire de plus ils ont montré que l'utilisation de FC-SA pour remplacer les matériaux de béton traditionnels peut considérablement réduire la consommation d'énergie (Nocentini, 2018) a montré à travers des simulations numériques que la rénovation thermique de bâtiments mal isolés par des blankets aérogels réduisait la consommation en chauffage de manière conséquente, pour tous les climats européens Aspen Aérogels Company (U.S.A) a développé un matériau d'isolation thermique haute performance appelé SPACELOFT pour les enveloppes de bâtiments résidentiels et commerciaux. Ce matériau est très polyvalent, la surface utile au sol est économisée et l'efficacité énergétique est améliorée.

D'autres chercheurs ont testé et confirmé à travers des études expérimentales et des simulations énergétiques l'efficacité de ces matériaux pour la réduction de la consommation d'énergie dans le bâtiment (Huang, 2012) a montré que l'utilisation d'aérogel de silice comme matériau d'isolation améliore l'efficacité énergétique des bâtiments et que les coûts de chauffage annuels seront également réduits d'environ 50 % par rapport à d'autres matériaux isolants. (Buratti et al, 2014) ont dit que l'application de ces matériaux innovants peut être un outil utile pour l'isolation des nouveaux bâtiments et aussi pour la rénovation des bâtiments existants où la meilleure valeur de la conductivité thermique obtenue à partir des fabricants est d'environ 0,015 W / m K.(Ibrahim et al ,2014) ont montré que l'ajout de l'enduit à base d'aérogel sur la surface extérieure des parois non isolées ou déjà isolées intérieurement réduit significativement ou supprime les risques d'humidité, réduit également les pertes de chaleur sur les murs.(Niu ,2015) ont proposé un système de vitrage super-isolant rempli de silice-aérogel dans un bâtiment commercial à Hong Kong en prouvant que la consommation d'énergie du système HVAC a été réduite de 4 à 7%. Dans ce sens, (Buratti et al , 2017) ont montré à travers des simulations énergétiques pour une étude de cas dans

différentes conditions climatiques (chaudes, modérées et froides) la réduction de la demande d'énergie à la fois pour le chauffage et le refroidissement des systèmes de vitrage en aérogel de silice, par rapport aux conventionnels (Saio et al, 2017) ont analysé à travers une série de simulations numériques l'utilisation de l'aérogel de silice pour la rénovation d'un bâtiment historique dans le but d'atteindre un haut niveau d'amélioration énergétique, l'étude montre qu'il y a une réduction de la demande de chauffage d'environ 40 % avec l'aérogel et une réduction de 25 % avec un isolant traditionnel.

(Yanping et al, 2019) ont montré à travers une étude numérique et expérimentale que le panneau isolant Aérogel (AIP) a des diminutions de 20 % et 40 % de l'amplitude de fluctuation de la température interne et du flux thermique, respectivement, par rapport aux murs isolants traditionnels (Berardi ,2018) a montré que des valeurs de résistance thermique élevées pouvaient être obtenues en installant des matériaux minces améliorés en aérogel dans l'enveloppe opaque et transparente, avec des économies d'énergie allant jusqu'à 34 %, avec un faible impact sur la fonctionnalité et l'utilisation du bâtiment. Suite à cela, l'objectif de ce travail est d'améliorer les conditions de confort thermique à l'intérieur des chambres d'hôtel tout en réduisant la consommation énergétique à travers la conception performante de l'enveloppe par l'intégration des matériaux d'isolation innovants à base des aérogels (les aérogels de silice).

3.4.2.3 Les matériaux aérogels pour la performance de vitrage

Les vitrages en aérogel sont devenus très attrayants pour l'isolation thermique des bâtiments en raison de leurs très faibles valeurs de conductivité thermique, valeur U et de SGHC, par rapport à d'autres types similaires. De plus, le vitrage en aérogel permet à la lumière de se transmettre uniformément dans les espaces en minimisant l'éblouissement des zones de contraste élevé associées aux vitrages conventionnels. Le vitrage aérogel peut être aussi un excellent choix pour la gestion de la lumière du jour des grands bâtiments tels que les immeubles de bureaux, les complexes commerciaux, les aéroports, les stades, les musées, les hôtels. (Gao et al, 2016). Cependant, l'augmentation du coût des aérogels peut être un défi pour les propriétés, par contre une estimation correcte des potentiels des économies d'énergie compensées pendant le service et les coûts associés avant l'application reste une nécessité.

Les vitrages peuvent être construits en incorporant de l'aérogel monolithique ou granulaire (Figure 3.15), qui s'avère prometteur en termes de caractéristiques optiques, isolantes et acoustiques.

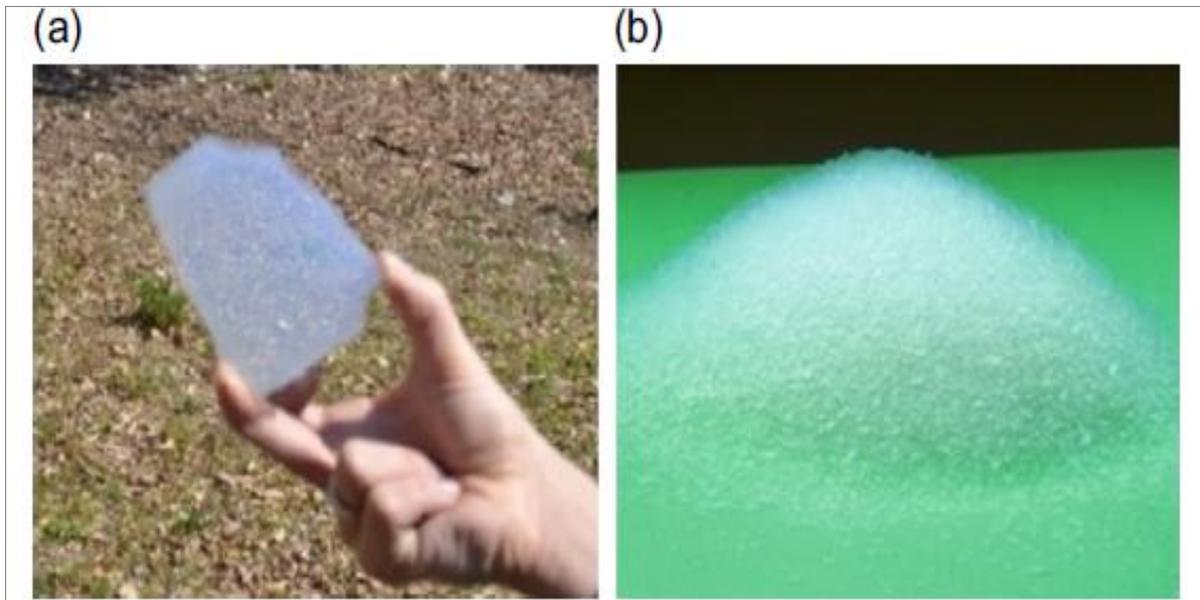


Figure 3.15 : Les vitrages en aérogel : (a) monolithique (b) granulaire.

Source : Buratti and Moretti, 2013.

Le schéma d'un prototype de fenêtre vitrée remplie d'aérogel de silice granulaire est présenté à la (Figure 3.16). Selon (Jelle, 2011) la résistance aux chocs de vitrage en aérogel est 200 fois plus élevée et 20 % plus légère par rapport à une unité de verre équivalente, avec des valeurs U aussi faibles que 0,30 W/m² K. Des expériences ont montré les différents comportements optiques et thermiques d'unités de vitrage avec aérogel monolithique et granulaire (Buratti et Moretti, 2012). Il est à noter qu'il n'existe pas de configuration « standard » de vitrage en aérogel clair pour une utilisation dans les bâtiments. Au lieu de cela, il devrait être choisi de manière appropriée pour un bâtiment et un emplacement donné.

De plus, l'aérogel peut également être appliqué comme revêtement d'isolation sur le verre (Yu et al, 2015).

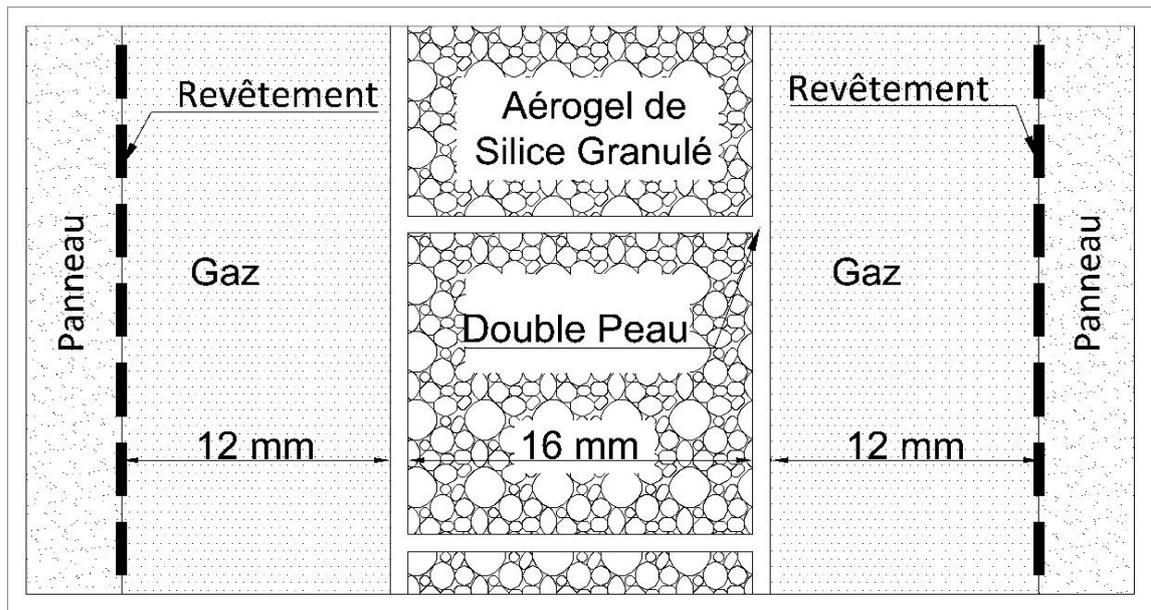


Figure 3.16 : Prototype de fenêtre vitrée remplie d'aérogel.

Source : Reim et al, 2005, adapté par l'auteur.

De nombreuses littératures ont étudié la forme structurelle du vitrage en aérogel et leur application pour optimiser et réduire la consommation énergétique du bâtiment. Les chercheurs. (Reim et al,2005) ont préparé un vitrage en aérogel de 56 mm d'épaisseur, composé de deux feuilles de 16 mm d'épaisseur et ont obtenu le coefficient de transfert de chaleur ultra-faible de $0,4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ et la transmittance solaire de 35 %.

En outre, l'étude de (Buratti et al,2017) a montré un coefficient de transfert de chaleur de $1,31 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ et une transmittance solaire de 29% pour un vitrage en aérogel rempli par des particules d'aérogel directement dans la cavité de 14 mm d'un verre flotté de 4 mm d'épaisseur. (Liu et al ,2017) ont proposé un modèle pour déterminer le coefficient d'extinction des vitrages en aérogel, dont la prédiction du modèle a été validée avec succès par une expérience menée dans une salle d'essai. Le coefficient d'extinction a été déterminé à $0,0296/\text{mm}$. (Ghosh et al ,2016) ont présenté l'idée d'un vitrage multifonctionnel qui intègre le vide, l'aérogel et le photovoltaïque avec un vitrage EC. La faisabilité de ce vitrage aérogel dans les divers climats de Chine a été étudiée à l'aide du programme de simulation énergétique Quest.

L'économie d'énergie est l'objectif principal de l'application de ce type de vitrage dont plusieurs études ont montré son efficacité. (Moretti et al,2012) ont fait des recherches

approfondies sur les unités de vitrage remplies d'aérogel. Ils ont préparé des vitrages remplis d'aérogel avec des épaisseurs et des géométries variables pour étudier leurs caractéristiques thermiques et optiques, ainsi que leurs performances énergétiques. Les résultats ont confirmé les propriétés attrayantes du vitrage rempli d'aérogel en termes de transmittance thermique, de transmittance spectrale et de réflectance. Ce vitrage a été testé avec succès sur le toit et les murs d'un immeuble de bureaux. (Chen et al,2018) ont effectué l'analyse numérique d'une unité de vitrage composée de deux vitres remplies d'aérogel granulaire entre elles. L'objectif était d'étudier l'effet de la rigidité en flexion des plaques de verre sur la capacité de partage de charge. Les prédictions numériques sur la déviation des plaques par l'application de la charge ont été validées par des mesures expérimentales. Une université de Newark, dans le New Jersey, a utilisé le vitrage en aérogel pour construire des améliorations écoénergétiques. Leurs résultats montrent que le système de vitrage aérogel est 4 fois plus efficace que le système de vitrage ordinaire (Yanping et al, 2019).

Dowson et al,(2011) ont prouvé que l'isolation en aérogel granulaire sur une fenêtre à simple vitrage d'un immeuble de bureaux pouvait réduire la perte de chaleur de 80 % sans affecter la transmission de la lumière. Par rapport au vitrage conventionnel, l'efficacité énergétique de 20%, 11% et 9% a pu être obtenue par le vitrage aérogel, respectivement à Harbin, Pékin et Shanghai. Cette étude a montré que le vitrage en aérogel est possible dans les climats froids et chauds. (Wang et al., 2015).

(Huang et Niu ,2015) ont étudié l'effet du remplissage d'aérogel de silice entre deux vitres transparentes dans un bâtiment commercial en climat subtropical humide et ont constaté que cette application pouvait réduire la charge de refroidissement annuelle et le gain de chaleur de l'enveloppe d'environ 4 % et 60 %, respectivement. Dans une étude similaire, (Gao et al. 2016) ont observé que le remplissage d'aérogel granulaire dans la cavité des unités de double vitrage pourrait économiser 21% de la consommation d'énergie du bâtiment, avec une période de récupération d'environ 4 ans.

Dans le cadre de l'une des études de recherche préliminaires sur l'application du vitrage aérogel dans les bâtiments saoudiens, (Abdul Mujeebu et al, 2016) ont évalué la performance énergétique du vitrage nano aérogel appliqué aux immeubles de bureaux simples et à plusieurs étages. Il a été montré que le remplacement des fenêtres à double vitrage par un vitrage nano-aérogel pourrait permettre d'économiser 14% 16% de la

consommation énergétique annuelle du bâtiment. (Cotana et al,2014) ont mesuré les performances d'isolation thermique, de transmission de la lumière et du vitrage aérogel dans une maison en Italie en hiver. Le vitrage aérogel d'une épaisseur de 23 mm était composé d'aérogel particules de taille de 0,07-4 mm et la cavité de verre de 15 mm dont l'application pourrait économiser plus de 50% de l'énergie de chauffage et réduire l'intensité lumineuse de 10% par rapport au vitrage isolant ordinaire. (Garnier et al ,2015) ont étudié les propriétés optiques et thermiques du vitrage en aérogel dans un bureau de Londres. Le résultat a montré que la quantité d'énergie solaire avec vitrage aérogel était respectivement 30% et 20% plus petite que celle avec du double vitrage. (Gao et al,2015) ont calculé les économies d'énergie du vitrage aérogel dans différentes conditions climatiques en utilisant Code Energy Plus. Leur résultat indique que l'application du vitrage aérogel dans la zone de refroidissement a plus d'énergie.

3.5 Application de la nanotechnologie dans les hôtels

La nanotechnologie révolutionne divers secteurs, où le secteur hôtelier ne fait pas exception. L'intégration de la nanotechnologie dans les opérations hôtelières peut améliorer l'usage pratique des clients, améliorer l'efficacité et contribuer aux efforts de durabilité. Les hôtels peuvent introduire des surfaces autonettoyantes pour maintenir l'hygiène et minimiser le risque d'infections. En outre, la nanotechnologie peut être appliquée pour créer des matériaux intelligents qui peuvent ajuster la température et l'éclairage dans les chambres d'hôtel pour optimiser le confort des clients et l'efficacité énergétique. En utilisant la nanotechnologie, les hôtels peuvent également améliorer les mesures de sécurité en mettant en œuvre des nano-ascenseurs qui détectent et analysent les menaces potentielles en temps réel.

En outre, la nanotechnologie permet le développement de textiles et de tissus intelligents qui résistent aux taches et aux odeurs, offrant aux clients un environnement propre et frais. Les capteurs à base de nanotechnologie intégrés dans les chambres d'hôtel peuvent améliorer les capacités de surveillance des polluants, assurant un environnement propre et sain pour les clients. En outre, la nanotechnologie peut être utilisée pour créer des dispositifs et des capteurs miniatures qui peuvent surveiller et contrôler divers aspects de l'environnement de l'hôtel, tels que la qualité de l'air et la température, assurant un séjour confortable et agréable pour les clients. En tirant parti de la nanotechnologie dans l'industrie

hôtelière, les hôtels peuvent offrir une expérience client plus personnalisée et transparente. En conclusion, l'application de la nanotechnologie dans les hôtels présente de nombreuses opportunités d'améliorer l'expérience client tout en améliorant l'efficacité opérationnelle et la durabilité.

Une apparence soignée est toujours d'une importance vitale pour un hôtel, et encore plus lorsqu'il s'agit d'un hôtel avec un design primé. La fonction autonettoyante du verre est particulièrement utile pour les endroits difficiles d'accès tels que les vitrages aériens ou les passerelles extérieures vitrées. Ces zones qui apparaissent généralement le plus inesthétiques dans les hôtels. Le verre intelligent, par exemple, a été utilisé dans de nombreux hôtels en citant le 'East Hotel' en Allemagne (Figure 3.17) où les concepteurs de l'hôtel ont utilisé un auto nettoyage photo catalytique TiO2 qui aide à garder le verre propre et transparent grâce aux propriétés de la nanotechnologie (Sylvia,2008).



Figure 3.17 : East Hotel St. Pauli, Hamburg, Allemagne.

Source : Sylvia,2008.

Conclusion

L'application de la nanotechnologie dans les matériaux de construction présente un grand potentiel pour l'industrie. Il offre de nombreux avantages, allant des propriétés mécaniques et thermiques améliorées à une durabilité accrue. De plus, la nanotechnologie permet le développement de structures innovantes avec une fonctionnalité et une efficacité améliorée.

A travers ce chapitre, nous avons mis l'accent sur l'importance de la nanotechnologie qui a offert beaucoup dans tous les domaines de la vie, en particulier dans l'architecture, avec des tendances mondiales vers la conservation de l'énergie, la production de matériaux respectueux de l'environnement et la contribution au faible coût d'exploitation à long terme, aussi sur l'utilisation des nanomatériaux qui aide à réaliser des formes innovantes dans les enveloppes de construction. Malheureusement, certains architectes ne sont pas conscients des dimensions et de l'importance de la nanotechnologie, outre la façon dont ces matériaux peuvent être pratiquement appliqués aux enveloppes de bâtiment. Nous allons mettre en évidence cette technique en s'introduisant avec l'identification de ses usages, ainsi que sa classification et son applicabilité en architecture. Par conséquent, cette recherche discute les utilisations de ces matériaux en plus de leurs applications dans les enveloppes de bâtiment, en particulier pour les hôtels, et son impact sur l'optimisation de la performance énergétique des chambres d'hôtel et le confort intérieur des clients.

CHAPITRE IV : PRESENTATION DES HOTELS CAS D'ETUDES

Introduction

A partir des résultats présentés dans les trois premiers chapitres au sujet de l'amélioration de la performance énergétique et du confort thermique des bâtiments en général et dans les hôtels en particulier, la fonction thermique d'un bâtiment est très variable et dépend de nombreux paramètres parmi lesquels la composition de l'enveloppe du bâtiment et les conditions climatiques du site (fluctuations de température, humidité, vent, précipitations...etc.). Et cela provoque divers phénomènes, afin de comprendre et maîtriser tout phénomène, il est nécessaire d'étudier en profondeur les éléments considérés en situation réelle. De ce point de vue, la meilleure façon d'étudier le comportement des bâtiments est de les étudier en conditions réelles, afin de mieux comprendre leur fonctionnement et de recueillir le ressenti et la satisfaction de leurs occupants. Cela permet d'identifier et de résoudre les problèmes.

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les caractéristiques climatiques des régions d'études (Alger, Bejaia) et les situations du gène et du confort, ainsi que les approches de construction adaptée au climat. Il est consacré à la présentation profonde des cas d'étude (les détails des échantillons des hôtels urbains choisis pour l'étude, plans, façade...) et au protocole exploité pour faire l'étude expérimentale.

4.1 Les caractéristiques climatiques des régions d'étude

Le climat affecte la conception extérieure et intérieure des bâtiments, ainsi que les caractéristiques thermiques de l'espace. Le concepteur doit connaître le climat de la zone où le bâtiment sera construit, comme la température, l'humidité de l'air, les précipitations, l'ensoleillement, la nature des vents...etc. afin de prendre les décisions appropriées.

L'Algérie est un pays d'Afrique du Nord, son climat est très différent entre les régions (figure 4.1) Certaines parties sont chaudes et sèches en été, tandis que d'autres sont humides et fraîches en hiver. L'Algérie a un climat méditerranéen tout au long de sa frontière nord, avec des étés chauds et secs sur la côte et les montagnes du Tell Atlas, et des hivers frais et humides dans les hauts plateaux du centre. Au-delà de l'Atlas saharien, l'Algérie a un climat semi-aride. (Medejerab et Henia, 2011).

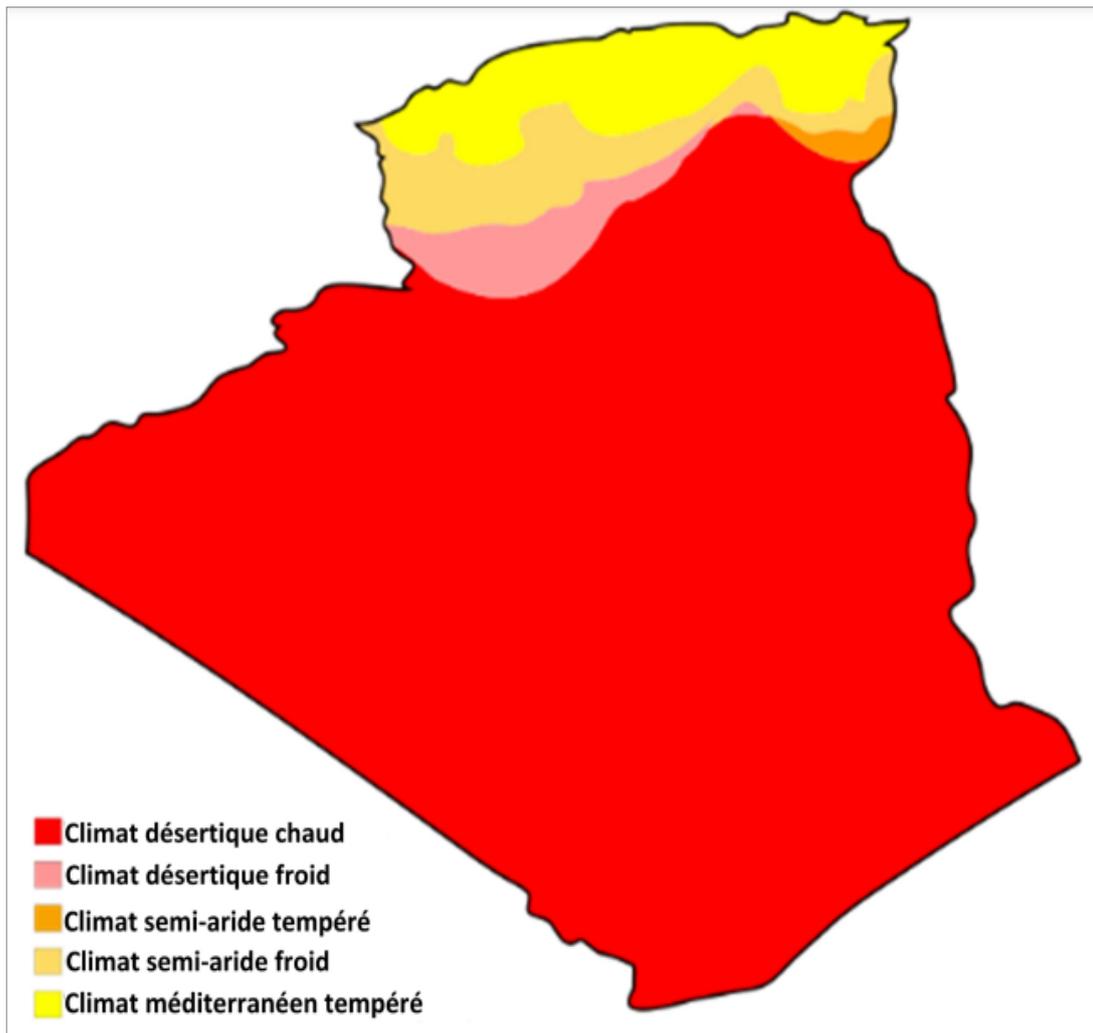


Figure 4.1 : Carte des climats de l'Algérie selon la classification de Köppen.

Source : IAST-UFAS, 2019

Comme mentionné précédemment, notre recherche s'articule sur des hôtels dans des wilayas côtières d'un climat méditerranéen (figure 4.2). En outre, les caractéristiques générales de ce climat sont : les longues saisons estivales sèches, les températures hivernales relativement douces et ainsi des précipitations faibles et variables. En fait, la région méditerranéenne est frappée par des cyclones provenant des fronts polaires en hiver et des pressions anticycloniques provenant des zones subtropicales en été. (Demangeot, 1987).

Le climat méditerranéen algérien se caractérise par de faibles précipitations dans la partie occidentale du pays, où elles oscillent entre 330 et 400 millimètres par an, et dans la partie orientale plus aride, où elles oscillent en moyenne entre 600 et 800 millimètres. La plupart des précipitations tombent entre octobre et avril. La côte a une température assez

uniforme, avec une moyenne d'environ 11 degrés en janvier et une moyenne d'environ 26 degrés en août. L'été est ensoleillé et l'air est humide. Cependant, parfois, le vent chaud du désert, le chehili, peut souffler, ce qui rend l'air un peu plus sec. Au printemps et en automne, le vent peut également traverser les montagnes, provoquant une forte baisse de l'humidité.

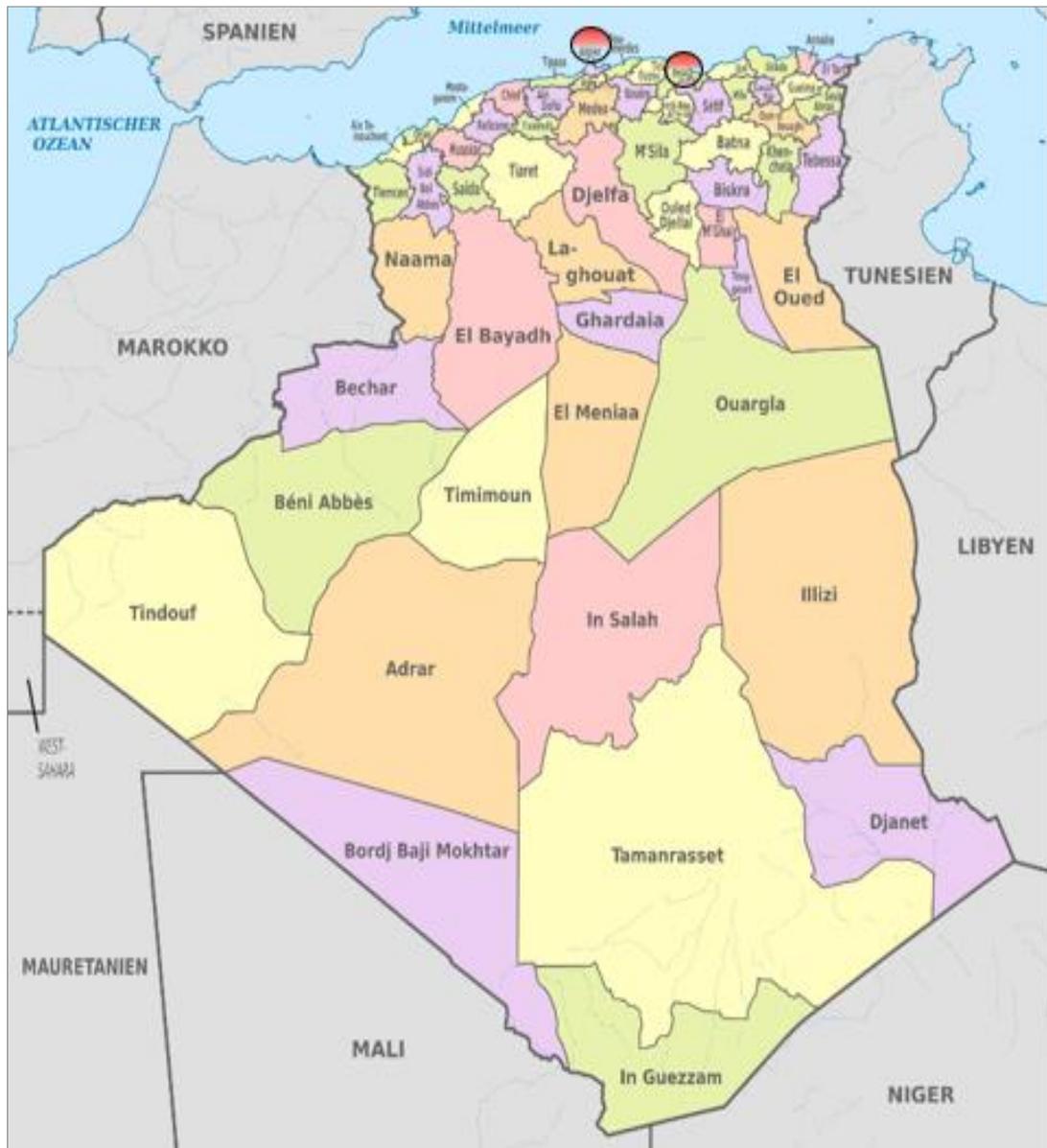


Figure 4.2 : La carte géographique de l'Algérie indiquant la situation des régions d'étude.

Source : <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie>.

Il existe différentes périodes de l'année pour visiter la côte Méditerranéenne algérienne. Par exemple, en été, il fait chaud et ensoleillé, tandis qu'en hiver, il fait plus froid et plus humide.

La figure suivante (Figure 4.3) présente une synthèse pour les touristes afin de choisir la meilleure période de voyage sur la côte méditerranéenne algérienne :

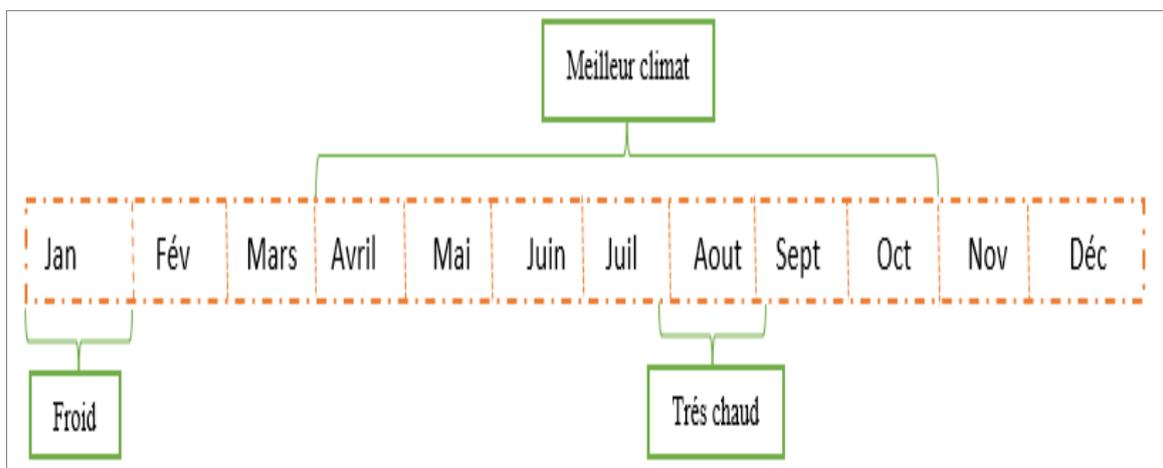


Figure 4.3 : Meilleure période de voyage sur la côte méditerranéenne algérienne.

Source : auteur 2018.

4.2 Présentation des cas d'étude

Afin de comprendre et exploiter les phénomènes provoqués par les conditions climatiques dans lesquelles se trouve un bâtiment (changements de température, humidité, vent, précipitations, etc.) une étude approfondie des facteurs impliqués dans les conditions du monde réel est nécessaire. En outre, les performances thermiques de ces bâtiments sont très variables et dépendent de plusieurs paramètres, dont la composition de l'enveloppe qui provoque différents phénomènes. De ce point de vue, la meilleure façon d'étudier le comportement des bâtiments est de mieux comprendre comment ces derniers fonctionnent avec la sensation et la satisfaction de leurs occupants afin d'identifier et de résoudre les problèmes. Chaque hôtel étudié a pour objectif de démontrer l'impact des éléments de l'enveloppe qui affectent non seulement le comportement thermique des hôtels, mais également sa performance énergétique et le confort intérieur des clients.

4.2.1 Présentation de l'hôtel Ibis 4 étoile à Alger

Le choix de la wilaya d'Alger porte surtout sur la grande concentration des projets d'hôtels urbains en Algérie. Selon le rapport de la réalisation de la wilaya d'Alger, cette dernière compte 198 établissements hôteliers d'une capacité de 22.000 lits.

Le cas choisi se situe à Bab Zouar la wilaya d'Alger de la chaîne Ibis (Figure 4.4). C'est un hôtel urbain très fréquenté par les gens grâce à sa situation près de l'aéroport. Il est orienté vers la direction nord-ouest, sud-est (36% par rapport au nord) (Figure 4.5), il possède une forme rectangulaire de R+8 avec un sous-sol (Figure 4.6), le bâtiment comporte environ 264 chambres de plus de 500 places dans la partie d'hébergement, un restaurant, un café- bar, les bureaux, et un hall de réception. La répartition des différents espaces de l'hôtel est présentée dans les différentes figures d'au-dessous (Figure 4.7, Figure 4.8, Figure 4.9, Figure 4.10, Figure 4.11).

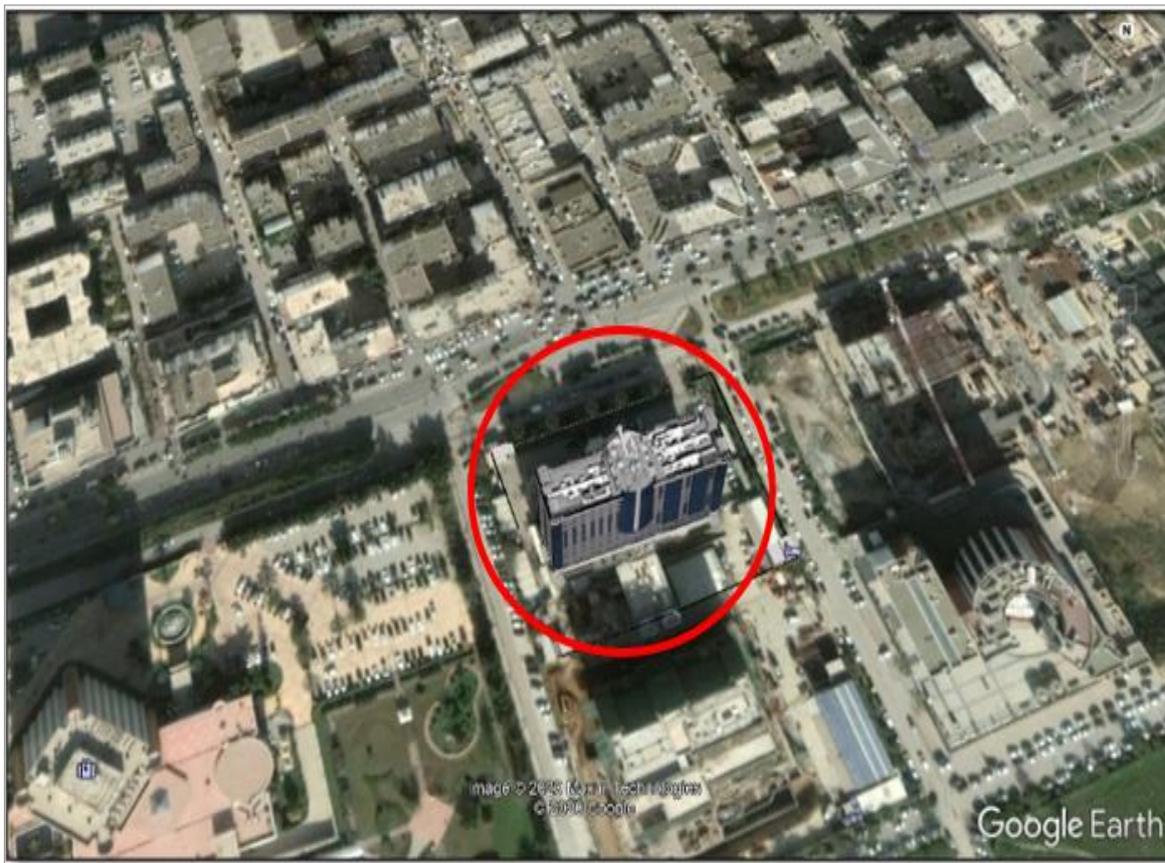


Figure 4.4 : Plan de situation de l'hôtel d'Alger.

Source : Google Earth ,2020.

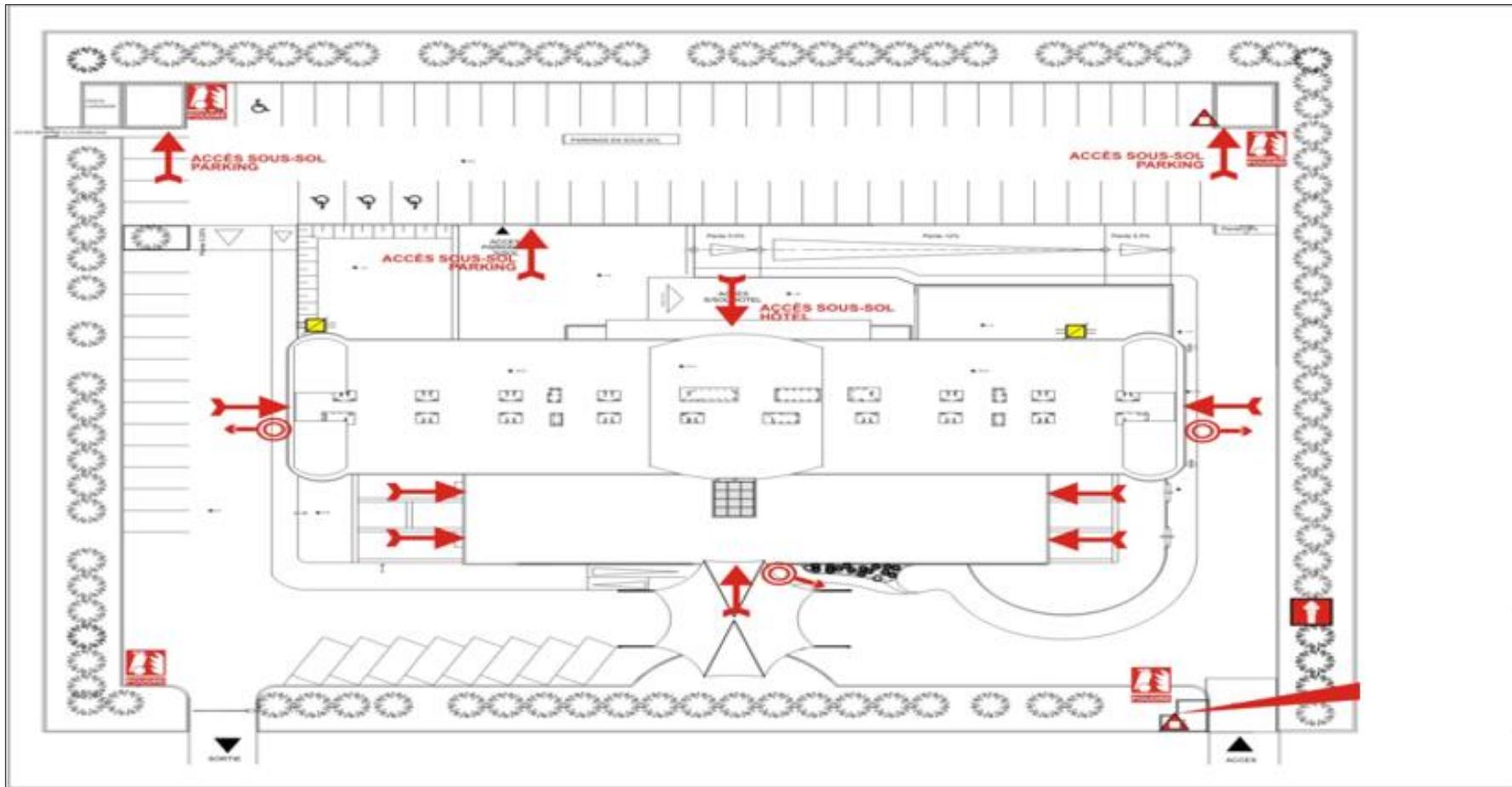


Figure 4.5 : Plan de masse de l'hôtel d'Alger.
 Source : auteur ,2020.

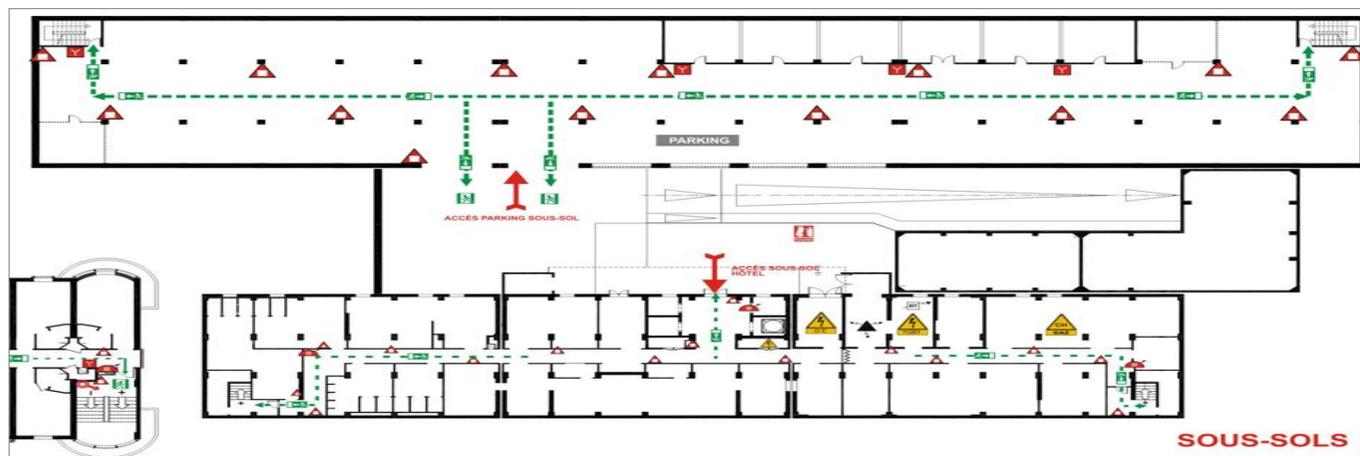


Figure 4.6 : Plan de sous-sol.
Source : Auteur, 2020.



Figure 4.7 : Plan de RDC.
Source : Auteur, 2020.

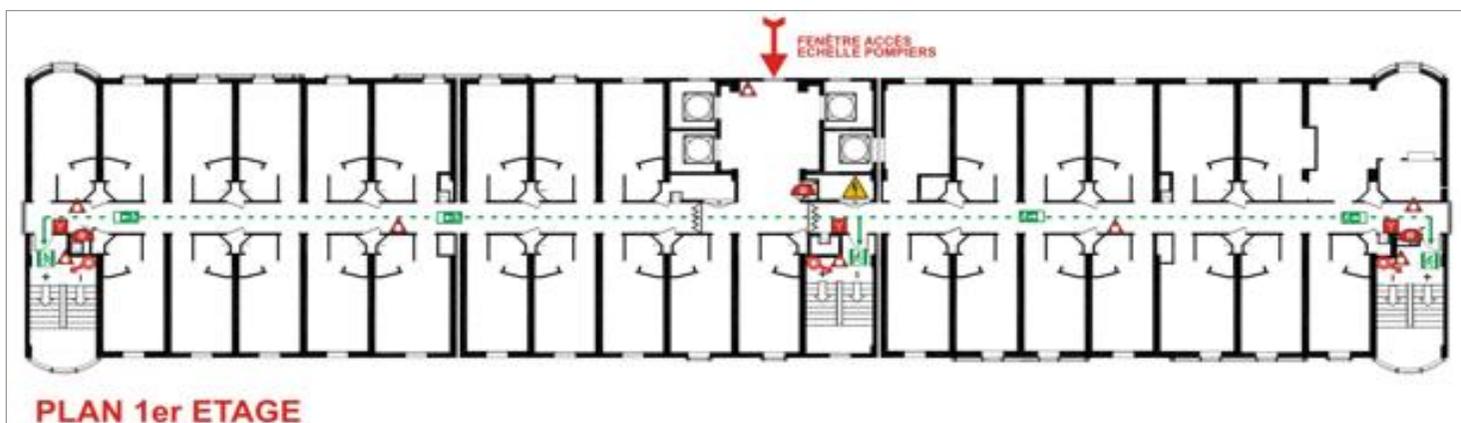


Figure 4.8 : Plan de 1er étage.
Source : Auteur, 2020.

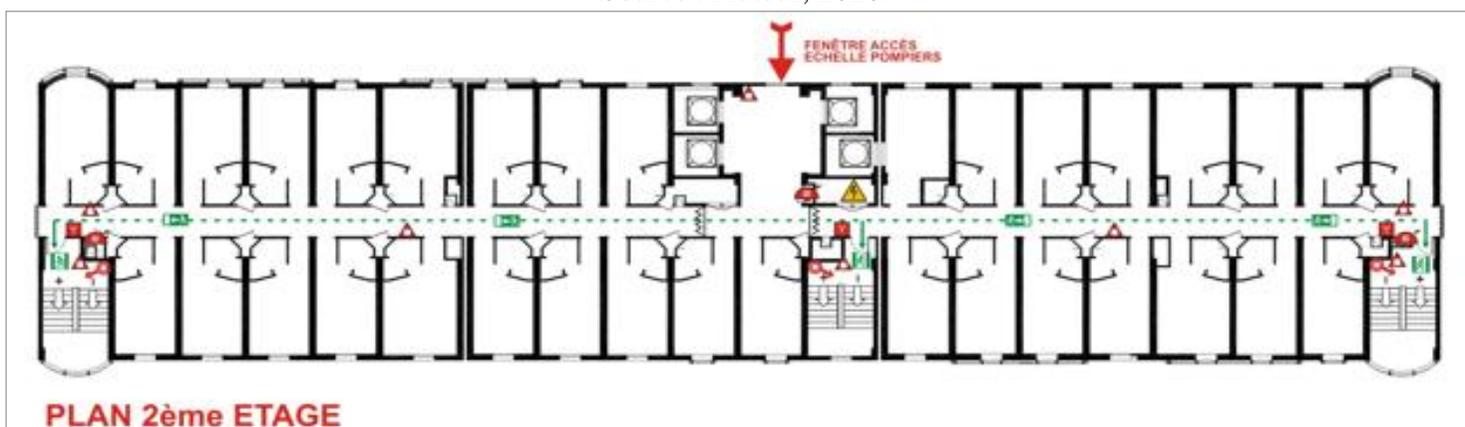


Figure 4.9 : Plan de 2ème étage.
Source : Auteur, 2020.

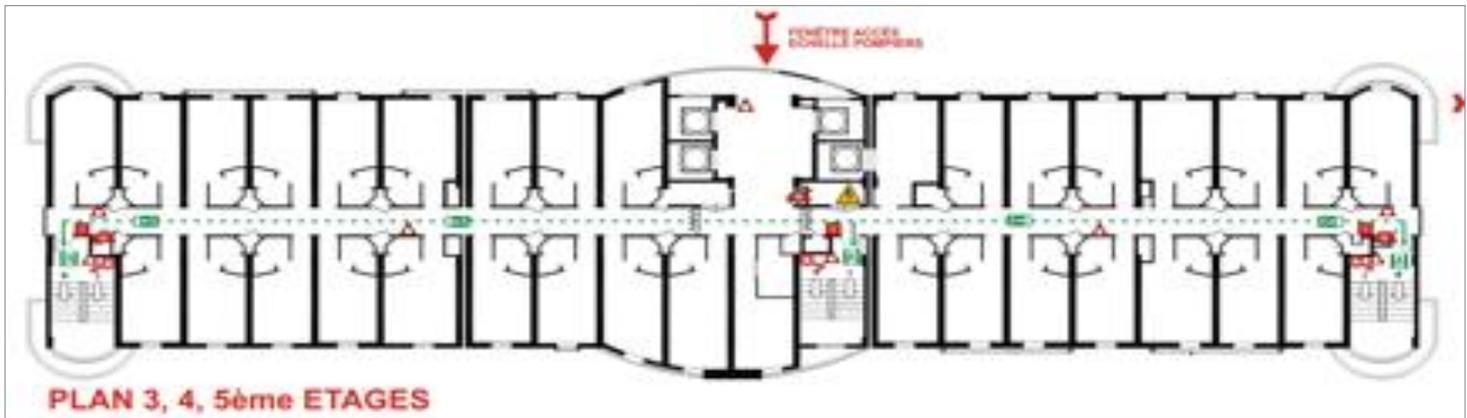


Figure 4.10 : Plan de 3,4,5ème étage.
Source : Auteur, 2020.

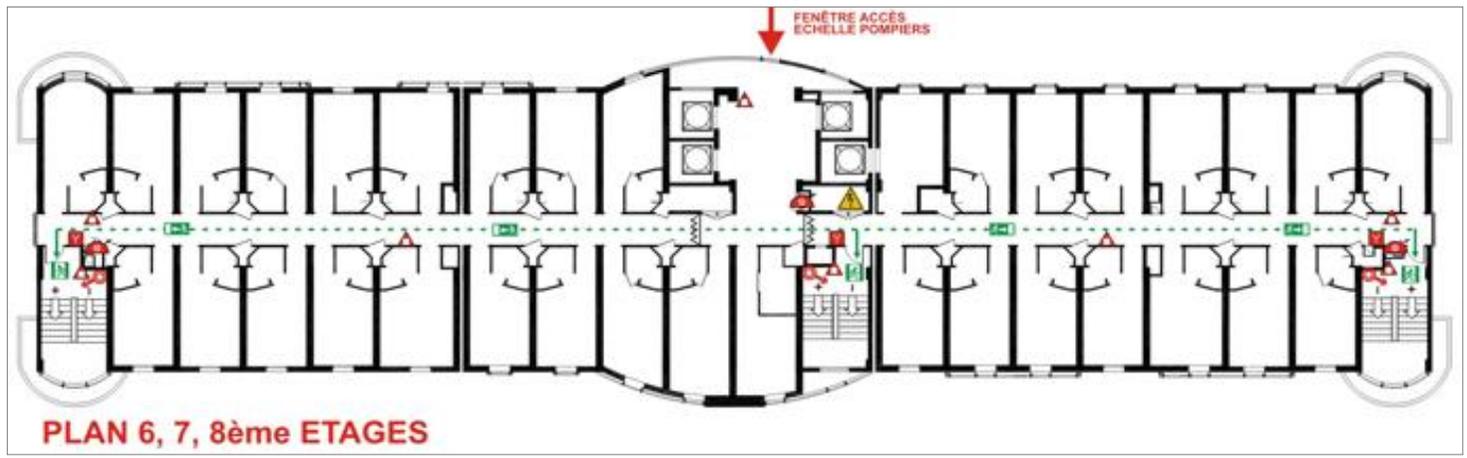


Figure 4.11 : Plan de 6,7,8ème étage.
Source : Auteur, 2020.

Nous présentons ci-dessous (Figure 4.12, Figure 4.13, Figure 4.14) quelques photos illustratives sur l'environnement extérieur et intérieur de l'hôtel d'Alger. Plus de photos en (Annexe C).



Figure 4.12 : La façade principale de l'hôtel d'Alger.

Source : Auteur, 2020.



Figure 4.13 : La façade arrière de l'hôtel d'Alger.

Source : Auteur, 2020.

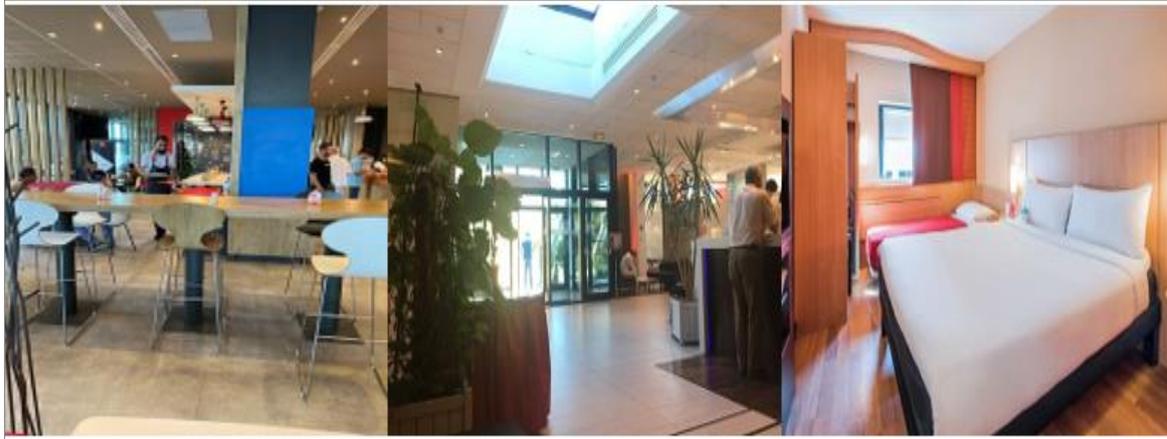


Figure 4.14 : L'environnement intérieur de l'hôtel d'Alger.

Source : Auteur, 2020.

4.2.2 Conditions climatologiques principales de la ville d'Alger

La ville d'Alger subit un climat méditerranéen tempéré qui se caractérise par ses longs étés chauds et secs (il fait généralement chaud, surtout de la mi-juillet à la mi-août), les précipitations très élevées et peuvent parfois être fortes et ainsi des hivers doux et humides (ANDI 2013). Les précipitations totalisent 600 mm par an. En fait, la période la plus pluvieuse va de novembre à janvier, tandis qu'en été il pleut très rarement (Figure 4.15).

La figure (Figure 4.16) indique que le mois le plus froid de la saison hivernale est le janvier avec une température minimale de 5,3 °C et une maximale de 17,1 °C. Alors que, le mois le plus chaud (Août) de la saison estivale donne une température minimale de 20,3 °C et une maximale de 32,9 °C. Cependant, d'autres données climatiques nécessaires à l'analyse sont fournies en annexe comme : la température du point de rosée, la pression atmosphérique, direction et vitesse du vent, luminosité globale. (Voir Annexe D).

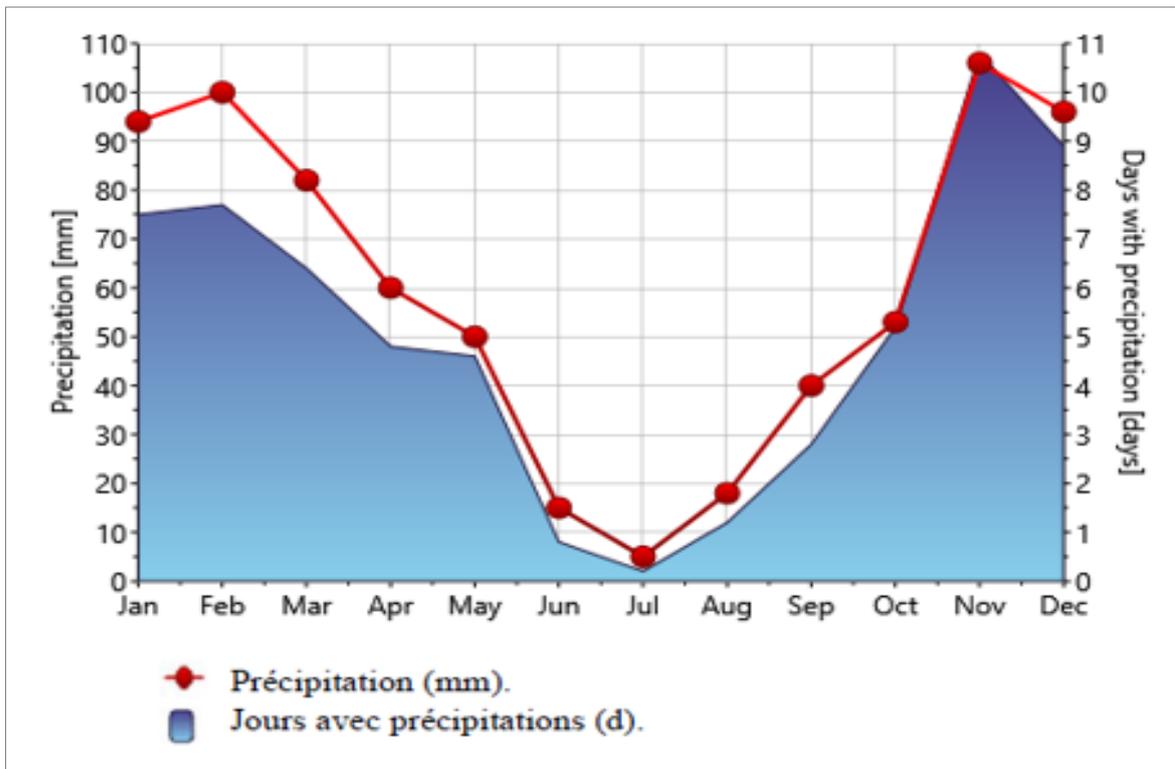


Figure 4.15 : Diagramme des quantités de précipitations par mois de la ville d'Alger.

Source : Auteur sous Météonorm 7.3

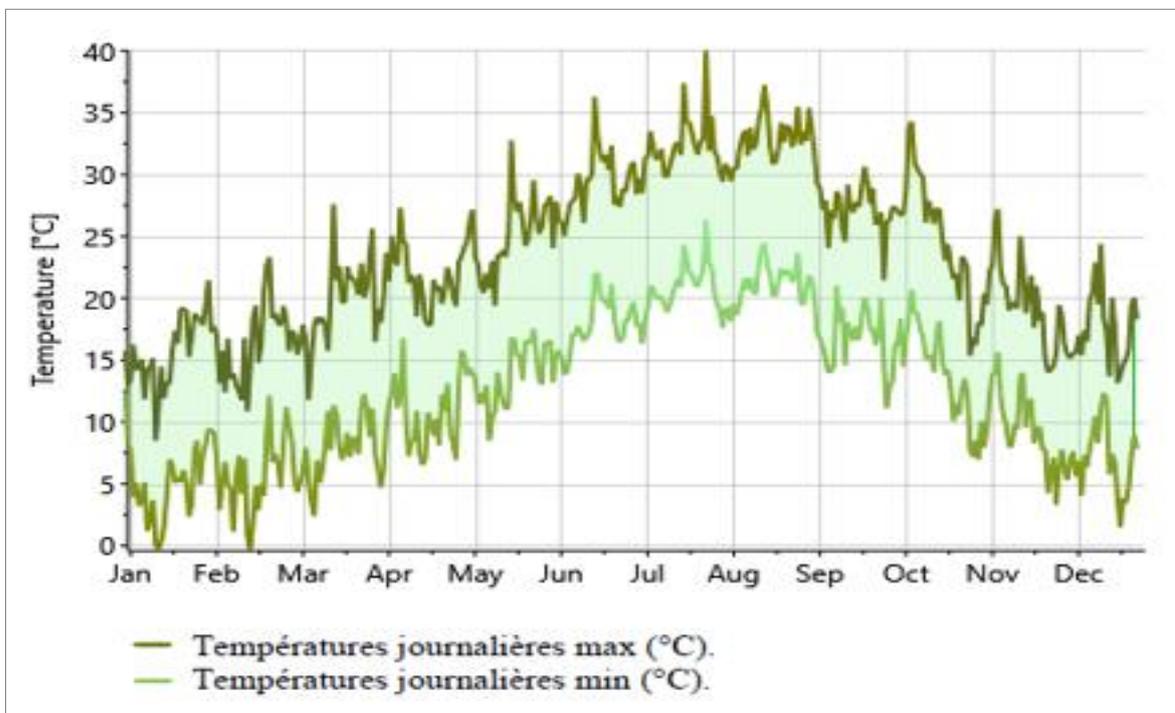


Figure 4.16 : Diagramme des températures maximales et minimales de la ville d'Alger.

Source : Auteur sous Météonorm 7.3

D'après les diagrammes de la zone de confort présentés dans les figures (Figure 4.17, Figure 4.18) les températures d'air se situent entre 20.5 et 26°C pour une humidité relative proche de 50% selon la légende mentionnée à gauche du diagramme des humidités relatives. Pour le confort d'hiver entre 20.5 et 24°C et pour le confort d'été entre 24 et 26°C.

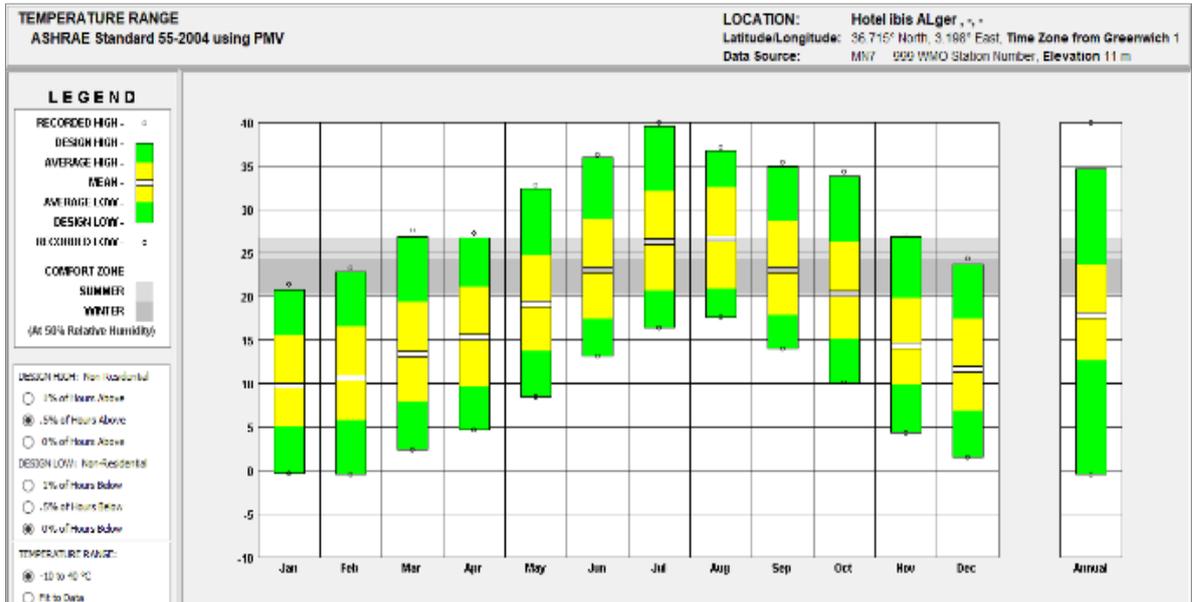


Figure 4.17 : Diagramme des températures de la ville d'Alger.

Source : Auteur sous climat consultant 6.0

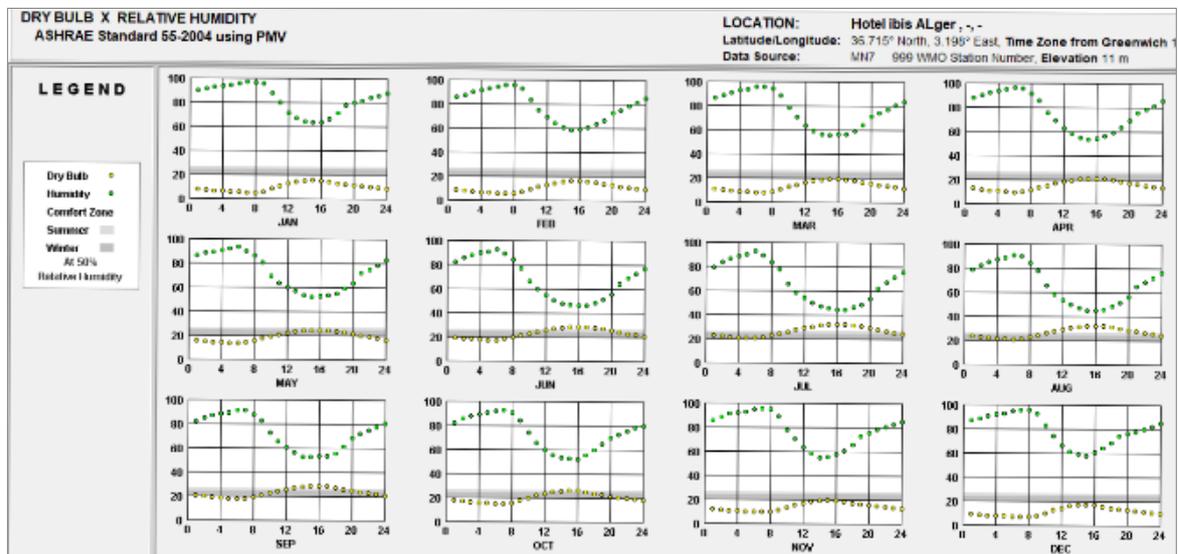


Figure 4.18 : Diagramme des humidités relatives de la ville d'Alger.

Source : Auteur sous climat consultant 6.00

4.2.3 Présentation de l'hôtel du Nord 4 étoiles à Béjaïa

Le cas choisi est un hôtel urbain très fréquenté par les gens grâce à sa situation près du centre de ville. Il est orienté vers la direction sud-ouest pour la façade principale et nord-est pour la façade arrière (Figure 4.19), il possède une forme rectangulaire de R+8 avec 2 sous-sols, le bâtiment comporte environ 102 chambres dans la partie d'hébergement, un restaurant, un café- bar, les bureaux et un hall de réception.



Figure 4.19 : Plan de situation de l'hôtel de Bejaia.

Source : Google Earth ,2022.

La répartition des différents espaces de l'hôtel est présentée dans les différentes figures d'au-dessous (Figure 4.20, Figure 4.21, Figure 4.22).



Figure 4.20 : Plan du 1er et 2ème sous-sol.

Source : (Source : Auteur, 2020)



Figure 4.21 : Plan de RDC et du 1er étage.

Source : Auteur,2020

Nous présentons ci-dessous (Figure 4.23, Figure 4.24, Figure 4.25) quelques photos illustratives sur l'environnement extérieur et intérieur de Bejaïa. Plus de photos en (Annexe C).



Figure 4.23 : Façade principale de l'hôtel de Bejaïa.

Source : Auteur, 2020.



Figure 4.24 : Façade arrière de l'hôtel de Bejaïa.

Source : Auteur, 2020.

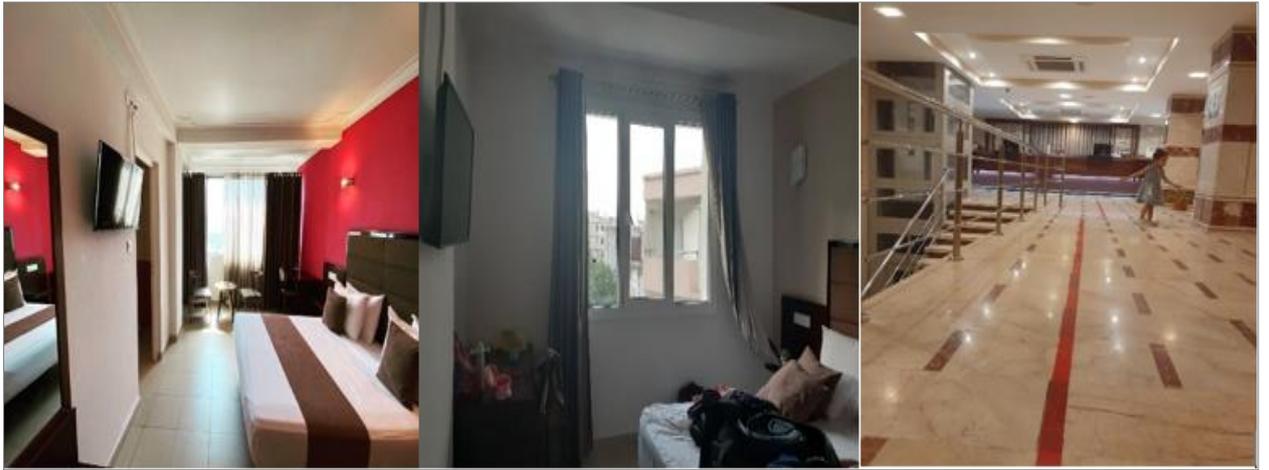


Figure 4.25 : L'environnement intérieur de l'hôtel de Bejaia.

Source : Auteur, 2020.

4.2.4 Conditions climatologiques principales de la ville de Béjaïa

La Wilaya de Béjaïa est située dans la région côtière de Kabylie, au nord-est de l'Algérie. Elle est divisée en 52 communes et 19 daïras avec une superficie totale de 3 268 km² dont les limites occidentales sont les wilayas de Tizi-Ouzou et Bouira, les limites au sud sont les wilayas de Bouira et Bordj-Bou-Argeridj, les limites à l'est sont les wilayas de Sétif et Jijel, et la limite au nord est la mer Méditerranée (Boutarcha, 2023).

La wilaya de Béjaïa subit un climat doux toute l'année, avec un hiver plus doux que le reste de l'année, et une température moyenne d'environ 15°C. En été, la température peut atteindre une moyenne d'environ 25°C, mais elle peut aussi être plus fraîche à des altitudes plus élevées. En hiver, la température peut descendre jusqu'à 8°C avec de la neige, et en été, il peut faire très chaud, atteignant 30°C en moyenne.

Les précipitations à Bejaia totalisent 750 millimètres par an. Durant le mois de juillet qui est le moins pluvieux, elles se montent à 6 mm, tandis que durant le mois de janvier qui est le moins le plus pluvieux, elles s'élèvent à 115 mm. En outre, la période la plus pluvieuse va de novembre à février, tandis qu'en été il pleut très rarement (Figure 4.26).

De plus, le mois le plus froid de la saison hivernale est celui de janvier avec une température minimale de 7,4 °C et de 16,6 °C au maximum. Elle descend généralement à environ 3 °C pendant les nuits les plus froides du mois. Alors que le mois le plus chaud (Août) de la saison estivale donne une température minimale de 21,5 °C et de 30,7 °C au maximum. Pendant les jours les plus chauds du mois, elle atteint

généralement environ 38 °C (Figure 4.27). Cependant, d'autres données climatiques nécessaires à l'analyse sont fournies en annexe comme : la température du point de rosée, la pression atmosphérique, direction et vitesse du vent, luminosité globale. (Voir Annexe D).

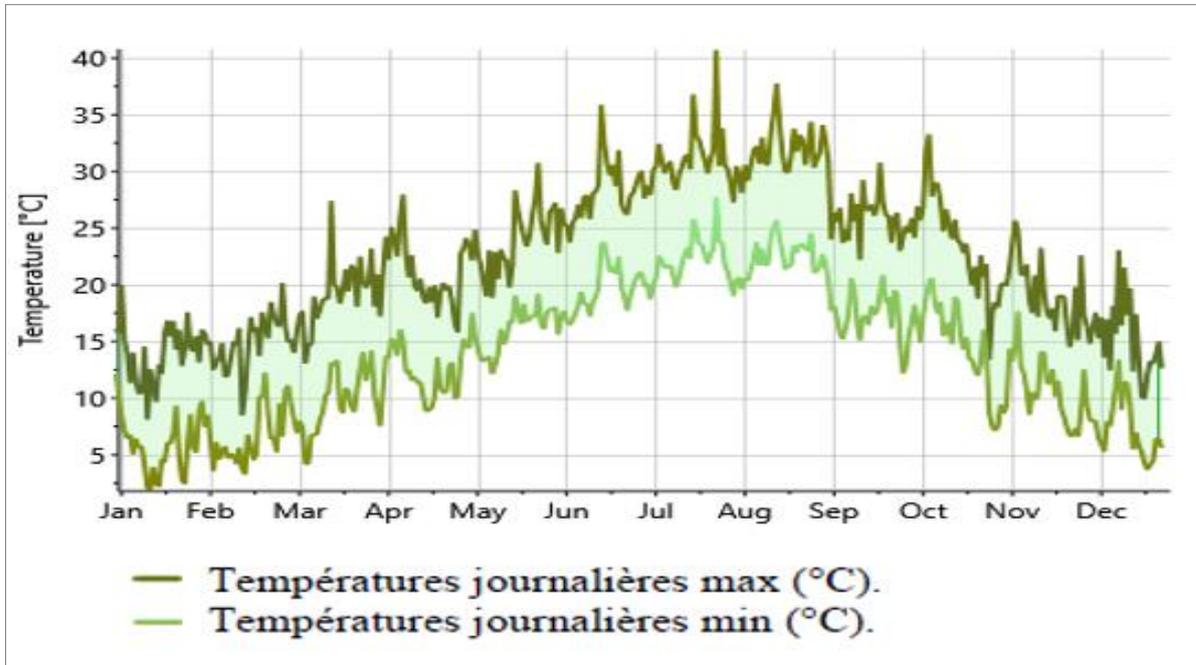


Figure 4.26 : Diagramme des températures maximales et minimales de la ville de Bejaia.

Source : Auteur sous Météonorm 7.3

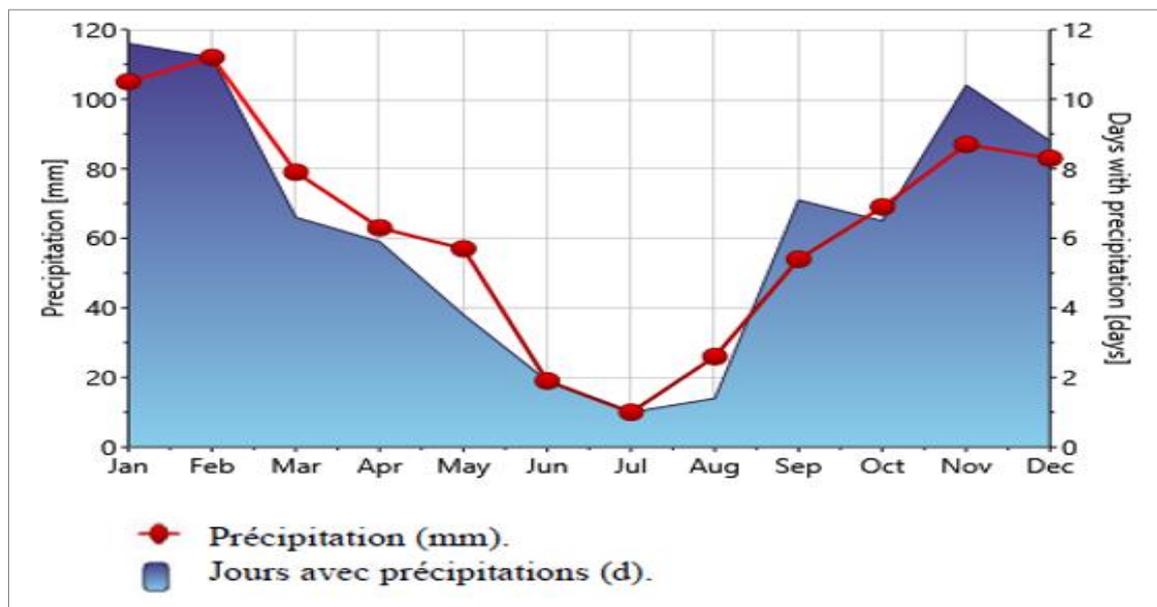


Figure 4.27 : Diagramme des quantités de précipitations par mois de la ville de Bejaia.

Source : Auteur sous Météonorm 7.3

A partir des diagrammes de la zone de confort de la wilaya de Bejaia présentés dans les figures (Figure 4.28, Figure 4.29) les températures d'air se situent entre 20.5 et 26°C pour une humidité relative proche de 50%. Selon la légende mentionnée à gauche du diagramme des humidités relatives, la température du confort d'hiver est située entre 20.5 et 24°C et celle du confort d'été est entre 24 et 26°C.

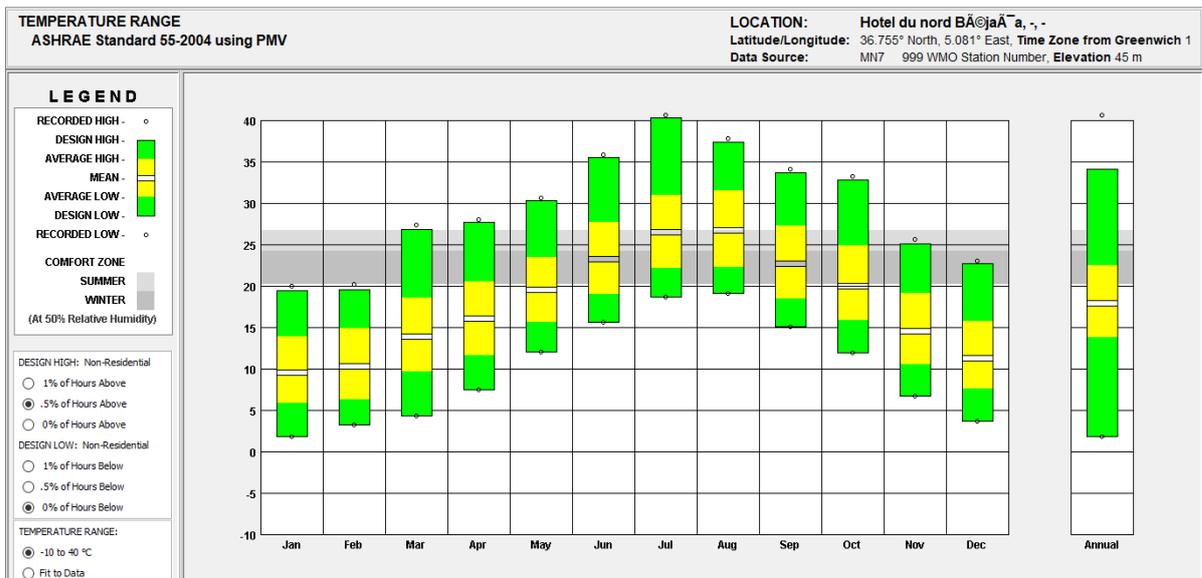


Figure 4.28 : Diagramme des températures de Bejaia.

Source : Auteur sous climat consultant 6.0.

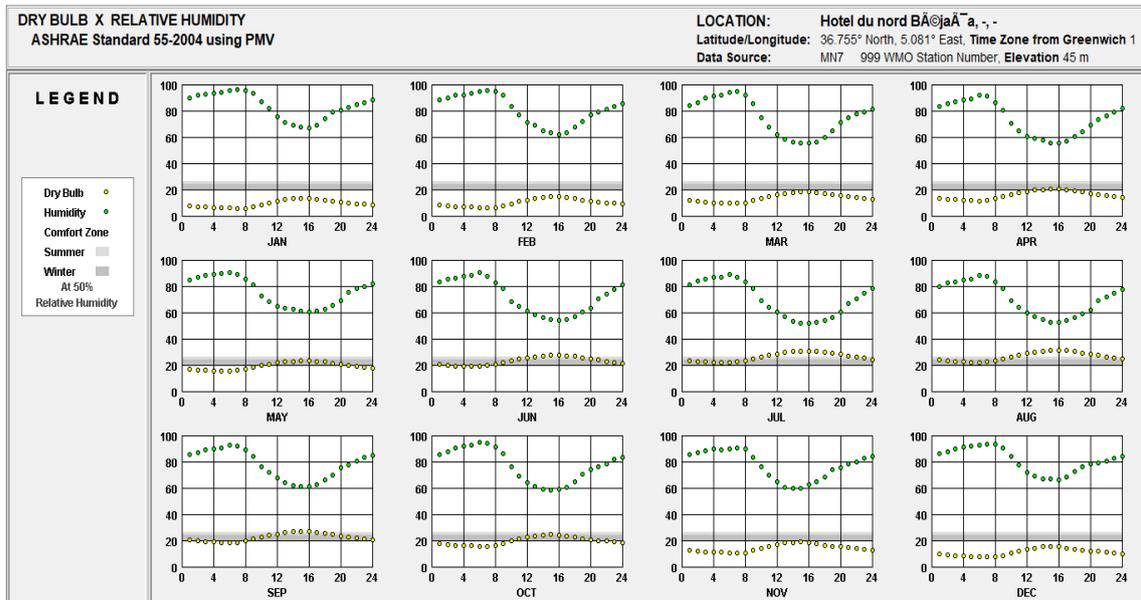


Figure 4.29 : Diagramme des humidités de la ville de Bejaia.

Source : Auteur sous climat consultant 6.0.

4.3 Synthèse sur les stratégies bioclimatiques requises pour les villes choisies

Le diagramme psychométrique présente un élément très important qui aide à définir la zone de confort pour que les occupants se sentent à l'aise dans le bâtiment. Il aide aussi à identifier les meilleures stratégies de conception qui peuvent rendre le bâtiment plus confortable et avec moins d'énergie, il donne des informations nécessaires sur la température et l'humidité relative et absolue.

Le diagramme psychométrique de la ville d'Alger (Figure 4.30) montre que sans les stratégies passives, seulement dans 12.8 % des heures de l'année les occupants se sentent confortables. Cependant, le diagramme psychométrique de la ville de Bejaia (Figure 4.31) montre que sans les stratégies passives, seulement dans 10.9 % des heures de l'année les occupants se sentent confortables. Cela confirme la nécessité d'intégrer certaines stratégies pour atteindre le degré de confort souhaité dans les deux villes.

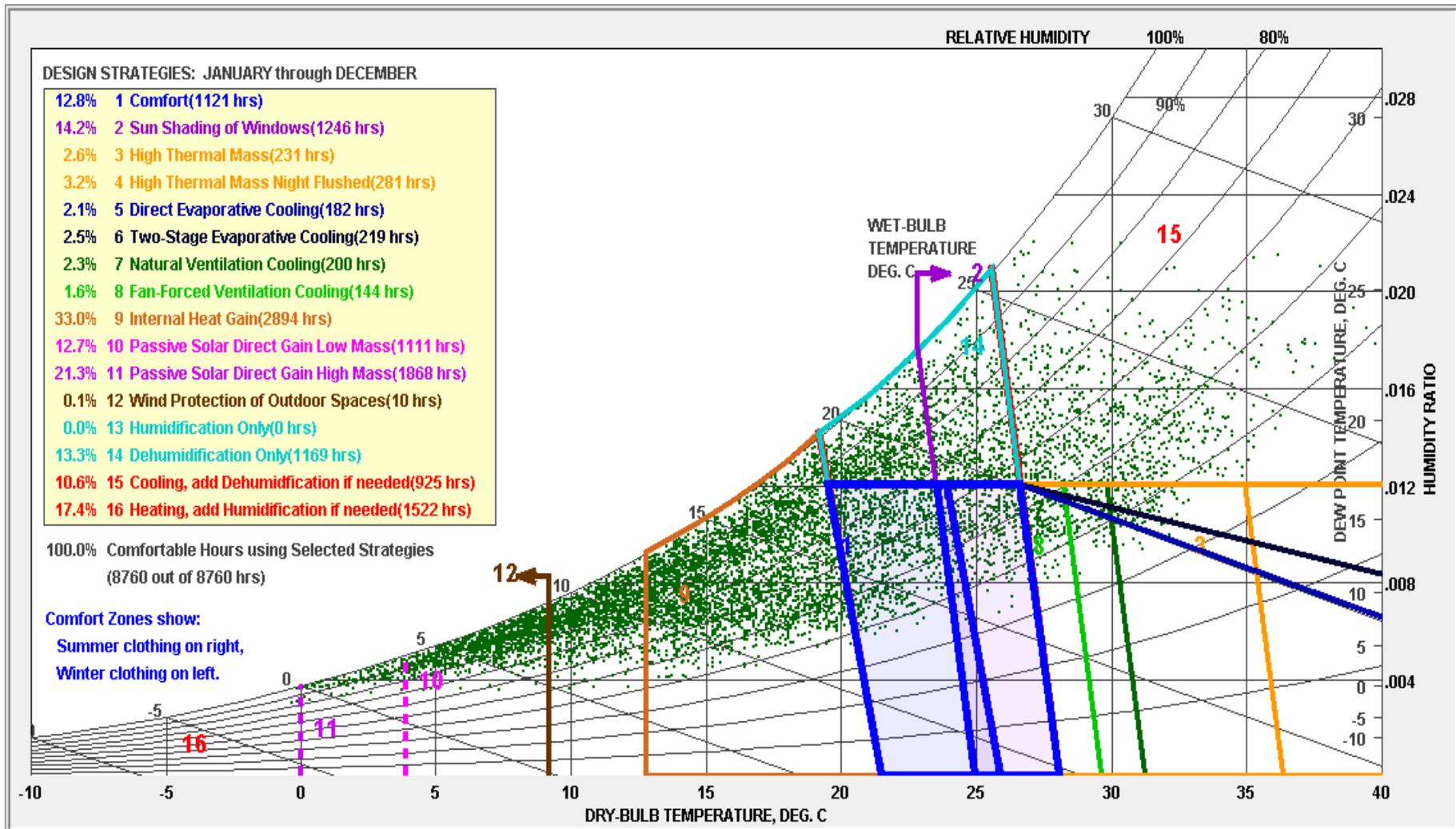


Figure 4.30 : Le diagramme psychométrique de la ville d'Alger et les meilleures stratégies choisies pour un confort 100%.

Source : Auteur, sous climat consultant 6.0.

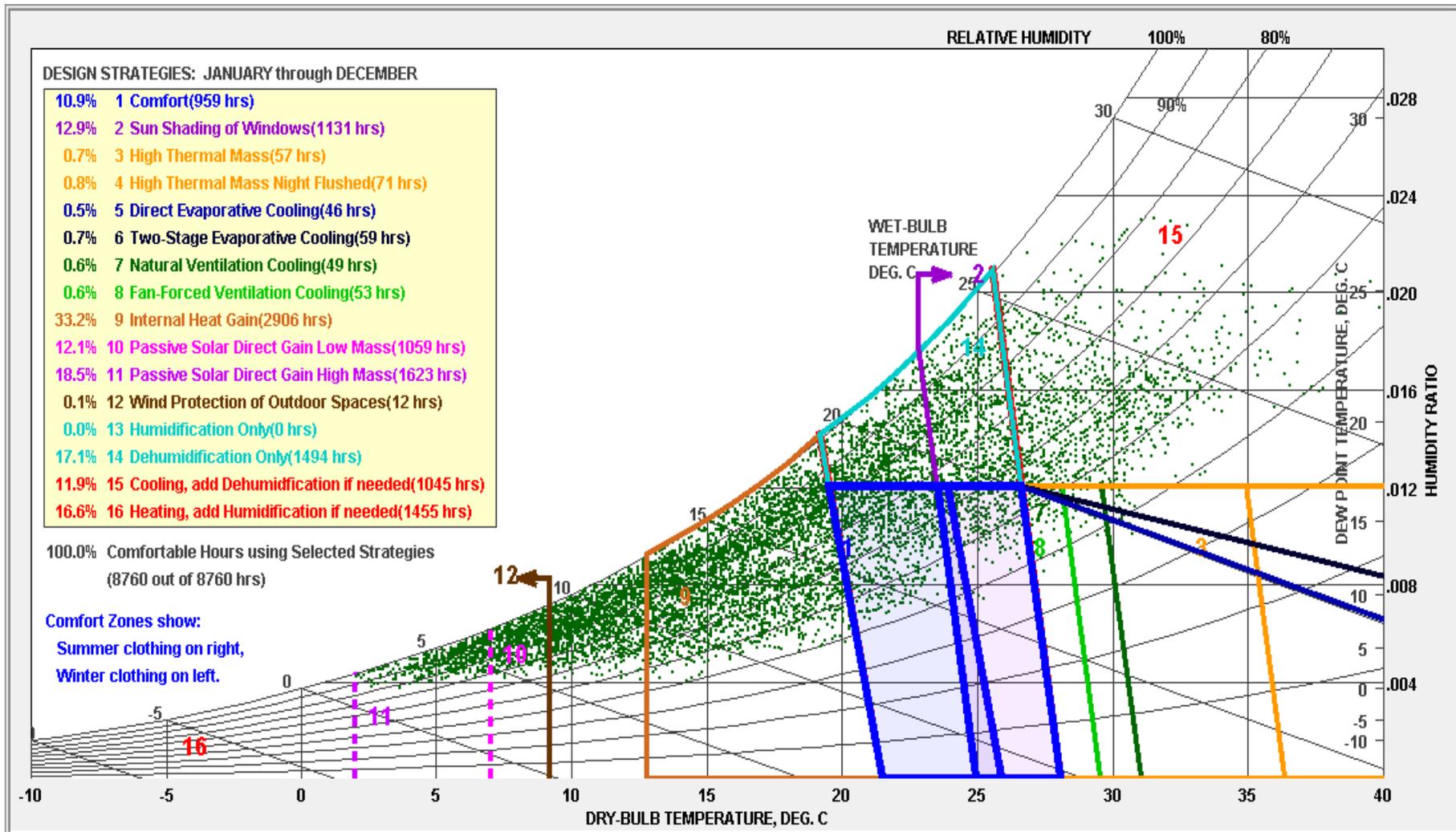


Figure 4.31 : Le diagramme psychométrique de la ville de Bejaia et les meilleures stratégies choisies pour un confort 100%.

Source : Auteur sous climat consultant 6.0.

A partir des diagrammes psychrométriques des villes (d'Alger, Bejaia) obtenus en analysant les données climatiques à l'aide du logiciel climat consultant 6.0 la zone de confort sur 8760 heures (une année) est de 1121 heures (12.8 %) à Alger et 959 heures à Béjaïa (10.9%). A travers ce diagramme, nous sommes arrivés à déterminer les meilleures stratégies requises spécifiquement pour ce type de climat. Nous avons divisé les stratégies en celles requises pour la période d'hiver et les meilleures pour la période d'été. Concernant les stratégies requises pour le confort d'hiver, premièrement, c'est la stratégie de gain de chaleur interne (33 % des heures de confort pour le cas d'Alger et 33.6 % pour le cas de Béjaïa). Cette stratégie repose essentiellement sur la conception efficace de l'enveloppe du bâtiment, notamment l'isolation thermique renforcée.

De plus, la stratégie du gain solaire direct passif de masse élevée (21.3 % des heures de confort pour le cas d'Alger et 18.5 % pour le cas de Béjaïa), cette stratégie de conception qui dépend principalement de l'orientation des fenêtres du bâtiment afin de capter le maximum de chaleur solaire. Ensuite, la stratégie du chauffage avec humidification si nécessaire (17.4 % des heures de confort pour le cas d'Alger et 16.6 % pour le cas de Béjaïa) cette stratégie de conception active de chauffage et d'humidification peut être nécessaire lorsque la température extérieure est bien inférieure à la plage de confort thermique acceptée et où l'air ambiant est trop sec. Dans cette situation, augmenter la température et fournir une humidité supplémentaire dans l'air améliorerait beaucoup mieux la zone de confort thermique de l'occupant.

Puis, la stratégie de déshumidification uniquement (13.3 % des heures de confort pour le cas d'Alger et 17.1 % pour le cas de Béjaïa), cette stratégie de conception qui renforce à nouveau la relation entre la température et le graphique d'humidité relative vu ci-dessus (Figure 4.12 et Figure 4.23) où la présence d'humidité dans l'air tout au long de l'année était nettement supérieure à la plage acceptée (50 % d'humidité relative pour la zone de confort). Par conséquent, dans ce type de climat, même si la température intérieure se situe dans la plage de confort thermique, les techniques de déshumidification une fois appliquées améliorent considérablement la satisfaction des occupants.

Et enfin, la protection contre le vent des espaces extérieurs ou la mise en œuvre de cette stratégie de conception aidera à prévenir les vents froids extérieurs qui peuvent affecter et perturber le confort thermique intérieur de l'occupant. Elle est considérée comme une

stratégie de conception, car le modèle standard de confort thermique utilisé dans ce travail de recherche (Norme ASHRAE 55), suppose que la zone de confort thermique de l'occupant repose en partie sur les conditions extérieures, car les fenêtres sont libres d'être fermées ou ouvertes.

Pour les stratégies requises pour le confort d'été, en commençant par la protection solaire des fenêtres (14.2 % des heures de confort pour le cas d'Alger et 12.9 % pour le cas de Béjaïa), en appliquant cette stratégie de conception de refroidissement de la protection solaire des fenêtres, cela aidera à maintenir la température ambiante intérieure dans la zone de confort thermique. Après, la stratégie de refroidissement avec déshumidification si nécessaire (10.6 % des heures de confort pour le cas d'Alger et 11.9 % pour le cas de Béjaïa) cette stratégie de conception active peut être nécessaire pendant la période où la température extérieure est bien supérieure à la plage de confort thermique acceptée et où l'air ambiant est également trop humide. Dans ce scénario, abaisser la température et éliminer la présence d'humidité dans l'air offrirait un meilleur confort thermique à l'occupant.

Ensuite, la stratégie de la masse thermique élevée (12.7 % des heures de confort pour le cas d'Alger et 12.1 % pour le cas de Béjaïa), cette stratégie de conception implique qu'en adoptant des techniques de construction de grande masse qui consistent à utiliser des matériaux qui ont la capacité de retenir ou d'absorber la chaleur (mais aussi de dégager de la chaleur en cas de besoin), tels que des blocs en béton, la maçonnerie en pierres entraînera une réduction de température chaque fois qu'il y a une tendance à dépasser la zone de confort thermique de l'occupant. Les paramètres de contrôle proposés supra liés à l'environnement, à l'enveloppe et à la forme du bâtiment construit sous le climat d'Alger et de Bejaia tendent à concrétiser les orientations proposées par le diagramme psychométrique.

4.4 Protocole du travail de terrain

4.4.1 Protocole de l'étude qualitative subjective

La méthode qualitative subjective de cette recherche repose sur une enquête par questionnaire auprès des clients de deux hôtels dont l'objectif principal est d'évaluer la perception de l'environnement thermique et d'identifier les principaux facteurs d'inconfort. Pour ce faire, 56 questionnaires ont été distribués dans chaque hôtel d'étude, dont le nombre

final utilisé pour traiter les résultats est de 50 pour chaque hôtel (3 ont été annulés pour chaque hôtel à cause des réponses insuffisantes et irrationnelles).

Le questionnaire est divisé en quatre parties : la première vise à collecter les informations personnelles, à savoir : le sexe et l'âge (dans ces 50 questionnaires, le pourcentage des hommes est de 60%, 40% des femmes et 75 % des personnes questionnées sont âgées entre 30 et 60). La deuxième concerne les informations générales sur la chambre occupée (l'étage, l'orientation et la durée d'occupation). La troisième traite l'évaluation et les préférences des paramètres ambiants, à savoir : la perception thermique, la perception de l'humidité, la sensation et les préférences du mouvement de l'air, l'évaluation de l'efficacité des systèmes de contrôle environnemental (fenêtres, portes, rideaux, etc...) pour améliorer l'environnement thermique intérieur. À la fin nous avons posé deux questions concernant la sensibilisation à la réduction des consommations d'énergies dans les hôtels.

4.4.2 Protocole de l'étude quantitative objective (prise de mesures)

L'ensemble des hôtels pris comme cas d'étude se trouve au niveau des villes côtières sous un climat méditerranéen littoral dans des zones urbaines. Bien que les hôtels d'étude appartiennent au climat méditerranéen, mais il s'avère pertinent de considérer les légères différences des paramètres climatiques, notamment la température, dans ce cas, nous précisons que nous tenons compte de ces différences lors de nos simulations en créant des stations météorologiques (logiciel meteonorm7.3) spécifiques aux sites d'emplacements de nos hôtels choisis.

4.4.2.1 Les journées de prise

Pour préserver l'objectivité de nos mesures, nous avons choisi une semaine de prises (deux journées pour chaque hôtel pour les deux saisons) où les conditions météorologiques sont les mêmes. Cela nous a aidé à éviter les fluctuations quotidiennes.

1-Hôtel Ibis à Alger du 02 au 04 janvier 2020 pour les mesures d'hiver et du 10 au 12 juillet 2021 pour les mesures de l'été.

2-Hôtel du Nord à Bejaia du 05 au 07 janvier 2020 pour les mesures d'hiver et du 14 au 16 juillet 2021 pour les mesures de l'été.

Nous mentionnons que les mesures d'été pour les deux hôtels ont été faites l'été de l'année 2021 à la place de 2020 à cause de la période de la pandémie (covid-19) et de la clôture des hôtels, ce qui nous oblige à attendre la réouverture pour prendre nos mesures.

4.4.2.2 Les paramètres mesurés

4.4.2.2.1 Mesure des températures de l'air

Les mesures des températures de l'air intérieures et extérieures, sont prises à l'aide d'un thermo-hygromètre et d'un enregistreur des températures (Figure 4.32) pour faciliter le travail entre les chambres. Les mesures sont prises chaque deux heures pendant les mêmes journées, du 02 au 04 janvier 2020 pour les mesures d'hiver et 10 au 12 juillet 2021 pour les mesures de l'été pour Hôtel ibis à Alger et du 05 au 07 janvier 2020 pour les mesures d'hiver et du 14 au 16 juillet 2021 pour les mesures de l'été pour l'hôtel du Nord à Bejaia.

Les prises de mesures des températures intérieures se sont effectuées au centre des chambres choisies pour l'étude à une hauteur de 1.20 m.



Figure 4.32 : Enregistreur de données climatiques, TROTREC, BL30.

4.4.2.2.2 Mesure du taux de l'humidité relative

Les taux des humidités relatives intérieures et extérieures sont mesurés à 1.2 m au-dessus du niveau du sol, ce qui correspond à une hauteur acceptable avec les activités assises et debout. Les mesures sont exécutées dans des orientations différentes selon les chambres choisies pour l'étude. Elles sont prises à l'aide d'un thermo-hygromètre (figure 4.33) et d'un

enregistreur d'humidités pour faciliter le travail entre les chambres et afin de mettre le seuil de confort dans la meilleure objectivité faisable.



Figure 4.33 : Thermo-hygromètre.

4.4.2.2.3 Mesure des températures surfaciques

Les prises de mesures des températures surfaciques des parois intérieures et extérieures, des vitrages à l'intérieur et à l'extérieur ont été effectuées à l'aide d'un thermomètre infrarouge (Figure 4.34) en gardant les repères mentionnés sur les faces intérieures et extérieures de chaque chambre. L'objectif des mesures des températures surfaciques était de distinguer le degré de l'inertie thermique du bâtiment.



Figure 4.34 : Thermomètre infrarouge.

4.4.2.2.4 Détails des chambres choisies pour les prises des mesures

Les détails des chambres choisies pour les prises des mesures dans l'hôtel Ibis d'Alger sont présentés dans la (Figure 4.35).

La première chambre est située au cinquième étage avec une orientation sud-est, elle a une forme rectangulaire, sa surface traitée est de 13,4 m², sa longueur est de 5,60 m et la largeur de 3,1 m et sa profondeur est de 3,2 m comme illustré dans la figure où les surfaces choisies pour les mesures sont la fenêtre sud-est et le mur adjacent nord-est. La deuxième chambre prise comme étude de cas est située au cinquième étage avec une orientation nord-ouest, elle a une forme rectangulaire, sa surface de plancher traitée est de 12,8 m², sa longueur est de 5,60 m et la largeur de 3 m et sa profondeur est de 3,2 m. comme illustré dans où les surfaces choisies pour les mesures sont la fenêtre nord-ouest.

Pour les détails des chambres choisies pour les prises des mesures dans l'hôtel de Béjaïa sont présentés dans la (Figure 4.36).

La première chambre choisie a une forme rectangulaire, une superficie de 46,50 m² et est située au quatrième étage avec une orientation nord-ouest de la façade principale. Ses dimensions typiques sont de 3,2 m de longueur, 5 m de largeur et 3,2 m de profondeur et une deuxième chambre orientée vers le nord-est.

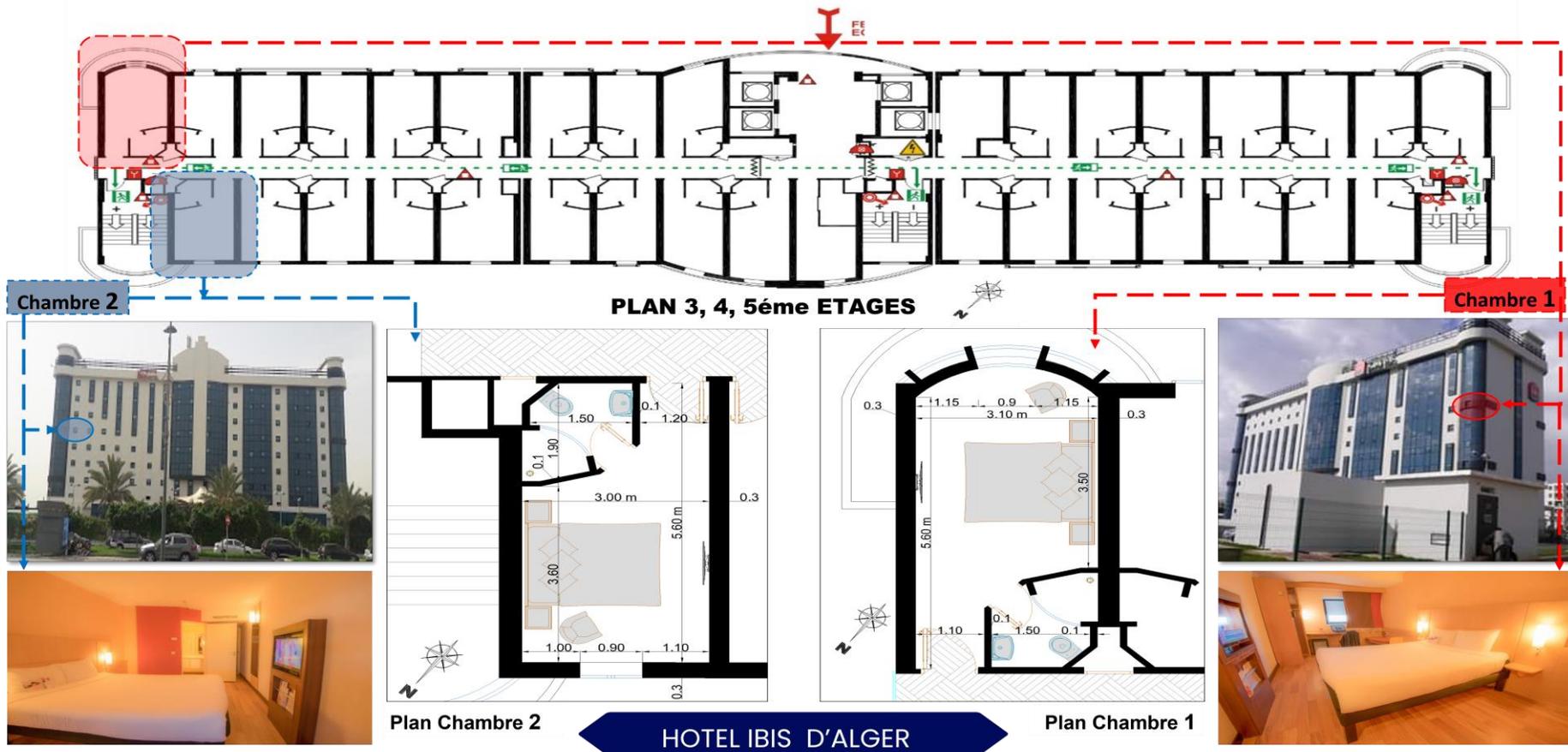


Figure 4.35 : Les détails des chambres choisies dans l'hôtel Ibis Alger.

Source : Kihal & al, 2022

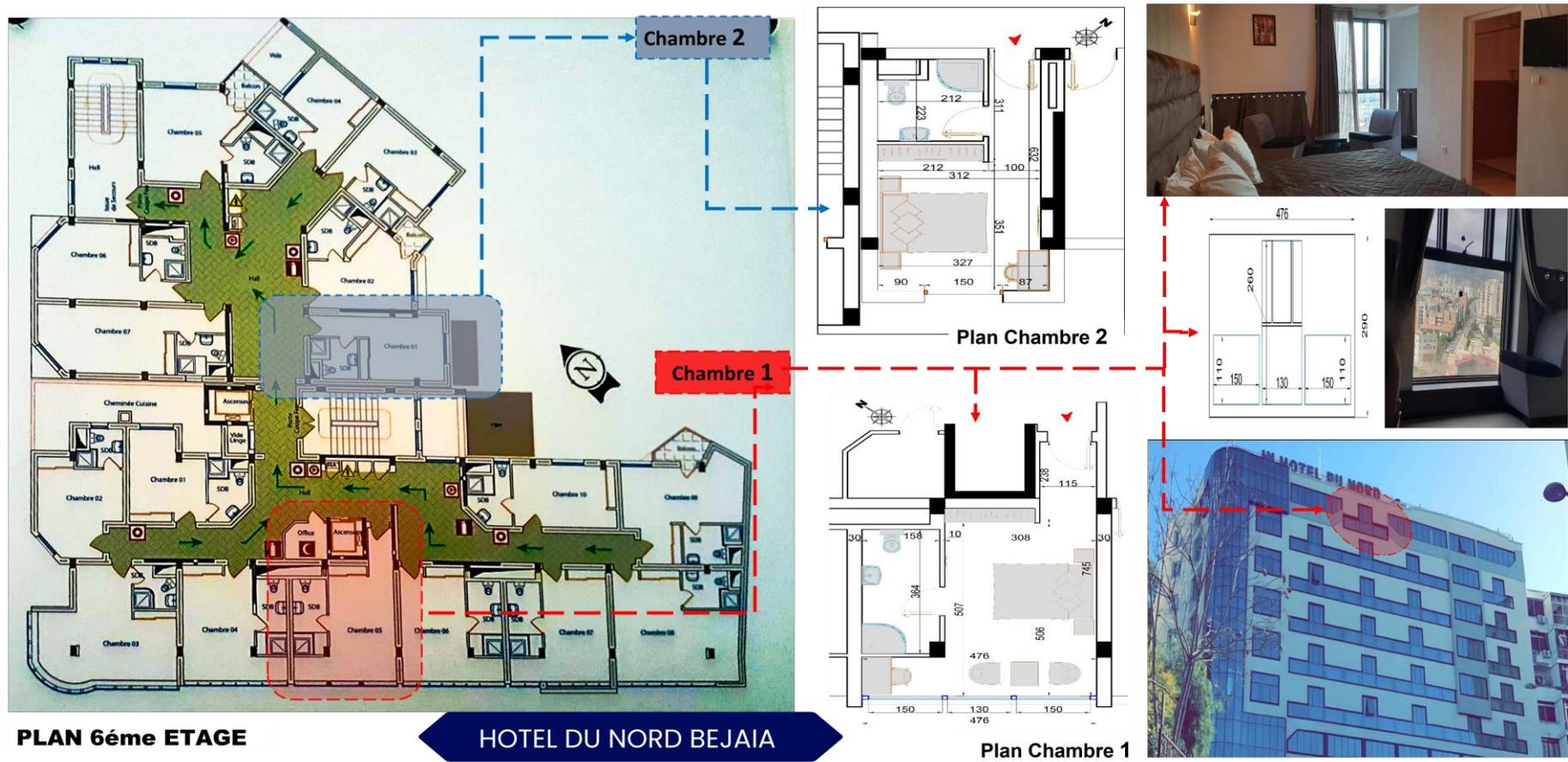


Figure 4.36 : Les détails des chambres choisies dans l'hôtel de Bejaïa.

Source : Auteur, 2022.

4.5 Résultats de l'analyse thermographique des cas d'étude

Selon la norme NF EN 13187, la thermographie présente une technique qui contribue à la visualisation et à la représentation de la répartition de température sur l'enveloppe ou une partie de la surface de l'enveloppe d'un bâtiment. Cette répartition contribue à détecter des défaillances thermiques de tout type possible, par exemple, les défauts d'isolation, l'existence des humidités, des infiltrations d'air ...etc.). Alors, la technique de la thermographie infrarouge à l'aide d'une caméra de détection infrarouge facilite la visualisation de cette répartition.

Concernant notre travail, la prise des photos par la caméra thermique a été effectuée en période d'hiver afin d'arriver à obtenir un meilleur résultat des images, car parmi les conditions de déroulement de prise des clichés est celle de choisir des journées où la différence des températures intérieures et extérieures soit importante avec un ciel dégagé sans pluie, sans neige, ou pendant des journées où le taux d'humidité trop élevé (ALEC ,2016).

4.5.1 Analyse des images thermiques des deux hôtels

La réalisation de l'étude thermographique des deux hôtels a été faite par la prise des images thermiques des façades extérieures de chaque hôtel ainsi qu'à l'intérieur des chambres. Une inspection thermique a été effectuée afin de clarifier certains aspects de confort et d'humidité et de détecter les plus grandes déperditions thermiques. Dans cette étude, nous avons utilisé une caméra thermique de la société TROTEC EC040 (Figure 4.37) (laboratoire LAEEE). Le travail a eu lieu le 03 janvier 2020 pour l'hôtel d'Alger et le 06 janvier 2020 pour l'hôtel de Bejaia dans l'après-midi, la température extérieure étant de +3 °C et l'humidité de 49% à Alger et de +1°C et l'humidité de 55%.



Figure 4.37 : Caméra thermique TROTEC EC040.

4.5.1.1 Analyse des façades extérieures

Une caractéristique essentielle dans un examen d'imagerie thermique est la plage de température utilisée dans l'échelle à côté de chaque image thermique. De plus, il est très important d'examiner les valeurs de température sur chaque échelle, car, bien que les couleurs puissent sembler similaires sur un certain nombre d'images, les températures sur les échelles individuelles utilisées peuvent, en fait, être différentes. Les couleurs utilisées dans les images thermiques peuvent être basées sur différentes palettes, qui sont artificiellement ajoutées pour rendre les images plus faciles à interpréter et sont généralement reproduites dans une échelle de couleurs à côté de l'image elle-même. Cette échelle indique la température relative indiquée par la couleur de l'image. À droite de cette échelle, des valeurs numériques en degrés Celsius sont données. Le thermographe peut choisir parmi un certain nombre de gammes de couleurs ou de palettes pour représenter la plage de températures dans l'image.

Les images thermiques (Figure 4.38) et (Figure 4.39) dans les deux hôtels indiquent clairement l'insuffisance ou l'absence d'isolation au niveau des ouvertures et de la toiture et montrent que la dalle du dernier étage et les ouvertures en vitrage présentent de larges zones colorées en rouge, ce qui indique une température apparente de surface bien plus élevée que le reste de l'enveloppe de l'hôtel.

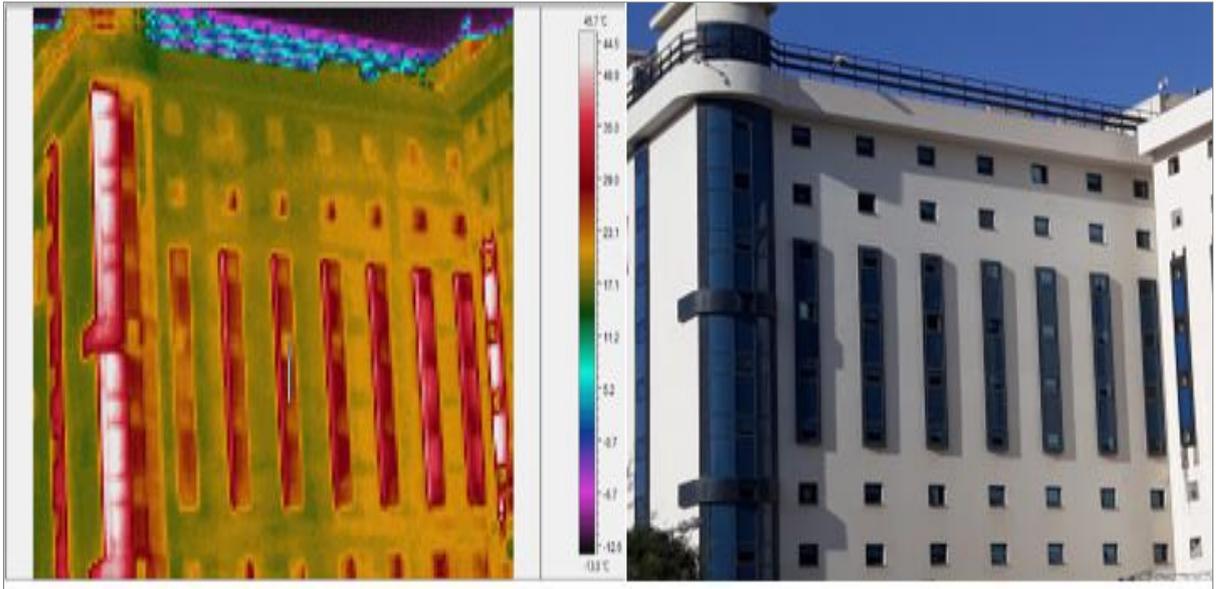


Figure 4.38 : Image thermique visuelle de la façade extérieure (hôtel d'Alger).

Source : Kihal & al, 2022.

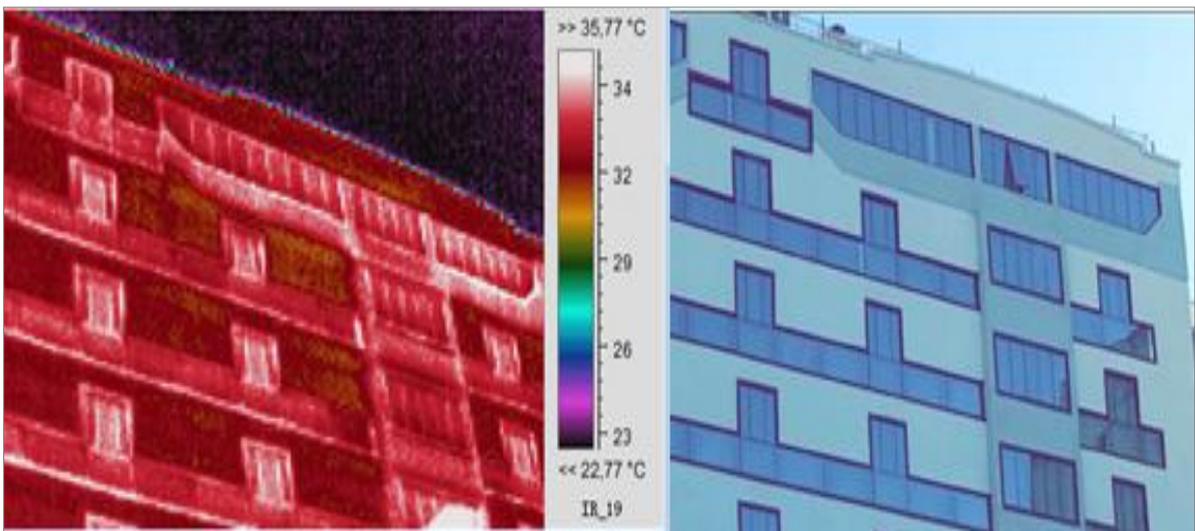


Figure 4.39 : Image thermique et visuelle de la façade extérieure (hôtel de Bejaïa).

Source : Kihal & al, 2024.

4.5.1.2 Analyse à l'intérieur des chambres

Les images thermiques prises à l'intérieur d'une chambre (Figure 4.40) exactement dans les coins montrent qu'il existe de nombreuses sections qui ne sont pas isolées, comme indiqué par les couleurs plus chaudes.

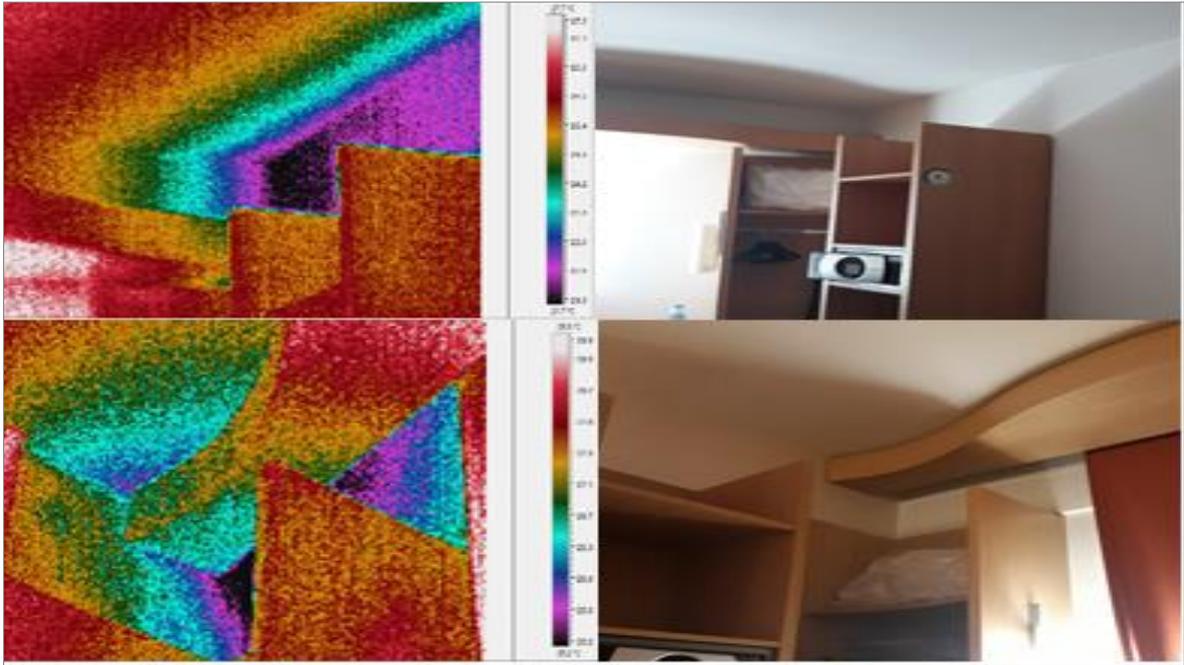


Figure 4.40 : Image thermique et visuelle des chambres (hôtel d'Alger).
Source : Kihal & al, 2022.

Les images thermiques de la fenêtre prise à l'intérieur d'une chambre de l'hôtel d'Alger (Figure 4.41) et celle à l'intérieur de l'hôtel de Bejaïa (Figure 4.42) montrent la grande déperdition thermique au niveau de cette dernière pourtant qu'elle est dotée d'un double vitrage.

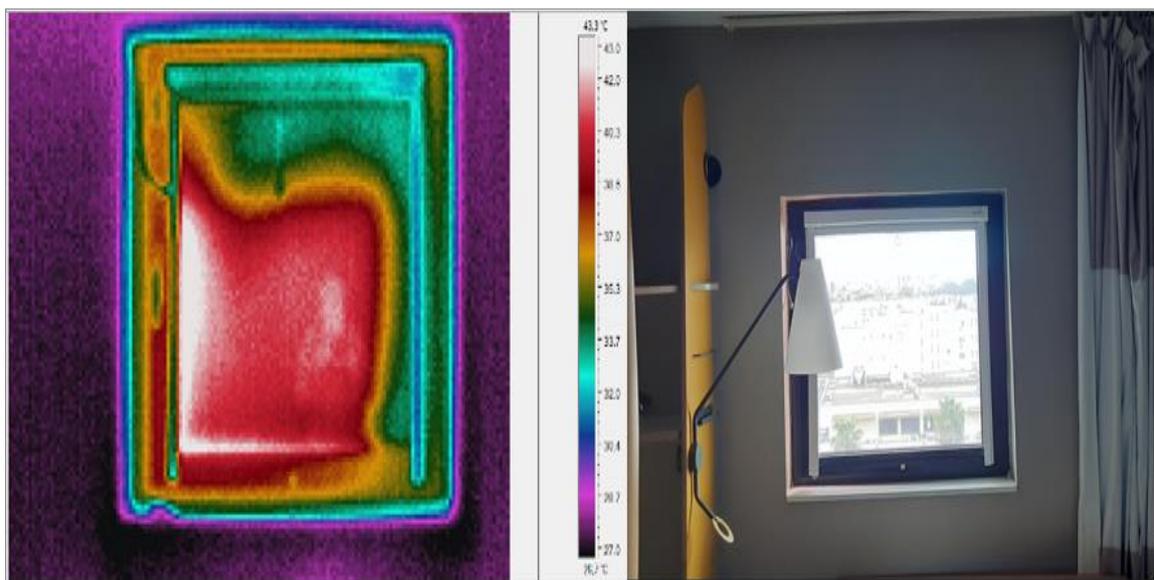


Figure 4.41 : Image thermique et visuelle de la fenêtre (hôtel d'Alger).
Source : Auteur, 2020.

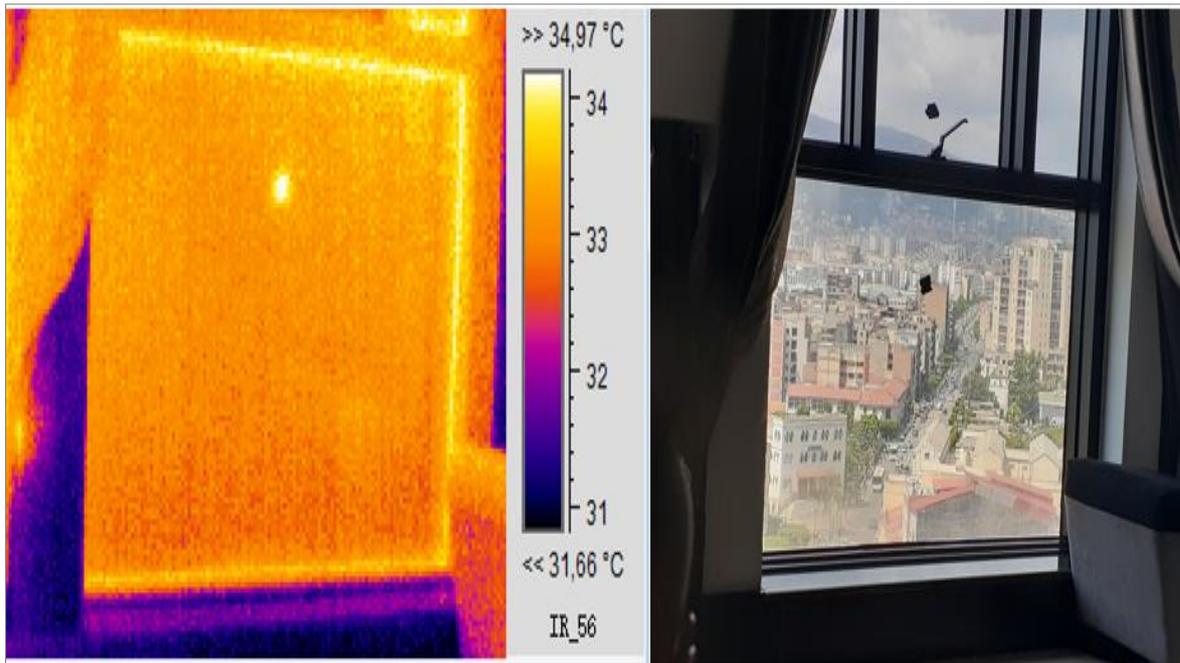


Figure 4.42 : Image thermique et visuelle de la fenêtre (hôtel de Bejaïa).

Source : Auteur, 2020.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation et un traitement des différentes caractéristiques climatiques des deux régions d'étude sous un climat méditerranéen. Il a été déduit que ce type de climat est caractérisé par l'existence des radiations solaires très importantes, ainsi, sur une longue période de l'année, la température de l'air est trop élevée. De ce fait, le confort thermique en période d'été nécessite une réduction importante des rayonnements solaires transmis et absorbés par l'enveloppe du bâtiment en général et les surfaces vitrées en particulier.

De plus, nous avons présenté une étude bioclimatique qui aide à définir les différentes techniques de contrôles microclimatiques et à développer une conception architecturale capable d'augmenter les conditions de confort à l'intérieur du bâtiment.

D'après les résultats obtenus dans ce chapitre, la thermographie (imagerie thermique) est un outil très utile pour l'évaluation qualitative de la protection thermique des bâtiments. Il permet de détecter les endroits présentant les plus grandes pertes de chaleur et les défauts ou écarts éventuels par rapport aux conditions de conception, mais afin d'obtenir des résultats de haute qualité, il est nécessaire de répondre à un nombre d'exigences de mesure

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION DE L'INVESTIGATION IN SITU

Introduction

Ce chapitre est organisé en deux parties. La première partie présente la discussion des résultats de l'enquête effectuée auprès des clients pour déterminer leurs degrés de confort thermique dans les chambres. La deuxième partie est consacrée à la discussion et à l'interprétation des mesures prises à l'intérieur et à l'extérieur des hôtels afin de vérifier l'effet de l'enveloppe extérieure sur le confort intérieur des chambres d'hôtel.

Pour atteindre cet objectif, une campagne de mesures a été réalisée sur terrain, où quatre chambres représentatives ont servi de support pour notre étude (deux chambres pour chaque hôtel). Les chambres sélectionnées ont les mêmes caractéristiques constructives (des matériaux standards) mais diffèrent par : l'orientation par rapport au soleil, la géométrie, la surface et le type et la taille des ouvertures vitrées.

5.1 Évaluation de la qualité du confort : évaluation post-occupationnelle des clients dans les chambres d'hôtel

L'hôtel en tant que lieu de repos des occupants est conçu pour disposer des chambres avec un confort thermique adapté à des températures de l'air confortables pendant la journée et la nuit. Généralement, la température de l'air du bâtiment doit être maintenue en fonction de la vitesse de l'air, de l'intensité du rayonnement et du niveau d'humidité dans le but d'obtenir un confort thermique (Tharziansyah & Rahman, 2008).

Pour notre cas, l'évaluation d'une ambiance thermique se fait sur la base de deux indices importants (PPD et PMV), qui sont également nécessaires pour la réalisation d'un questionnaire d'évaluation post-occupationnelle (Figure 5.1) :

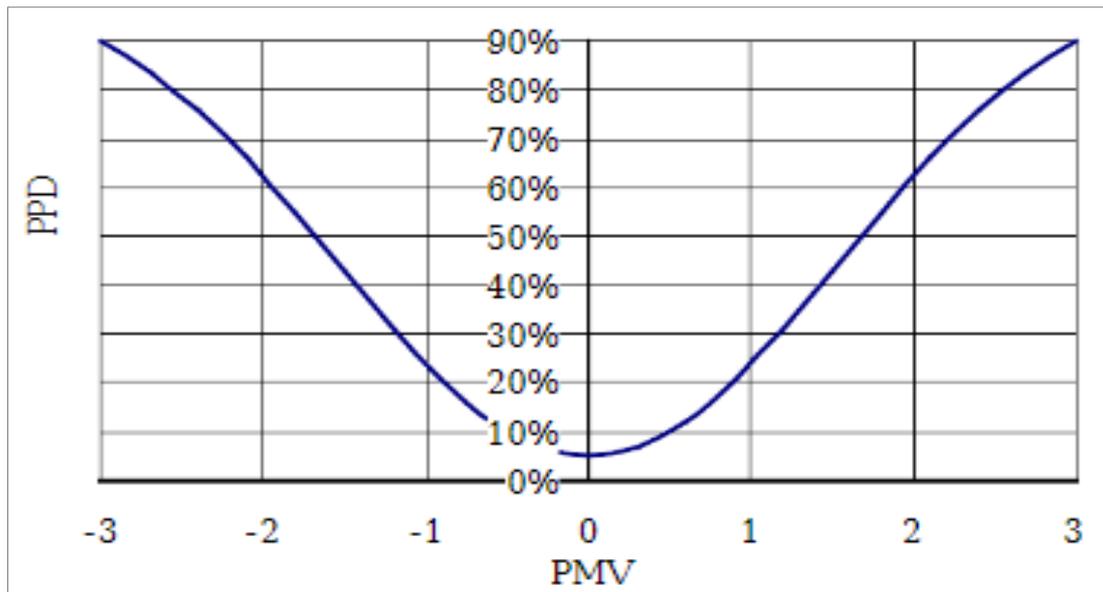


Figure 5.1 : Relation entre le PPD et le PMV.

Source : Roulet ,2016.

1-le PMV (le vote moyen prévisible) : le résultat moyen des votes des personnes enquêtées qui expriment leurs opinions sur leurs sensations thermiques moyennes selon l'échelle proposée par Fanger (Fanger, 1982) dont la plage va de (-3) à (+3) où chaque chiffre représente une sensation thermique (Moujalled, 2007, Richieri, 2008) (Figure 5.2).

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

Figure 5.2 : La sensation thermique exprimée.

Source : Jedidi et Benjeddou, 2016.

2-Le PPD (le pourcentage prévisible d'insatisfaits) : Étant donné que l'indice PMV n'est pas suffisant pour représenter la satisfaction des utilisateurs et qu'il existe des situations dans lesquelles les personnes sont insatisfaites, l'indice PPD a été développé par Fanger pour compléter le premier indice PMV et permettre de définir le pourcentage des individus insatisfaits vis-à-vis de l'ambiance thermique. (Robillart, 2015).

5.1.1 Le processus de déroulement de l'étude qualitative auprès des clients des deux hôtels

L'étude qualitative (Figure 5.3) porte sur l'évaluation de la sensation et la satisfaction thermique des clients occupent les chambres des hôtels pendant les journées de prise de mesure, notre questionnaire est basé sur des synthèses extraites de lectures préliminaires d'une étude bibliographique sur le confort thermique dans les hôtels (chapitre 02) , Il est important de noter que nous avons informé les clients qui répond de but de l'enquête afin qu'ils puissent classer leurs réponses avec ou sans moyens actifs (sans chauffage et sans climatisation) et être le plus objectif possible.

Parallèlement, les pratiques des clients peuvent nous renseigner sur l'environnement thermique de la chambre qu'ils utilisent. Nous soulignons que la distribution du questionnaire auprès des clients était une étape très difficile vue la nature d'occupation d'un hôtel ou certains clients ont refusé totalement de répondre et d'autres ont accepté de répondre, mais ils ont refusé de rester dans des conditions naturelles (sans chauffage pour la période d'hiver et sans climatisation pour la période d'été), ce qui donne parfois des réponses inadéquates et inappropriées.

Le questionnaire final est constitué de 26 questions fermées avec des champs facultatifs pour fournir des explications ou des détails (voir Annexe E). Certaines questions visent uniquement à recueillir l'avis des clients et ne sont pas utilisées pour interpréter les résultats. Nous avons le distribué dans les deux hôtels en deux mois différents (pendant les journées de prise de mesure), le premier au mois de janvier pour déterminer le degré de satisfaction en hiver (confort d'hiver) et le deuxième au mois d'août pour évaluer le confort d'été.

Il est divisé en quatre parties qui traitent les points suivants :

1-Des informations générales sur le client interrogé (le sexe, l'âge et la localisation et l'orientation de la chambre, la durée d'occupation de la chambre).

2- Le confort thermique (été, hiver) (les sensations, la satisfaction, les pratiques utilisées pour améliorer le confort thermique et l'utilisation des systèmes de chauffage et de la climatisation).

3-Impact de l'enveloppe extérieure de l'hôtel (la performance, les fenêtres vitrées, les protections).

4-La réduction des consommations d'énergies dans les hôtels (la manière de l'utilisation des équipements dans une chambre d'hôtel, le degré de sensibilisation de réduction des consommations d'énergie dans une chambre d'hôtel).

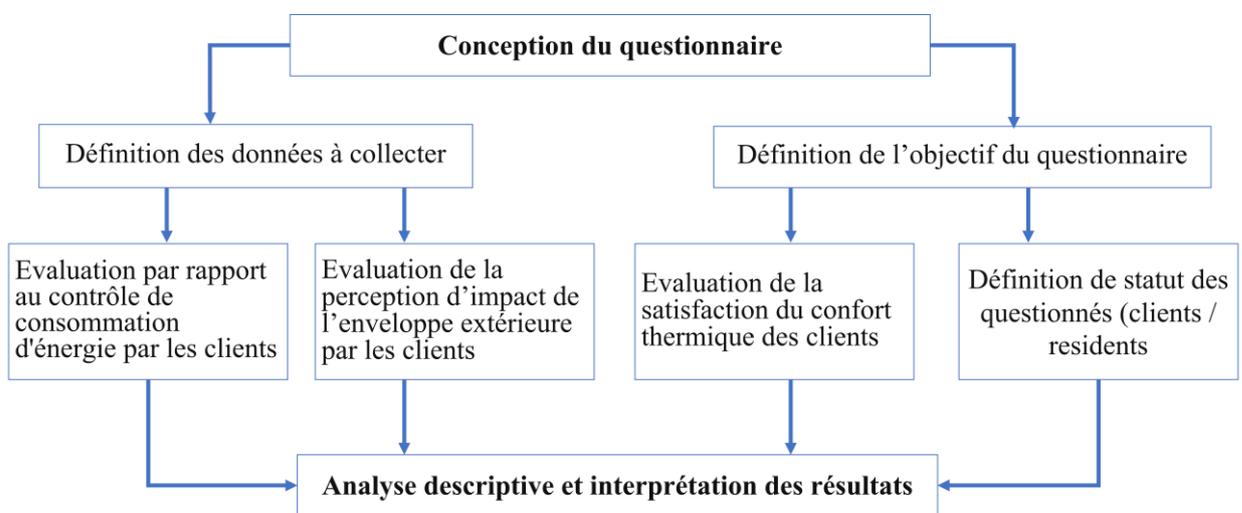


Figure 5.3 : Le processus de déroulement de l'étude qualitative.

Source, Auteur,2020.

5.1.2 Présentation des résultats des informations générales sur les personnes questionnées

Afin de connaître le seuil de croisement des résultats d'enquête avec ceux des mesures, nous avons opté pour un questionnaire de confort thermique sans moyens actifs tout en cherchant l'opinion des clients. Comme il a été déjà indiqué précédemment, cinquante questionnaires ont été distribués dans chaque hôtel d'étude. Le logiciel utilisé dans l'analyse et le traitement statique des données recueillies est l'Excel (Microsoft Office LTSC Professionnel Plus 2021).

Le pourcentage des hommes est de 56 % et 44 % des femmes à l'hôtel d'Alger et 64 % des hommes et 36 % des pour l'hôtel de Bejaïa (Figure 5.4).

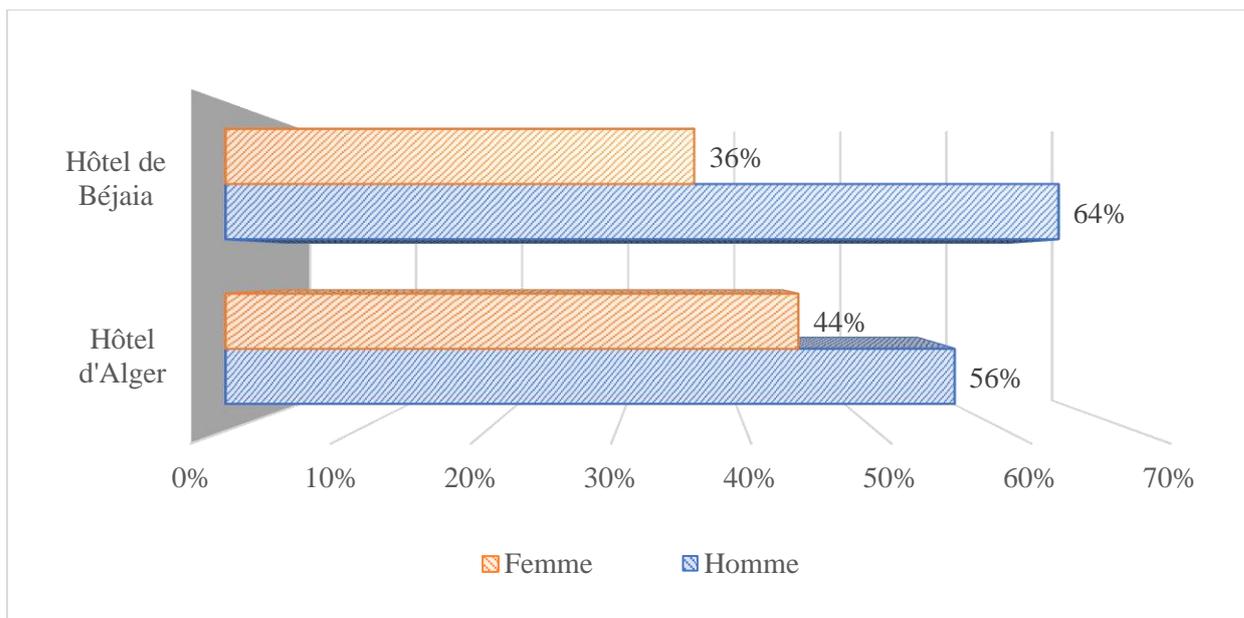


Figure 5.4 : Répartition en pourcentage du sexe dans chaque hôtel d'étude.

Source : Auteur, 2022.

Par ailleurs, on remarque que la classe d'âge des participants ayant entre 30-50 ans est la plus dominante dans les deux cas d'étude, avec un pourcentage de 58% dans l'hôtel de Bejaïa et 54% dans l'hôtel d'Alger. Ensuite, la tranche d'âge de plus de 50 ans occupe la deuxième place avec un pourcentage de 34 % dans l'hôtel d'Alger et 32 % dans l'hôtel de Bejaïa. Certes, les personnes ayant moins de 30 ans sont les moins contribuées à notre questionnaire avec 12% dans l'hôtel d'Alger et 10 % dans l'hôtel de Bejaïa (Figure 5.5).

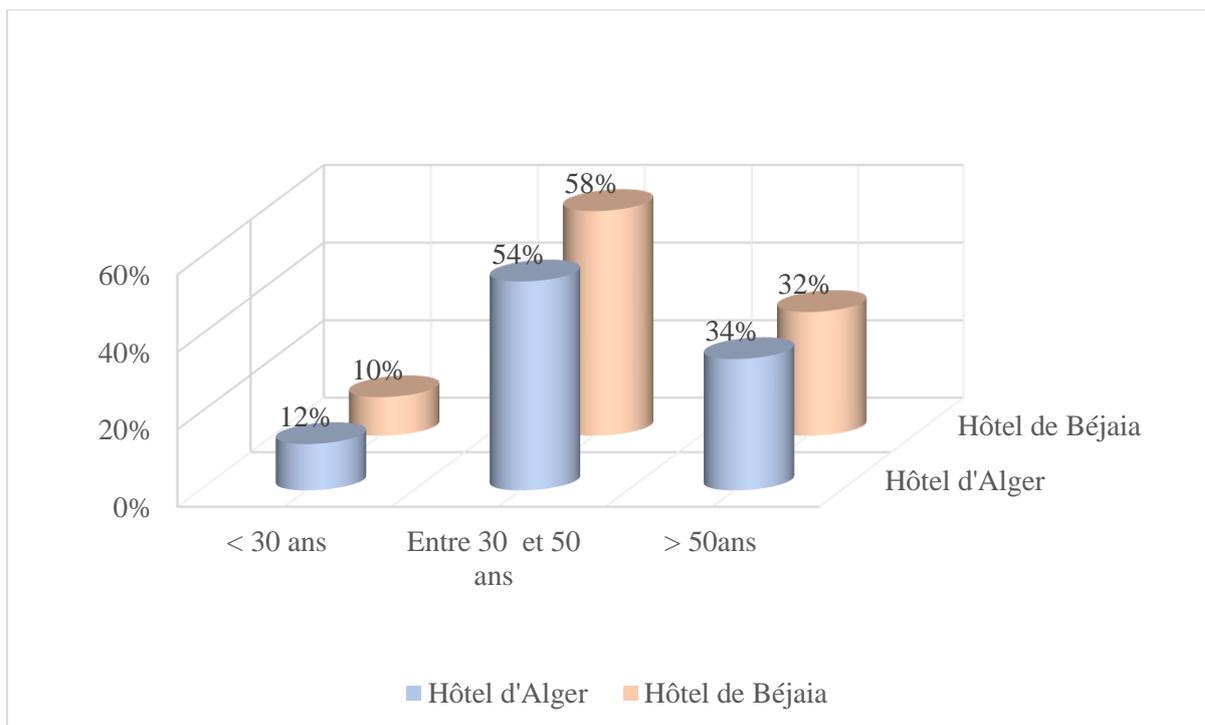


Figure 5.5 : Les tranches d'âge des clients participants.

Source : Auteur, 2022.

Pour plus d'information, et afin de bien cerner les réponses sur les parties suivantes, nous avons remarqué à travers ce questionnaire que les chambres de l'ensemble des personnes interrogées sont situées dans des étages intermédiaires où 54 % des chambres sont orientées vers le sud et 46% vers le nord pour l'hôtel d'Alger, concernant l'hôtel de Bejaïa 62% sont orientées vers le sud et 38% sont orientées vers le nord. De plus, la durée d'occupation d'une chambre dans un hôtel est l'un des facteurs importants qui influe sur la nature des réponses, surtout en ce qui concerne le confort thermique. Pour notre cas, la durée d'occupation est plus de 92 % pour une à deux nuitées dans les deux hôtels.

5.1.3 Présentation des résultats d'évaluation de la satisfaction à l'égard du confort thermique dans la chambre en été et en hiver

D'après les résultats obtenus, en l'hiver 44% des clients sont plus sensibles à la température qu'à l'humidité qui présente aussi un pourcentage non négligeable de 34%, par la suite l'éclairage et le mouvement d'air de 16% et 6% (Figure 5.6).

Par contre, en été l'humidité présente le paramètre le plus important avec un pourcentage de 48% pour les deux hôtels étudiés, puis la température avec un pourcentage de 35% les mouvements d'éclairage avec 12% et 5% (Figure 5.7). Par conséquent, La

température et l'humidité représentent des variables très importantes pour assurer le confort des clients dans une chambre d'hôtel. Cela nous aidera à choisir honnêtement les paramètres à mesurer pour la suite de notre travail expérimental.

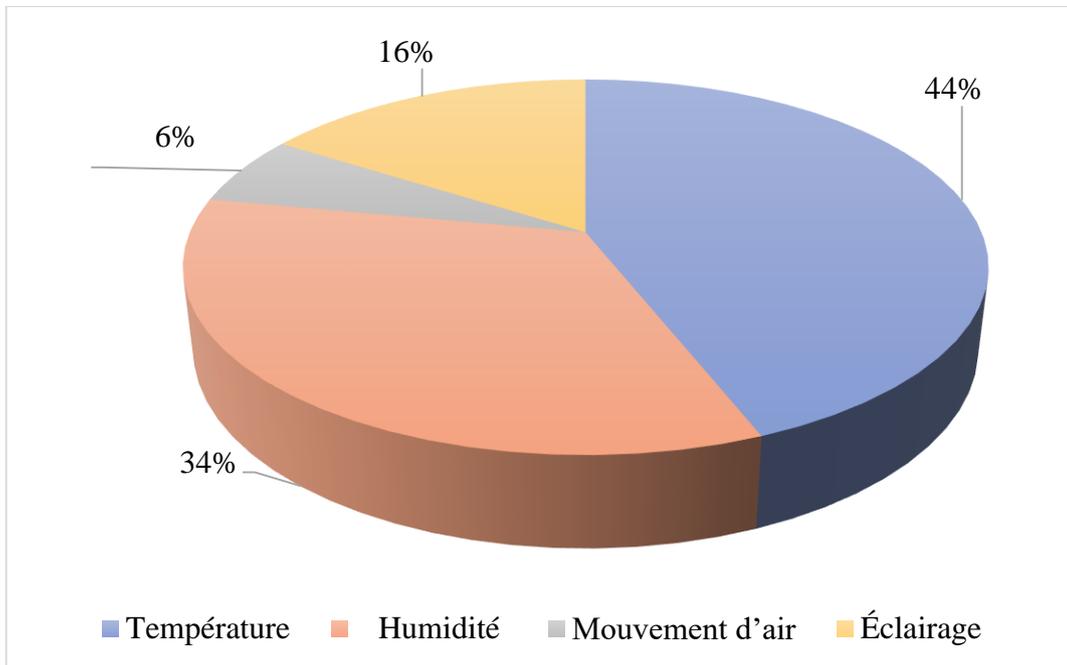


Figure 5.6 : Les paramètres influent sur le confort thermique en hiver.

Source : Auteur, 2022.

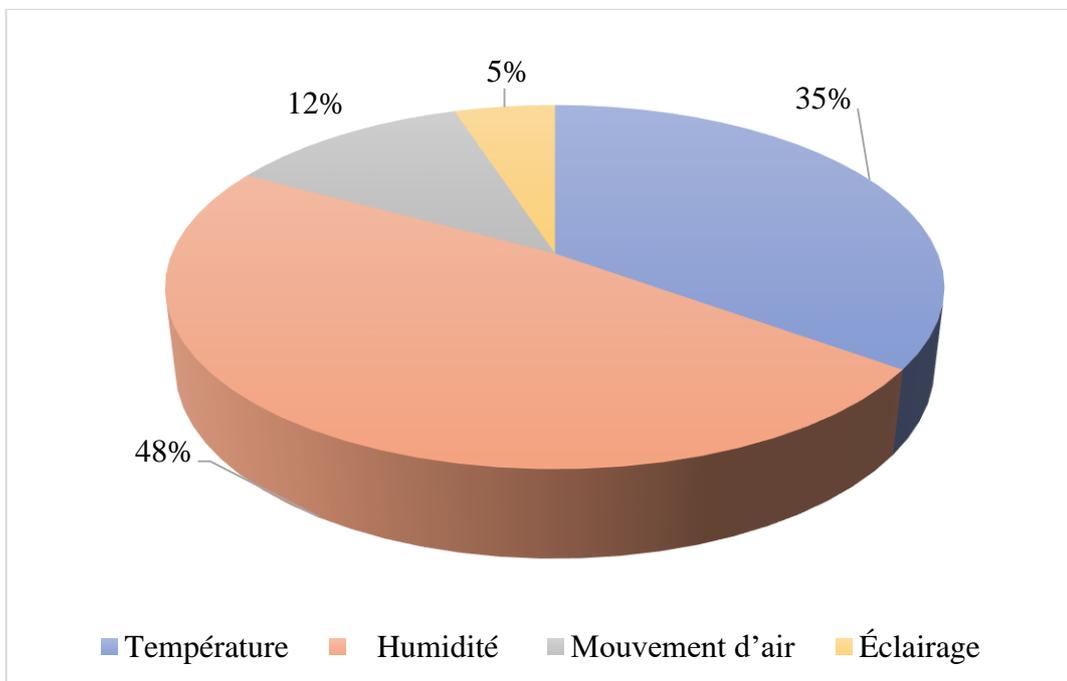


Figure 5.7 : Les paramètres influent sur le confort thermique en été.

Source : Auteur, 2022.

La température est un facteur très important qui influe sur le confort thermique des clients. Pour enrichir notre questionnaire, nous avons choisi de connaître les souhaits concernant les températures préférées dans une chambre d'hôtel en hiver et en été.

En période hivernale, la plupart des clients dans les deux hôtels étudiés ont souhaité une température de plus de 27 C° avec un pourcentage de 54 % dans l'hôtel d'Alger et 62 % dans l'hôtel de Bejaia. Par la suite, 42 % pour l'hôtel d'Alger et 36% pour l'hôtel de Bejaïa ont souhaité une température entre 25 C° et 27 C° (Figure 5.8).

Pendant la période estivale, la quasi-totalité des clients ont souhaité une température de moins de 25 C° pour les deux cas étudiés, avec un pourcentage de 60 % pour l'hôtel d'Alger et 64 % pour l'hôtel de Bejaïa. Par la suite, 36% des clients pour l'hôtel d'Alger et 34% pour l'hôtel de Bejaïa ont souhaité une température entre 25 C° et 27 C° (Figure 5.9).

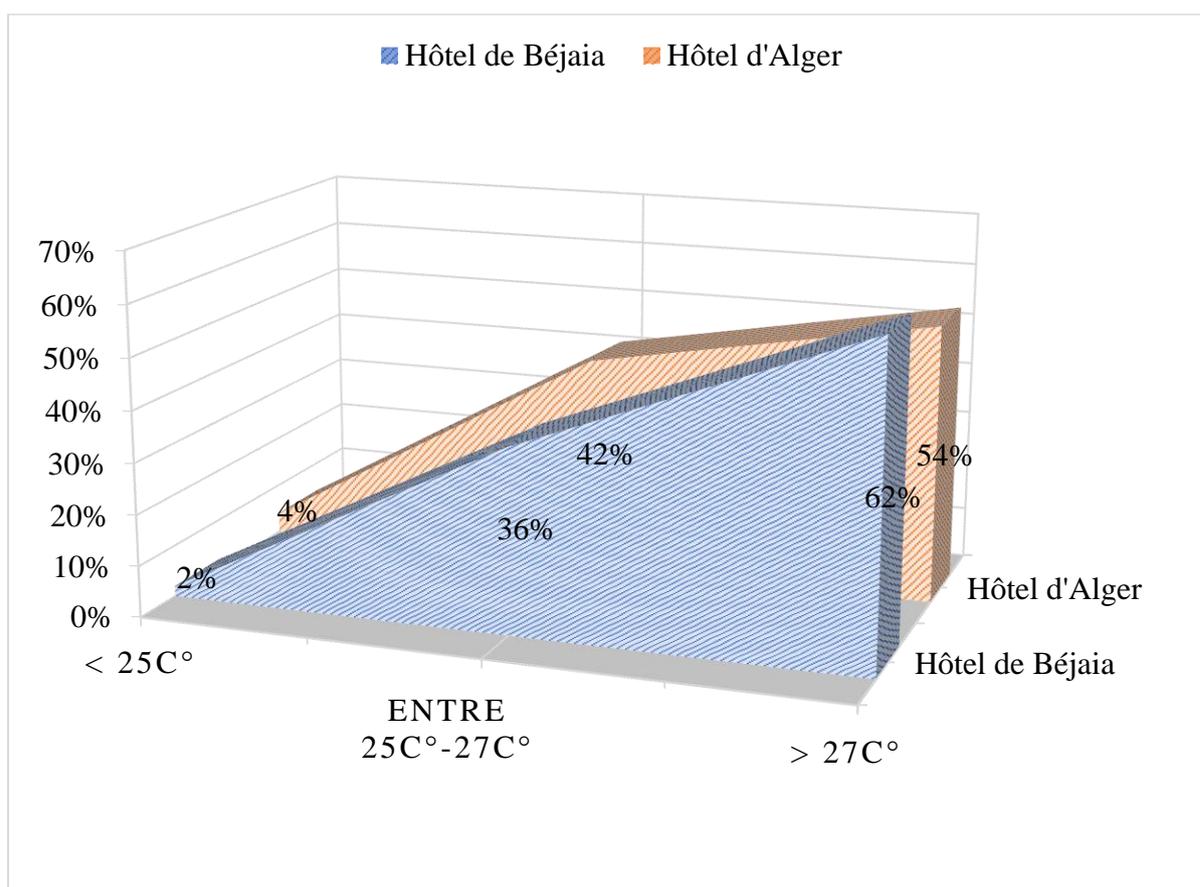


Figure 5.8 : Température souhaitée en hiver dans les chambres d'hôtel.

Source : Auteur, 2022.

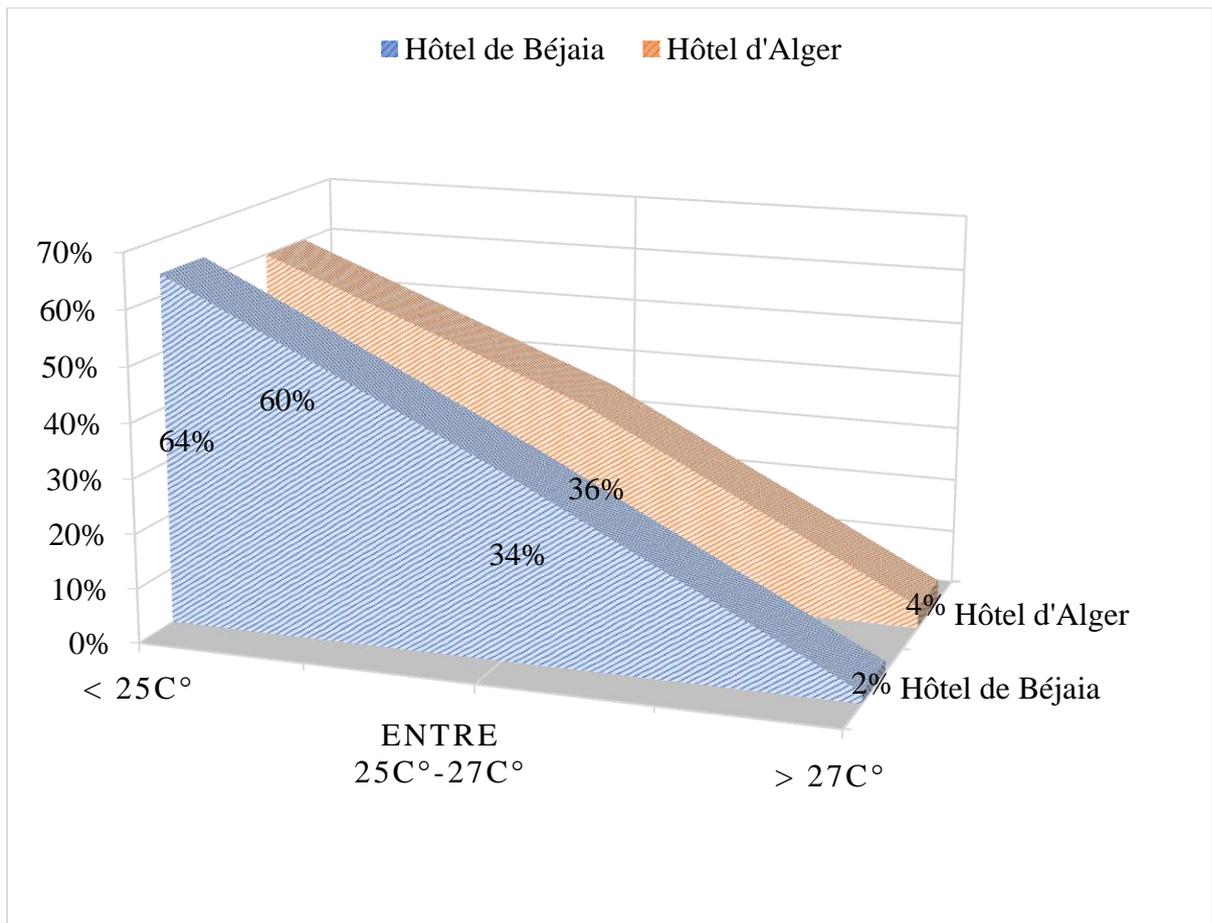


Figure 5.9 : Température souhaitée en été dans les chambres d'hôtel.

Source : Auteur, 2022.

5.1.3.1 Les sensations de la température ambiante de l'air à l'intérieur des chambres en été et en hiver

Pendant la période hivernale, la sensation de la température ambiante de l'air de la majorité des clients est entre "froid" et "légèrement froid" dans les deux hôtels avec un pourcentage de 40 % "froid", puis "légèrement froid" avec un pourcentage de 42% pour l'hôtel d'Alger. Concernant l'hôtel de Bejaïa un pourcentage de 46% « froid", puis "légèrement froid" avec un pourcentage de 34%.

Pour les clients qui sentent une température neutre, sont 14% pour l'hôtel d'Alger et 18% pour l'hôtel de Bejaïa, la sensation "très froid" est le moins choisi par les clients avec un pourcentage de 4% pour l'hôtel d'Alger et 2% pour l'hôtel de Bejaïa (Figure 5.10).

Durant la période estivale, la quasi-totalité des clients des deux hôtels ont une sensation "très chaude" avec un pourcentage de 44 % pour l'hôtel d'Alger et 48% pour l'hôtel de Bejaïa. Par la suite, 36% des clients ont une sensation "chaude" pour l'hôtel d'Alger et 30% pour l'hôtel de Bejaïa et un pourcentage de 18 % des clients pour l'hôtel d'Alger et 16% pour l'hôtel de Bejaïa ont une sensation thermique "légèrement chaude". Seulement 2% à l'hôtel d'Alger et 6% à l'hôtel de Béjaïa qui ont une sensation neutre par rapport à la température ambiante de la chambre (Figure 5.11).

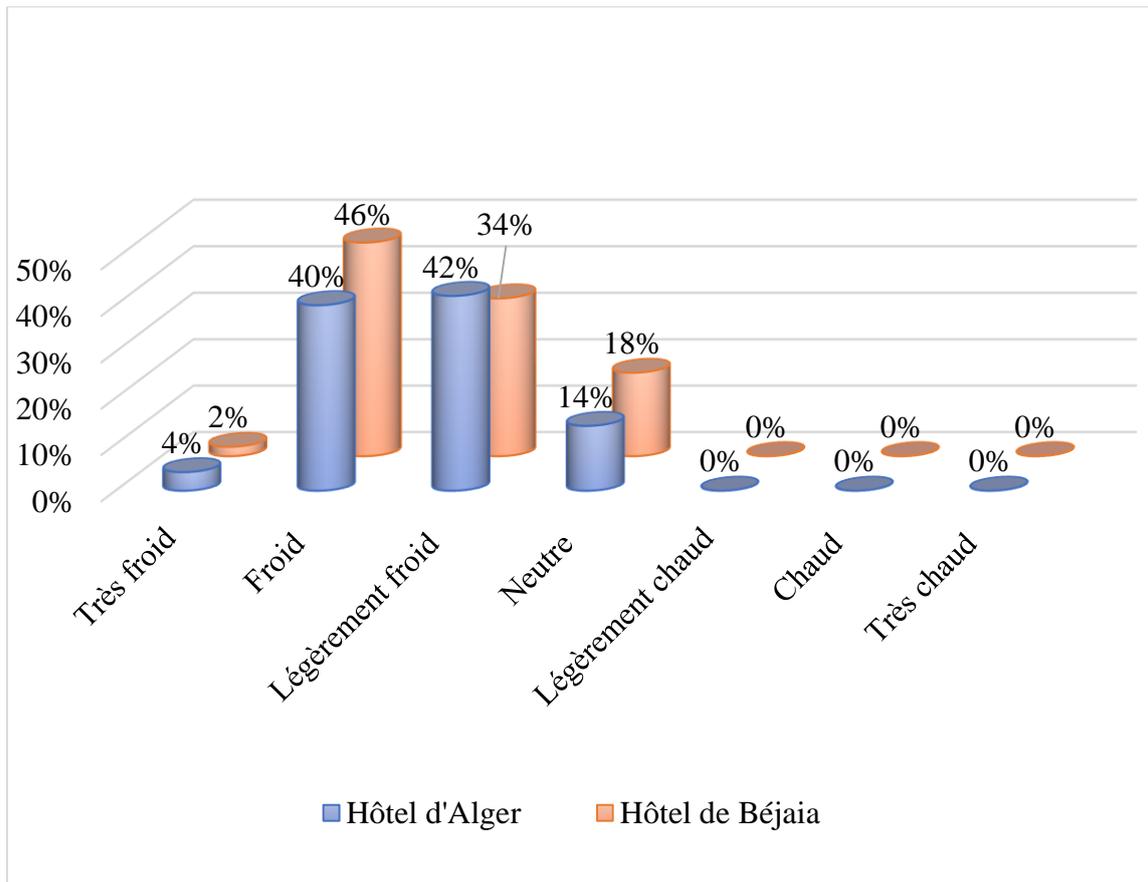


Figure 5.10 : Evaluation de la sensation de la température ambiante de l'air, en hiver.

Source : Auteur, 2022.

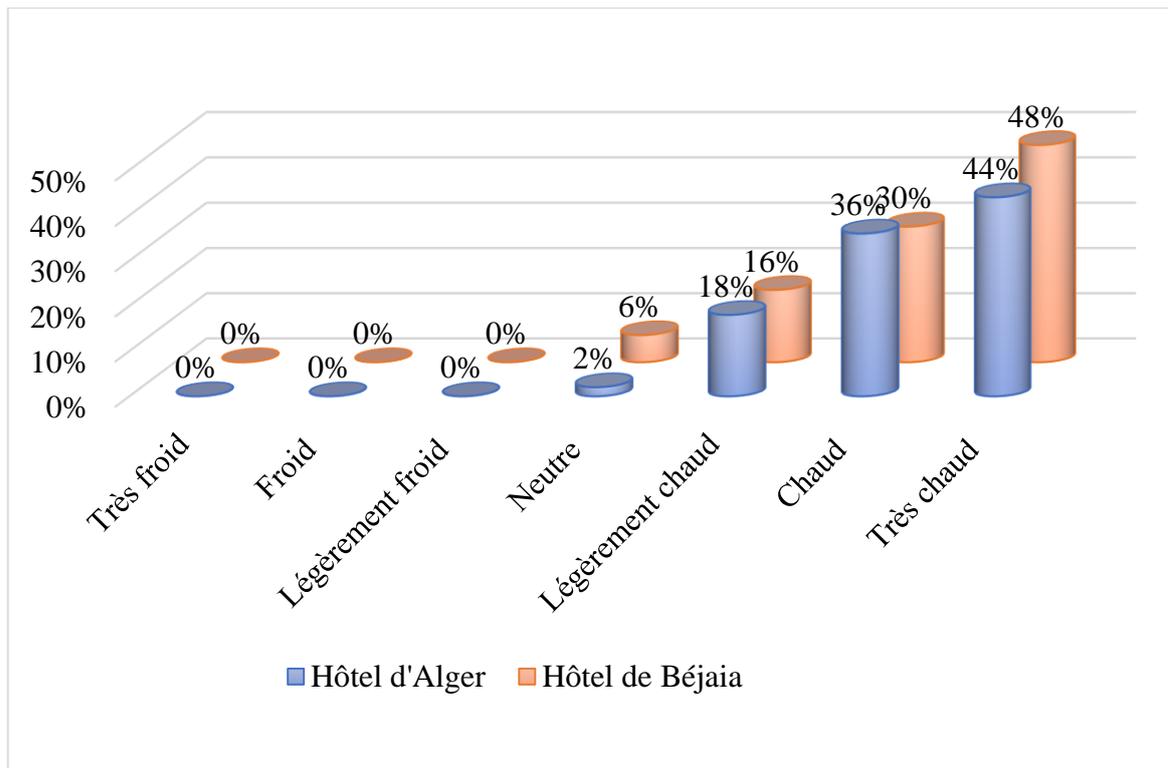


Figure 5.11 : Evaluation de de la sensation de la température ambiante de l'air, en été.

Source : Auteur, 2022.

La sensation thermique des clients dans les chambres étudiées était généralement "très chaude" en été (taux de 44 % et 48 %) et "froide" en hiver (taux de 40 % et 46 %). Ces pourcentages confirment que la température ambiante est en dehors de la plage de confort thermique, ce qui explique la grande utilisation de chauffage et de la climatisation dans les hôtels dans ce type de climat, car les clients demandent plus de confort dans une chambre d'hôtel à la fois en hiver et en été.

5.1.3.2 Les sensations d'humidité relative à l'intérieur des chambres, en été et en hiver

Dans une chambre d'hôtel, une humidité relative trop élevée est généralement provoquée par une mauvaise ventilation causée par les douches et les bains où l'humidité se propage de la salle de bains aux autres endroits, ainsi que par les exhalaisons du corps, la respiration et la transpiration.

À propos de l'humidité relative à l'intérieur des chambres étudiées et étant donné que le corps humain ne possède pas un organe capable de mesurer l'humidité relative, l'évaluation est difficile. Néanmoins, en période d'hiver, la moitié des clients interrogés ont

déclaré que la chambre est humide, avec un pourcentage de 50 % pour l'hôtel d'Alger et 60 % pour l'hôtel de Bejaïa. Puis certains clients ont ressenti une chambre sèche avec un pourcentage de 40 % pour l'hôtel d'Alger et 34% pour l'hôtel de Bejaïa (Figure 5.12). Ces réponses montrent que l'humidité à l'intérieur des chambres d'hôtel dans ce type de climat reste un problème, même en saison hivernale.

Pour la période d'été, le problème d'humidité relative à l'intérieur des chambres étudiées pose un grand problème influant sur le confort des clients. Presque tous les clients ont déclaré que la chambre est humide, avec un pourcentage de 78 % pour l'hôtel d'Alger et 86 % pour l'hôtel de Bejaïa (Figure 5.13). Cela confirme que le paramètre de l'humidité relative est un facteur très important pour assurer le confort dans les chambres d'hôtels.

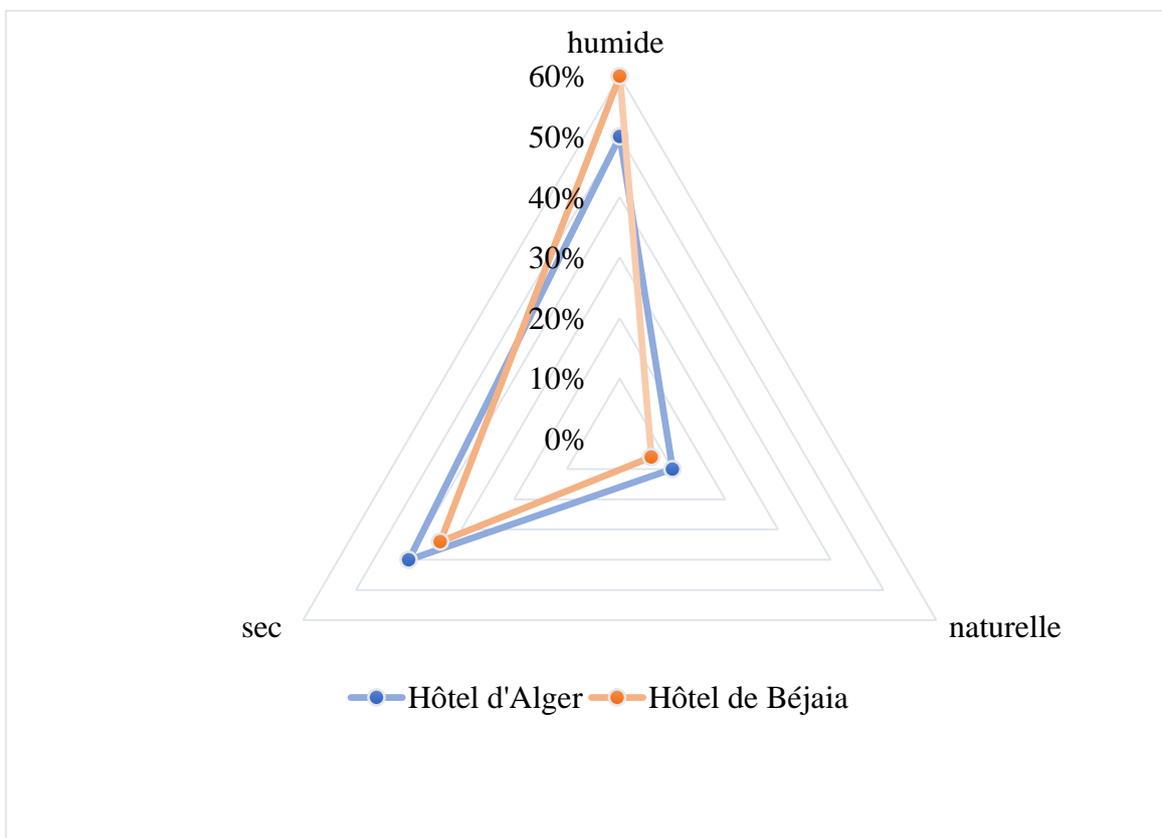


Figure 5.12 : Résultats d'enquête sur l'humidité relative à l'intérieur des chambres étudiées, en hiver.

Source : Auteur, 2022.

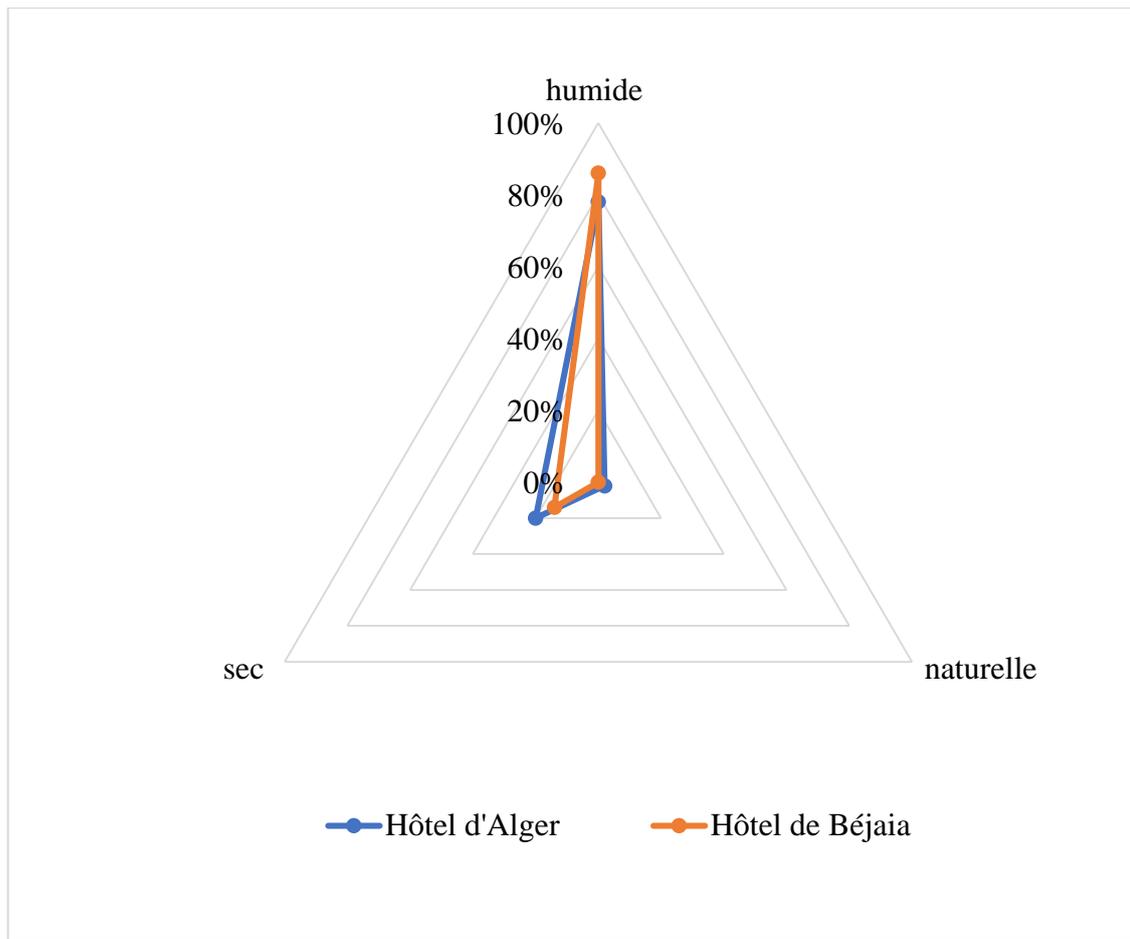


Figure 5.13 : Résultats d'enquête sur l'humidité relative à l'intérieur des chambres étudiées, en été.

Source : Auteur, 2022.

5.1.3.3 La satisfaction de la qualité de l'air à l'intérieur de chambres étudiées en hiver et en été.

En général, la qualité de l'air perçue par les clients à l'intérieur des chambres est considérée en majorité comme "peu satisfaisante" pour les deux cas et dans les deux saisons, avec un pourcentage de 46 % pour l'hôtel d'Alger et 50 % pour l'hôtel de Bejaïa en hiver (Figure 5.14) et de 60 % pour l'hôtel d'Alger et 64 % pour l'hôtel de Bejaïa en été (Figure 5.15). Seulement une minorité qui a répondu que la qualité de l'air est « moyennement satisfaisante ».

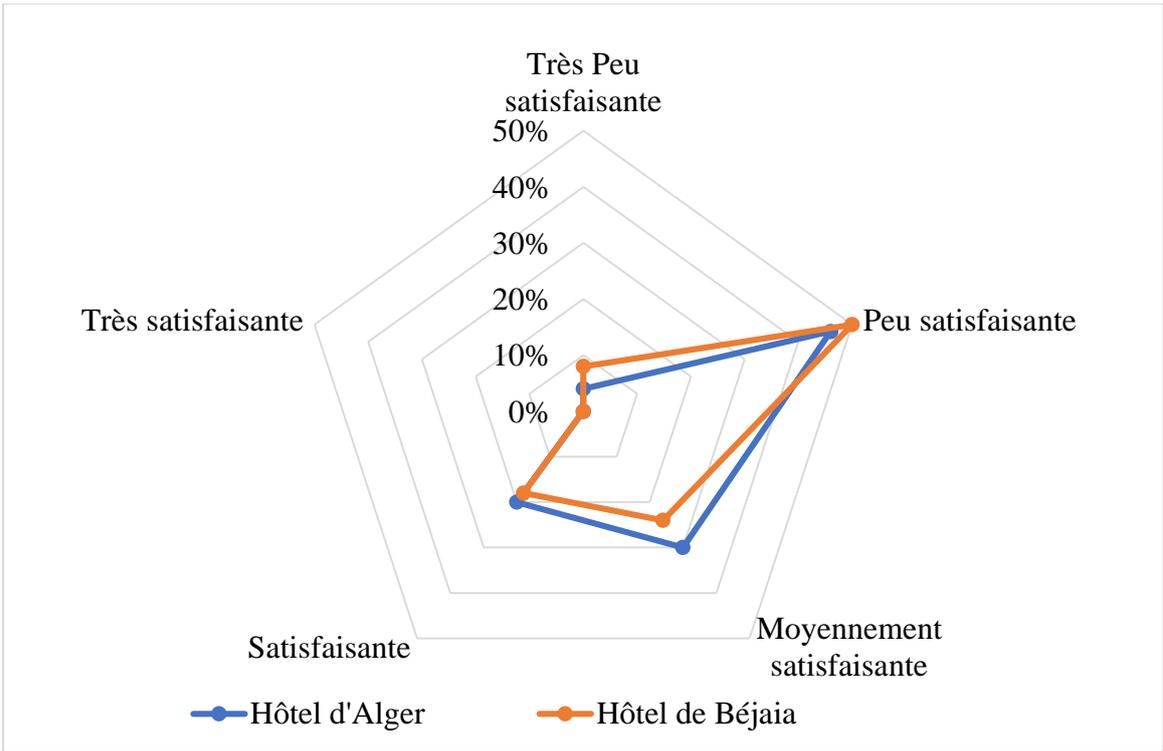


Figure 5.14 : Résultats d'enquête sur la satisfaction de la qualité de l'air en hiver.

Source : Auteur, 2022.

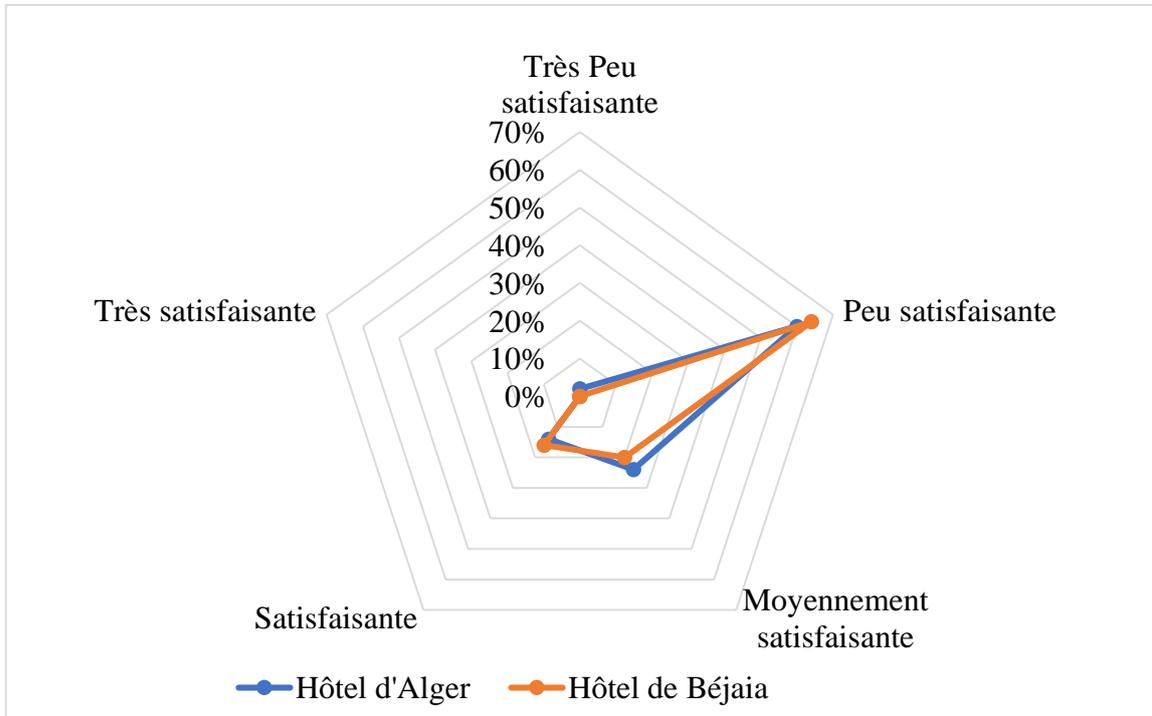


Figure 5.15 : Résultats d'enquête sur la satisfaction de la qualité de l'air en été.

Source : Auteur, 2022.

En plus, certains clients interrogés ont rajouté des commentaires où ils ont dit que la qualité de l'air au moment de l'enquête (dans des conditions naturelles) n'est pas du tout satisfaisante, ce qui les oblige à ouvrir les fenêtres pour renouveler l'air à l'intérieur de la chambre. En outre, ces résultats négatifs confirment pourquoi il est nécessaire d'intégrer des systèmes de ventilation à l'intérieur des chambres d'hôtel en connaissant la grande quantité d'énergie consommée par ces systèmes, mais le confort et la satisfaction des clients reste en priorité.

Les résultats présentés confirment les commentaires ajoutés. Ils présentent les réponses des clients concernant l'ouverture des fenêtres afin de renouveler l'air à l'intérieur de la chambre pour les deux cas d'étude et pour les deux saisons.

En hiver, les réponses sont 'souvent' avec un pourcentage de 40 % pour l'hôtel d'Alger et 46% pour l'hôtel de Bejaïa puis 'parfois' avec un pourcentage de 30 % pour l'hôtel d'Alger et 34 % pour l'hôtel de Bejaïa et 'toujours' avec un pourcentage de 30 % pour l'hôtel d'Alger et 20 % pour l'hôtel de Bejaïa Figure (5.16).

En ce qui concerne la période d'été, la majorité des clients ont répondu par 'toujours' avec un pourcentage de 60% pour l'hôtel d'Alger et 56 % pour l'hôtel de Bejaïa et 'souvent' pour l'ouverture des fenêtres et avec un pourcentage de 40% pour les deux hôtels (Figure 5.17). Ces réponses sont influencées par la dimension de la chambre occupée ainsi que la taille des fenêtres et l'état physique de chaque occupant.

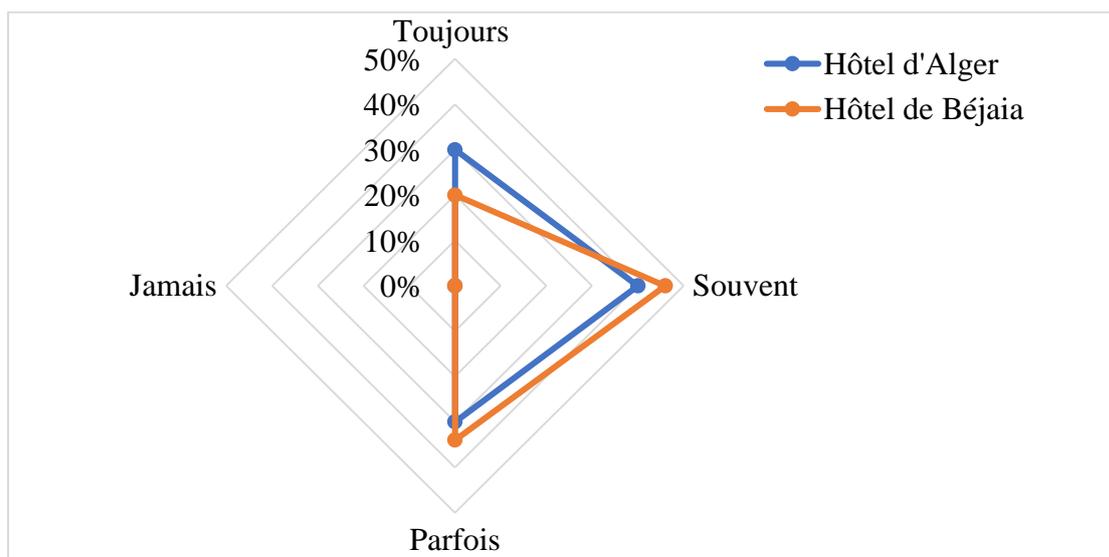


Figure 5.16 : Impact de l'ouverture des fenêtres sur la qualité de l'air en hiver.

Source : Auteur, 2022.

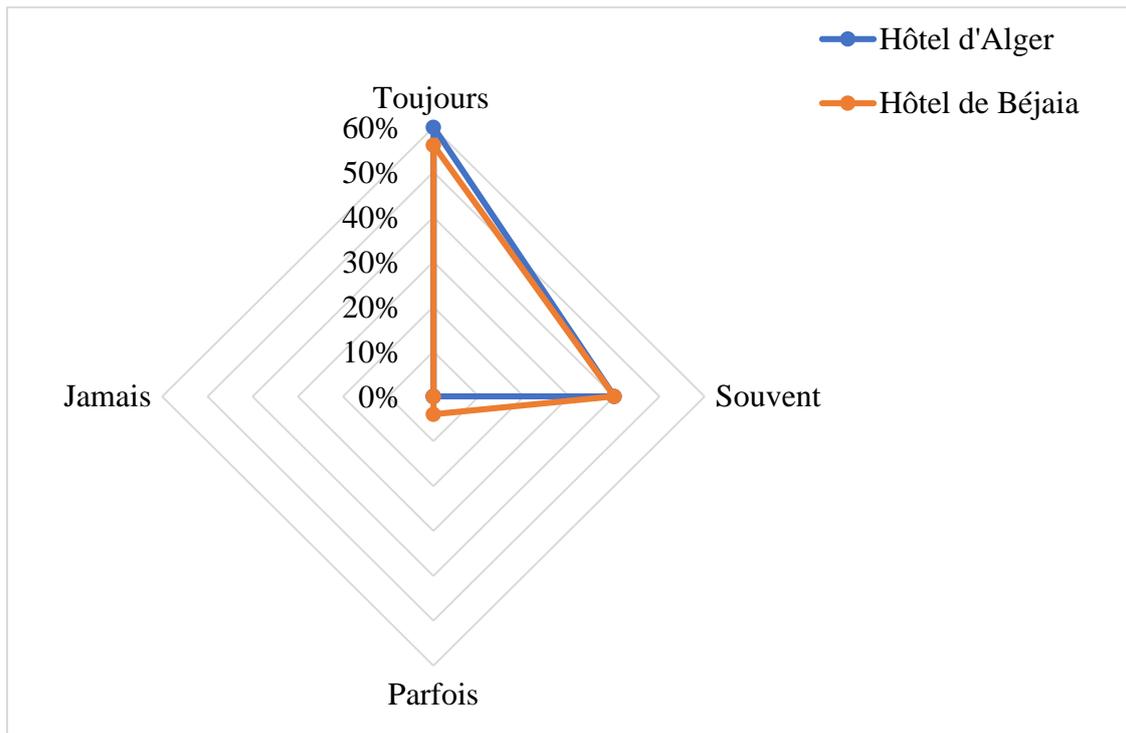


Figure 5.17 : Impact de l'ouverture des fenêtres sur la qualité de l'air en été.

Source : Auteur, 2022

La (Figure 5.18) présente les résultats relatifs à la taille des fenêtres des chambres étudiés pour chaque hôtel selon l'avis des occupants le jour de l'enquête. Pour l'hôtel d'Alger la plupart des clients interrogés un pourcentage de 64 % considère la taille des fenêtres de leurs chambres comme petite.

Pour l'hôtel de Bejaïa un pourcentage de 40 % des clients voient que la taille des fenêtres de leurs chambres est grande pour les réponses des clients qui occupent les chambres de la façade principale. Par contre un pourcentage de 30 % des clients ont jugé que la taille de la fenêtre est petite pour les réponses des clients qui occupent les chambres de la deuxième façade.

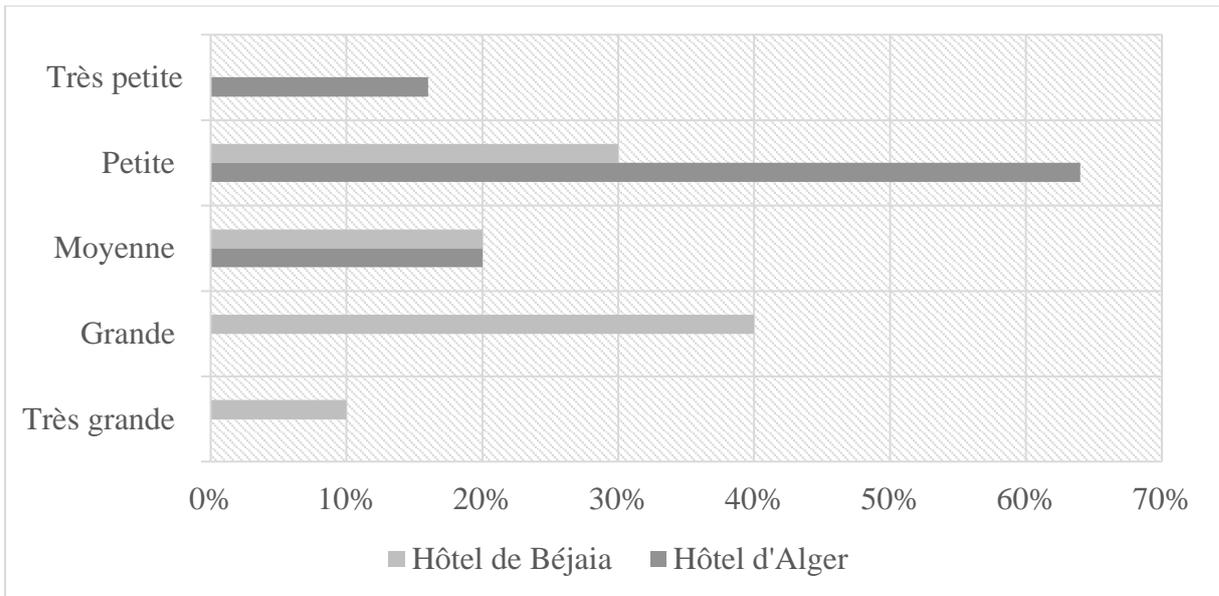


Figure 5.18 : La taille des fenêtres des chambres d'hôtel étudiées.

Source : Auteur, 2022

Pour de nombreuses raisons, notamment la propagation de la lumière naturelle, la pénétration de chaleur des rayonnements solaires pendant la période hivernale, l'augmentation du taux de renouvellement de l'air et le profit maximal des vues vers l'extérieur, la majorité des clients préfèrent un pourcentage de surface vitrée entre 50 et 75 % (Figure 5.19).

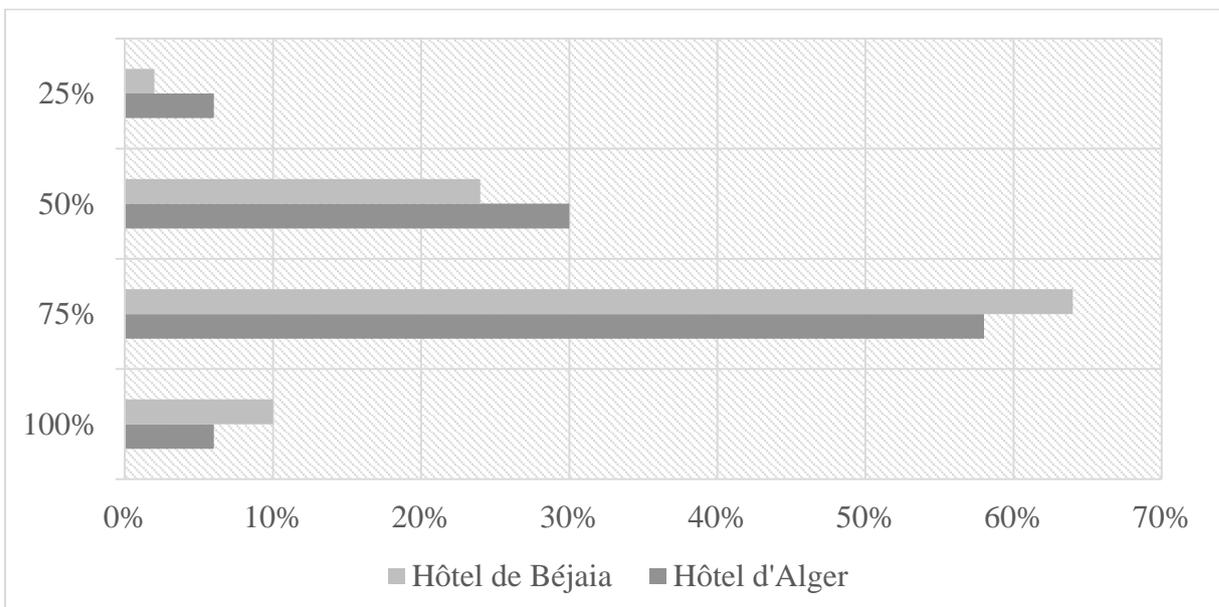


Figure 5.19 : Les ratios de la surface vitrée préférée par les clients.

Source : Auteur, 2022.

5.1.3.4 La perception de l'éclairage naturel à l'intérieur des chambres étudiées

Concernant la perception de l'éclairage naturel (Figure 5.20) à l'intérieur des chambres étudiées, en remarque, une très grande partie des clients de l'hôtel d'Alger trouvent que l'éclairage naturel dans leurs chambres est mauvais avec un pourcentage de 60%, seuls des 20% des clients qui jugent que l'éclairage naturel est bon ou acceptable.

Par contre, en ce qui concerne l'hôtel de Bejaïa il y a juste une minorité de 30 % qui trouvent que l'éclairage naturel dans la chambre est mauvais et ce sont les clients qui occupent les chambres qui se situent à la façade secondaire qui a des petites ouvertures. Cependant un pourcentage de 70 % des clients ont jugé que le niveau d'éclairage de leurs chambres est très bien, bien et acceptable. Ceci est dû, à notre avis, à la présence des grandes fenêtres vitrées qui favorisent la pénétration de la lumière du jour ainsi qu'au temps qui passe le client dans la chambre (il y a des clients qui ont commenté que parfois ils ne prennent pas en considération l'éclairage naturel, et ils sont restés sous l'éclairage artificiel toute la période de séjour).

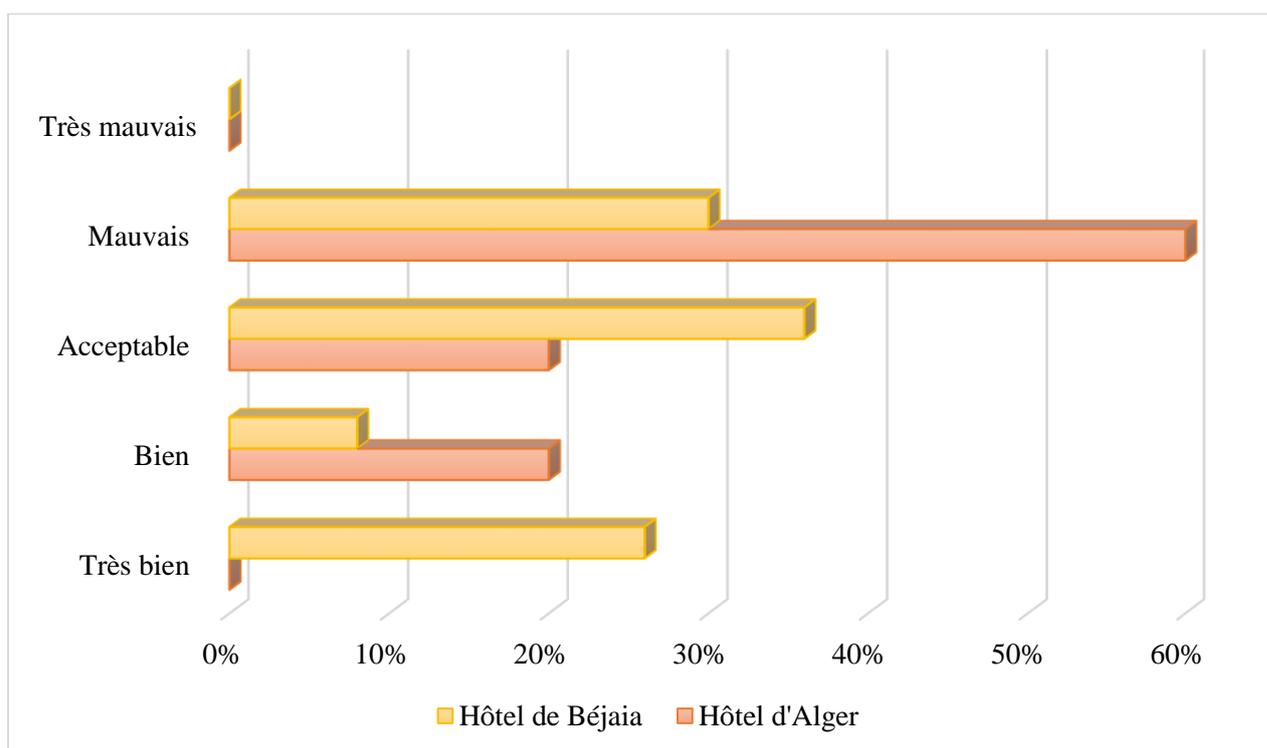


Figure 5.20 : Résultats d'enquête sur le niveau d'éclairage naturel à l'intérieur des chambres.

Source : Auteur, 2022.

5.1.3.5 Le comportement des clients à l'intérieur des chambres étudiées

En général, les hôtels sont des bâtiments particulièrement énergivores, car ils sont fortement influencés par les besoins de confort de leurs occupants. Les clients des hôtels ont tendance à varier leur consommation d'énergie (lumière, température, électricité, eau, etc.) au cours de leur séjour, consommant nettement plus d'énergie qu'ils n'en consomment chez eux. De plus, les clients ont souvent des gestes inconscients en entrant dans l'hôtel. Ils pensent avoir payé pour une utilisation intensive de tout ce qui se trouve dans leur chambre, et ces gestes, ils les font inconsciemment.

A travers les résultats de l'évaluation post-occupationnelle des clients dans les chambres d'hôtel à propos du réflexe et la réaction des clients interrogés concernant certains comportement qui influe sur les consommations d'énergie la majorité des clients utilisent l'éclairage artificiel d'une façon permanent avec un pourcentage de 50 % et 56 % des clients dans les deux hôtels étudiés qui ont répondu par « parfois » concernant le réflexe d'éteindre l'éclairage artificiel quand il n'est pas nécessaire (Figure 5.21), par la suite, 52% et 48 % des clients qui ont souvent ouvrir les fenêtres pour améliorer la qualité de l'air (Figure 5.22).

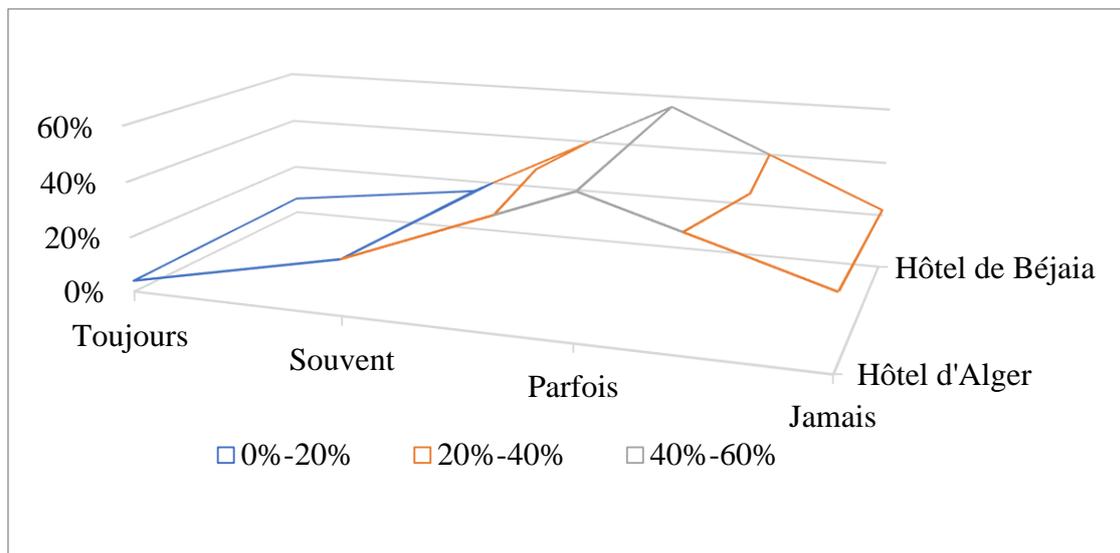


Figure 5.21 : Le réflexe des clients d'éteindre l'éclairage artificiel quand il n'est pas nécessaire.

Source : Auteur, 2022

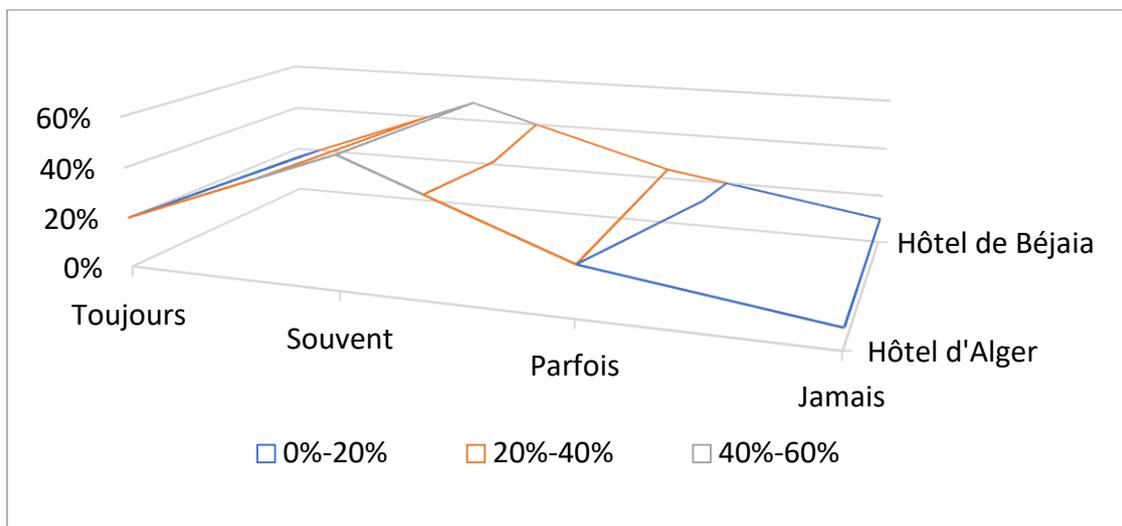


Figure 5.22 : Le réflexe d'ouvrir les fenêtres pour améliorer la qualité de l'air.

Source : Auteur, 2022.

Pour savoir l'avis des clients concernant la réduction des consommations d'énergie dans les hôtels, la figure (Figure 5.23) présentent les résultats de leurs motivation avec un pourcentage de 64% pour les clients de l'hôtel d'Alger et 70% des clients de l'hôtel de Bejaïa qui ont motivé pour réduire la consommation d'énergie dans leurs chambre afin de protéger de l'environnement ,puis un pourcentage de 36% des clients de l'hôtel d'Alger et 30% des clients de l'hôtel de Bejaia ont choisi de réduire la consommation d'énergie dans leur chambre juste parce que c'est un devoir civique.

La figure (Figure 5.24) montre que la majorité des clients dans une chambre d'hôtel exigent que l'utilisation des systèmes de chauffage en hiver et de climatisation en été soit une tâche obligatoire pour avoir un environnement thermique optimal avec un pourcentage de 96 % pour l'hôtel d'Alger et 90% pour l'hôtel de Béjaïa.

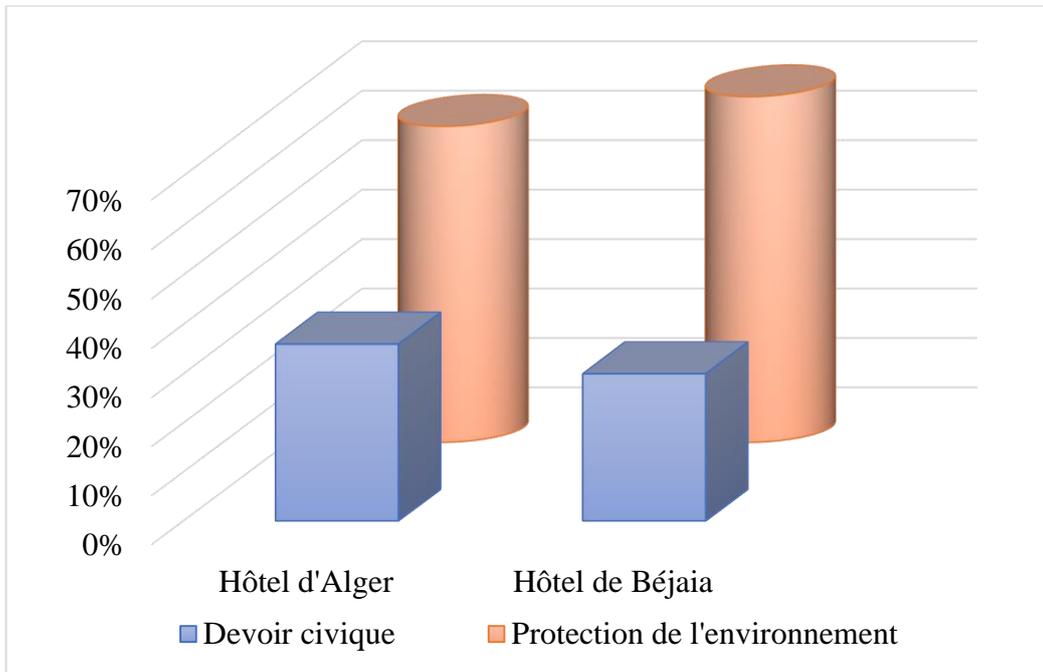


Figure 5.23 : Motivation pour réduire la consommation d'énergie dans une chambre d'hôtel.

Source : Auteur, 2022.

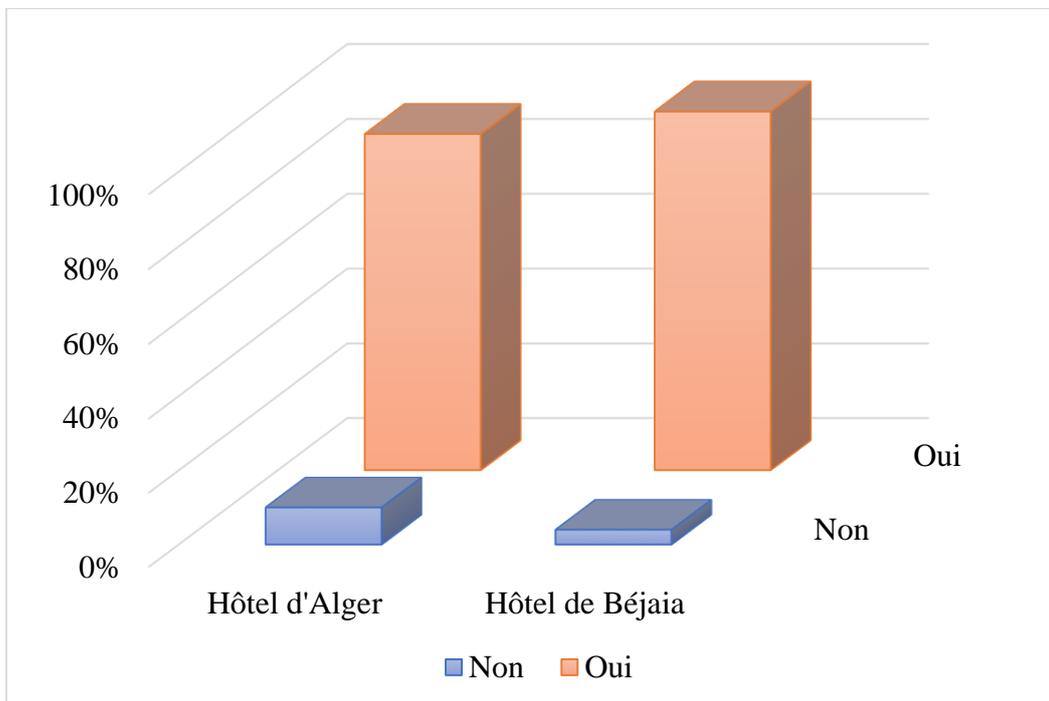


Figure 5.24 : La nécessité de l'utilisation d'un système de chauffage ou climatisation dans une chambre d'hôtel.

Source : Auteur, 2022.

5.1.4 Synthèse

Les résultats d'évaluation post occupationnelle auprès des clients des deux hôtels choisis pour l'étude et dans des conditions naturelles (sans chauffage en hiver et sans climatisation en été) montrent que la plupart des clients des deux hôtels sont essentiellement insatisfaits quant à la qualité de la température ambiante de l'air, l'humidité relative de l'air, la qualité de l'air et le niveau d'éclairage naturel. Signalons que les appréciations des clients sont distinctes selon l'orientation des chambres qu'ils occupent, la surface vitrée des ouvertures, la réaction de chaque individu sur son environnement pour créer une situation de confort thermique.

Selon les clients des deux hôtels, l'utilisation permanente du chauffage en hiver et de la climatisation en été nécessite que les portes et les fenêtres soient fermées à tout moment, ce qui élimine les courants d'air et maintient une vitesse de l'air presque constante. La sensibilisation des clients à l'environnement est la clé pour obtenir des économies d'énergie et atteindre les objectifs de réduction des émissions de carbone. De ce fait, le changement de comportement des clients est parmi les moyens les plus rentables pour réduire la consommation d'énergie dans un hôtel. En outre, ce changement ne signifie pas de baisser le niveau de confort ni de fixer des restrictions strictes. Il vise seulement à améliorer la façon dont l'énergie est utilisée et à éviter les grandes consommations inutiles. Une possibilité est de concevoir des incitations qui encouragent les clients d'hôtels à faire des efforts personnels et à être plus attentifs sur la consommation en énergie.

5.2 Evaluation de la qualité de confort par la campagne de mesures

Dans la partie précédente, nous avons présenté les résultats de l'enquête de satisfaction des besoins des clients en matière du confort thermique et du bien-être, où nous sommes optés pour la détermination du degré de confort des clients à l'intérieur des deux hôtels cas.

Par la suite , cette partie présentent une série de campagne de mesure qui a été effectuée au sein des différentes chambres dont les paramètres à mesurer sont celles de confort thermique afin d'établir un diagnostic des conditions effectives de confort thermique dans une chambre d'hôtel (des hôtels urbain sous un climat méditerranéen côtier), les figures suivantes présentent les résultats obtenus conjuguant un travail expérimental (relevé

des températures intérieures et extérieures, humidité relatives intérieures et extérieures , températures de surfaces) effectuées en mois de janvier pour la période d'hiver et en mois d'août pour celle de l'été.

Les figures ci-après illustrent les températures ambiantes de l'air mesurées pendant les journées typiques de la période hivernale (le 02-04 janvier 2020 pour le cas de l'hôtel d'Alger et le 05-07 janvier 2020 pour le cas de l'hôtel de Bejaïa).

Dans le but d'estimer la qualité du confort thermique à l'intérieur des chambres d'hôtels choisies pour la campagne des mesures (deux chambres pour chaque hôtel, comme il a été présenté dans le chapitre précédent), les résultats des mesures des températures internes et externes nous aident en premier à comparer les valeurs des amplitudes maximales et minimales de la température ambiante de l'air mesurées à l'intérieur des chambres avec celles mesurées à l'extérieur, et cela pour les deux périodes. Puis de faire une petite synthèse récapitulative sur le comportement thermique des deux hôtels, dont on a identifié le temps de déphasage situé entre les valeurs maximales des températures externes et internes.

5.2.1 Mesures de la température à l'intérieur et à l'extérieur des deux hôtels en hiver

La figure (Figure 5.25) présente les mesures comparatives de la température extérieure et intérieure des deux chambres de l'hôtel d'Alger en saison hivernale (chambre 1 orientée vers le sud-est et chambre 2 orientée vers le nord-ouest), nous constatons que pendant toute la journée de la campagne de mesure les températures ambiantes de l'air intérieur des deux chambres sont supérieures à celles de l'extérieur. Les courbes de températures intérieures des deux chambres accompagnent l'évolution des courbes des températures extérieures, les courbes sont approximativement parallèles, notamment pendant l'après-midi. Dans cette optique, les températures ambiantes de l'air intérieur chutent légèrement le matin (18.2 °C pour la chambre 1 et 18 °C pour la chambre 2) vers 6h00-8h00. L'après-midi, nous remarquons une augmentation des températures jusqu'à atteindre le pic (22°C pour la chambre 1 et 21°C pour la chambre 2) vers 14h00-16h00 au fur et à mesure que la paroi s'expose aux rayonnements solaires. En outre, les amplitudes de température interne sont respectivement (5 °C pour la chambre 1 et 5.3 °C pour la chambre 2), tandis que les températures extérieures ont une amplitude élevée de 13 °C.

Concernant les mesures comparatives de la température extérieure et intérieure des deux chambres de l'hôtel de Bejaïa en saison hivernale (Figure 5.26). La chambre 1 est orientée vers le sud-ouest et la chambre 2 est orientée vers le nord-est, nous remarquons presque le même résultat que celui observé dans le premier cas, ceci durant toute la journée de la prise de mesures.

A cet égard, les températures extérieures varient entre un minimum de 5 °C et de 15 °C au maximum dont l'amplitude s'étend le 10 °C, contrairement aux températures intérieures, dont les amplitudes s'étendent le (5.8°C pour la chambre 1 et 5.3°C pour la chambre 2).

D'après la figure, il fait sortir que les températures intérieures des deux chambres sont supérieures à la température extérieure, et que la courbe des températures internes suit la courbe des températures externes, la température intérieure maximale des chambres est de 17.8°C pour la chambre 1 et 16.5°C pour la chambre 2 à 14h-16h, en outre celle de l'extérieur est atteinte de son maximum de 15°C à 12h-14h.

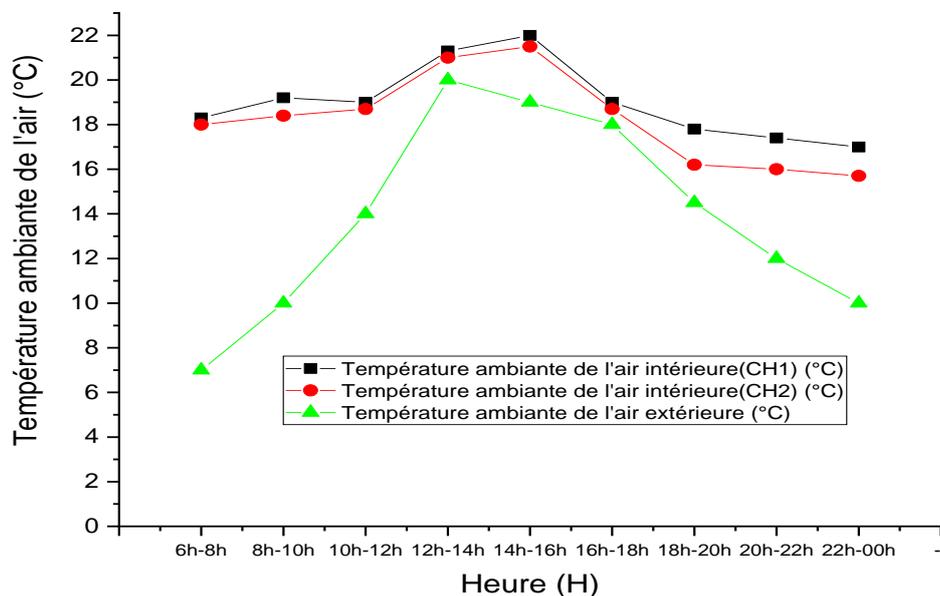


Figure 5.25 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel d'Alger en saison hivernale.

Source : Auteur, 2022.

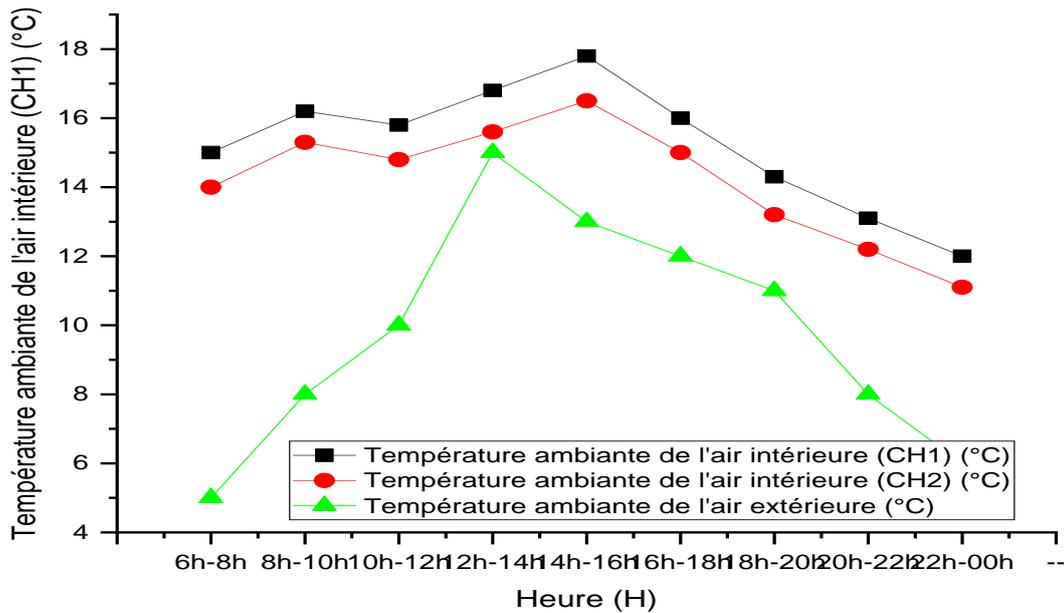


Figure 5.26 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel de Bejaïa en saison hivernale.

Source : Auteur, 2022.

5.2.1.1 Analyse comparative de la température intérieure des deux hôtels avec les seuils de confort en période d'hiver

Tout au cours des jour de campagne de mesure, les fluctuations des températures intérieures relevées dans les chambres des deux hôtels sont importantes et en parallèle avec celles des températures extérieures, dans des conditions naturelles (sans chauffage et avec les portes et les fenêtres fermées), les valeurs des températures intérieures des quatre chambres choisies pour l'étude sont supérieures à la température extérieure.

De plus, nous constatons des déphasages thermiques entre les températures intérieures et extérieures pour les deux hôtels. Pour l'hôtel d'Alger un déphasage thermique de 4h a été constaté entre une température extérieure maximum de 20°C relevée à 12h du matin et une température intérieure de 22 °C pour la chambre 1 et 21.2 °C pour la chambre 2 obtenue à 16h. Concernant le cas de Béjaïa une température extérieure maximale de 15 a été relevée à 12h, et une température intérieure maximale de 17.8 pour la chambre 1 et 16.5 pour la chambre 2 ce qui crée un déphasage thermique de 2h.

Sur la base des recommandations CIBSE, les chambres d'hôtel doivent être chauffées à 24°C en hiver et refroidies à 20-22°C en été. Les chambres des deux hôtels étudiés dans des conditions naturelles nécessitent un chauffage permanent toute la journée.

En effet, le rayonnement solaire peut affecter la température interne des chambres d'hôtel et contribuer au réchauffement des pièces grâce à l'effet de serre des parois en verre ou à l'effet de serre des murs opaques.

5.2.2 Mesures de la température à l'intérieur et l'extérieur des deux hôtels en été

La figure (Figure 5.27) présente les mesures comparatives de la température extérieure et intérieure des deux chambres de l'hôtel d'Alger en saison estivale (chambre 1 orientée vers le sud-est et chambre 2 orientée vers le nord-ouest) , nous constatons que pendant toute la journée de la campagne de mesure les températures ambiantes de l'air intérieure des deux chambres sont inférieures à celles de l'extérieure, les courbes de températures intérieures des deux chambres sont en parallèle avec l'évolution des courbes des températures extérieures, Les températures intérieures sont plus basses pendant la journée de 6h à 20h.

La température extérieure atteint sa valeur maximale de 34°C à 14h, tandis que la température intérieure atteint cette valeur de 31°C dans la chambre 1 et 28.5 pour la chambre 2 à 16h, soit un déphasage thermique de 2 heures. Nous remarquons également une amplitude de la température intérieure de 5°C entre une valeur maximale de 31°C et une valeur minimale de 25°C.

Concernant les mesures comparatives de la température extérieure et intérieure des deux chambres de l'hôtel de Bejaïa en saison estivale (Figure 5.28). La chambre 1 est orientée vers le sud-ouest et la chambre 2 et orientée vers le nord-est, nous remarquons presque le même résultat que celui observé dans le premier cas, ceci durant toute la journée de la prise de mesures. A cet égard, les températures extérieures varient entre un minimum de 27 °C et de 44 °C au maximum dont l'amplitude s'étend le 10 °C, contrairement aux températures intérieures, dont les amplitudes s'étendent le (5.8°C pour la chambre 1 et 5.3°C pour la chambre 2).

D'après la figure, il fait sortir que les températures intérieures des deux chambres sont inférieures à la température extérieure. Ainsi la courbe des températures internes est en parallèle avec la courbe des températures externes. La température intérieure maximale des chambres est de 33°C pour la chambre 1 et 32°C pour la chambre 2 à 14h-16h, en outre celle de l'extérieur est atteint son maximum de 44°C à 12h-14h.

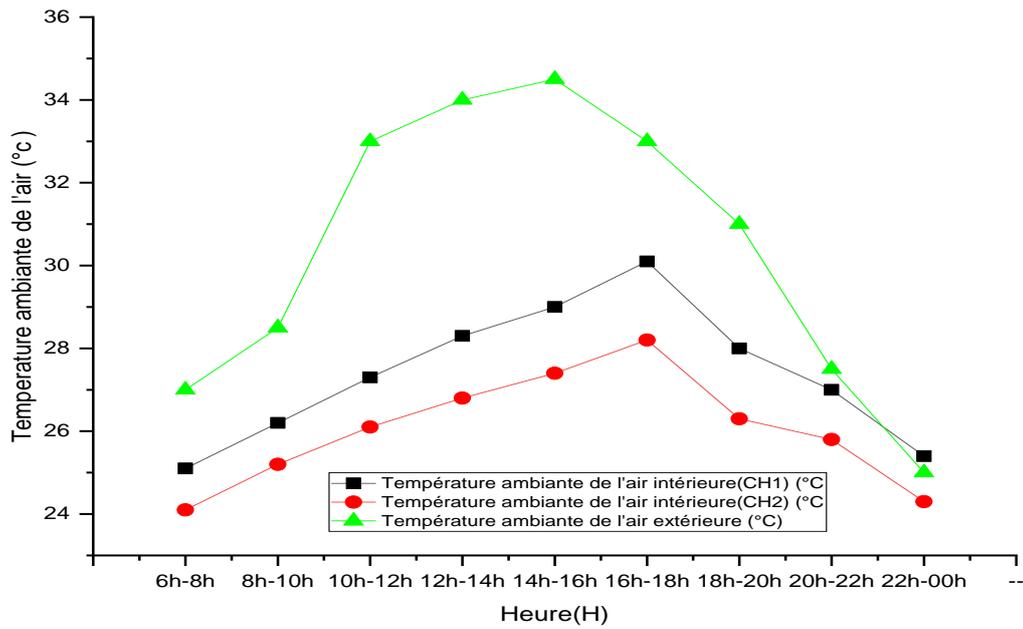


Figure 5.27 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel d'Alger en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

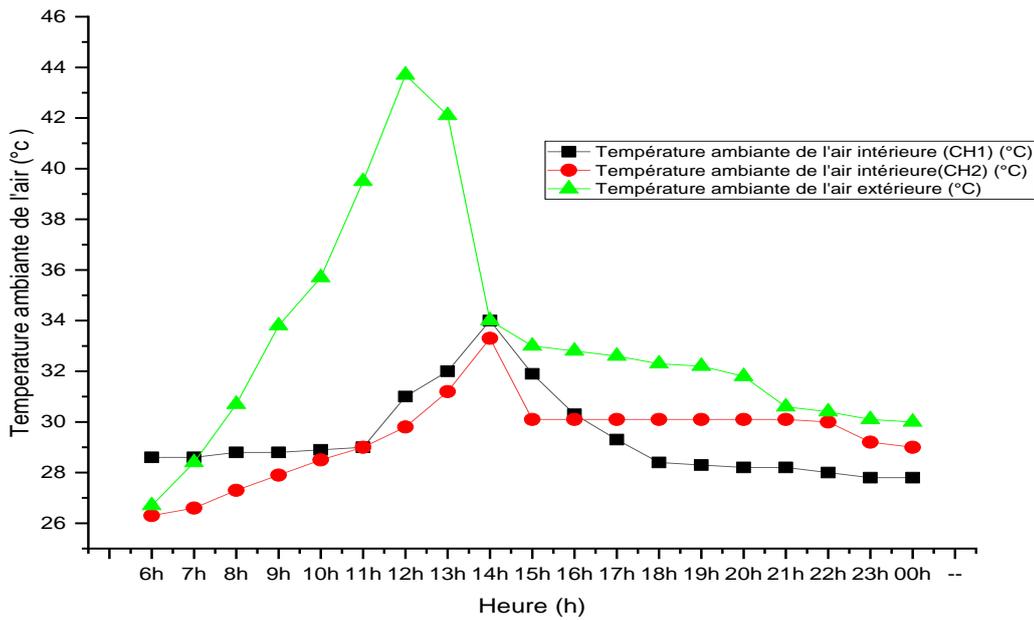


Figure 5.28 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure de l'hôtel de Bejaia en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

5.2.2.1 Analyse comparative de la température intérieure des deux hôtels avec les seuils de confort en été

Pour l'hôtel de Bejaïa en comparant le comportement thermique des deux chambres nous constatons que la chambre 1 orientée sud-ouest a vu une augmentation de l'ordre de °C (2,55°C/h) par rapport à l'autre chambre orientée nord-est. Tout de même, cette forte augmentation de la température de la façade orientée vers le sud-ouest est due à l'impact des radiations solaires, surtout l'après-midi frappées sur la façade à un angle presque vertical, le transfert de l'air chaud et ainsi à l'insuffisance des protections solaires efficaces. Sur la base des recommandations CIBSE, les chambres d'hôtel doivent être chauffées à 24°C en hiver et refroidies à 20-22°C en été, les chambres des deux hôtels étudiés dans des conditions naturelles nécessitent une climatisation permanente tout au long de la journée.

En effet, le rayonnement solaire peut influencer la température interne des chambres d'hôtel et contribuer au réchauffement de la pièce par effet de serre dans la zone des parois vitrées ou par réchauffement dans le cas de murs opaques.

5.2.3 Mesures du taux de l'humidité relative de l'air (HR) à l'intérieur et à l'extérieur des deux hôtels

D'après les données précédentes, nous avons constaté que le taux de l'humidité relative dans les chambres d'hôtel est l'un des facteurs importants qui influe sur le confort intérieur des clients, Dans les figures suivantes, nous avons fait une analyse détaillée de la variation des mesures de taux d'humidité relative de l'air mesurées à l'intérieur des chambres étudiées dans les deux hôtels avec celles mesurées à l'extérieur, pour les deux périodes hivernale et estivale. A partir de ces résultats, on a fait une étude en comparant le comportement hygrométrique des deux hôtels, ceci en déterminant le temps de déphasage entre le taux maximal d'humidité externe et interne.

En période hivernale (Figure 5.29) et (Figure 5.30) nous remarquons que, lorsque le taux d'humidité à l'extérieur augmente, celui à l'intérieur est relativement diminué. Suite à cela, les valeurs maximales enregistrées à l'extérieur des deux hôtels sont 93% pour l'hôtel d'Alger et 93% pour l'hôtel de Bejaia. Alors que pour celles à l'intérieur sont 66.6% pour la chambre 1 et 63% pour la chambre 2 à l'intérieur de l'hôtel d'Alger ainsi de 65% pour la chambre 1 et 72% pour la chambre 2 à l'intérieur de l'hôtel de Bejaia.

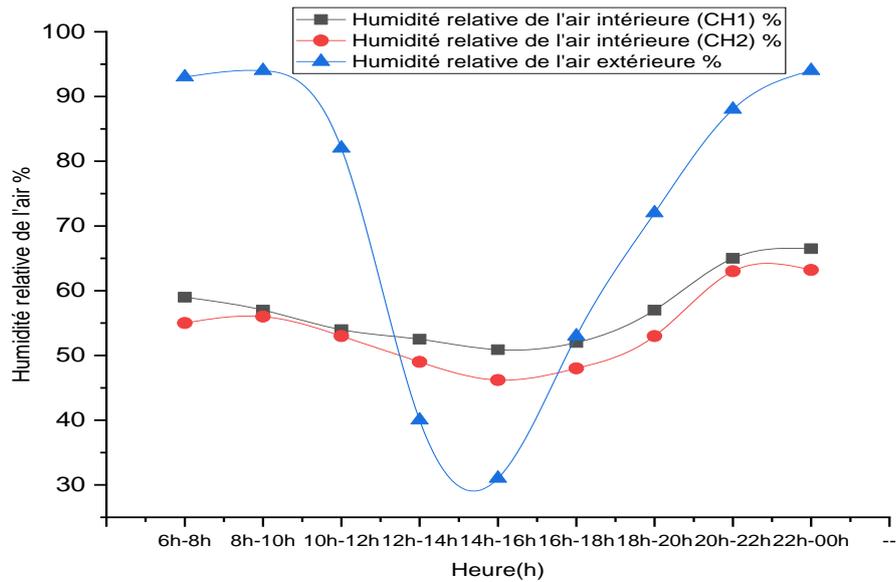


Figure 5.29 : Mesures comparatives du taux d’humidité relative extérieure et intérieure de l’hôtel d’Alger en saison hivernale.

Source : Auteur, 2022.

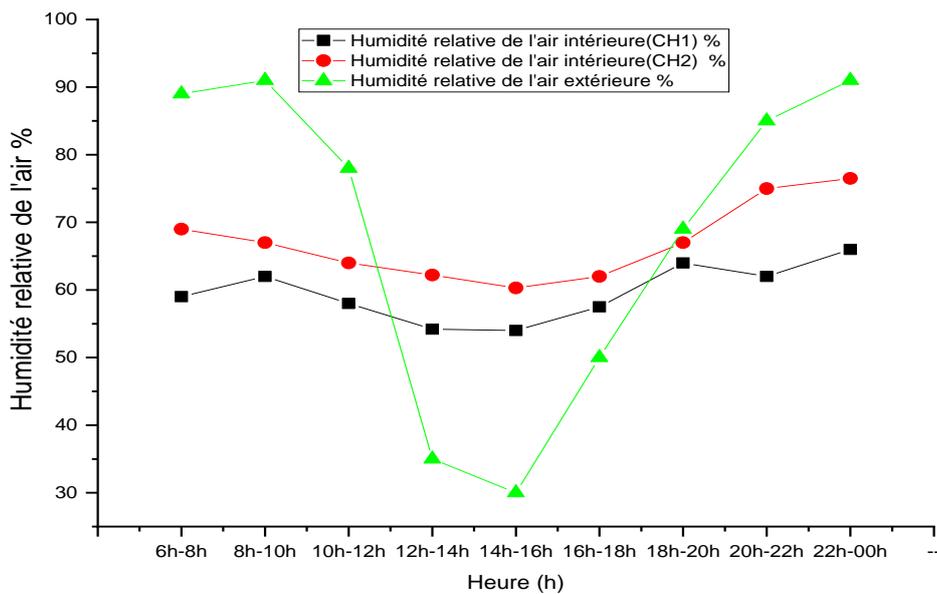


Figure 5.30 : Mesures comparatives du taux d’humidité relative extérieure et intérieure de l’hôtel de Bejaia en saison hivernale.

Source : Auteur, 2022.

En période estivale (Figure 5.31) et (Figure 5.32) nous remarquons que la valeur du taux d’humidité varie entre 60% et 75%, avec une différence maximale entre l’humidité relative intérieure et extérieure de 18%. Suite à cela, les valeurs maximales enregistrées à l’extérieur des deux hôtels sont 70% pour l’hôtel d’Alger et 83% pour l’hôtel de Bejaia.

Alors que pour celles à l'intérieur sont 65% pour la chambre 1 et 57 % pour la chambre 2 à l'intérieur de l'hôtel d'Alger et ainsi de 75% pour la chambre 1 et 72% pour la chambre 2 à l'intérieur de l'hôtel de Bejaia.

D'autre part, l'humidité relative interne pendant la période hivernale varie entre 66.6% et 93 % avec une différence maximale entre son intérieur et son extérieur de 26.4%

Cette différence qui est plus élevée en hiver est due au fait de l'abaissement de la température ambiante qui induit l'augmentation de l'humidité relative. En comparant ces valeurs d'humidité relative avec les limites de la bande de confort hygrothermique optimale recommandées par les normes ASHRAE (30 % à 60 % d'humidité relative). Nous observons que l'humidité relative interne dépasse significativement la limite supérieure de cette bande de confort pendant toute l'année.

Selon ce postulat, il peut être conclu qu'il existe un problème de déséquilibre hygrothermique à l'échelle de l'environnement interne des chambres d'hôtels étudiées, c'est-à-dire que les conditions hygrothermiques internes sont considérées comme inacceptables tout au long de l'année, ce qui entraîne une sensation d'inconfort des clients.

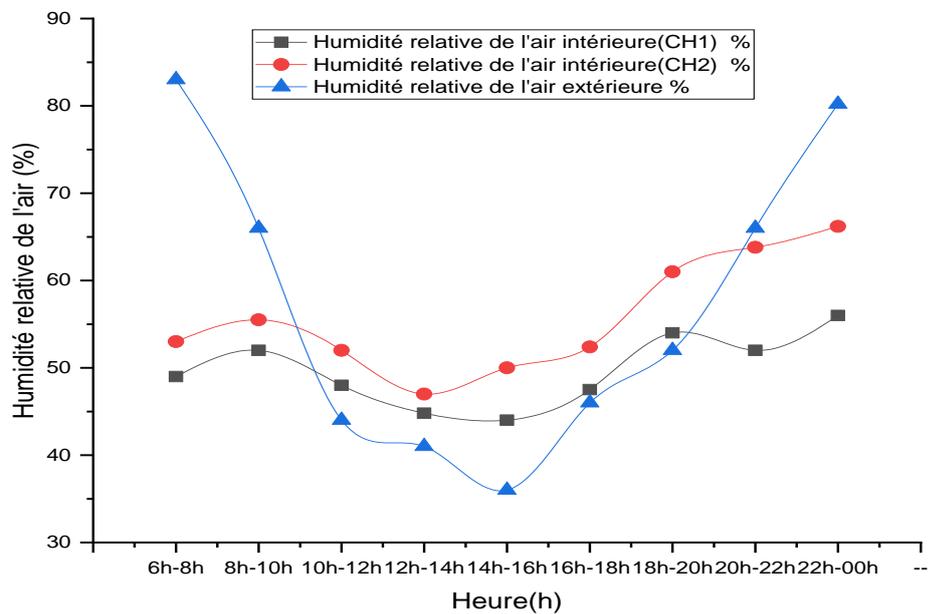


Figure 5.31 : Mesures comparatives du taux d'humidité relative extérieure et intérieure de l'hôtel d'Alger en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

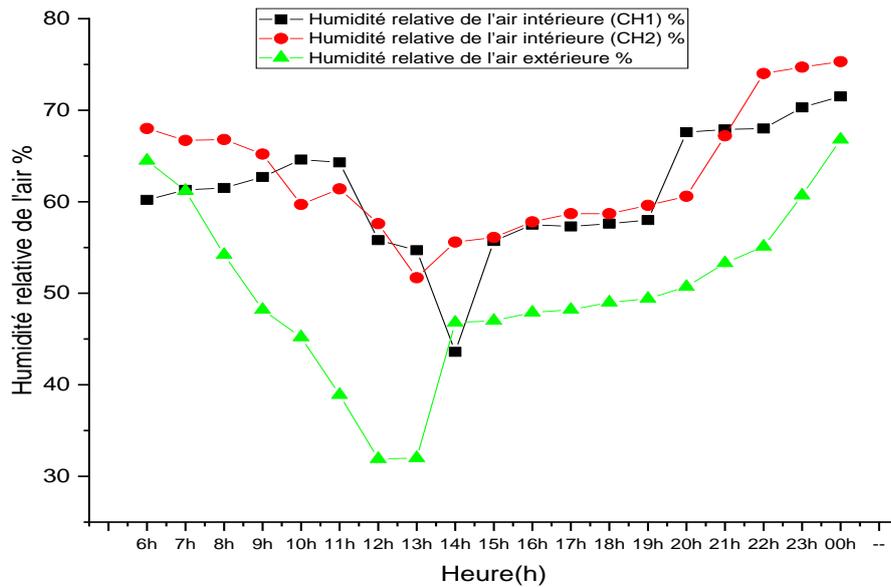


Figure 5.32 : Mesures comparatives du taux d'humidité relative extérieure et intérieure de l'hôtel de Bejaïa en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

5.2.4 Mesures des températures surfaciques à l'intérieur et à l'extérieur des deux hôtels

La température de l'air et la température de la surface extérieure et intérieure d'un mur sont relativement liées par le processus de rayonnement émis et absorbé qui joue un rôle très important dans l'échange d'énergie produit à la surface extérieure du mur. A cet effet, l'augmentation de la température des surfaces extérieures est influencée par l'orientation de la paroi (Figure 5.33) et (Figure 5.34). Cette valeur augmente régulièrement en fonction de l'exposition de la façade au rayonnement solaire. Les températures les plus élevées ont eu lieu dans l'après-midi, atteignant un maximum de 35°C à 18 heures en direction sud-ouest pour l'hôtel d'Alger (chambre 1) et 40 ° à 13 heures en direction nord-ouest pour l'hôtel de Bejaïa (chambre 1) (Figure 5.35).

De même, pour les températures surfaciques des parois vitrées (Figure 5.36) dont les températures sont trop élevées avec un maximum de 36 ° dans la chambre 1 de l'hôtel d'Alger dépassant ainsi la température de l'air extérieur qui est de 34°C. Ainsi, à noter que les mesures des températures des murs et des surfaces vitrées ont été effectuées en période d'été car il n'y avait pas suffisamment d'équipement de mesure en période d'hiver.

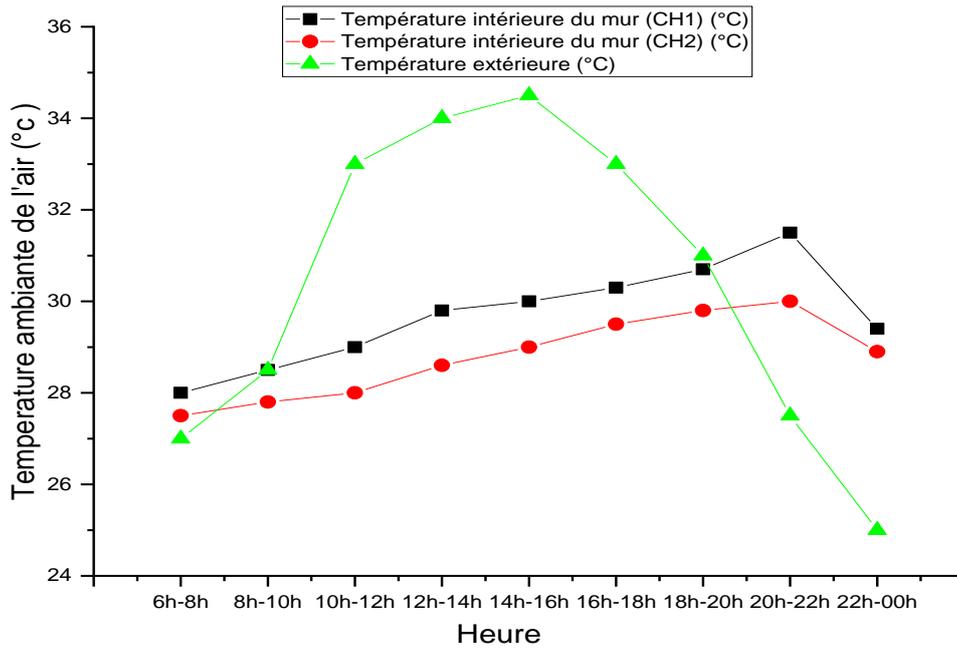


Figure 5.33 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures du mur de l'hôtel d'Alger en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

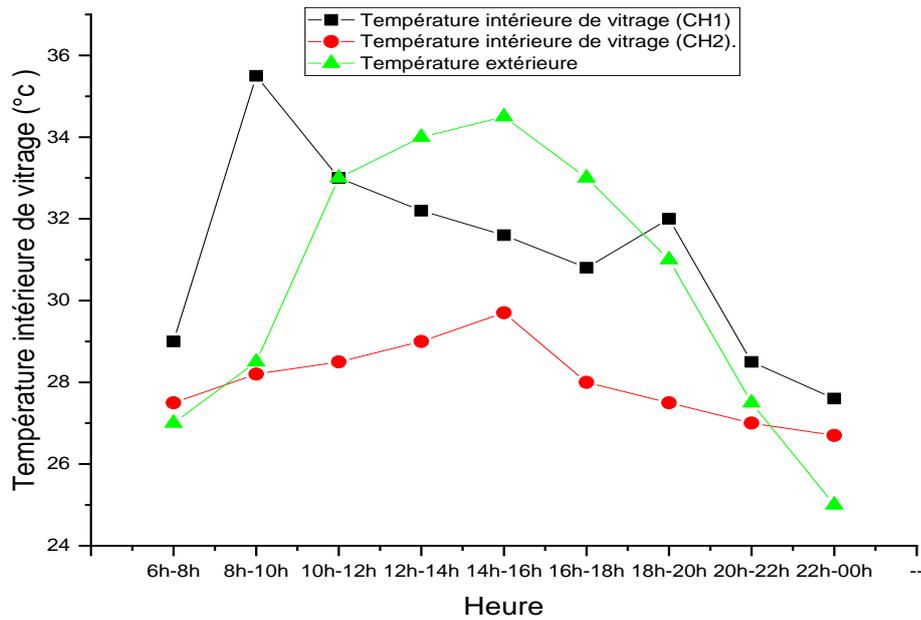


Figure 5.34 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures des vitrages de l'hôtel d'Alger en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

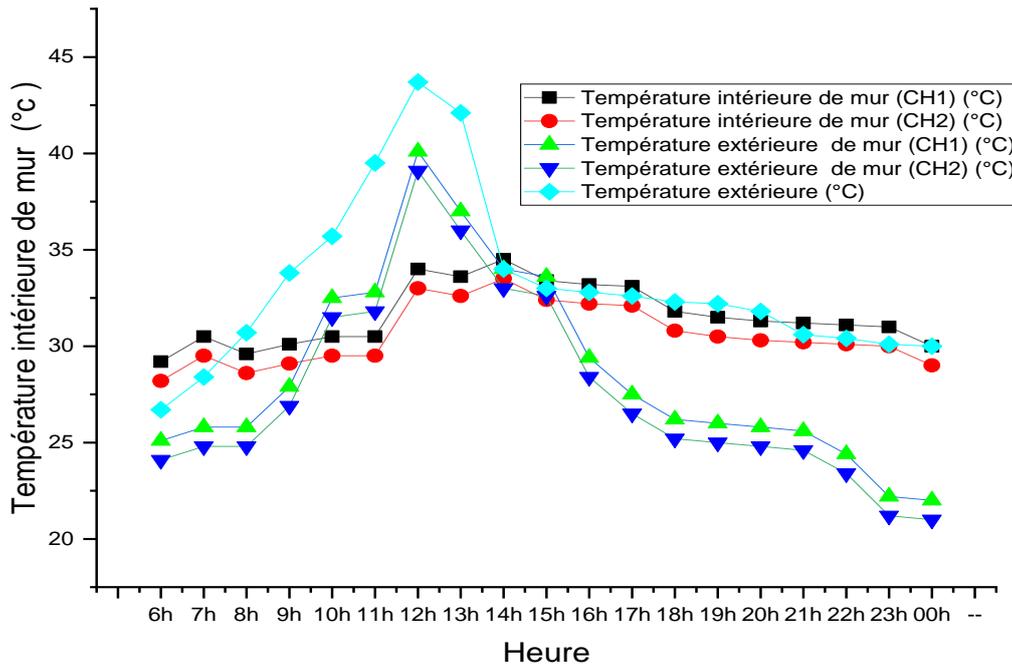


Figure 5.35 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures et extérieures du mur de l'hôtel de Bejaia en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

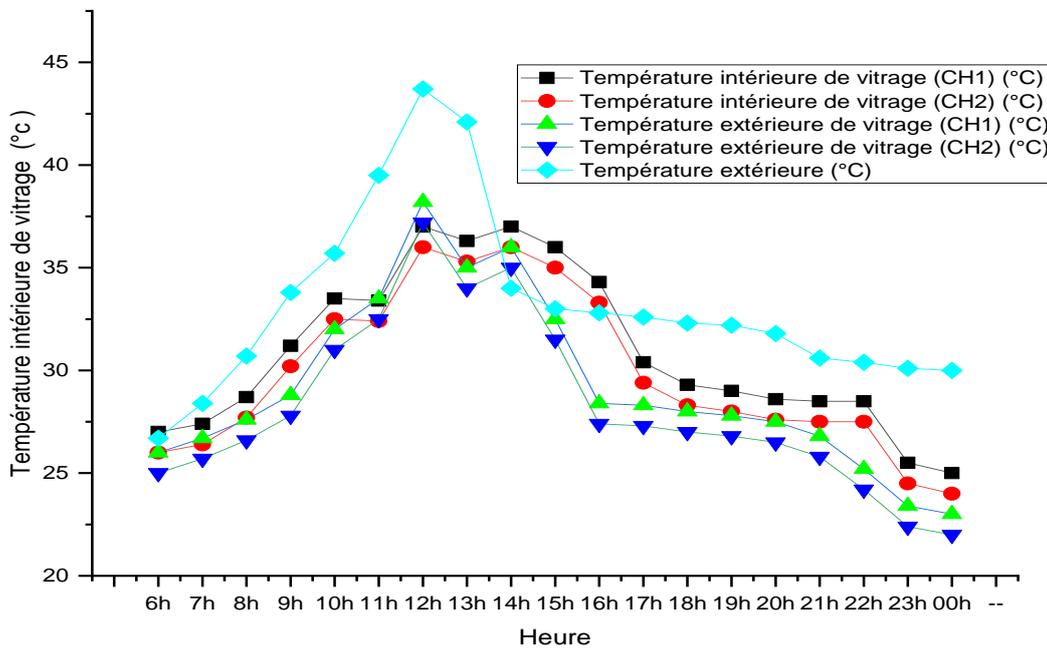


Figure 5.36 : Mesures comparatives des températures surfaciques intérieures et extérieures de vitrage de l'hôtel de Bejaia en saison estivale.

Source : Auteur, 2022.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons levé le voile sur la procédure de la campagne des mesures réalisées, ainsi que l'évaluation post occupationnelle au sein des deux hôtels, l'un à Alger avec une enveloppe standard et un faible ratio de vitrage et l'autre à Béjaïa avec une enveloppe standard et un ratio de vitrage élevé.

L'étude expérimentale qui a été effectuée a montré le manque de confort thermique intérieur dans les chambres des hôtels étudiés, notamment pendant la période d'été. Les façades construites avec des matériaux standards et sans protection ont un comportement thermique assez faible, ce qui convient à un confort plus loin de la plage de celui souhaité.

L'emploi de grandes surfaces vitrées au niveau des façades sans protections solaires, même si elles contiennent des vitrages en double, engendre des situations thermiques inconfortables qui obligent les occupants à utiliser des équipements de chauffage et de climatisation d'une manière excessive et incontrôlable, ce qui influe sur la performance énergétique de la construction.

Les résultats de ces deux campagnes sont concluants, il nous a permis, entre autres, de connaître le seuil de confort au sein de nos deux bâtiments et l'influence de leurs enveloppes sur l'évolution de la courbe de température et d'humidité.

Dans le chapitre suivant, nous allons réaliser plusieurs séries de simulations nécessaires pour l'optimisation de la consommation d'énergie dans les chambres d'hôtels afin de situer les résultats obtenus dans un cadre objectif et rigoureux.

CHAPITRES VI : EVALUATION ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Introduction

La consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment est appuyée principalement sur l'enveloppe extérieure qui présente l'élément privilégié de l'interaction thermique entre l'environnement interne et externe. Les caractéristiques des matériaux qui le constituent représentent des paramètres déterminants pour transférer la chaleur parce que la température à l'intérieur dépend de l'équilibre entre les pertes et les gains thermiques. En outre, la réduction de la consommation énergétique et la conservation du confort intérieur sont très importantes à travers l'amélioration de ces caractéristiques thermiques et l'optimisation des composants de l'enveloppe extérieure (murs, vitrages, toiture, plancher...).

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les résultats des études quantitatives par l'évaluation post-occupationnelle des clients dans les chambres et qualitatives par la campagne de mesure in situ. Pour la suite de travail, ce chapitre sera consacré à la simulation thermodynamique numérique ; Certainement, le travail avec la simulation thermique numérique devient l'une des techniques les plus utilisées dans ce genre d'étude, vue la fiabilité de ses résultats et ses données informatives. La simulation thermique dynamique permet de faire « vivre virtuellement » en direct au sein d'un bâtiment pour une longue durée dans le but d'étudier son comportement et d'obtenir des résultats qui sont proches de la réalité.

Pour valider les solutions retenues, le logiciel TRNSYS V17 a été choisi pour la simulation en raison de ses divers avantages et de l'efficacité qu'il présente. En effet, ce logiciel nous offrira, non seulement, la possibilité d'évaluer l'impact des nanomatériaux sur la consommation d'énergie et la température intérieure, mais encore de confronter leurs résultats avec les données mesurées afin de les valider.

Ce chapitre précisera, en premier, le déroulement de simulation et la comparaison entre les variables mesurées et simulées par TRNSYS. Il sera question de la validation des données que nous aurons obtenues par l'étude de la campagne de mesure in situ avec celles que nous effectuerons, grâce à la simulation thermodynamique des modèles numériques. Enfin, nous évaluerons les améliorations des performances énergétiques dans les deux hôtels.

L'objectif du travail de simulation présenté dans ce chapitre est de déterminer l'effet de l'enveloppe extérieure sur la consommation des chambres d'hôtel sous un climat méditerranéen, plus précisément l'impact des nanomatériaux à base des aérogels sur la température intérieure et la consommation d'énergie.

6.1 Déroulement de la simulation numérique

La modélisation du comportement d'un bâtiment dans des conditions d'exploitation changeantes permet de réaliser des analyses détaillées qui contribueront aux décisions importantes prises lors des étapes de conception et de modernisation du bâtiment.

Un logiciel de simulation énergétique contribue à une prédiction des performances du bâtiment conçu, des systèmes sélectionnés ou des deux à la fois. Ils permettent une description plus complète de phénomènes qui ne peuvent être décrits que par de simples calculs statiques. La simulation numérique représente une technique de recherche très utilisée par les chercheurs dans la majorité des études en raison de ces avantages à plusieurs niveaux ainsi que de l'exactitude et de la fiabilité des résultats obtenus, Il existe un certain nombre de logiciels qui peuvent évaluer les performances thermiques et énergétiques qui ont été largement utilisés dans la littérature, à savoir : TRNSYS, ENERGY PLUS, IDA ICE ,DESIGN BUILDER , GRASSHOPPER ,TAS EDSL.(le détails de ces logiciels est présenté dans (Annexe F).

6.1.1 Présentation du logiciel choisi pour la simulation

Le travail de simulation numérique a été effectué par l'usage du logiciel de simulation thermodynamique « TRNSYS Version 17 » (Transient System Simulation) développé par plusieurs laboratoires et centres de recherche spécialisés dans la thermique du bâtiment (Figure 6.1).



Figure 6.1 : Les créateurs de logiciel TRNSYS 17

Dans ce travail, nous avons choisi le logiciel TRNSYS, qui se distingue comme l'un des outils de référence au niveau international (Bagnall, 2022). Il fournit une précision bien définie du comportement dynamique et permet d'effectuer des simulations thermiques dynamiques des besoins énergétiques du bâtiment. TRNSYS est une forme dérivée et développée de "simulation de système transitoire".

Il s'agit d'un environnement de simulation modulaire et polyvalent, offrant de multiples perspectives allant de la simulation dynamique d'un système solaire thermique simple à des bâtiments et des systèmes plus complexes. La simulation thermique des bâtiments est un outil essentiel pour la conception intégrée des bâtiments, en tenant compte de l'architecture, des matériaux, de la structure et des différents services du bâtiment en tant que système mutuellement interdépendant (Yamoul, 2023).

La simulation thermodynamique sous « TRNSYS » a été réalisée à travers :

SKETCH UP : en raison du logiciel de modélisation 3D sketch up, nous avons développé la modélisation architecturale 3D des zones étudiées.

METEONORM : Météonorm est une composition de sources de données hautement fiables et uniques, basées sur des outils et des techniques informatiques sophistiqués. Il vise à accéder à des séries chronologiques historiques différentes (Verbeke, 2018). Ainsi, les

données météorologiques étudiées dans le logiciel Metéonorm, version 7, sont celles des stations météorologiques d'Alger et de Béjaia.

TRNBUILD : le comportement thermique du bâtiment est simulé par modélisation transitoire (type 56). TRNBUILD est déployé pour collecter les informations nécessaires à l'exécution de la simulation : les gains, l'occupation, la ventilation, et la description de l'enveloppe du bâtiment (caractéristiques et propriétés des matériaux).

Le logiciel de simulation « TRNSYS » demande plusieurs paramètres d'entrée pour accomplir la simulation et fournir une sortie. La figure (Figure 6.2) montre les entrées et sorties de la simulation développée via le « Type 56 » du logiciel « TRNSYS » à l'aide de « TRNBuild », (Annexe G).

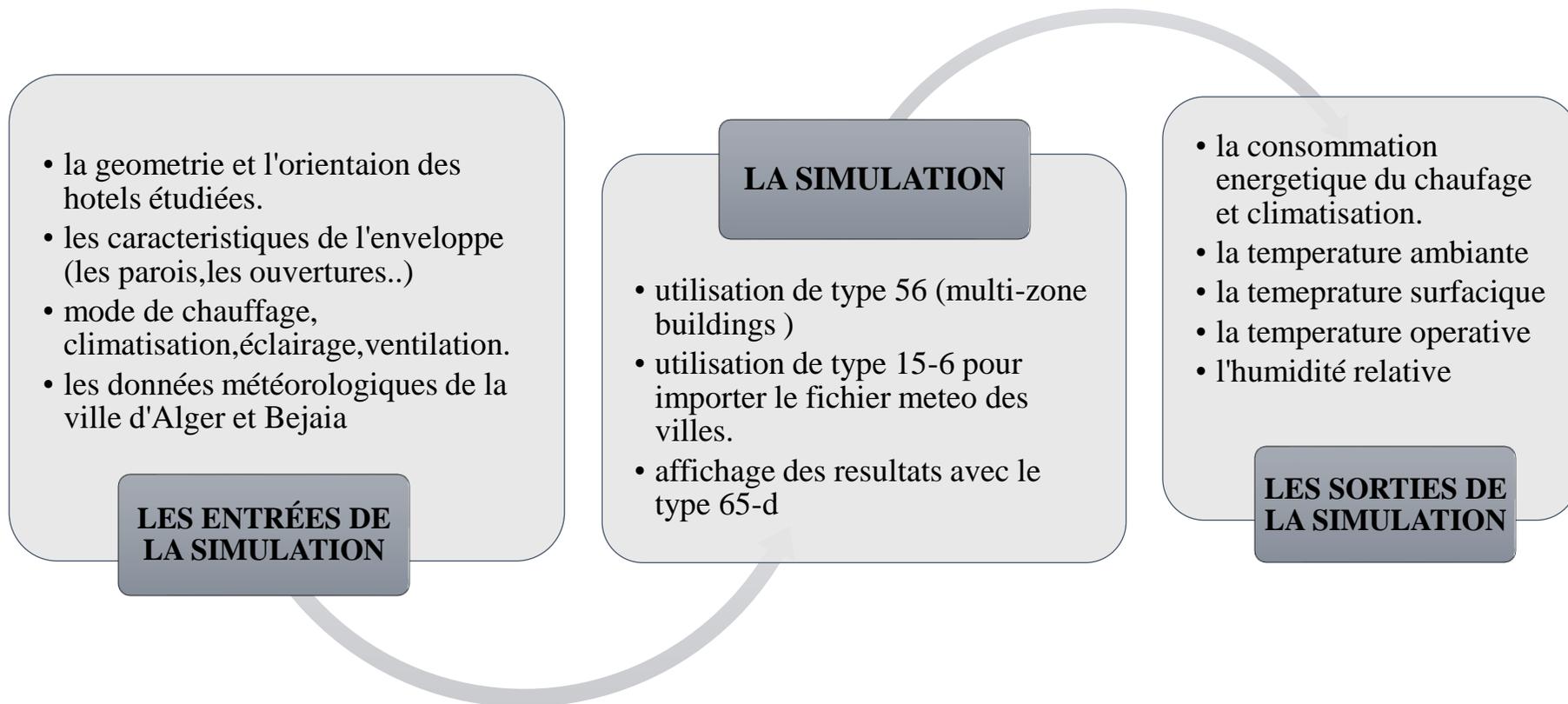


Figure 6.2 : Schéma descriptif de la méthode de fonctionnement de la simulation sous le logiciel TRNSYS 17.

Source : Auteur, 2022.

6.1.2 La comparaison entre les variables mesurées et simulées par TRNSYS

Le processus de validation des résultats d'un modèle de simulation numérique est une étape importante dans notre recherche, car il permet de justifier l'applicabilité du modèle à des données réelles, assurant ainsi la vérification des hypothèses proposées. Pour cela, nous avons réalisé une simulation d'un modèle similaire à l'existant avec les mêmes caractéristiques et pendant la même période. Les résultats de simulation obtenus ont été comparés aux mesures effectuées (température de l'air ambiant intérieur et extérieur, humidité relative et température de surface).

Pour cette recherche, la validation s'effectue à deux niveaux : dans un premier temps, nous avons essayé de vérifier l'accord des valeurs présentes dans le fichier météo avec les valeurs mesurées en dehors des hôtels considérés, deuxièmement, nous nous concentrons sur l'identification des différences entre les valeurs mesurées et simulées dans chaque hôtel au cours des périodes de recherche considérées.

6.1.2.1 Variation de la température intérieure et extérieure mesurée et simulée dans les deux hôtels en période hivernale.

Au préalable, nous avons effectué une vérification des températures du fichier météorologique en raison de ses impacts importants sur les résultats de la simulation. A partir des résultats présentés dans les figures (Figure 6.3, Figure 6.4) les deux courbes de la température extérieure nous a permis de remarquer l'existence d'une correspondance entre les deux avec un écart de 0.1 °C à 1.1 °C pour l'hôtel d'Alger et 0.2°C à 1.2°C pour l'hôtel de Bejaia.

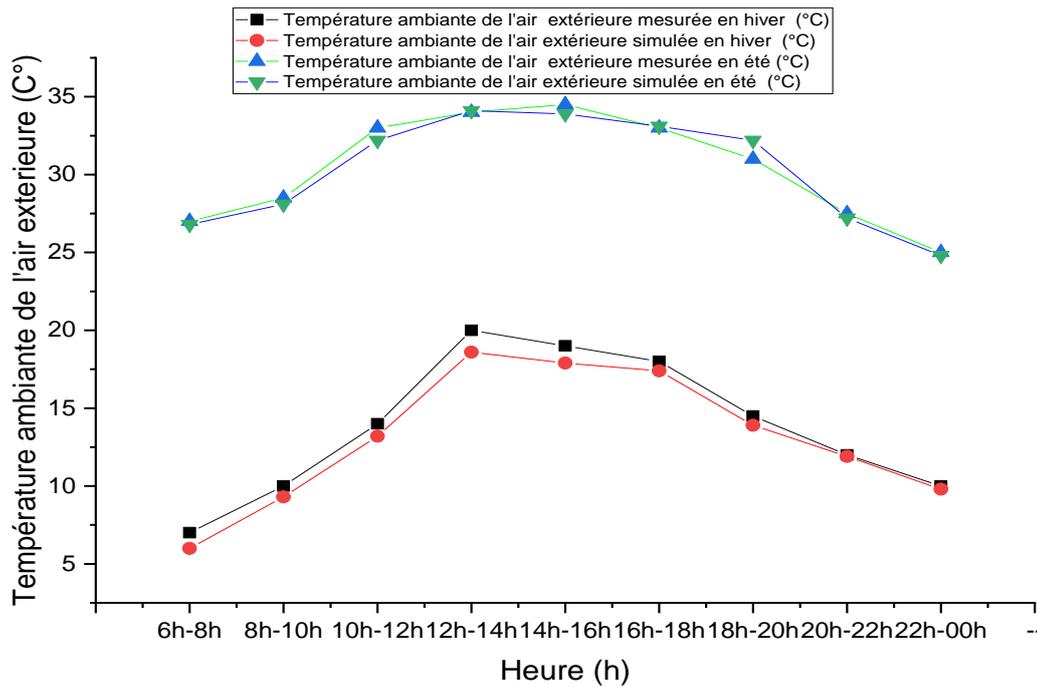


Figure 6.3 : Variation des températures de l'air extérieur mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger.

Source : Auteur, 2022.

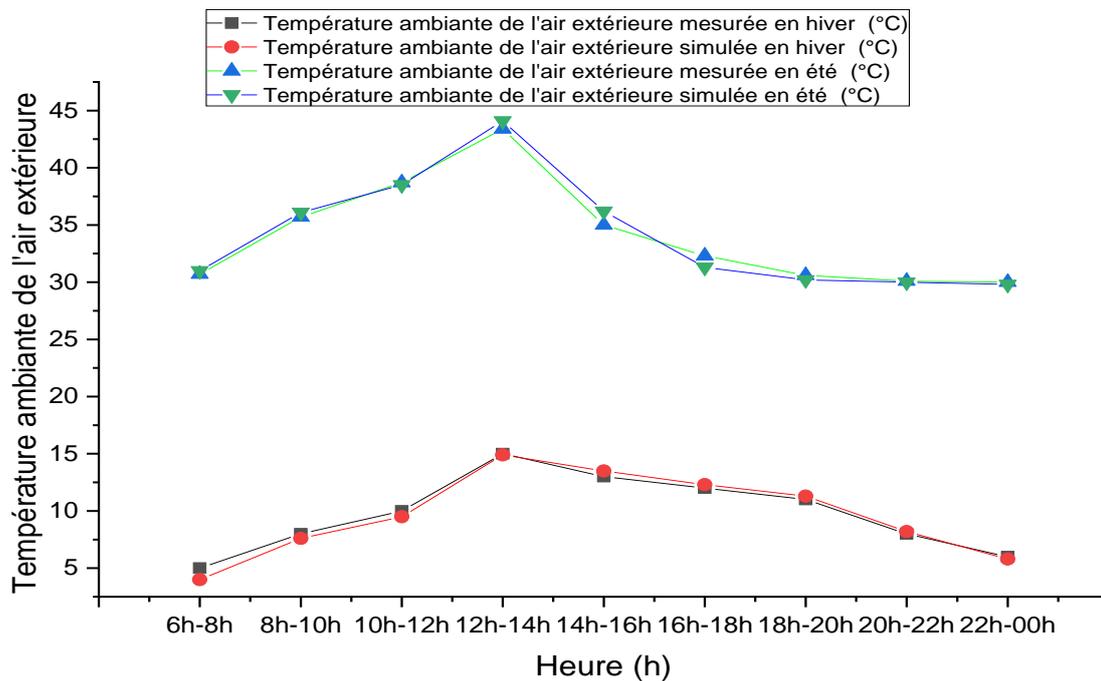


Figure 6.4 : Variation des températures de l'air extérieur mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaia.

Source : Auteur, 2022.

Concernant les deux températures intérieures mesurées et simulées, il existe une nette correspondance entre les deux courbes avec un écart qui varie de 0,1 °C à 1,1 °C pour l'hôtel d'Alger et 0.2 °C à 1.5°C pour l'hôtel de Bejaïa.

Pour le cas de l'hôtel d'Alger la comparaison de la variation de température ambiante mesurée et simulée dans les deux chambres en hiver (Figure 6.5) et en été (Figure 6.6) montre une légère différence de 0,1 à 1,1 °C, ce qui prouve la fiabilité du modèle de simulation (Figure 6.5).

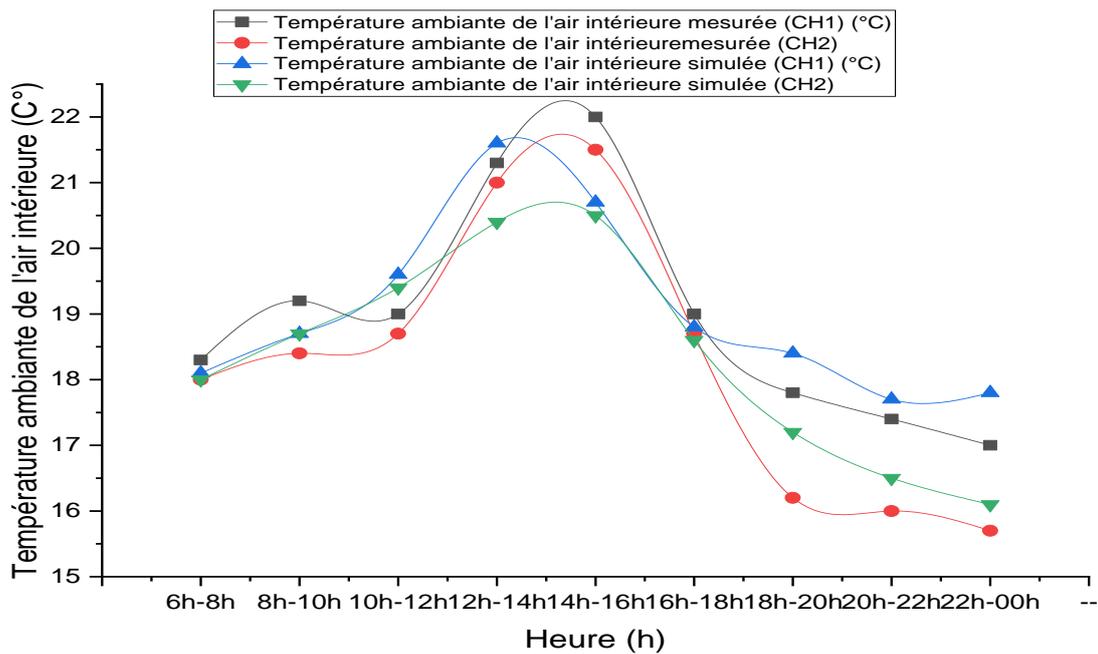


Figure 6.5 : Variation des températures de l'air intérieur mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en hiver.

Source : Auteur, 2022.

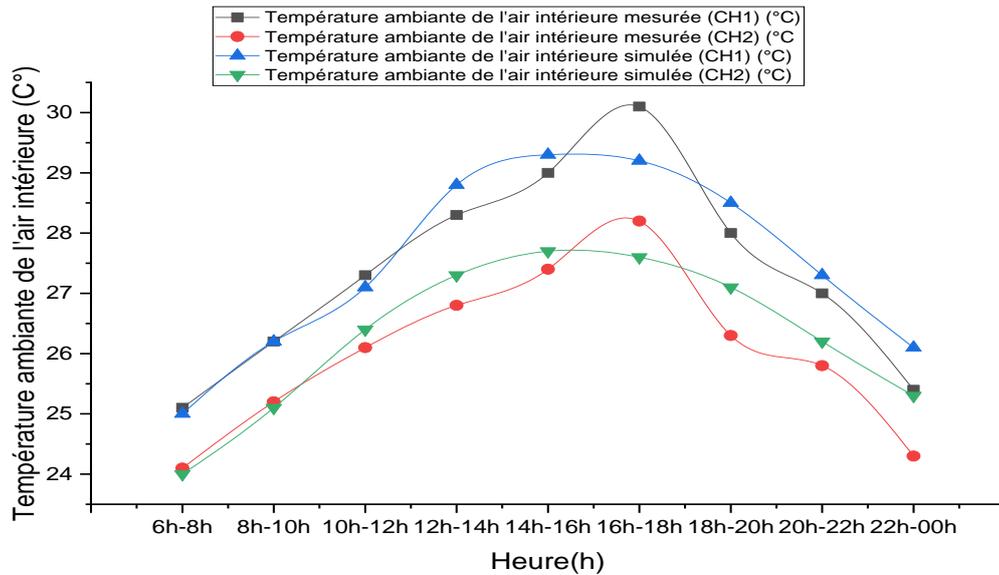


Figure 6.6 : Variation des températures de l'air intérieur mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en été.

Source : Auteur, 2022.

Pour le cas de l'hôtel de Bejaia la précision du modèle de simulation se reflète dans la petite différence entre les variations mesurées et simulées de la température ambiante pendant l'hiver (Figure 6.7) et l'été (Figure 6.8) qui varie de 0,1 à 1,6 °C.

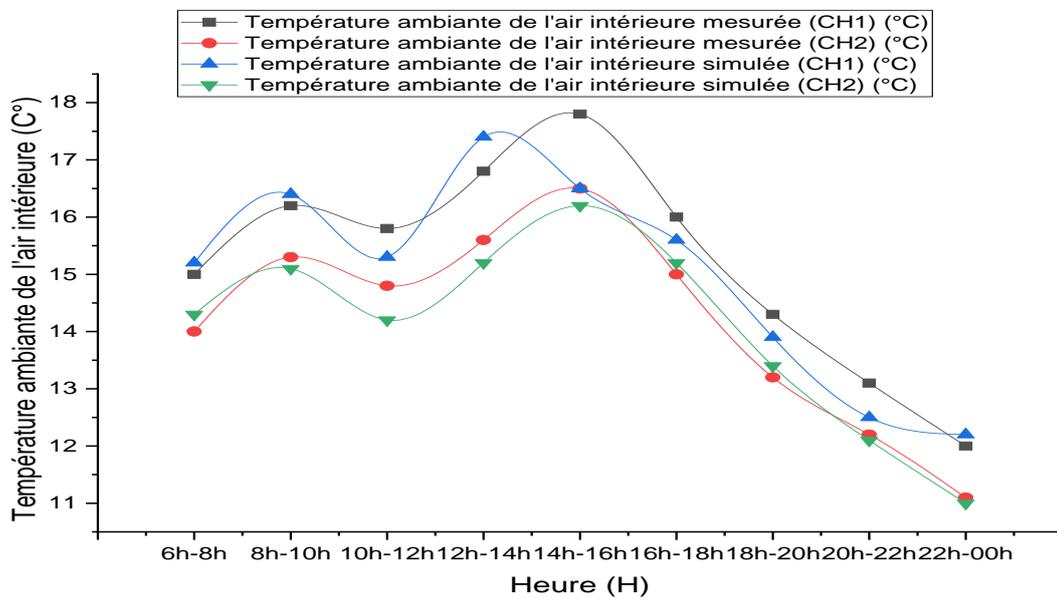


Figure 6.7 : Variation des températures de l'air intérieur mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaia en hiver.

Source : Auteur, 2022.

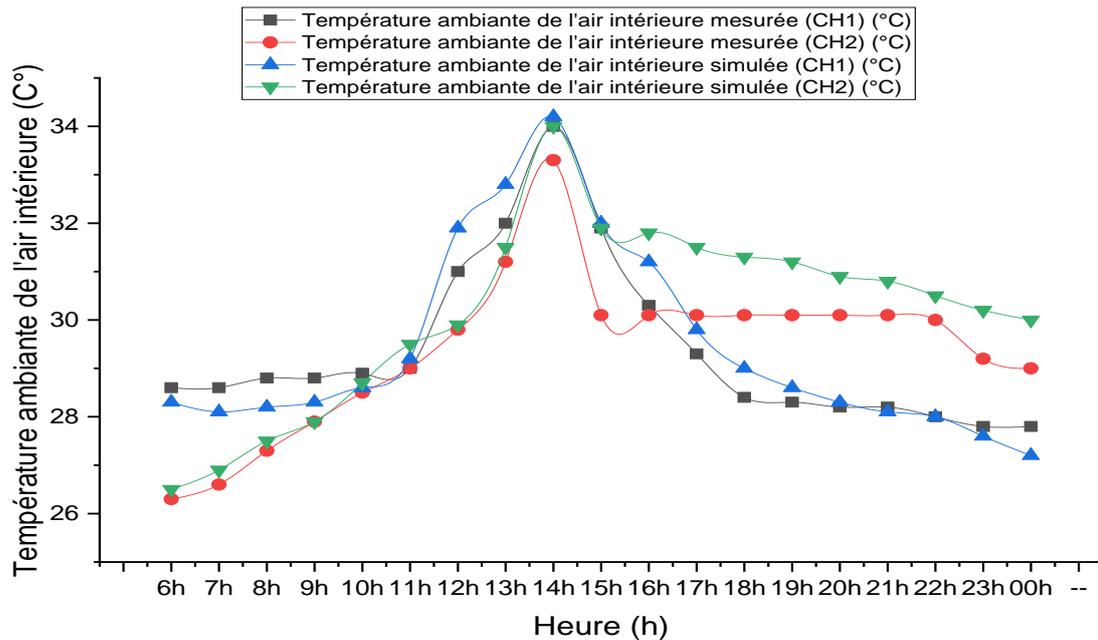


Figure 6.8 : Variation des températures de l'air intérieur mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa en été.

Source : Auteur, 2022.

6.1.2.2 Variation de l'humidité relative intérieure et extérieure mesurée et simulée dans les deux hôtels

Les résultats des profils d'humidité relatifs auxquels on est parvenu par la simulation du modèle numérique, sont exhibés dans les figures ci-dessous (Figure 6.9) et (Figure 6.10). Nous soulignons, dans ce contexte, que la simulation de ce paramètre a été effectuée durant les jours convenant aux journées choisies pour la prise des mesures sur terrain.

En période hivernale, nous observons que les courbes de variation de taux d'humidité relatif de l'air à l'intérieur des deux hôtels d'études sont en général plus faibles qu'à l'extérieur. Dans ce contexte, nous remarquons que les valeurs extérieures se situent entre 41% et 83 % pour l'hôtel d'Alger) et de 31,2% à 94% pour l'hôtel de Béjaïa.

A l'intérieur, les courbes de variation de taux d'humidité relative sont presque similaires dans toutes les chambres, avec des petites variations journalières. Ils varient entre 44% et 65% dans le cas de l'hôtel d'Alger et entre 46% et 63% dans le cas de l'hôtel de Bejaïa, ce qui s'explique par le phénomène de qualité hygrométrique des matériaux de construction de l'enveloppe extérieure des deux hôtels dont l'écart maximum entre les taux d'humidité relative intérieure mesurés et simulés était de 0,42 % pour l'hôtel d'Alger et de

0,55 % pour l'hôtel de Béjaïa, ce qui, compte tenu de l'efficacité de la précision des appareils (hygromètre et l'enregistreur) utilisé lors de la campagne de mesures ainsi au logiciel choisi pour la simulation (TRSNYS 17).

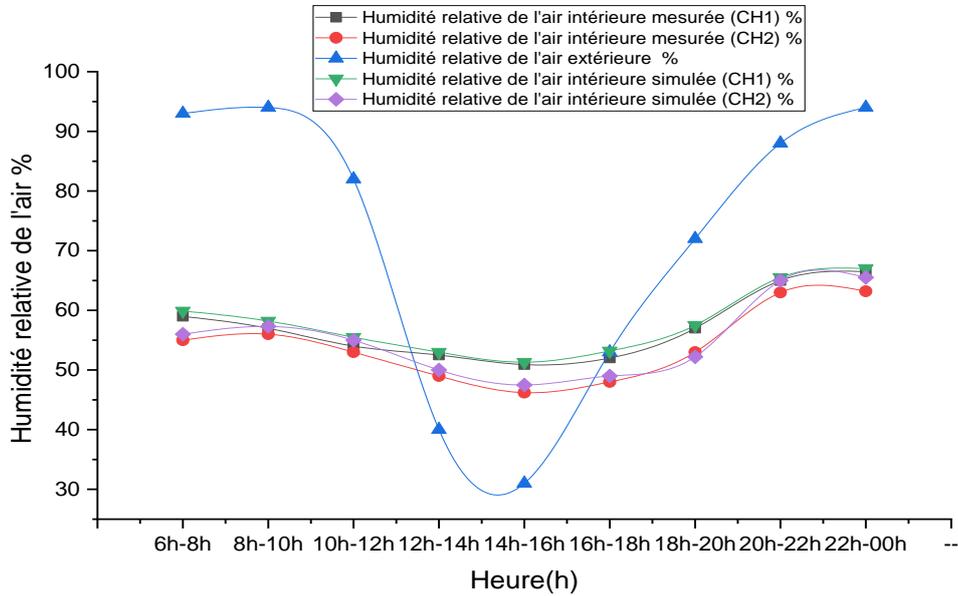


Figure 6.9 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en hiver.

Source : Auteur, 2022.

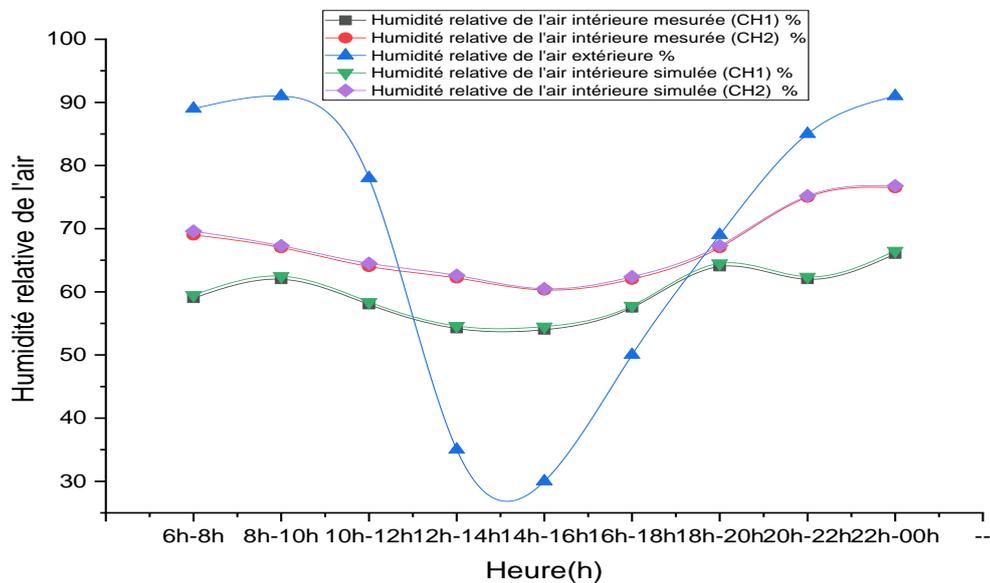


Figure 6.10 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa en hiver.

Source : Auteur, 2022.

Les résultats de variation de taux d'humidité relative simulés et mesurés pendant la période estivale sont présentés dans les figures (Figure 6.11) et (Figure 6.12). Nous constatons que les courbes d'humidité relative sont généralement plus faibles à l'intérieur des deux hôtels étudiés qu'à l'extérieur. D'une manière générale, on constate que la valeur maximale de taux d'humidité relative extérieure varie de 91% pour l'hôtel d'Alger et 70% pour l'hôtel de Bejaïa. Les valeurs des taux minimaux d'humidité relative extérieure sont respectivement de 30% pour l'hôtel d'Alger et 32% pour l'hôtel de Bejaïa.

On note également que les courbes de variabilité des taux d'humidité relative intérieure sont à peu près similaires dans toutes les chambres d'étude de cas, avec de très faibles écarts journaliers, compris entre 54% à 74% pour l'hôtel d'Alger et 55,8% à 75,3% pour l'hôtel de Béjaïa. Cela montre que toutes les évolutions des taux d'humidité relative simulés sont définies comme équivalentes aux taux obtenus par mesure. La précision des données correspond à la fois à la qualité de l'appareil de mesure et aux performances du logiciel de simulation thermodynamique numérique.

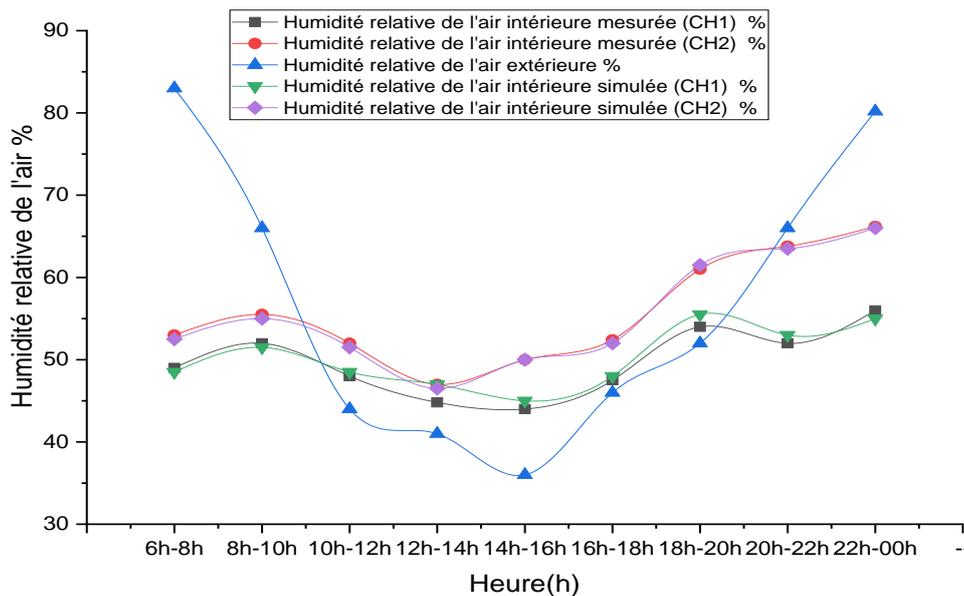


Figure 6.11 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en été.

Source : Auteur, 2022.

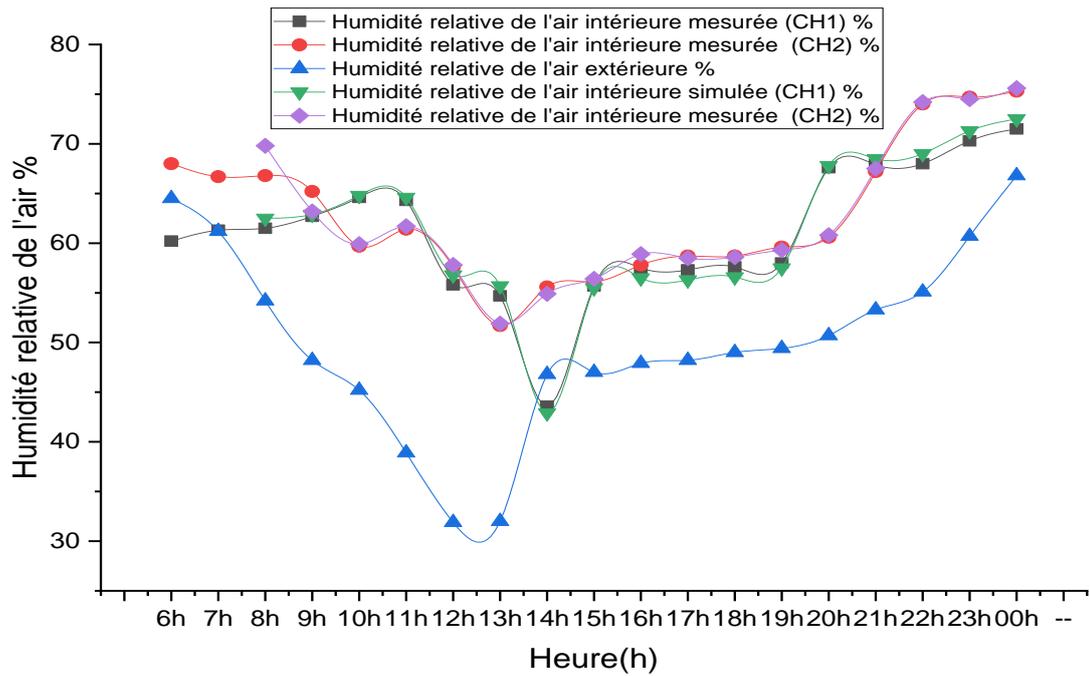


Figure 6.12 : Variation des humidités relatives intérieures mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaïa en été.

Source : Auteur, 2022.

6.1.2.3 Variation des températures surfaciques intérieures et extérieures mesurées et simulées dans les deux hôtels

Les différences entre les températures surfaciques intérieures mesurées et simulées durant la période d'été présentés dans les figures (Figure 6.13) et (Figure 6.14) restent assez faibles en tenant des variations entre 0,03°C et 2,2°C durant toute la période de monitoring, ce qui montre que les données obtenues sont parfaitement appropriées et validées.

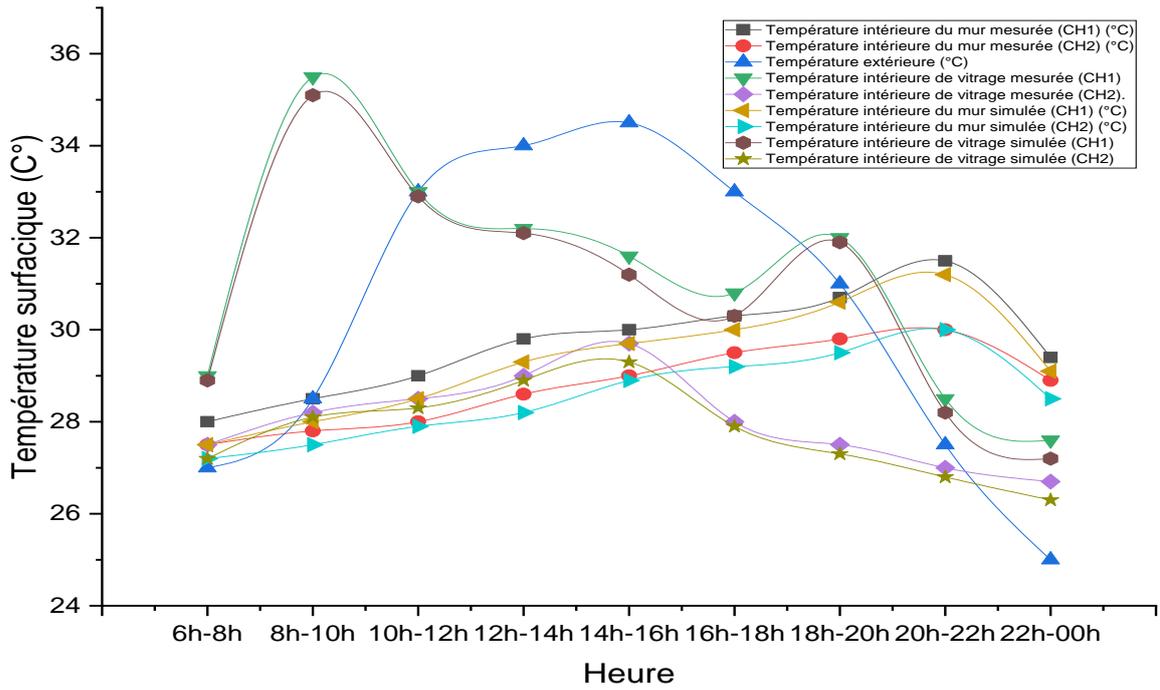


Figure 6.13 : Variation des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'hôtel d'Alger en été.

Source : Auteur, 2022.

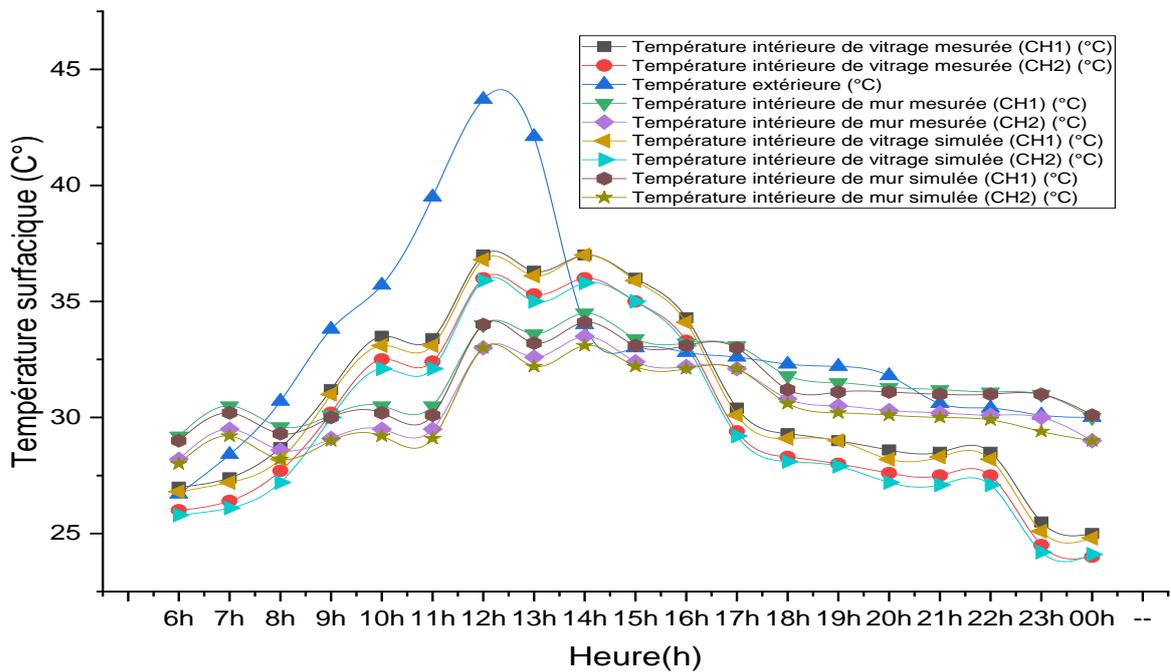


Figure 6.14 : Variation des températures surfaciques mesurées et simulées pour l'hôtel de Bejaia en été.

Source : Auteur, 2022.

Les résultats de validation montrent généralement une corrélation entre les tendances horaires des paramètres mesurés et simulés, par exemple pour les courbes des températures intérieures déterminées par la simulation, en remarque une augmentation du rendement thermique en fonction du moment de la journée en comparaison avec le cas mesuré. Considérant ces approximations des courbes de comparaison de tous les paramètres simulés et mesurés, on peut conclure que les résultats de prédiction du programme informatique TRNSYS sont fiables et confirmés par les mesures.

6.2 Evaluation des performances énergétiques des deux hôtels à l'état existant

Après la validation les données des résultats obtenus par la campagne des mesures, nous allons effectuer par la suite une évaluation des besoins énergétiques des chambres choisies à l'état existant. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure (Figure 6.15) qui montre la variation des besoins en chauffage et en climatisation des chambres choisies pour le cas de l'hôtel d'Alger.

La période du chauffage débute du mois de novembre au mois de Mai. La consommation maximale est obtenue au mois de Janvier estimée à 152 kWh pour la chambre 1 et 128 kWh pour la chambre 2, une valeur minimale a été obtenue au mois de Mai pour les deux chambres. Néanmoins, la période de climatisation débute du mois de Juillet au mois de septembre avec une valeur maximale obtenue en mois d'Août estimée à 45.53 kWh pour la chambre 1 et 37.30 kwh pour la chambre 2 et une valeur minimale obtenue au mois de septembre estimée à 13.55 kwh pour la chambre 1 et 10.12 kwh pour la chambre 2. Nous remarquons qu'il y a une augmentation significative de la consommation du chauffage et de climatisation dans la chambre 1, cette différence est due à l'orientation de la chambre ainsi qu'à la surface vitrée de la fenêtre.

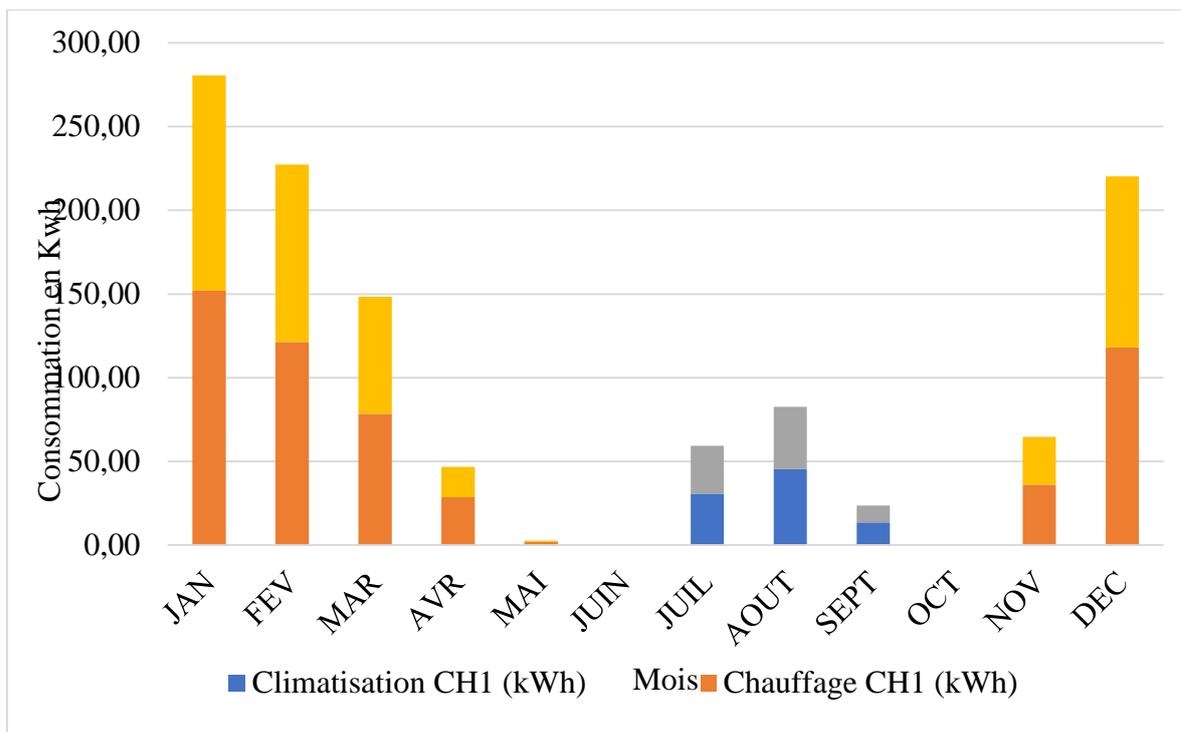


Figure 6.15 : Variation mensuelle des besoins énergétiques du chauffage et de la climatisation des chambres de l’hôtel d’Alger.

Source : Auteur, 2022.

Les résultats de la variation des besoins en chauffage et en climatisation des chambres choisis pour le cas de l’hôtel de Bejaia sont présentés dans la figure (Figure 6.16). La période du chauffage débute du mois de novembre au mois d’avril, dont la consommation maximale est obtenue au mois de Janvier, estimée à 270.20 kWh pour la chambre 1 et 212.6 kWh pour la chambre 2, une valeur minimale a été obtenue au mois d’avril pour les deux chambres avec 42.7 kWh pour la chambre 1 et 31 kWh pour la chambre 2.

Néanmoins, la période de climatisation débute du mois d’avril au mois d’octobre avec une valeur maximale obtenue en mois d’Août estimée à 59.7kWh pour la chambre 1 et 49.50 kwh pour la chambre 2 et une valeur minimale obtenue en moi d’octobre estimée à 12.70 kwh pour la chambre 1 et 8.60 kwh pour la chambre 2. Nous remarquons qu’il y a une augmentation significative de la consommation du chauffage et de climatisation dans la chambre 1. Cette différence est due à l’orientation de la chambre ainsi qu’à la surface vitrée de la fenêtre.

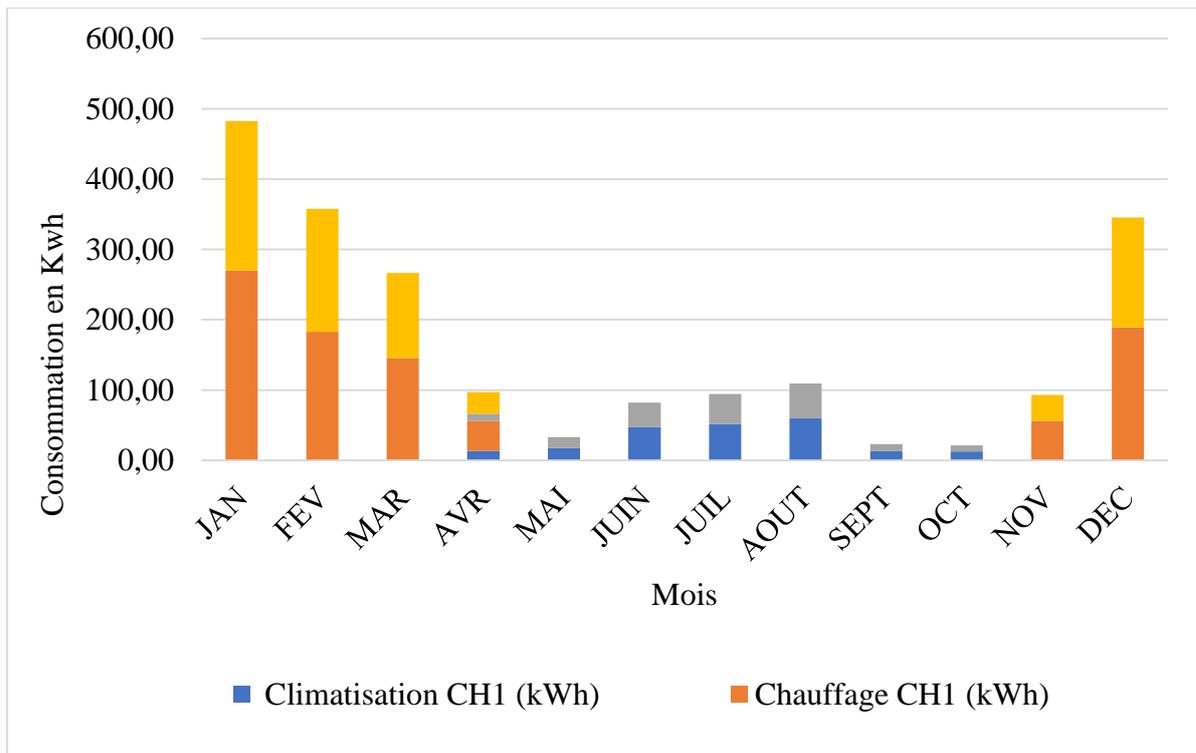


Figure 6.16 : Variation mensuelle des besoins énergétiques du chauffage et de la climatisation des chambres de l'hôtel de Bejaïa.

Source : Auteur, 2022.

La figure (Figure 6.17) présente la variation de la consommation totale du chauffage et de la climatisation dans les deux hôtels. Pour le cas de l'hôtel d'Alger la consommation totale du chauffage est estimée à 990.6 kWh et une consommation totale de climatisation à 165.6kwh, concernant le cas de l'hôtel de Béjaïa nous avons obtenu une consommation totale du chauffage estimée de 1618.2 kwh et pour la climatisation elle est estimée de 387.5kwh. Nous remarquons que il a une grande différence de consommation entre les deux hôtels malgré qui ont les mêmes caractéristiques constructives et le même nombre d'étoile ; la figure montre que l'hôtel de Béjaïa à une consommation de 627.6 kwh de plus pour le chauffage et 221.9kwh de plus pour la consommation de climatisation rapport à l'hôtel d'Alger , cette différence est à cause de plusieurs paramètres comme les dimensions des chambres ; le taux des ouvertures au niveau des murs dans les chambres de l'hôtel de Bejaïa qui ont un taux de vitrage plus élevé que celle d'Alger, de plus les fluctuations climatiques entre les deux villes d'Alger et Bejaïa que nous avons pris en considération dès le début de simulation.

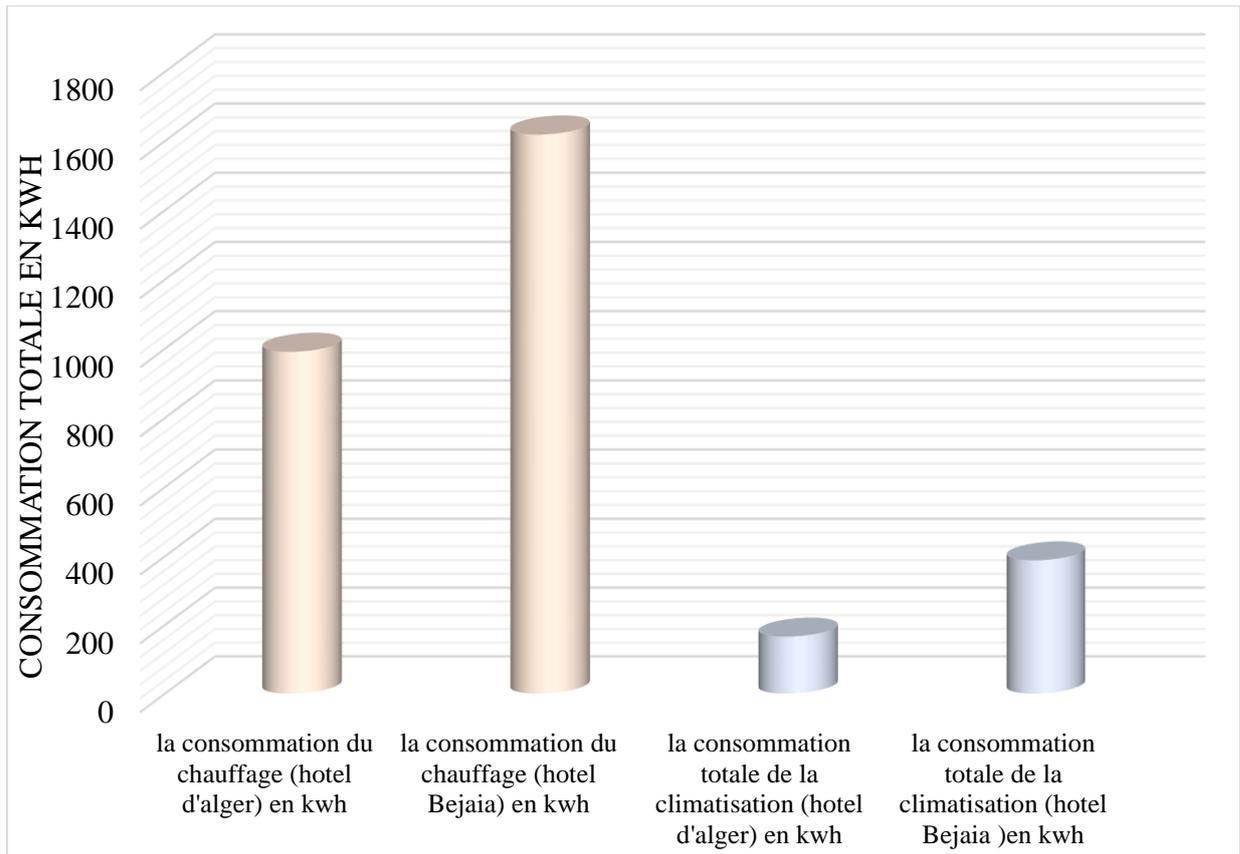


Figure 6.17 : Variation de la consommation totale de chauffage et de climatisation dans les deux hôtels.

Source : Auteur, 2022.

6.3 Evaluation de l'impact des matériaux aérogels sur la consommation énergétique des chambres d'hôtels

L'enveloppe du bâtiment est un élément essentiel dans toute construction, car elle protège les occupants du bâtiment et joue un rôle majeur dans la réglementation de l'environnement intérieur. L'enveloppe du bâtiment peut être considérée comme la voie sélective pour qu'un bâtiment fonctionne avec le climat, en répondant aux besoins de chauffage, de refroidissement, de ventilation et d'éclairage naturel. La conception de l'enveloppe, en particulier, le choix des matériaux de construction et de l'isolation, peut avoir un impact majeur sur l'énergie nécessaire pour chauffer et refroidir les bâtiments, il est composé de parties opaques (murs) et translucides (fenêtres), ces différentes parties ont un rôle très important dans l'enveloppe thermique du bâtiment.

A partir des analyses précédentes des images thermiques et les résultats des mesures expérimentales indiquent une perte de chaleur à travers les murs et les fenêtres. De plus et sur la base du diagramme psychométrique des zones d'études, l'amélioration majeure proposée dans ces zones climatiques consiste à renforcer l'isolation les parois opaques et les parties transparentes, à partir de ces constats nous avons fait des différentes scénarios de simulation pour évaluer l'impact de l'intégration des nanomatériaux dans les murs et les vitrages en choisissant l'isolation avec un nouveau matériau à base d'aérogel de silice pour les chambres de l'hôtel d'Alger et nous avons ajouté le même matériau dans le vitrage pour les chambres de l'hôtel de Bejaia afin d'évaluer l'efficacité de ce nouveau matériau sur la performance énergétique des chambres d'hôtels et aussi sur le confort intérieure des clients qui est considéré un facteur très important dans ce type de bâtiment.

6.3.1 Évaluation de l'impact de l'isolation avec l'aérogel de silice sur la consommation énergétique des chambres

L'isolation des murs intérieurs joue un rôle crucial dans les travaux d'isolation des bâtiments car la chaleur s'échappe de la paroi interne et se propage vers l'extérieur. Il est essentiel que l'isolation des parois intérieures réponde aux exigences d'isolation les plus basiques, qu'elle soit également ignifuge et qu'elle soit réalisée avec des matériaux non polluants. Cette partie de simulation s'intéresse à l'intégration d'un panneau d'isolation à base d'aérogel avec une épaisseur de 5 mm afin d'évaluer son impact sur la réduction des besoins énergétiques de chauffage et de climatisation des chambres de l'hôtel d'Alger et sous un climat méditerranéen.

Tableau 6.1 : Composition de la paroi extérieure des chambres (cas existant).

Source : Auteur, 2022.

Couche	Conductivité thermique W/ (m.K)	Epaisseur (cm)
Revêtement intérieur en plâtre	0.52	2
Brique creuse	0.45	10
Lame d'air	0.29	5
Brique creuse	0.45	15
Revêtement extérieur	0.52	2



Figure 6.18 : Les façades de l'extension de l'Ibis Alger.

Source : Auteur, 2022.

D'après la figure (Figure 6.18) qui présente les façades de l'extension de l'hôtel Ibis Alger qui montre clairement la composition des murs extérieurs ainsi que le revêtement extérieur de la façade (Tableau 6.1). De plus, afin d'évaluer l'impact de l'isolation thermique avec le matériau l'aérogel de silice (Tableau 6.2) nous avons fait la simulation en deux scénarios : le premier est de comparer son impact sur la consommation énergétique totale du chauffage et de la climatisation par rapport au cas existant.

Tableau 6.2 : Composition de la paroi extérieure des chambres (cas optimisé).

Source : Auteur, 2022.

Couche	Conductivité thermique W/ (m.K)	Epaisseur (cm)
Revêtement intérieur en plâtre	0.52	2
Brique creuse	0.45	10
Aerogel de silice	0.013	5
Brique creuse	0.45	15
Revêtement extérieur	0.52	2

Pour le deuxième scénario, nous avons comparé l'isolation avec le matériau aérogel par rapport à d'autres types d'isolation thermique traditionnels, à savoir (Tableau 6.3).

Tableau 6.3 : Types d'isolation thermique dans le bâtiment.

Source : Auteur, 2022.

Le type d'isolant	Conductivité thermique W/ (m.K)
Lame d'air (cas existant)	0.29
Aérogel de silice (isolant de nouvelle génération)	0.013
Polystyrène expansé (isolant synthétique)	0.038
Liège (isolant naturel)	0.042
La laine de roche (isolant minéral)	0.040

En commençant, par le premier scénario présenté dans la figure (Figure 6.19) nous avons comparé la variation de la consommation énergétique des chambres de l'hôtel d'Alger après l'intégration de l'aérogel de silice par rapport à l'état existant. Nous remarquons que, dans ce cas, la chambre 02 est la plus économe en termes de demande d'énergie de chauffage et de refroidissement. Il y a une différence entre les deux chambres de 82,9 kWh pour les besoins de chauffage et de 13,8 kWh pour les besoins de climatisation. Cela montre qu'il y a une diminution importante des besoins énergétiques lorsque l'orientation des chambres est différente et confirme l'impact marquant de l'orientation des chambres d'hôtels sur la consommation énergétique.

Pour la chambre 1, une réduction des besoins de chauffage de 453,8 kWh à l'état existant à 145,2 kWh, une réduction de 68% après l'intégration de l'isolation en aérogel de silice, pour la période estivale, une réduction des besoins de climatisation de 75,9 kWh à l'état existant à 74,3 kWh après l'intégration de l'isolation d'aérogel de silice, une réduction seulement de 1.6 % des besoins. Puisque les fenêtres des chambres de l'hôtel d'Alger sont en double vitrage, l'application de la protection solaire est la plus appropriée, ce qui conduit à une réduction considérable des besoins, estimée à 49,3 kWh et une réduction de 35%. Concernant la chambre 2, une réduction des besoins de chauffage de 536,7 kWh à l'état existant à 161,01 kWh, une réduction de 70% après l'intégration de l'isolation d'aérogel de silice, pour la période estivale, une réduction des besoins de refroidissement de 89,7 kWh à

l'état existant à 85,22 kWh après l'intégration de l'isolation d'aérogel de silice une réduction de 4.48 % des besoins, Pour cela, l'intégration de la protection solaire des fenêtres réduit les besoins à 44,85 kWh une réduction de 50%.

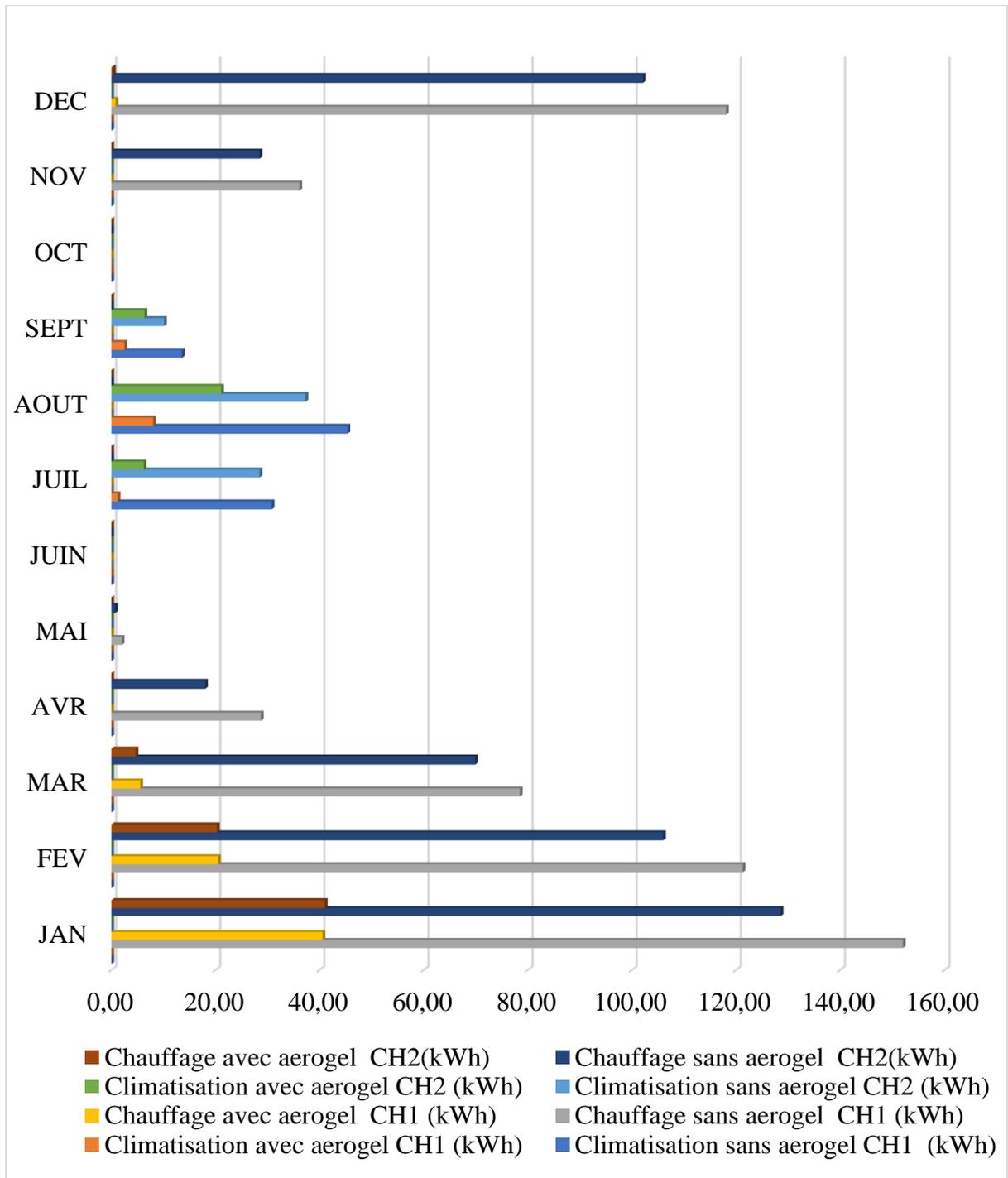


Figure 6.19 : Comparaison de la variation mensuelle de la consommation énergétique des chambres de l'hôtel d'Alger avec et sans l'isolation en aérogel de silice.

Source : Auteur, 2022.

Concernant les besoins totaux des deux chambres présentées dans la figure (Figure 6.20) une réduction des besoins de chauffage de 990,6 kWh à l'état existant à 469,61 kWh, une réduction de 53% après l'intégration de l'isolation d'aérogel de silice, pour la période estivale, une réduction des besoins de refroidissement de 165,6 kWh à l'état actuel à 94,15 kWh après l'intégration de l'isolation en aérogel de silice et de l'ombrage solaire des fenêtres, une réduction de 43%.

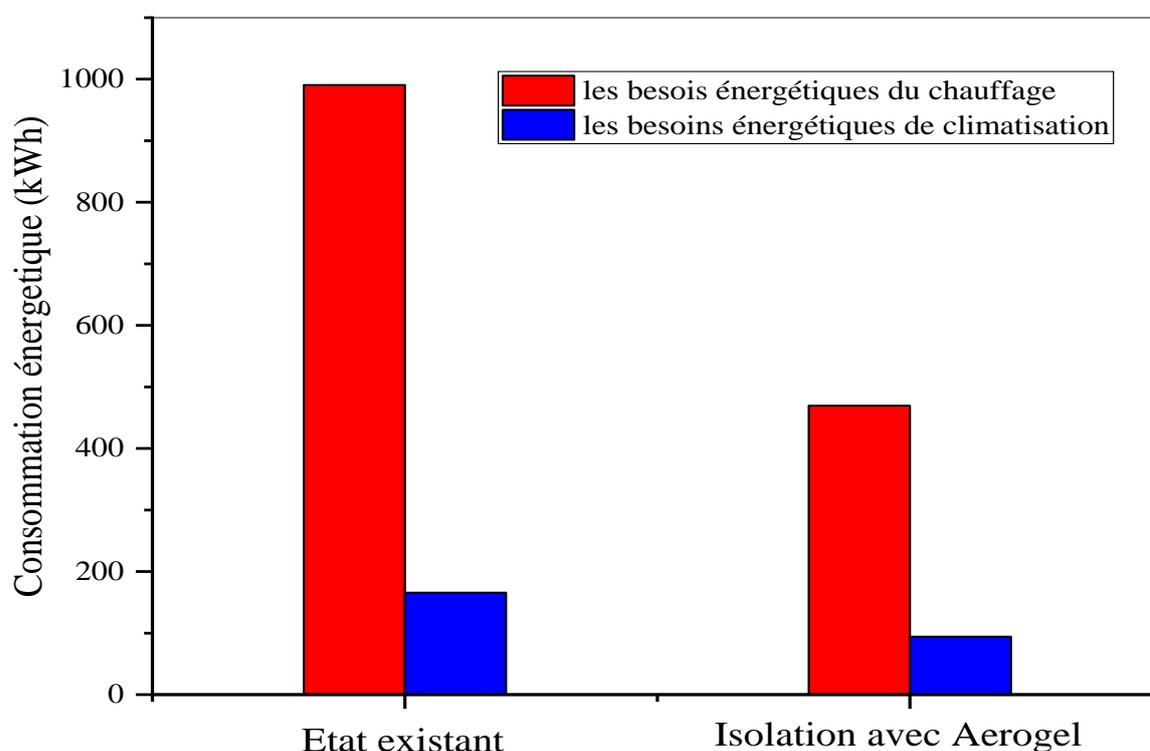


Figure 6.20 : Comparaison de la variation de la consommation énergétique totale des chambres de l'hôtel d'Alger avec et sans l'isolation en aérogel de silice.

Source : Auteur, 2022.

Pour le deuxième scénario présenté dans la figure (Figure 6.21) qui présente l'effet de l'intégration des isolants à la composition du mur extérieur sur la consommation d'énergie des chambres d'hôtel, d'après la revue de littérature, il existe plusieurs types de matériaux d'isolation sur le marché, en citant les types les plus répandus, à savoir : les matériaux d'isolation synthétiques, naturels, minéraux, et la nouvelle génération des matériaux d'isolation à base des aérogels.

La figure montre la comparaison de la variation des besoins énergétiques des chambres de l'hôtel d'Alger avec les différents types d'isolants thermiques proposés. Nous

constatons une baisse importante des besoins en chauffage par rapport au cas existant. Cette dernière varie entre 13 % pour la laine de roche (de 990.6 kwh à 861.9 kwh) ,18 % pour le polystyrène expansé (de 990.6 kwh à 812.3 kwh), 15 % pour le liège (990.6 kwh de à 841.7kwh) et 53 % pour l'aérogel de silice (de 990.6 kwh à 469.61 kwh).

Cependant, pour les besoins en climatisation nous remarquons une légère augmentation pour les différents isolants à cause de la pénétration des rayonnements solaires dans les chambres et l'accumulation du fait des matériaux isolants ce qui augmente la température à l'intérieur, mais d'une manière générale, la consommation énergétique annuelle a été diminuée par l'intégration des isolants thermiques, une diminution de 1156.2 kwh à 999.1 kwh avec un pourcentage de 13.58 % par rapport au cas existant lors de l'utilisation d'un isolant minéral (la laine de roche).

L'utilisation d'un isolant naturel (le liège) entraîne également une diminution, de 15.6 % de 1156.2 kwh à 975.8 kwh des besoins énergétiques des chambres étudiées. Pour l'isolant synthétique (le polystyrène expansé) une réduction de 18.43 % de 1156.2 kwh à 943.1 kwh. Le grand pourcentage de réduction des besoins énergétiques de 51.24 % de 1156.2 kwh à 563.7 kwh a été obtenu par l'utilisation de l'isolant de la nouvelle génération (aérogel de silice).

A partir de ces résultats, l'impact de la composition des murs de l'enveloppe d'un hôtel est très important et influe sur sa consommation d'énergie. Les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant un aérogel de silice (super-isolant) avec de meilleures caractéristiques thermiques que celles obtenues dans le cas existant. Cependant, l'isolation thermique d'un bâtiment (ou une partie de celui-ci) entraîne une surchauffe pendant l'été et entraîne une augmentation de la consommation d'énergie de climatisation, comme le confirment les auteurs (Belili, 2021 ; Mokhnache, 2023).

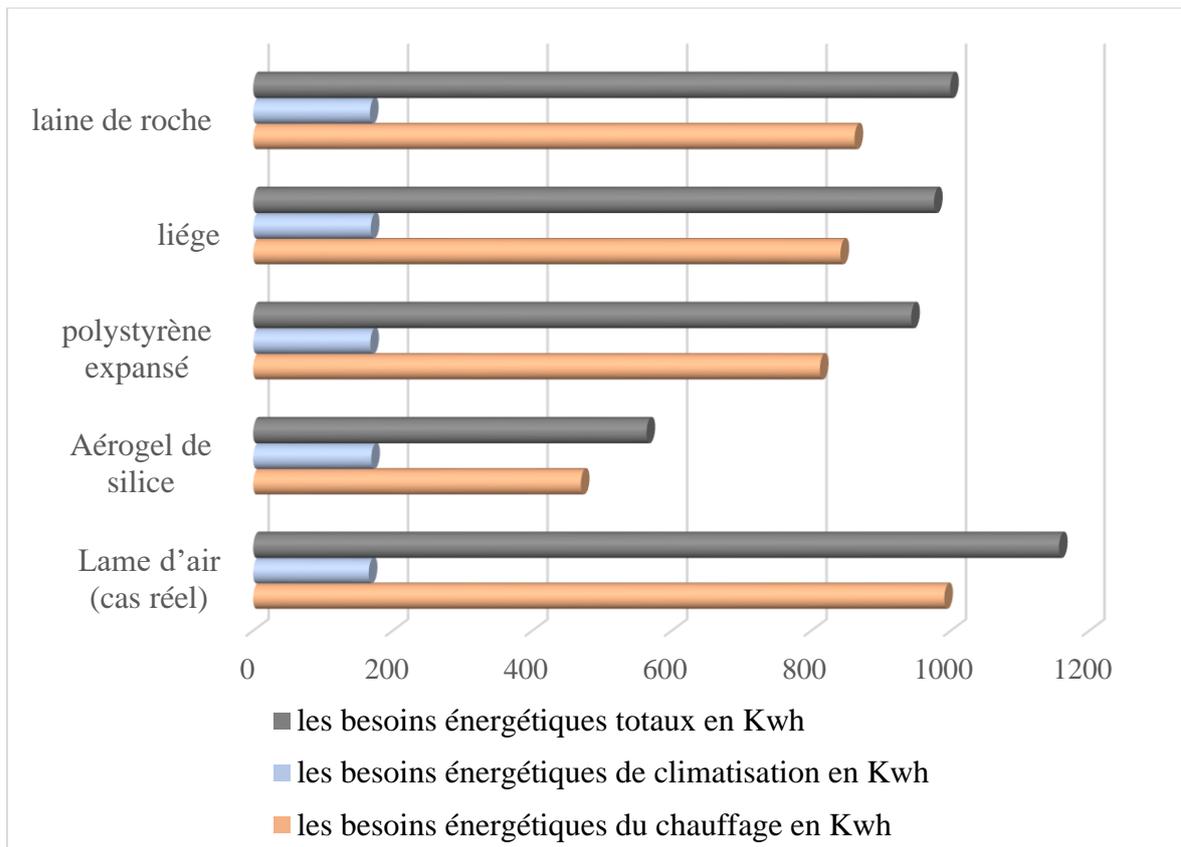


Figure 6.21 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques des chambres de l'hôtel d'Alger avec les différents types d'isolants thermiques proposés.

Source : Auteur, 2022.

6.3.2 Évaluation de l'impact des matériaux de vitrage en aérogel de silice sur la consommation énergétique des chambres

Retournant aux résultats des mesures expérimentales et de l'analyse d'images thermiques au niveau de l'hôtel de Bejaïa qui montrent des grandes pertes de chaleur à travers les vitrages des fenêtres.

L'amélioration suggérée consiste à faire des différents scénarios de simulation dont le premier est d'évaluer l'impact de l'intégration de vitrage en aérogel sur les besoins énergétiques des chambres, le deuxième est de comparer l'impact de ce type de vitrage avec les autres types de vitrage nous avons calculé la consommation d'énergie avec le double vitrage, le triple vitrage et le vitrage en aérogel de silice afin de minimiser la consommation d'énergie des chambres et de sélectionner le type de vitrage "adapté" à cet environnement.

La figure (Figure 6.22) présente les résultats de simulation du premier scénario et illustre la variation des besoins énergétiques des deux chambres choisies pour l'étude en chauffage et climatisation dans le cas existant et après l'intégration de vitrage en aérogel de silice dans la composition des fenêtres.

Nous remarquons que dans l'état existant les besoins énergétiques de chauffage est estimé de 887.20 kwh pour la chambre 01 et 731kwh pour la chambre 02, cependant les besoins énergétiques de climatisation est estimé de 216.6 kwh pour la chambre 01 et 170.9 kwh pour la chambre 02 , Dans cet état la chambre 02 est la plus économe en termes de demande d'énergie de chauffage et de refroidissement avec une différence de 156.2 kwh pour les besoins de chauffage et 45.7 kwh pour les besoins de climatisation par rapport à la chambre 01, l'orientation des chambres , le ratio des fenêtres sont les facteurs qui influe sur la consommation énergétiques parce que dans le cas de l'hôtel de Bejaïa la chambre 01 est caractérisé par une grande baie vitrée au niveau de mur de la façade principale, par contre la chambre 2 contient une seule fenêtre conventionnelle.

Pour la chambre 1 après l'intégration de vitrage en aérogel au niveau de la composition de la baie vitrée, une réduction de 62 % des besoins de chauffage de 887.20 kWh à l'état existant à 337.20 kWh, pour la période estivale, nous remarquons une légère augmentation de 3 % des besoins de climatisation estimé de 216.60 kWh à l'état existant à 225.80 kWh ,cette augmentation est à cause de la surface vitrée qui permettra la pénétration et le stockage facile des rayonnement solaire au niveau de l'enveloppe de la chambre ce qui engendre une augmentation de la chaleur, dans ce cas l'application de la protection solaire est la plus appropriée et conduit à une diminution considérable des besoins en climatisation, estimée à 129.8 kWh et une réduction de 40%.

Concernant la chambre 2, une réduction des besoins de chauffage de 536,7 kWh à l'état existant à 161,01 kwh, une réduction de 53 % après l'intégration de vitrage en aérogel de silice, pour la période estivale dans cette chambre nous remarquons une légère réduction de 3 % des besoins de refroidissement de 170.9 kWh à l'état existant à 165.30 kWh après l'intégration de vitrage en aérogel de silice, Pour cela, l'intégration de la protection solaire des fenêtres réduit les besoins à 85.45 kWh une réduction de 50.3 %.

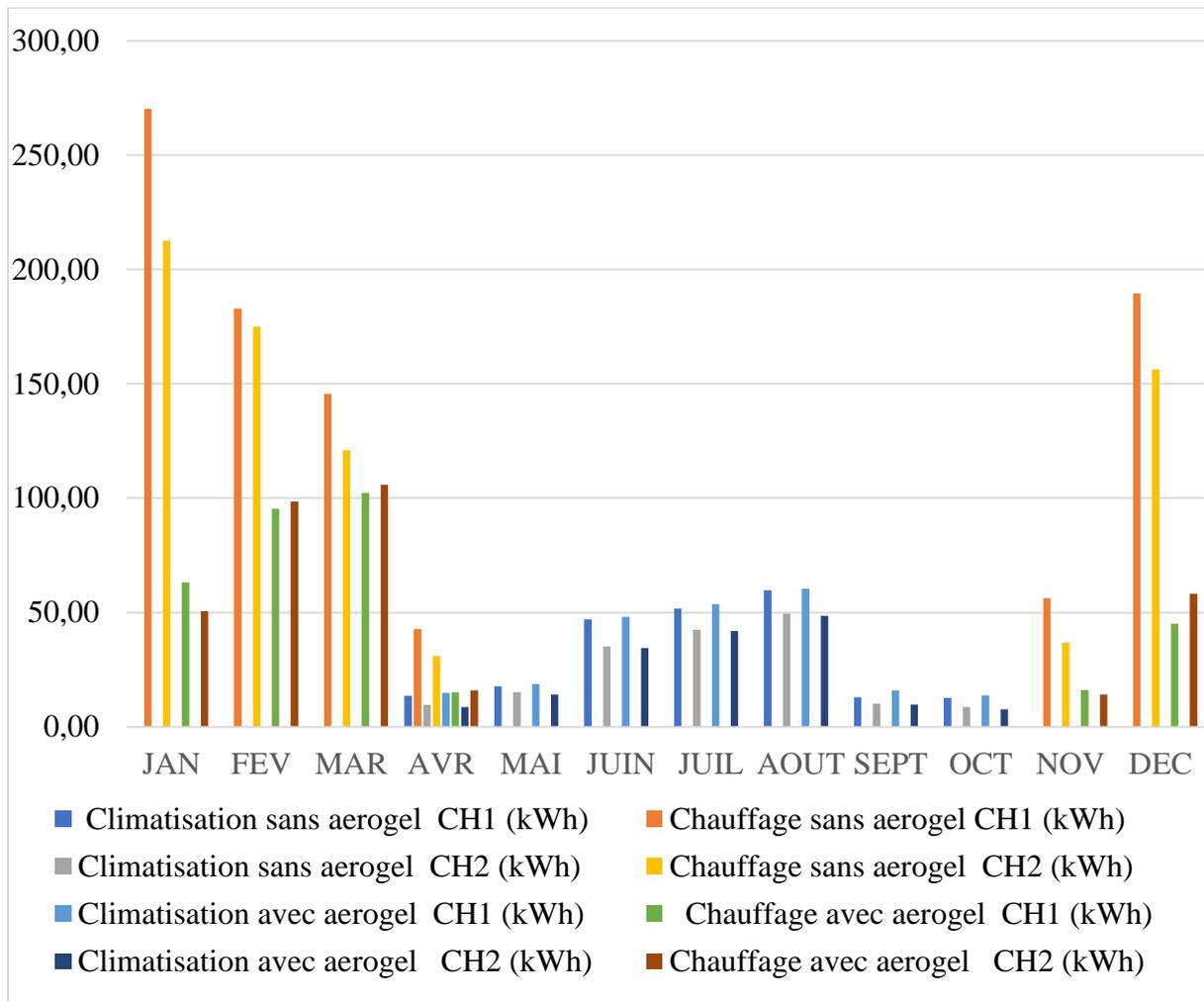


Figure 6.22 : Comparaison de la variation mensuelle de la consommation énergétique des chambres de l’hôtel de Bejaia avec et sans le vitrage en aérogel de silice.

Source : Auteur, 2022.

Suite aux résultats de la partie en au-dessus, nous avons fait la simulation des consommations énergétiques annuelles des chambres de l’hôtel de Bejaïa à l’état existant et après l’intégration de vitrage en aérogel de silice, les résultats de cette simulation sont présentés dans la figure (Figure 6.23). Nous remarquons une réduction importante de 58% pour les besoins énergétiques annuels de chauffage. Cependant pour les besoins énergétiques de refroidissement, nous remarquons une légère réduction annuelle de 2 %.

Les résultats que nous avons obtenus sont en accord avec ceux de la littérature (Huang,2015 ; Buratti,2016) où les auteurs ont évalué l’influence des systèmes de vitrage translucide en aérogel sur la performance énergétique du bâtiment dans les climats subtropicaux humides qui dominent d’une forte demande de refroidissement (Hong

Kong), ils ont prouvé que les systèmes de vitrage aérogel réduisent la demande annuelle de la charge de refroidissement d'environ 4 % par rapport au cas de référence (double vitrage classique) ce qui montre que les vitrages en aérogel de silice pourraient être une solution appropriée également dans les climats dominés par le refroidissement. Cependant, leur incorporation appropriée dans le bâtiment exige une attention particulière aux caractéristiques architecturales du bâtiment, comme l'intégration des protections solaires pour éviter les surchauffes d'été.

Ces résultats de réduction des charges de refroidissement n'influent pas sur la réduction des besoins annuels totaux des chambres, où nous avons obtenu une réduction totale de 47% ce qui confirme l'impact marquant de l'intégration des matériaux en aérogel de silice sur la consommation énergétique. De manière générale, pour l'optimisation de la performance énergétique des bâtiments, les systèmes de vitrage en aérogel pourraient être envisagés comme une bonne solution en termes de réduction de la demande énergétique annuelle.

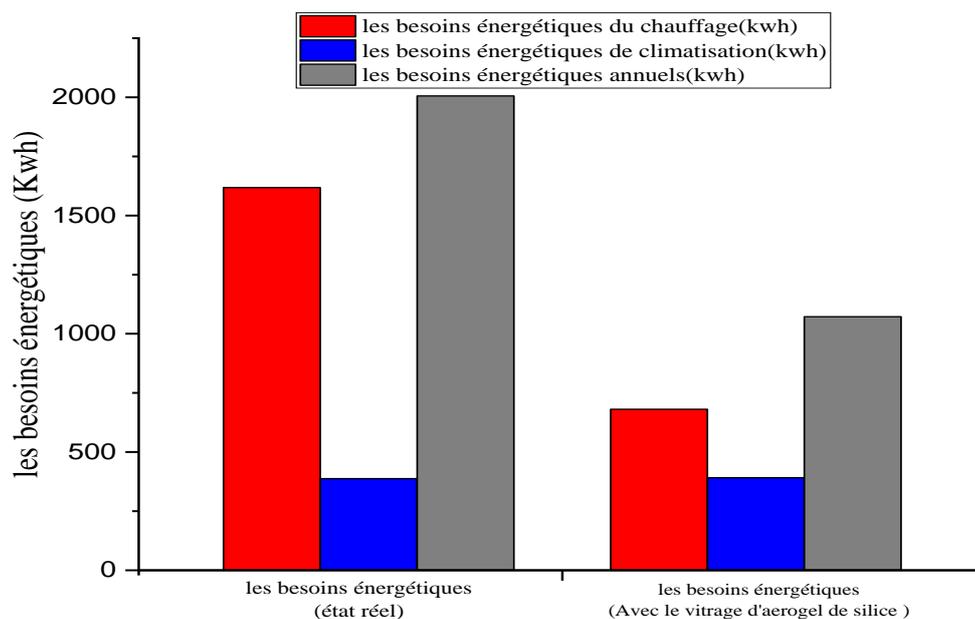


Figure 6.23 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques des chambres de l'hôtel de Bejaia avec et sans le vitrage en aérogel de silice.

Source : Auteur, 2022.

Nous avons mentionné précédemment que les hôtels sont parmi les bâtiments tertiaires les plus énergivores. L'enveloppe extérieure est l'un des facteurs qui affectent grandement la performance énergétique de l'hôtel, tant en termes de confort thermique et

qu'en consommation d'énergie pour le chauffage ou le refroidissement, dont le choix approprié du vitrage des fenêtres est l'une des stratégies efficaces pour minimiser la consommation d'énergie selon la composition du vitrage.

Dans ce deuxième scénario, la simulation de l'hôtel de Bejaia a été conçue pour déterminer le type de vitrage le plus approprié pour les hôtels dans ce type de climat (méditerranéen côtier). La modélisation énergétique des chambres choisies pour l'étude a été réalisée pour comparer la performance énergétique de quatre types de vitrage différents (le cas existant, le double vitrage, le triple vitrage, le vitrage en aérogel) dont les caractéristiques de chaque type sont présentées dans le tableau (Tableau 6.4).

Tableau 6.4 : types de vitrage utilisés dans un bâtiment.

Source : Auteur, 2022.

Le type de vitrage	Le coefficient de transmission thermique U W/m2. K
Le cas existant (simple vitrage)	5.2
Le double vitrage	3
Le triple vitrage	0.8
Le vitrage en aérogel	0.018

Les résultats de simulation présentés dans la figure (Figure 6.24) montrent que l'alternative du vitrage en aérogel a entraîné une réduction des charges de chauffage de 1618.2 kwh à 679.64 kwh un pourcentage de 58 % par rapport à d'autres alternatives dont les besoins de chauffage n'ayant été réduits que de 1618.2 kwh à 1505.35 kwh pour le double vitrage, un pourcentage de 7 % et de 1618.2 kwh à 1424.02 kwh pour le triple vitrage, une réduction de près de 12 %.

Pour les besoins de refroidissement, nous avons obtenu une légère réduction de 2% (de 387.5kwh à 379.75 kwh) avec le vitrage aérogel, cependant une réduction de 8 % pour le double vitrage (de 387.5kwh à 356.5 kwh) et 10 % pour le triple vitrage (de 387.5kwh à 348.75 kwh). Nous remarquons que tous les types de vitrage donnent une faible performance pendant la période estivale, l'accès intense du rayonnement solaire à travers le vitrage

augmente considérablement la température intérieure des chambres. Pour cette raison, le besoin d'un système de climatisation augmente avec les chambres fortement vitrées.

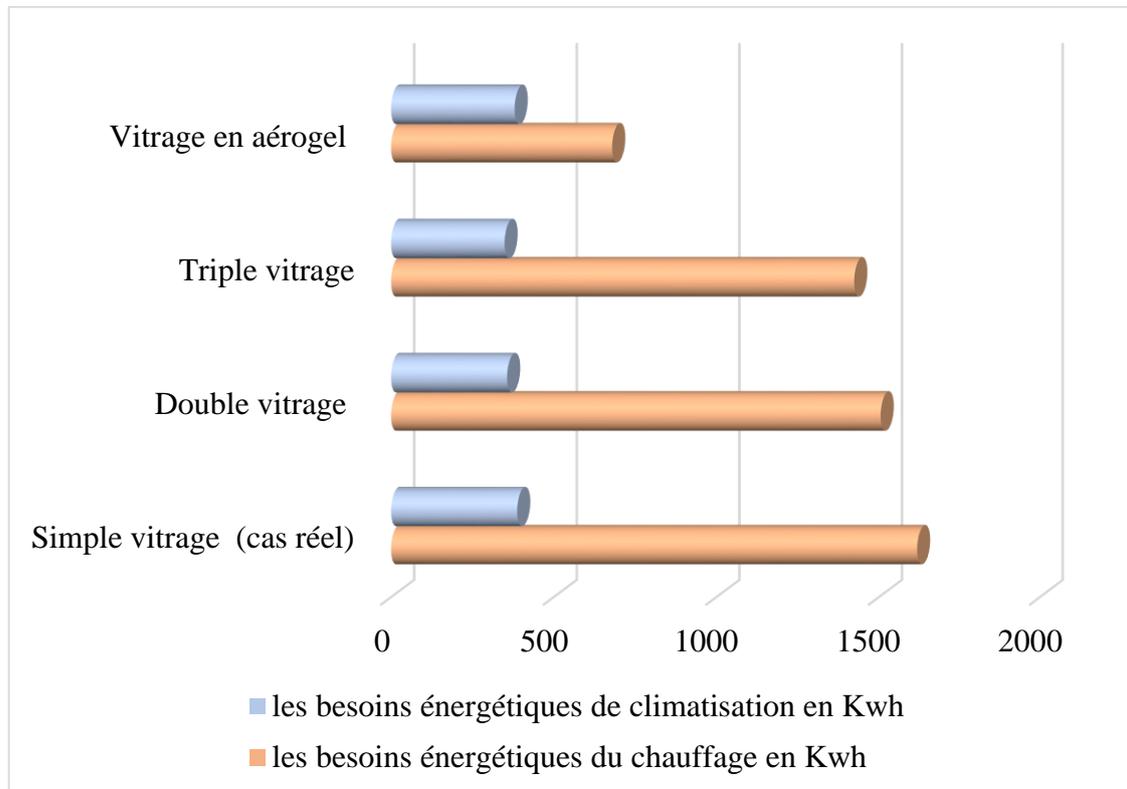


Figure 6.24 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques des chambres de l'hôtel de Béjaia avec les différents types de vitrage proposés.

Source : Auteur, 2022.

Pour les consommations énergétiques totales présentées dans la figure (Figure 6.25) une réduction de 803,02 kWh dans le scénario de base à 418,20 kWh, soit une réduction de 47% après l'intégration d'aérogel de silice dans le vitrage, par rapport au triple vitrage, la consommation d'énergie est réduite de 803,02 kWh dans le scénario de référence à 716,50 kWh, soit une réduction de seulement 10%.

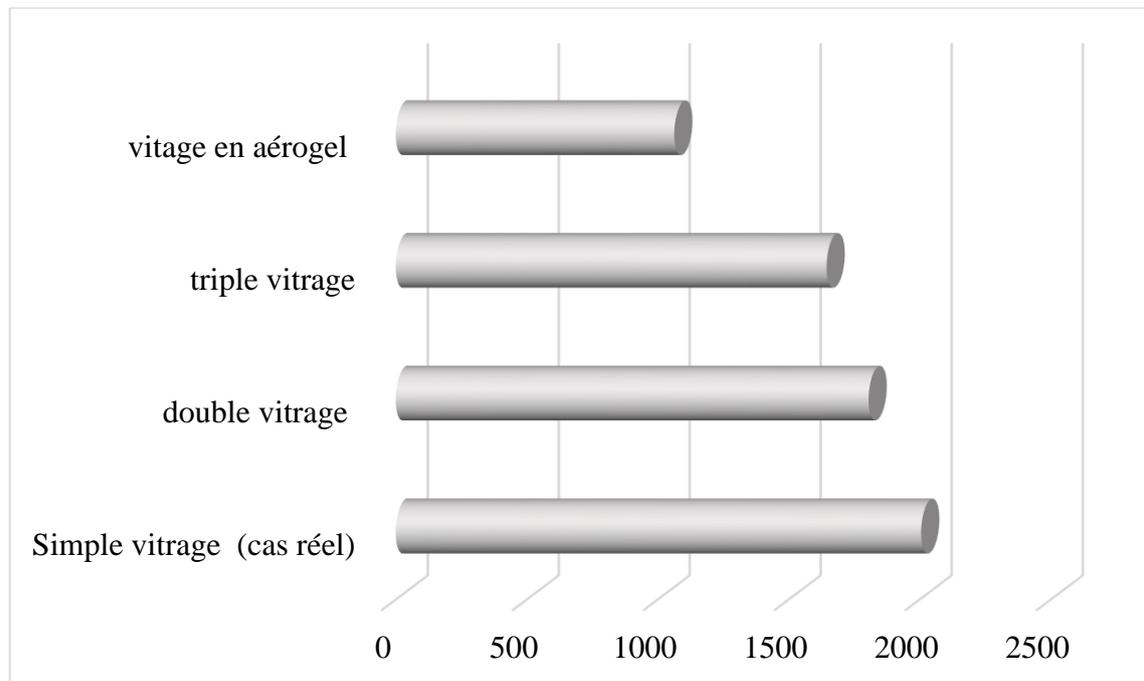


Figure 6.25 : Comparaison de la variation des besoins énergétiques annuels des chambres de l'hôtel de Béjaia avec les différents types de vitrage proposés.

Source : Auteur, 2022.

À partir de ces résultats de la simulation de l'étude de cas, nous constatons que l'utilisation d'aérogel de silice permet une réduction significative de la consommation d'énergie du bâtiment au cours de la phase d'utilisation par rapport à l'utilisation d'alternatives en verre. Pour cela, il est nécessaire d'étudier les facteurs et les obstacles liés à l'application et à l'utilisation de ce matériau intelligent dans les chambres d'hôtels, Par conséquent, les conclusions actuelles soutiennent celles de (Abdul Mujeebu et al, 2016) qui s'accordent bien sur la performance de l'intégration de l'aérogel au niveau de vitrage sur le potentiel des économies d'énergie. D'autres études (Reim et al, 2005 ; Huang, 2015 ; Gao,2016) confirment que le système de vitrage à base d'aérogel est translucide et diffusant la lumière et qu'il peut être adapté pour promouvoir la performance énergétique et l'éclairage naturel en modifiant les propriétés physiques de l'aérogel.

6.4 Evaluation de l'influence des matériaux aérogels sur le confort thermique

Afin d'évaluer le confort thermique dans les chambres de cas d'étude, nous avons choisi la température opérative comme indicateur de niveau de confort, elle permet de prendre en compte la température de l'air intérieur et la température radiante moyenne des

surfaces de l'espace intérieur. Par définition, la température opérative est la moyenne entre la température de l'air intérieur et la température radiante des parois intérieures de la chambre. L'ASHRAE définit la plage de température opérationnelle pour une sensation de confort thermique pour l'hiver de 20 à 23,5 °C et l'été de 22 à 24 °C (Taleghani,2013).

Nous avons fait une comparaison entre les températures opératives dans le cas existant et dans le cas optimisé pour les deux hôtels, Pour le cas de la chambre de l'hôtel d'Alger, nous remarquons que pour le cas existant (Figure 6.26) une obtention de 900 heures de confort thermique qui présente un pourcentage de 24.44 % alors qu'en ce qui concerne le cas optimisé (Figure 6.27) 1400 heures de confort ont été obtenues ce qui donne un pourcentage de 40.23%.

Cependant, pour la période estivale, nous avons obtenu 1150 heures dans la zone de confort pour le cas existant, ce qui présente 27 % alors que pour le cas optimisé, 1000 heures de confort thermique ont été obtenues soit 25.6 %. Cela est dû à la composition existante des murs dont le refroidissement est plus rapide, surtout durant la nuit ce qui conduit à une diminution importante de la température opérative par rapport au cas optimisé.

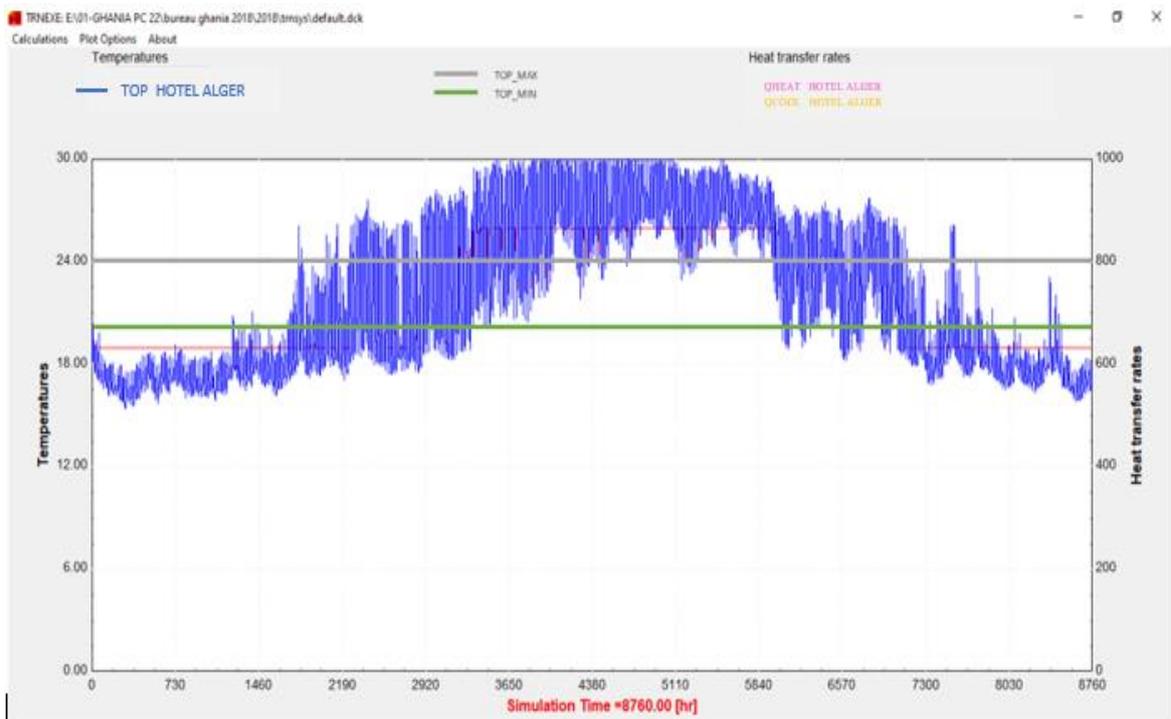


Figure 6.26 : Variation de la température opérative pour le cas existant (hôtel d'Alger).

Source : Auteur, 2022.

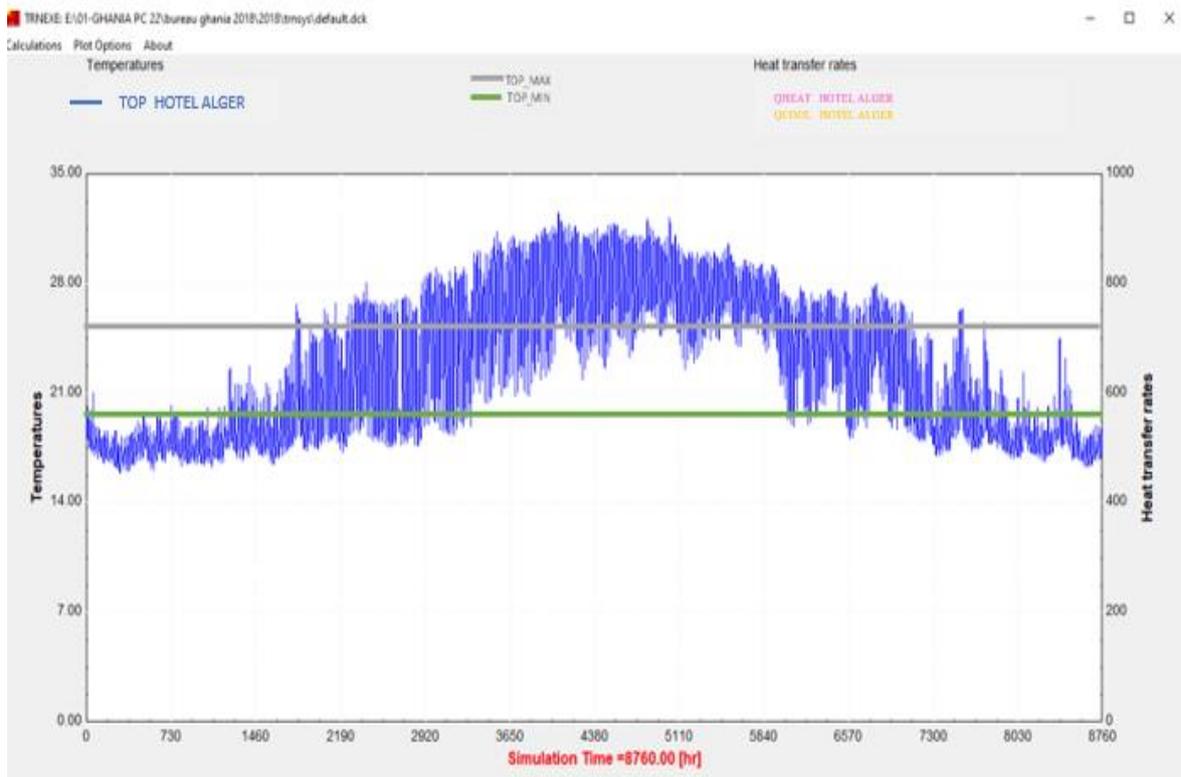


Figure 6.27 : Variation de la température opérative pour le cas optimisé (hôtel d’Alger).

Source : Auteur, 2022.

Concernant les chambres de cas de l’hôtel de Bejaïa la figure (Figure 6.28) (Figure 6.29) montrent la variation des températures opératives intérieures dans la chambre. Nous remarquons que, pour le cas existant, la surface vitrée des murs donne la possibilité d’augmenter la quantité de rayonnement solaire entrant dans la chambre en période hivernale. Sur 8760 heures de simulation, nous avons obtenu que 1067 heures sont dans la zone de confort thermique soit 37% du confort thermique pour le cas existant. Alors que pour le cas optimisé, 1350 heures sont dans la zone de confort thermique soit 45% du confort thermique

Pour la période estivale, qui s’étend du mois de mai au mois de septembre, la majorité du temps les valeurs sont hors de la zone de confort thermique pour les deux cas existant et optimisé à cause de l’accès intense du rayonnement solaire à la chambre qui augmente considérablement la température intérieure, de ce fait le besoin d’un système de climatisation augmente avec les chambres fortement vitrées.



Figure 6.28 : Variation de la température opérative pour le cas existant (hôtel de Bejaia).

Source : Auteur, 2022.



Figure 6.29 : Variation de la température opérative pour le cas optimisé (hôtel de Bejaia).

Source : Auteur, 2022.

Conclusion

A partir des résultats obtenus dans ce chapitre, l'isolation thermique présente une des stratégies qui contribue à une amélioration remarquable du confort thermique et à une réduction de la consommation énergétique en période hivernale par rapport à la période estivale. En effet, les résultats montrent que l'enveloppe du bâtiment a un impact significatif sur l'optimisation de la consommation d'énergie. En période d'hiver, l'enveloppe de chambre non isolée facilite le déplacement de chaleur d'une façon rapide de l'intérieur vers l'extérieur. Cela confirme que le rayonnement solaire est considéré comme un facteur qui influence la température intérieure de l'air. L'intégration des nanomatériaux dans la composition de l'enveloppe, soit au niveau des murs ou des vitrages, présente une solution très efficace en utilisant des nano-isolants qui sont caractérisés par des caractéristiques thermiques supérieures aux matériaux traditionnels utilisés dans les bâtiments existants.

L'efficacité énergétique du matériau en aérogel a été évaluée, ainsi que son impact sur la température opérative des chambres d'hôtel. En effet, par rapport au cas existant, l'application d'isolation thermique en aérogel de l'enveloppe a permis de réduire les besoins annuels des chambres de l'hôtel d'Alger de chauffage et de climatisation (avec les protections solaires) de 53% et 43 %, respectivement. Aussi bien pour l'hôtel de Bejaia ou les besoins annuels de chauffage et de climatisation ont également été réduits de 58% et 47%.

Les matériaux en aérogel intégrés au niveau des murs et des vitrages présentent le meilleur rendement énergétique en comparaison avec les autres types d'isolants simulés pour l'enveloppe des deux hôtels. Les variations des besoins en chauffage et en climatisation remarquées entre les deux hôtels sont influencées par la différence de la dimension des chambres, l'orientation ainsi que la surface vitrée, de plus les températures in situ mesurées en hiver et en été.

Pour le premier cas de l'hôtel d'Alger, les résultats prouvent que l'emploi d'une isolation thermique efficace réduit les besoins énergétiques du chauffage, par contre elle augmente les besoins énergétiques de climatisation. De ce fait, l'intégration d'un procédé passif comme les protections solaires contribue à la protection des façades extérieures contre la pénétration des radiations solaires et influe visiblement à la réduction de la consommation d'énergie de la climatisation pendant la période d'été dans les deux hôtels étudiés. Cette

combinaison des deux solutions (isolation thermique améliorée et protection solaire des façades) contribue à une réduction significative des besoins en climatisation durant l'été.

CONCLUSION GENERALE

L'énergie est l'un des catalyseurs les plus importants de la création de richesse, de la croissance économique et du développement social dans la plupart des pays. Les bâtiments ont une part importante de l'énergie totale consommée à l'échelle mondiale, par conséquent, ils possèdent un impact considérable sur l'environnement.

Les bâtiments d'hébergement, en particulier les hôtels, représentent une menace réelle pour l'environnement en raison de leur forte consommation d'énergie. En Algérie, un grand nombre d'hôtels a été construit ces dernières années, dont un pourcentage élevé est situé dans la région méditerranéenne. L'enveloppe extérieure de l'hôtel constitue un élément clé dans l'optimisation d'énergie, elle représente une grande surface d'échange thermique et une frontière entre les environnements intérieurs et extérieurs. Elle est considérée comme un modulateur thermique et représente de ce fait, un défi majeur pour les concepteurs du bâtiment, particulièrement chez les architectes. Elle possède également une part importante dans la réduction des charges d'énergie, vu son rôle protecteur face aux changements extérieurs et grâce aux matériaux qui la constituent.

En effet, la performance de l'enveloppe dépend du point de vue thermique et énergétique de nombreux paramètres, liés à la fois à la conception, à la nature des matériaux et aux aspects techniques. L'architecte, en tant que premier responsable des travaux, doit prendre en compte l'impact de ses décisions conceptuelles et de son choix des matériaux, sur l'environnement thermique intérieur et sur la consommation énergétique du bâtiment. De plus, les hôtels présentent des caractéristiques énergétiques nombreuses comparés à d'autres types de bâtiments, étant caractérisés par un profil de consommation énergétique non cohérent qui dépend en réalité du taux d'occupation et des services proposés. Partant de là, on peut déduire que le taux de consommation dans un hôtel reste très aléatoire.

En outre, la recherche du confort dans un hôtel selon son classement (exprimé en nombre d'étoiles) augmente sa consommation énergétique proportionnellement à l'augmentation des espaces spécialisés existants, de détente, de loisirs ou autres (salles de soins, espaces de bien-être, salles de sports...). Il convient de souligner également l'importance de l'impact des clients sur l'augmentation de la consommation énergétique qui varie considérablement selon les circonstances, la durée d'occupation ainsi que la période de l'année.

Dans ce sens, une évaluation post-occupationnelle des clients dans les chambres a été effectuée dans les deux hôtels choisis pour notre présente étude. Les résultats obtenus étaient basés sur une évaluation du degré de satisfaction par rapport aux paramètres environnementaux et aux systèmes et modes de chauffage et de climatisation. Ceci dans le but de déterminer la relation entre les trois variables : les réactions/actions comportementales des occupants, le confort thermique ainsi que la consommation d'énergie. Dans l'ensemble et dans des conditions naturelles (sans chauffage en hiver et sans climatisation en été), les réponses des clients concernant la sensation de la température dans une chambre d'hôtel ont été négatives. Cependant, ils ont exprimé leur satisfaction face à la disponibilité des chauffages et des climatiseurs. Cela signifie que les répondants souhaiteraient que la température de l'air dans une chambre d'hôtel soit stable, sans grand changement.

Concernant les résultats de l'évaluation par rapport à l'humidité relative de l'air, la qualité de l'air et le niveau d'éclairage naturel, l'enquête a révélé que la majorité des répondants étaient insatisfaits. Ces résultats sont en relation directe avec les appréciations positives des clients concernant l'emplacement et l'orientation des chambres occupées, ainsi que la dimension de la surface vitrée existante. Les réponses sont influencées également par la réaction de chaque individu par rapport à son environnement intérieur en quête d'une situation de confort thermique optimale selon ses besoins personnels.

Néanmoins, les clients ont posé le problème du manque des courants d'air à une vitesse assez constante dans les chambres, suite à l'utilisation permanente du chauffage et de la climatisation. Cette situation nécessite sans doute la fermeture permanente des portes et fenêtres afin de préserver la température souhaitée.

Suite à ces résultats, il convient de souligner que l'appréciation du comportement des clients par rapport aux motifs de contrôle de la consommation énergétique, est considérée parmi les moyens les plus efficaces réduisant la consommation d'énergie dans un hôtel.

L'objectif étant de mettre en place de futures incitations et encouragements afin de motiver les utilisateurs des hôtels algériens à réduire leur consommation excessive des ressources en général et de l'énergie en particulier. Ce qui pourra favoriser une utilisation rationnelle de l'énergie.

A travers les diagrammes bioclimatiques effectués pour chaque région d'étude, l'analyse thermique ainsi que les résultats et séries de simulations, cette recherche a tenté de

faire connaître l'influence des différents composants de l'enveloppe d'un hôtel sous un climat méditerranéen, sur le comportement énergétique et thermique.

Nous avons ainsi effectué une synthèse concluante qui se résume comme suit :

La thermographie présente une technique qui permet de visualiser et de représenter la distribution de température sur la surface d'un bâtiment. C'est la distribution de cette température qui permet la détection des irrégularités thermiques. L'analyse des images thermiques a montré qu'il existe des pertes de chaleur au niveau des murs et des fenêtres, ce qui augmente la consommation d'énergie.

L'introduction des matériaux caractérisés par une bonne inertie thermique associée à une isolation renforcée des parois verticales et horizontales, pourra favoriser la réduction des ponts thermiques.

Les fenêtres vitrées possèdent un effet plus important sur l'environnement du bâtiment intérieur que la masse thermique. Par conséquent, le système de fenêtres devrait être pris en compte précisément en période chaude.

L'intégration du double ou triple vitrage peu émissif, en attendant de développer les capacités pour la construction avec le vitrage en aérogel.

L'utilisation des matériaux de masse thermique dans une région méditerranéenne augmente la possibilité d'obtenir un confort thermique pendant la majeure partie de l'année (automne, hiver et printemps). Cependant, les systèmes de climatisation restent nécessaires en été en raison de l'augmentation de la température extérieure à plus de 35 °C.

L'étude a démontré que l'orientation possède une influence majeure dans les régions méditerranéennes en raison de l'exposition à un rayonnement solaire élevé. De ce fait, l'utilisation de dispositifs d'ombrage externes est recommandée dans les grandes fenêtres pour réduire la quantité de rayonnement solaire pénétrée, en particulier dans les chambres exposées au sud et à l'ouest.

En général, l'Algérie et certains d'autres pays dans le monde souffrent de la construction de bâtiments qui consomment de grandes quantités d'énergie sans pour autant répondre aux besoins et aux attentes des utilisateurs. Ce qui oblige les spécialistes du bâtiment à résoudre ce problème, en optant pour des solutions efficaces et en passant d'une

conception utilisant des matériaux de construction traditionnels aux propriétés physiques, mécaniques et chimiques moins efficaces, vers une conception utilisant les matériaux de la nouvelle génération plus performants.

Rappelant que l'industrie des matériaux de construction traditionnels conduit souvent à la dégradation du climat environnemental et à l'émission de gaz qui affectent la couche d'ozone.

Dans ce sens, notre présente recherche propose l'introduction des nouveaux matériaux faisant partie de la nanotechnologie dans le domaine de l'architecture et de la construction en général et dans les hôtels en particulier. Elle tente également l'évaluation de leur capacité d'améliorer la qualité de l'environnement interne des bâtiments et de préserver le climat environnemental qui compte parmi les défis les plus importants auxquels le monde est confronté à l'heure actuelle.

Ce travail vise à évaluer l'impact des matériaux composés de l'aérogel de silice sur l'efficacité énergétique des hôtels dans un climat méditerranéen humide (cas du littoral de l'Algérie). L'importance générale de la recherche était d'examiner la relation entre la nanotechnologie, le bâtiment et de démontrer l'impact de cette technologie sur l'augmentation de l'efficacité des bâtiments et l'amélioration de la qualité de l'environnement interne. Pour rappel, l'Aérogel est un matériau innovant de la nouvelle génération (super isolation) avec une conductivité thermique extrêmement faible.

Dans la première partie de la simulation, l'intégration d'aérogel de silice pour l'isolation des murs extérieurs avec une épaisseur de 5 cm nous a permis de réduire significativement les besoins totaux de chauffage (période hivernale) des chambres d'hôtel de 53% par rapport à une chambre non isolée. Pour la période estivale, la protection solaire constitue une bonne alternative de conception avec l'intégration d'aérogel de silice pour l'isolation des murs extérieurs pour une réduction significative des besoins totaux de climatisation, qui peut être de 43% dans les chambres étudiées.

Les propriétés exclusives des aérogels offrent différentes applications dans le secteur du bâtiment. L'utilisation de matériaux isolants à base d'aérogel de silice conduit à une influence considérable sur les besoins énergétiques des chambres étudiées.

Concernant la deuxième partie, une unité de vitrage aérogel translucide économique composée de deux vitres transparentes et d'un intercalaire aérogel composite a été intégrée, sa performance thermique et énergétique a été étudiée numériquement. Les résultats ont démontré qu'un vitrage en aérogel translucide avec une couche intermédiaire en aérogel composite de 8 mm d'épaisseur, peut-être plus performant qu'un vitrage double de haute performance, un triple vitrage et le vitrage simple, sert à la réduction de la charge de chauffage.

Il a été révélé également que l'application du vitrage en aérogel est une mesure d'efficacité énergétique fiable, principalement pour les zones de vitrage non protégé, où ces zones nécessitent un contrôle du rayonnement solaire empêchant l'éblouissement. En effet, la performance d'un système de vitrage en aérogel de silice dans les chambres d'hôtel sous un climat méditerranéen et les résultats obtenus, ont montré clairement le potentiel de ce type de vitrage pour optimiser l'efficacité énergétique.

En outre, l'utilisation de ce vitrage peut favoriser de meilleures valeurs de transfert thermique que les fenêtres à double vitrage en raison de la valeur U inférieure et de la transmittance solaire. Ce qui a entraîné une réduction de plus de 40 % du taux de transfert de chaleur à travers les fenêtres.

L'impact des vitrages nano-aérogel sur la performance énergétique du bâtiment actuel et leur faisabilité économique par rapport à d'autres types de vitrage ont été analysés. La présente recherche a montré que l'intégration d'aérogel de silice dans un vitrage a permis de réduire la consommation énergétique annuelle des chambres des cas d'étude de 47%.

Les résultats des simulations énergétiques ont révélé que les nouveaux systèmes de vitrage aérogel sont une solution adaptée pour l'optimisation de bâtiments, grâce à de faibles valeurs U et à la transmittance, également dans des conditions climatiques chaudes.

Actuellement, le coût de l'isolation en aérogel est beaucoup plus élevé que le coût des matériaux d'isolation conventionnels, ce qui entrave leur application généralisée dans les bâtiments, notamment pour la rénovation. Cependant, l'utilisation d'aérogel de silice dans le vitrage des bâtiments peut créer un défi architectural en Algérie, en raison de sa grande capacité à réduire la consommation de chauffage et de climatisation. Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de garantir des performances énergétiques élevées dans les climats Méditerranéens.

Les résultats de ce travail s'inscrivent dans un effort d'étude plus large qui développe un ensemble de recommandations et d'orientations pour les concepteurs du bâtiment afin de réduire la consommation d'énergie dans les hôtels, tout en assurant le confort thermique des clients. Cela peut se concrétiser par l'intégration des nanomatériaux dans la conception de l'enveloppe, ce qui consolide l'affirmation des hypothèses émises dans ce travail de thèse.

Perspective de recherche

L'actualité du sujet traité a laissé émerger des recherches plus approfondies sur les performances thermiques et énergétiques des bâtiments avec différentes options de nano-isolation. Concernant le cas algérien, des recherches sont en cours, dans différentes conditions climatiques ainsi que dans différents types de bâtiments, tels que les bâtiments résidentiels, éducatifs et commerciaux, avec une variété de rapports fenêtre/mur.

L'éclairage naturel est parmi les facteurs les plus importants dans un hôtel, de ce fait, les études futures devraient se concentrer sur l'impact des systèmes d'aérogel sur le confort visuel intérieur et sur la consommation d'énergie pour les lumières artificielles dans les bâtiments. Des études intégrant l'évaluation des émissions de carbone des nanomatériaux ainsi que l'évaluation énergétique du cycle de vie ont également été engagées.

Limites de recherche

La sensibilité du secteur, surtout en matière de confort, nous oblige à opter pour une multitude d'hôtels urbains à visiter et à analyser. Cependant, nos visites de plusieurs hôtels dans différentes wilayas côtières ont été un choix limité à cause de la non-collaboration des résidents qui refusent ce type de recherche à l'intérieur de leurs chambres.

La difficulté de distribuer le questionnaire dans les hôtels est parmi les obstacles primordiaux de cette recherche, du fait que la majorité des clients ont refusé de rester dans des conditions naturelles (sans chauffage et sans climatisation), ce qui a donné des réponses parfois irrationnelles.

Dans ce type de bâtiment, une analyse détaillée reste extrêmement difficile à réaliser en raison de la possibilité d'ouverture des fenêtres par les utilisateurs, de la présence irrégulière des clients dans les chambres et de l'impossibilité de vérifier le nombre exact d'utilisateurs dans la pièce pendant les mesures.

Malgré ces difficultés, nous avons tenté de notre mieux, de mener à bout cette recherche. Qu'elle puisse servir de référence pour d'autres chercheurs, et ouvrir de nouvelles pistes d'exploration, tel est notre grand souhait.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdallah, M. R.; Nasr, T. I.; Hasballah, A. A. (2020). the concept of application of nanomaterials on the envelope facade of buildings in Egypt. *journal of engineering and applied science*, vol. 67, no. 8, pp. 2205-2224 faculty of engineering, cairo university
- Abdul Mujeebu, M., Ashraf, N., Alsuwayigh, A. (2016). Effect of nano vacuum insulation panel and nanogel glazing on the energy performance of office building. *Appl Energy*; 173:141–51.
- Abdullah, A. Ahmad. (2017). " The effect of nanotechnology applications on materials used in the external facades of buildings" Master Thesis, Egypt: Faculty of Engineering, Cairo University, 2017.
- Abdulmajeed, N. S. (2022). Harnessing Nanotechnology to Conserve Energy in Buildings. *Scientific Research Journal of Engineering and Computer Science*. Volume-2 | Issue-5
- Abdulsalam, S.; Muhammad, K.; Balarabe M. T. (2018). Energy efficiency in residential buildings using nano-wood composite materials. *International Journal of Civil Engineering and Technology Vol 9, N° 3*.
- Abi Rekha, L., Keerthana, B. & Ameerlal, H. (2016). Performance of fly ash stabilized clay reinforced with human hair fiber. *Geomech. Engineering*. 10 (5), 677–687. <https://doi.org/10.12989/gae.2016.10.5.677>.
- Advizeo. (2020). <https://www.advizeo.io>.
- Aegerter, M. A., Leventis, N., Koebel, M. M. (2011). *Aerogels Handbook*, Springer, New York, NY, USA.
- Agence de la transition écologique. ADEME Expertises (2022). (<https://expertises.ademe.fr/>).
- Agyenim, F.; Hewitt, N.; Eames, P.; Smyth, M. A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS), *Renew Sust Ener Rev*, 14(2), 2010, 615-628.
- AH&LA. (2001). *Energy Management and Conservation Guide*. Lodging Magazine, October 2001, www.lodgingnews.com, 1.07.2002.
- Ahmed Khan. (2015). *L'habitat durable en Arabie Saoudite : dimension climatique et socio-culturelle : cas d'étude : la ville de Djeddah*. Thèse de doctorat en Architecture, aménagement de l'espace. Université de Bordeaux.
- Ahriz, A., Abdelhakim, M., Djeflal, L., M, Badr, A.G., Hassan Abdelhafez M.H. (2022). The Use of Double-Skin Façades to Improve the Energy Consumption of High-Rise Office Buildings in a Mediterranean Climate (Csa)" *Sustainability* 14, N.10: 6004. <https://doi.org/10.3390/su14106004>.
- AIE. (2022). <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.

Al Fahmawee, E. D, & Jawabreh Omar, A. A. (2022). Adaptive Reuse of Old Structures into Heritage Hotel Buildings: A Post-Occupancy Evaluation in Jordon, Amman. *Journal of the International Society for the Study of Vernacular Settlements*, Vol. 9, N° .5, PP 16-32.

Alawi Alhebshi, N. (2009). *Qu'est-ce que la nanotechnologie*, Maison d'édition : Dar kounouz elmaarifa, Djeddah, Saudia Arabia. (En arabe)

Alborz, N. and Berardi, U. (2015). A post occupancy evaluation framework for LEED certified US higher education residence halls. *Procedia Engineering*, Vol. 118, pp. 19-27.

Alliouche, L.B.; Bendimared, S. (2016). *La Pratique Du Marketing Dans Le Secteur Hôtelier En Algérie*. *La Revue des Sciences Commerciales*. Volume 15, Numéro 1, Pages 09-34.

Alsaied, A. F.; Ahmed, H.E.; Rania, S. S. (2019). Integrating of nano architecture and sustainability towards a better built environment. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*. Vol 14, N°51, PP 801-816.

AMNACHE – CHIKH Sabrina. (2017). *Tourism Activity in Algeria: Reality and Prospects for Development*. *El-Bahith Review* Vol 17, N° 17, Pages 161-167.

ANDI. (2013) *Guide d'investissement dans la ville d'Alger*.

André, P., Delisle, C. E., Revéret, J.-P, Séne, A. (2003). *L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratique*, Montréal, Presses internationales Polytechnique, 520 p., ISBN 2553011326.

André, Pierre.G., Jean-Pierre.L., Samuel, Y. (2020). *L'évaluation des impacts sur l'environnement, processus, acteurs et pratique pour un développement durable*, Ecole Polytechnique, Montréal canada (4° Éd.).

Angélique, L., Sandra, Saïcha, G., Sylvie, G., Arribas, M. (2019). « L'analyse du cycle de vie : un outil multicritère et quantitatif pour l'évaluation des impacts environnementaux ». *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège (En ligne)*, Actes de colloques, Le changement climatique, Liège, Vol 88, pp 73-81 URL : <https://popups.uliege.be/0037-9565/index.php?id=9220>.

Antipolis, Sophia. (2011). *Rapport final de l'Algérie APRUE, Plan Bleu Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM* in http://planbleu.org/sites/default/files/upload/files/5-R_Rapport_indicateurs_Algerie.pdf.

APEC. (1999). *APEC Benchmark System*. Asia Pacific Economic Cooperation. Retrieved from <http://eber.ed.ornl.gov/apec/index.htm>.

APRUE. (2017). *'Consommation énergétique finale : Année 2017'*, Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, Alger, Algérie.

Arnaud Moign. (2019). *Un aérogel céramique ultraléger résistant aux chocs thermiques*. Le magasin

- Ascione, F., Bianco, N., Demasi, R.F., MAURO, G.M., Vanoli, G.P. (2015). Design of the Building Envelope: A Novel Multi-Objective Approach for the Optimization of Energy Performance and Thermal Comfort. *Sustainability*, 7, 10809-10836. <https://doi.org/10.3390/su70810809>.
- Ashby, M.F.; Schodek, D.; Paulo, F. 2009. *Nanotechnologies and design: an introduction for engineers*. Butterworth-Heinemann; 1st edition P 437.
- ASHRAE Engineers. (2017). *ASHRAE Handbook—Fundamentals*; ASHRAE: Atlanta, GA, USA.
- Australian Government. (2002). *Energy efficiency opportunities in the hotel industry sector*. Project report. Australia: Department of Industry, Tourism and Resources.
- Azusa, Ikeda. (2009). *Introducing natural ventilation in selected malaysian hotels for environmental sustainability*. Thèse de Master en Science, Université Sains Malaysia.
- Bagnall, P., Atlas, M. (2022). "Meteors" in *Meteor Showers: for Meteor Observers*. Springer Nature. 11-23.
- Bekkouche, S., Benouaz, T., Cherier, M., Hamdani, M., Yaiche, M., and Benamrane, N. (2013). Thermal resistances of air in cavity walls and their effect upon the thermal insulation Performance. *Journal Foundation*, vol. 4, pp. 459-466.
- BELILI, Hocine. (2021). *Contribution des enveloppes nanotechnologiques dans l'amélioration de la performance énergétique*. Thèse
- Benelkadi Kamel. (2023) *Développement du secteur hôtelier : L'Etat met les moyens*. Journal elwatan sur le lien <https://elwatan-dz.com/developpement-du-secteur-hotelier-letat-met-les-moyens>
- Benhalima, kh. (2011). *Ressources humaines et développement durable cas de la Sonatrach*. Thèse de Magister en management, université d'Oran.
- Berardi, U. (2018). Aerogel-enhanced solutions for building energy retrofits: insights from a case study, *Energy and Buildings*, Volume 159, Pages 370-381. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.092>.
- Bigley, C., Greenwood, P. (2003). Using silica to control bleed and segregation in self-compacting concrete, *Concrete (London)*, vol. 37, N°. 2, pp. 43-45.
- Biljana, P. (2017), Predicting tourism demand by A.R.I.M.A. models. *Economic research-ekonomska istraživanja*, vol. 30, no. 1, 939–950. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1314822>.
- Bodach Susanne. (2016). *Design Guidelines for Energy-Efficient Hotels in Nepal*. *International Journal of Sustainable Built Environment*. Vol 5, Issue 2. pp 411-434.
- Bohdanowicz, P., Martinac, I. M. (2002). *Thermal Comfort and Energy Saving in the Hotel Industry*. AMS 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology & 16th International Congress on Biometeorology, 28 October-1 November, Kansas City, USA.

- Bordass, B., Leaman, A., and J. Eley. (2006). "A guide to feedback and post-occupancy evaluation." In Usable buildings trust, 1–17. London: Usable Buildings Trust.
- Boutarcha Fahima. (2023). Les contraintes démographiques et économiques dans le littoral de Bejaia : Esquisse d'une politique de protection de l'activité de la pêche. *Journal of Business Administration and Economic Studies*. Vol (09), Issue (01), P: 653-674.
- Bozsaky.D.(2018). Moisture Behavior of Thermal Insulation Coating Consisted of Vacuum-Hollow Nano-Ceramic Microspheres. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(4), pp. 980–985.
- BRESCU. (1993). Energy-Efficiency in Hotels – A Guide for Owners and Managers. Best Practice Program Guide 36: Energy Consumption, Building Research Establishment and Department of Energy Efficiency, UK.
- building energy efficiency in different climates. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 10(4), 412–419. doi:10.1093/ijlct/ctu010.
- Buratti, C.; Moretti, E.; Belloni, E. (2016). Nanogel windows for energy building efficiency. In *Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency*. Springer International Publishing AG : Basel, Switzerland pp 41–69.
- Buratti, C.; Moretti, E.; Zinzi, M. (2017). High Energy-Efficient Windows with Silica Aerogel for Building Refurbishment: Experimental Characterization and Preliminary Simulations in Different Climate Conditions. *Buildings*.<https://doi.org/10.3390/buildings7010008>.
- Buratti, C.; Moretti, E; (2012). Experimental performance evaluation of aerogel glazing systems. *Applied Energy*, Vol 97, Pages 430-437
- Buratti, Cinzia, Elisa Moretti, Elisa Belloni, and Fabrizio Agosti. (2014). Development of Innovative Aerogel Based Plasters: Preliminary Thermal and Acoustic Performance Evaluation. *Sustainability*, vol 6, pp 5839-5852 doi:10.3390/su6095839.
- Buso, T.; Federico, D.; Cristina, B.; Marta, C. B, Stefano P.C. (2017). Of comfort and cost: Examining indoor comfort conditions and guests' valuations in Italian hotel rooms. *Energy Research & Social Science*, Vol 32, Pages 94-111.
- Cahier des statistiques OCDE. (2006). « Mesurer le développement durable » Mars 2006 n°10.
- Carlucci, S., Cattarin, G., Causone, F., Pagliano, L. (2015). Multi-objective optimization of a nearly zero-energy building based on thermal and visual discomfort minimization using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II). *Energy Buildings*, 104, 378–394.
- CCW. (2014). Les bâtiments à haute performance énergétique sont impayables pour les citoyens. pp. 29–31, 14-Jul-2014.

Chen, Youming & Xiao, Yaling & Zheng, Siqian & Liu, Yang & Li, Yupeng, (2018). "Dynamic heat transfer model and applicability evaluation of aerogel glazing system in various climates of China," *Energy*, Elsevier, vol. 163(C), pages 1115-1124.

Cherqui, F. (2005). *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier : méthode ADEQUA*", Thèse de doctorat en génie civil, La Rochelle, Université de La Rochelle.

Commission Européenne. (2014). *Comprendre les politiques de l'Union Européenne - Énergie : Une énergie durable, sûre et abordable pour les Européens*.

Commission Européenne. 2018. Directive (UE) 2018/844 du parlement européen et du conseil " Journal Officiel. L'Union Européenne., vol. 19/06/2018, pp. 75–91.

Company, A.A. Aspen Aerogels Company. (2019). *Thin, High-Performance Thermal Insulation for New and Retrofit Building Applications*. Available at: <https://www.aerogel.com/>. [accessed Avril, 3rd, 2021].

Cotana, F; Pisello, A. L; Moretti, E. (2014) Multipurpose characterization of glazing systems with silica aerogel: In-field experimental analysis of thermal-energy, lighting and acoustic performance. *Building and Environment*, 81:92-102.

CREAHd. 2014. *Construction Ressources Environnement Aménagement et Habitat durable. Définir le bâtiment (Nearly Zero Energy) NZEB : les collectivités montrent la voie*. www.creahd.com.

d'actualité available at <https://cdn.techniquesingenieur.fr> [accessed May, 5th, 2021].

Dahlan, A.S. (2019). *Smart and Functional Materials Based Nanomaterials in Construction Styles in Nano-Architecture*. *Silicon*. Vol 11, N°4.

De Dear, R.J. and Brager, G.S. (2002). *Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55*. *Energy and Buildings*, 34, 549-561.

DEFRA. (2023). *The Carbon Emissions of Staying in a Hotel*. circular ecology. <https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-environment-food-rural-affairs>.

Demangeot, J. (1987) *Les milieux « naturels » du globe*. Paris, Masson (Coll. Géographie), 2e édition, 250 p.

Deng, S. (2003). *Energy and water use and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong*. *Energy and Buildings*, 35(8), 775-784.

Deng, S. M. and J. Burnett. (2000). "Study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong," *Energy Build.*, vol. 31, no. 1, pp. 7-12.

Derjanecz.A. (2015). *What is a nearly zero energy hotel? neZEH workshop in CLIMAMED 2015*, Juan-les-Pins, France, p. 9.

DILA. (2024). *Direction de l'information légale et administrative*. <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F2050>.

Donough B., Hill J., Glazier R., Lindsay W., Sykes T. (2001). *Building Type Basics for Hospitality Facilities*, John Wiley and Sons Inc., USA.

Dowson, M.; Harrison, D; Salmaan, C& Zachary, G. (2011). Improving the thermal performance of single-glazed windows using translucent granular aerogel, *International Journal of Sustainable Engineering*, 4:3, 266-280, DOI: 10.1080/19397038.2011.558931.

Drexler, K. E, Minsky, M.1986.*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* Garden City. N.Y: Anchor Press/Doubleday.

Drielle, S.L.; Nicolle,C.S.; Adriana.P.L.S.(2019). Postoccupancy Evaluation in Buildings: Systematic Literature Review *Journal of Performance of Constructed Facilities*Archive Vol. 34, No. 1.

Dumont,, J. (2022). *Green Globe : le guide pour tout comprendre ; Greenly ;* <https://greenly.earth/fr-fr/blog/actualites-ecologie/green-globe-le-guide-pour-tout-comprendre>.

EC. (1994). Rational Use of energy in the Hotel sector, A Thermie Programme Action B-103.

Eddystone C. Nebel, Ju-Soon Lee, Brani Vidakovic. (1995) Hotel general manager career paths in the United States, *International Journal of Hospitality Management*, Volume 14, Issues 3-4, pages 245-260.

EIA. (1998). A Look at Commercial Buildings in 1995: Characteristics, Energy Consumption, and Energy Expenditures, Report DOE/EIA-0625(95). Energy Information Administration, Washington October 1998.

Elegbede, J. A., Lateef, A. (2020). Nanotechnology in the Built Environment for Sustainable Development”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 805, No. 1, p. 012044.

Elkahli, y. (1998). *La gestion des hôtels et les villages touristiques*. Maison d'édition: Dar El wafae N ° 5, Egypt. (In Arabic)

Elnabawi, M.H., Saber, E. (2021). Reducing carbon footprint and cooling demand in arid climates using an integrated hybrid ventilation and photovoltaic approach. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01571-1>.

Elwatan.(2020). *Hôtellerie en Algérie : L'œuvre de Pouillon, un patrimoine à préserver* journal <https://www.agm.net/news/hotellerie-en-algerie-loeuvre-de-pouillon-un-patrimoine-preserver>.

Enertech.(2003).*Consommations d'électricité par usage dans un hôtel 3* parisien*.

Eugénie, B -M. (2013). *Réflexion sur les méthodes d'évaluation environnementale des mesures de gestion des déplacements et du trafic : analyse critique et proposition d'un nouveau cadre conceptuel*, Thèse de doctorat. Ecole Centrale de Lyon – Université Claude Bernard-Lyon 1 – INSA Lyon.

Fanger, P.O. (1982). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. R.E. Krieger Publishing Company, 1982.244 pages.

FEIST, Wolfgang. (2016). Don 't be talked into expensive upgrades. PASSIV HAUS INSTITUT.

Féon, S., Réthoré, O.(2010). L'Analyse du Cycle de Vie (ACV), outil préférentiel de quantification des impacts environnementaux. L'encyclopédie du développement durable N° 127.

FERNANE, D. (2011). Défis, atouts, actions managériales des entreprises hôtelières, mémoire de magistère en management des entreprises, université des sciences économiques et des sciences de gestion de Tizi -Ouzou, p.130.

Fikri, A.A, (2006). Glass with Selective Transmittance to Solar Radiation. Conference of the Department of Architecture, Faculty of Engineering, Cairo University, p. 10.

Fortin, M.J. (2009). Évaluation environnementale de grands projets industriels : potentialités et limites pour la gouvernance territoriale, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Vol 9, Numéro 1. Consulté le 05 mai 2024. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/8505> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.8505>.

Fotiadis, A.K.; Vassiliadis, C.A.; Rekleitis, P.D. (2013). Constraints and benefits of sustainable development: A case study based on the perceptions of small-hotel entrepreneurs in Greece. *Anatolia Int. J. Tour. Hosp. Res.* Vol, 24, pp 144–161.

Gaétan, A. Leduc. Raymond, M. (2000). L'évaluation des impacts environnementaux un outil d'aide à la décision, Éditions Multi-Mondes, 403 p.

Ganobjak, M and Josephine V. Carstensen. (2019). Topology-optimized insulating facebrick with aerogel filling *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1343, CISBAT | Climate Resilient Cities – Energy Efficiency & Renewables in the Digital Era 4–6, EPFL Lausanne, Switzerland Ser. 1343 012195 doi:10.1088/1742-6596/1343/1/012195.

Gao, T., Ihara, T., Grynning, S. B., Jelle, A.L. (2015), “Perspective of Aerogel Glazings in Energy Efficient Buildings”. *Building and Environment*, 95, pp. 405-413. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.10.001.

Gao, T., Jelle, B., Gustavsen, A. (2016). Building integration of aerogel glazing. *Energy Procedia*; 145:723–8.

Garnier, C.; Muneer, T.; Mccauley, L. (2015) Super insulated aerogel windows: Impact on daylighting and thermal performance. *Building and Environment*, 94:231-238.

Géraldine Marcheteau. (2020). Isolation et aérogel. available at [accessed Mays, 5th, 2021]

Ghosh, A.; Norton, B.; Duffy, B. (2016). Measured thermal & daylight performance of an evacuated glazing using an outdoor test cell. *Applied Energy*. Volume 177, Pages 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.118>.

Giuseppe, M P.; Francesco , P .L .(2016). Zero Energy Hotels and Sustainable Mobility in the Islands of Aegean Sea (Greece). *International Journal of Clean Coal and Energy*, Vol.5 No.2 DOI: 10.4236/ijcce.2016.52003.

Global Status Report. (2018). Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. International Energy Agency (IEA) for the Global Alliance for Buildings and Construction (Global ABC). ISBN No : 978-92-807-3729-5.

Guérin-Schneider, L. Tsanga, M. (2017). L'analyse du cycle de vie, nouvel outil d'évaluation environnementale à l'appui des politiques publiques locales : quelle appropriation par les services d'assainissement ? *Revue Gestion et management public*, (Volume 5 / n° 4), pages 61 à 83. DOI10.3917/gmp.054.0061.

Guinness Records Names JPL's Aerogel World's Lightest Solid. (2002). NASA Jet Propulsion Laboratory.

Hadef, Fatma. (2019). Les nanomatériaux. *Matériaux du futur*. Verlag, GRIN, Munich, <https://www.grin.com/document/465167>).

Hala Abdelmoez., M. (2020). Applications of Nanomaterials in Architectural Design. *Resourceedings*, Vol 2, DO - 10.21625.v2i1.740.

Hamed, N.; Balachowski, N.; Reza, P. (2023). Nano soil improvement technique using cement. *Sci Rep*; Vol 13, N°1,10724. Doi: 10.1038/s41598-023-37918-z. PMID: 37400546; PMCID: PMC10318072.

Hamid, A.; Navid, M., Saied, N. (2013). Human passive motions and a user-friendly energy harvesting system. *Journal of intelligent material systems and structures*, Vol 25, Issue 8, Pages 923-936.

Hamiti, D., Bouzadi-daoud, Sultana. (2021). Study of the concept of sustainable development. *Ibn Khaldûn Journal of Innovation and Development*, Vol.3 No.2.

Hristijan, Babuka. (2016). Application of nanotechnologies in sustainable architecture. Fourth Student Conference "Energy Efficiency and Sustainable Development" - SCEESD 2016At: Skopje, Macedonia. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00005-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00005-1).

<https://decoproyec.fr/aerogel-decoproyec>.

<https://search.emarefa.net/detail/BIM-278535>.

<https://www.greenglobe.com/green-globe-certification/2019/11/16>.

<https://www.greenkey.global/our-programme /08/10.2020>.

Huang, Lang. (2012). Feasibility Study of Using Silica Aerogel as Insulation for Buildings, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, Stockholm, 92.

Huang, Y., Niu, J. (2015). Application of super-insulating translucent silica aerogel glazing system on commercial building envelope of humid subtropical climates: Impact on space cooling load. *Energy*, 83, 316–325.

Huang, Y., Niu, J. (2015). Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system in commercial buildings of Hong Kong. *Construction Building Materials*, Vol, 94, pp :57–72.

Hubert, G., Stéphanie, D.S., Bénédicte. (2016). Présentation Des objectifs du millénaire pour le développement (OMD) aux objectifs de développement durable (ODD) : la problématique des indicateurs, *De Boeck Supérieur | « Mondes en développement »* n° 174, pages 7 à 14, ISSN 0302-3052 ISBN 9782807390294 DOI 10.3917/med.174.0007 Article disponible en ligne à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2016-2-page-7.htm>.

Ibrahim, Mohamad, Pascal Henry Biwole, Etienne Wurtz, and Patrick Achard. (2014). A Study on the Thermal Performance of Exterior Walls Covered with a Recently Patented Silica-Aerogel-Based Insulating Coating ». *Building and Environment*. vol 81. pp 112 22. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.017>.

IEA/ECBS. (2005). Annex 39, High Performance Thermal Insulation, Vacuum Insulation in the Building Sector, Systems and applications (Subtask B), http://www.ecbs.org/docs/Annex_39_Report_Subtask-B.pdf.

IH&RA. (2000). Leading Hospitality into the Age of Excellence: Expansion, Competition and Vision in the Multinational Hotel Industry 1995-2005, An IH&RA White Paper on the Global Hospitality Industry, International Hotel and Restaurant Association, Paris.

Javier, P. G ; Charles, Y. (2015). Prioritising energy efficiency measures to achieve a zero net-energy hotel on the island of Gozo in the central Mediterranean. *Energy Procedia*, 83 ,50 – 59,7th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings.

Jedidi, M., & Benjeddou, O. (2016). *La thermique du bâtiment du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation*. Dunod. 208 p.

Jelle, BP. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions—Properties, requirements and possibilities. *Energy and buildings*,43(10) : 2549-63.

Jeremy, W. (2010). *Environnement, Social et Economique : les 3 piliers du Développement Durable* », *Green Materials l'éco-conception des matériaux*. Lien www.greenmaterials.fr.

Johansson, P.; Hagentoft, C.E.; Kalagasidis, A.S. Retrofitting of a listed brick and wood building using vacuum insulation panels on the exterior of the facade: Measurements and simulations, *Energy and Buildings*. 73 (2014) 92–104.

Joumard, Robert. (2014). Typologie des impacts sur l'environnement, ou définir l'environnement. Séminaire "Liens entre inégalités socio-territoriales, santé et transport", Ifsttar, Bron, France.

Kalnæs SE, Jelle BP. (2014). Vacuum insulation panel products: a state-of-the-art review and future research pathways. *Appl Energy*; 116:255e375.

Kalnæs, S.E.; Jelle, B.P. (2014). Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways, *Applied Energy Vol 116*, pp 355–375.

Kaoula, D. (2017). Elaboration et application d'une méthode d'évaluation des impacts environnementaux des bâtiments hôteliers par analyse du cycle de vie. Thèse de doctorat en Architecture. Université Mohamed Seddik Benyahia - JIJEL.

Kaoula, D. (2021). Limitation of the environmental impacts of a heritage hotel building by Life Cycle Analysis (LCA). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol 863, SBE21 Sustainable Built Heritage, Bolzano-Bozen, Italy.

Kaoula, D., Bouchair, A. (2018). Evaluation of environmental impacts of hotel buildings having different envelopes using a life cycle analysis approach. *Indoor and Built Environment*, 27(4):561-580 doi:10.1177/1420326X16683235.

Karlessi, T.; Santamouris, M.; Synnefa, A.; Assimakopoulos, D.; Didaskalopoulos, P.; Apostolakis, K. Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. *Building Environment*, 46(3), 2011, 570-576.

Kasikorn Research Center. (2024). <https://www.teamfrance-export.fr/infos-sectorielles/30842/30842-les-hotels-thailandais-emettent-plus-de-gaz-a-effet-de-serre>
Source <https://circularecology.com/news/the-carbon-emissions-of-staying-in-a-hotel>

Khandve, P. (2014). Nanotechnology for building material. *International Journal of Basic and Applied Research*, 4, 146-151.

Khitab, A.; Tausif, M.A. (2014). Nano construction materials: review. *Reviews on advanced materials science*. Vol 38. pp181-186.

Kibert, C. J. (2008). *Sustainable construction: green building design and delivery*, 2 Ed., John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Kihal, G.; Rouag-saffidine, D. (2024) Glazing Systems with Silica Aerogel for Optimizing Energy Consumption in Hotel Building. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*. 1(41). Doi: 10.31435/rsglobal_ijitss/30032024/8104.

Kihal, G.; Rouag-saffidine, D., Laraba, Y., Sotehi, O. 2022. Assessment of the impact of aerogel materials on the energy consumption of hotels under the coastal Mediterranean climate Algerian *Journal of Environmental Science and Technology Vol.8. No 4. pp 2960-2968*.

Kobeyev, S.; Tokbolat, S.; Durdyev, S.(2021).Design and Energy Performance Analysis of a Hotel Building in a Hot and Dry Climate: A Case Study. *Energies*, 14, 5502. <https://doi.org/10.3390/en14175502>.

Korichi,A.; Safdiine,R.D; Sahnun,T.(2007). Post occupancy evaluation programme (or poe): an assessment method for buildings efficiency. *Sciences et Technologi* ‘Vol. 2007, no. 25, pp.8-13.

Kyriakia, E.; Drosoub, V.; Papadopoulosa, A.M. (2015). solar thermal systems for low energy hotel buildings: state of the art, perspectives and challenges, *energy procedia* ,78 ,1968 – 1973, 6th international building physics conference, IBPC 2015.

Lawson F.R. (2001) *Hotels and Resorts – Planning, Design and Refurbishment*, Architectural Press, UK.

Leitner, D. S.; Santos, A. de P. L. (2022). Performance evaluation in healthcare buildings: a systematic literature review. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 143-165, abr./jun. 2022. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000200598>.

Leonidou, L.C.; Leonidou, C.N.; Fotiadis, T.A.; Zeriti, A. (2013). Resources and capabilities as drivers of hotel environmental marketing strategy: Implications for competitive advantage and performance. *Tour. Manag.* Vol 35, pp 94–110.

Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B.B., Basley, J. R. (1971). A procedure for evaluating environmental impacts, *Geological Survey Circular 645*. Washington, D.C, United States Geological Survey.

Liébard, A., De herde, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*. Ed Le moniteur, Paris.

Liu, Sijia, Kunmeng Zhu, Sheng Cui, Xiaodong Shen, and Gang Tan. (2018). A Novel Building Material with Low Thermal Conductivity: Rapid Synthesis of Foam Concrete Reinforced Silica Aerogel and Energy Performance Simulation. *Energy and Buildings*.vol 177 (octobre): pp 385 93. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.014>.

Louis-Pascal, J. (2017). « Gro Harlem Brundtland ou l’invention du « développement durable », *Dynamiques environnementales* (en ligne), pp 39-40, mis en ligne le 01 juin 2018, consulté le 07 décembre 2022. URL: <http://journals.openedition.org/dynenviron/541>;DOI: <https://doi.org/10.4000/dynenviron.541>.

Lukas, D.B. (2011). *Le développement durable : enjeux de définition et de mesurabilité*, Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en science politique, Université du Québec à Montréal.

Madoui, R., Madoui, Z., Nazek, J. N, Nidel.E.I.(2018). Utilisation de la nanotechnologie en médecine, Recherche complémentaire pour le diplôme d’enseignement du baccalauréat, Département de physique Faculté d’éducation Soudan, Université des sciences et de la technologie.

- Martin, Y., Cécile, D-Monteil Ott., Michelle, M., Paul, O. Flavien, T., Pouget, Louis-Édouard. (2018). Développement durable : comprendre et analyser des enjeux et des actions du développement durable, Institut de la francophonie pour le développement durable (IFDD).
- Martine, V.(2016). La pression des activités humaines sur la planète s'accroît dangereusement. Journal le monde sur le site : www.lemonde.fr.
- Mathieu, B. (2022). Normes, bâtiments, énergies : les bases de la construction durable. Carbo <https://www.hellocarbo.com>.
- Mazari, A.K. (2021). Résumé de Cours Environnement et Développement Durable 2021.
- Mazi Brahim. (2022). Le secteur du tourisme en quête d'amorçage. Journal le jeune indépendant. <https://www.jeune-independant.net/en-depit-de-conditions-avantageuses-et-de-facilitations-le-secteur-du-tourisme-peine-a-decoller>.
- Medejerab A, Henia L (2011) Variations spatio-temporelles de la sécheresse climatique en Algérie Nord occidentale. Courrier du savoir 11:71–79.
- Mesbahi, F. Zahra .(2021). Défis et enjeux du développement durable en Algérie. Revue des Economies Financières Bancaires & de Management, Vol :10, N° : 1, p 243-263.
- Mokhnache, N. (2023). Impact de l'enveloppe du bâtiment sur son efficacité énergétique – cas des lotissements- GUELMA. Thèse de doctorat, Université 8 mai 1945 - GUELMA.
- Moreno, H. ; Solache de la Torre,S.C. (2017). Applications of nanocomposites in architecture and construction, contexto. XI (14).
- Motahar, S.; N. Nikkam, A.A.; Alemrajabi, R.; Khodabandeh, M.S.; Toprak, M.A novel phase change material containing mesoporous silica nanoparticles for thermal storage: a study on thermal conductivity and viscosity, Int Com Heat Mass Trans, 56, 2014, 114-120.
- Moujalled, Bassam. (2007). Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. Thèse de doctorat en Génie civil, Lyon, INSA.
- Naceur, Y. K. (2009). Promotion de tourisme en Algérie : l'infrastructure hôtelière pour quelle qualité : cas wilaya d'Alger, Mémoire de magister en science de la terre ; USTHB, Algérie.
- Nahoulo, C. (2012). Analyse du cycle de vie (ACV) et impact sur le consommateur. Mémoire présenté au programme de maîtrise en environnement en vue de l'obtention du grade de Maître en environnement. Université De Sherbrooke.
- Natal, South Africa. African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance
- Naught, A. D. Mc., and Wilkinson, A. (2007). Compendium of Chemical Terminology, IUPAC Gold book, PAC, 791801, Blackwell Science, Oxford, Cambridge, UK, 2nd edition.

- Nical, A.K. and Wodynski, W. (2016). Enhancing Facility Management Through BIM 6D. *Procedia Engineering*, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.623.
- Niroumand, H., Balachowski, L. & Parviz, R. (2023). Nano soil improvement technique using cement. *Scientific reports*.13, 10724.<https://doi.org/10.1038/s41598-023-37918-z>.
- Niu Jian-lei and Huang, Yu. « Energy and Visual Performance of the Silica Aerogel Glazing System in Commercial Buildings of Hong Kong ». *Construction and Building Materials* (2015). vol 94. pp 57 72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.053>.
- Nocentini, K. (2018). Comportement thermo-hygrique de blankets aérogels de silice et applications à l'isolation des bâtiments. *Matériaux*. Université Paris sciences et lettres. Français. NNT, PSLEM049.Tel-02413152.
- Nocentini, Kevin (2017). Transfert de chaleur dans les blankets aérogels de silice. XIIIème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes, May, Saint-Lô, France.
- Orynych, O., and Tucki, K. (2021). Total Productive Maintenance Approach to an Increase of the Energy Efficiency of a Hotel Facility and Mitigation of Water Consumption. *Energies*, vol 14, No.6,1706.
- Pacheco-Torgal, F.; Diamanti, M. V. A.; Nazari, A.; and Granqvist, C-G. (2013) *Nanotechnology in eco-efficient construction*, Woodhead Publishing in materials, 458 pages.
- Patel Abhiyan, S.; Hire, A.R.; Sharma, D.N. (2013). An overview on application of Nanotechnology in construction industry. *Int J Innov Res Sci Eng and Tech*, 2 (11).
- Pateman, E.S. (2001). Rising Energy Costs Cause Concern in the Lodging Industry, Special Report, Hotel Online, March 2001, www.hotel-online.com.
- Peixian, Li., Froese, T.M., Brager, G. (2018). post-occupancy evaluation: State-of-the-art analysis and state-of-the-practice review, *Building Environment*. Vo.133 pp 187–202. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.024.
- Perinotto, A. R. C., Sousa, M. (2020). Environmental responsibility actions and technologies in hotels management at Fortaleza: The Case of Fortaleza-Ceará-Brazil. *Journal of Multidisciplinary Academic Tourism*, 5(2), 143-155. <https://doi.org/10.31822/jomat.768792>.
- Peschard, D., Galan, M.B., Boizard, H. (2004). Tools for evaluating the environmental impact of agricultural practices at the farm level: analysis of 5 agri-environmental methods”; Acte du colloque intitulé: OECD expert meeting on farm management indicators for agriculture and the environment »; Nouvelle –Zélande: 8-12 mars 2004.
- Peyman Karami. (2015). Robust and Durable Vacuum Insulation Technology for Buildings PEYMAN KARAMI. Thèse de doctorat, KTH Royal Institute of Technology, École architecture et d'environnement bâti, Département de génie civil et architectural, Stockholm.

Plan Bleu. (2008). Changement climatique et énergie en Méditerranée. Centre d'Activités Régionales Sophia Antipolis.

Plant H.E.M.I.E., (1997): Energy efficiency in the hotel sector in Jamaica, Roundtable on energy efficiency - Tourism sector, Kingston, Jamaica, 9-11.12.1997, <http://www.idrc.ca>, 1.12.2000.

PNUE et AIE. (2017). Vers un secteur des bâtiments et de la construction à émission zéro, efficace et résilient, Global Status Report Séries. Paris.

Prakash, C. T.; Kirti, S.2014. Aerogels as Promising Thermal Insulating Materials: An Overview. *Journal of Materials* Vol 3 pp 1-10.

Preiser, W. F., White, E., and Rabinowitz, H. (2015). *post-occupancy evaluation (Routledge Revivals)*. Abingdon, UK : Routledge.

Preiser, W.F.E., Rabinowitz, H., White, E. (1988). *Post-Occupancy Evaluation*. Van Nostrand Reinhold Company Inc. Vol 9, New York, NY, USA.

Présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences en architecture climatique et environnement. Université de Constantine 03.

Public Report. (2011). *Hotel Energy Solutions, Fostering Innovation to Fight Climate Change*.

Publication du Ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement, (2013).

Qi Y, Zhang XJ, Renier N, Wu Z, Atkin T, Sun Z, Ozair MZ, Tchieu J, Zimmer B, Fattahi F, Ganat Y, Azevedo R, Zeltner N, Brivanlou AH, Karayiorgou M, Gogos J, Tomishima M, Tessier-Lavigne M, Shi SH, Studer L. (2017) Combined small-molecule inhibition accelerates the derivation of functional cortical neurons from human pluripotent stem cells. *Nat Biotechnol.*35(2):154-163. doi: 10.1038/nbt.3777.

Rajagopalan, P. ; Xuchao, W. ; Lee, S.E. (2009). A study on energy performance of hotel buildings in Singapore. *Energy and Buildings*, Volume 41, Issue 12, Pages 1319-1324, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.028>.

Rajendra, K. P., Andy, R. (2007). *IPCC AR4 SYR, Changements climatiques 2007 : Rapport de synthèse*, Cambridge University Press, P.103. (ISBN 978-92-9169-222-4 et 92-9169-222-0).

Rao, N.V., Rajasekhar, M., Vijayalakshmi, K., Vamshykrishna, M. (2015). *The Future of Civil Engineering with the Influence and Impact of Nanotechnology on Properties of Materials*. *Procedia Materials Science*, Vol ,10, pp : 111-115.

Rapport ALEC agence local de l'énergie et de climat Mars (2016).

Rapport UNICEF « 15 minutes pour comprendre les objectifs de développement durable (ODD) » https://www.unicef.fr/sites/default/files/fiche_thematique_odd.pdf.

- Reed, R., Wilkinson, S., Reed, R. (2008). *Property Development* (5th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203933428>.
- Reim, M.K; Rner, W; Manara, J. (2005). Silica aerogel granulate material for thermal insulation and daylighting. *Solar Energy*, 79 (2): 131-139.
- Reshma Sucheran. (2015). Barriers to environmental management in hotels in KwaZulu-(AJPHERD). (Supplement 1), pp. 168-179.
- Richieri, Fabrice. (2008). Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères. Thèse de doctorat en Thermique du bâtiment, Lyon, INSA.
- Robert, J. (2014). Typologie des impacts sur l'environnement, ou définir l'environnement. Séminaire "Liens entre inégalités socio-territoriales, santé et transport", Ifsttar, Bron, France.
- Roberts, C.J., Pärn, E.A., Edwards, D.J. Aigbavboa, C. (2018). Digitalising Asset Management: Concomitant Benefits and Persistent Challenges. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, Vol. 36, No. 2, pp. 2398-4708, DOI: 10.1108/IJBPA-09-2017-0036.
- Robillart, Maxime. (2015). Etude de stratégies de gestion en temps réel pour des bâtiments énergétiquement performants. Thèse de doctorat en énergétique. École doctorale Sciences des métiers de l'ingénieur (Paris).
- Rosa, G-C., Guesdon, G. (2011). Évaluation des impacts environnementaux (EIE). 5c. Méthodes et outils Léopold & Sorensen. Faculté des sciences et de génie Université Laval.
- Roulet Claude-Alain. (2016). Thermique du bâtiment tout le confort avec peu d'énergie, cours LAUSANNE.
- Roy B., Bouyssou D., (1993), Aide multicritère à la décision : méthodes et cas, Economica, Paris. 695 pages
- Rutes W.A., Penner R.H., Adams L. (2001). *Hotel Design, Planning and Development*, W.W. Norton and Company, UK.
- Saio, C., Kevin, N., Luca A. Tagliafico, P. H. B. and Patrick, A. (2017). Application of advanced insulating materials in historical buildings. *International Journal of Heat and Technology*, International Information and Engineering Technology Association.
- Sameh, H. H., Nasa, G. (2019). Applications of Nanotechnology in Office Buildings. *Engineering Research Journal*, Vol. 1, No 39, pp. 163-171.
- Sanni-Anibire, M. O., M. A. Hassanain, and A.-M. Al-Hammad. (2016). post-occupancy evaluation of housing facilities: Overview and summary of methods." *J. Perform. Constr. Facil.* 30 (5): 04016009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000868](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000868).
- Santamouris, M., Balaras, C.A., Dascalaki, E. et al. (1996). Energy conservation and retrofitting potential in Hellenic hotels. *Energy and Buildings*, 24 (1), 65-75.

Scholz, P.(2019). Green management implementation in accommodation facilities in Bulgaria. *Econ. Environ.* Vol 68, N° 16.

Sev, A., Ezel, M. (2014). Nanotechnology Innovations for the Sustainable Buildings of the Future, *International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering*, World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 8, N°. 8.

Shady,A.,Jarek,K., Piotr,K., Anatolijs,B., sofia.D.B, Kistelegdi.I., Hrvoje Krstić.M.M., Ion, V., Nicolay. M., Boris,E.,Karolis. B., Miroslav, Č., Silvia.V., Karel.S., Roman.B., Oriane, L.(2022). Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe. *Energy and Buildings*.vol,267 ; 112165.

Shehu, L. and Kida, M. (2019) The Effect of Emotional Intelligence on Employees Performance. *Review of Public Administration and Management*, 6, 22-32.

Shema, Abdulsalam I.; Balarabe, Muhammed K. and Alfa, Mohammed T. (2018). Energy Efficiency in Residential Buildings using Nano-Wood Composite Materials, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(3), pp. 853–864.

Silverio, H.M; Sara, C. S. (2017). Applications of Nanocomposites in Architecture and Construction. *Contexto*. Vol. XI, No. 14, pp. 63-75.

Soler & Palau (S&P). (2021). 5 étapes pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment (www.solerpalau.com).

Soto-Acosta, P.; Cismaru, D.-M.; Vătămănescu, E.-M.; Ciochină, R.S. (2016). Sustainable Entrepreneurship in SMEs: A Business Performance Perspective. *Sustainability*, 8, 342. <https://doi.org/10.3390/su8040342>.

SPW. (2017). Stratégie wallonne de rénovation énergétique à long terme du bâtiment. <https://energie.wallonie.be/fr/strategie-de-renovation.html?IDC=9580>.

Suriyaprabha, K; Subbiah, K. (2016). The Energy Management Strategies for the Hotel Industry in Papua New Guinea. *Asian Journal of Business and Management*, 4 (3).

Sylvia, leydecke. (2008). Nanomaterials in architecture, interior architecture and design. P. 104.

Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S., Dobbelsteen, A. (2013). A review into thermal comfort in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V.26. P. 201-215.

Tanya, D. (2021). Cinq pistes d'amélioration pour des bâtiments plus efficaces, des DEL aux thermopompes. www.stantec.com.

Tedjani, Karim. (2021). Le développement durable en Algérie Portrait et diagnostic d'un rendez-vous en suspens.

Teizer, J., Venugopal, M., Teizer W., (2012). Nanotechnology and its impact on construction: Bridging the gap between researchers and industry professionals. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 138, pp 594-604. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000467](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000467).

Teng, t. j., Arip, m. n. m., Sudesh, k., Nemoikina, a., Jalaludin, z., Ng, e. p., Lee, h.(2018). Conventional Technology and Nanotechnology in wood preservation: a review”, *Bioresources*, vol. 13, no. 4, pp. 9220-9252.

Tenpierik, M.; Cauberg, H. (2007). Analytical models for calculating thermal bridge effects caused by thin high barrier envelopes around vacuum insulation panels, *Journal of Building Physics* Vol 30 ,185-215.

Tharziansyah, M., & Rahman, A. (2008). Analisis Tingkat Kenyamanan Thermal Webb Di Rumah Tinggal T-45 Pada Musim Kemarau. *Infoteknik*, Vol. 9, no. 1, pp. 36-42.

Theocharis, S. Tournaki, and Frangou M. (2016). Rapport: Nearly Zero Energy Hotels in Europe.

Thierry, S., Stéphane, Bedel. 2004. *La maison des NegaWatts*, Éditions Terre Vivante. ISBN 2-904082-77-8.

Thorsell, Thomas. (2012), *Advances in Thermal Insulation-Vacuum Insulation Panels and Thermal Efficiency to reduce Energy Usage in Buildings*, Thèse de doctorat, KTH Royal Institute of Technology, École architecture et d’environnement bâti, Département de génie civil et architectural, Stockholm.

Tokbolat, S., Karaca, F., Durdyev, S., & Calay, R. K. (2019). Construction professionals’ perspectives on drivers and barriers of sustainable construction. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 4361–4378. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00388-3>.

Torgal, T. P. (2016). *Introduction to Nano- and Biotech-Based Materials for Energy Building Efficiency*. Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency.

TRNSYS 17- Multi zone Building modelling with Type 56 and TRNBuild, Volume 4.

Trocme, M. (2009). *Aide aux choix de conception de bâtiments économes en énergie*. Thèse de doctorat en énergétique. Ecole nationale supérieure des mines de paris.

Trousse municipale en efficacité énergétique, (2022). <https://www.mamunicipaliteefficace.ca>.

Tsoutsos.T, Tournaki.S, De Santos’. A, and Vercellotti. R. (2013). Nearly zero energy buildings application in mediterranean hotels,” *Energy Procedia*, vol. 42, pp. 230–238.

Tuhus-dubrow, D. & Krarti, M. (2010). Genetical gorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Building and Environment*, 45(7), pp.1574–1581. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.005>.

UNEP. (2024). *Rapport sur l’état mondial des bâtiments et de la construction*.

United Nations Environment Programme. (2024). *Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>.

Université Virtuelle Environnement et Développement durable www.uved.fr.

- Velazquez, E. R. (2015). « Processus de conception énergétique des bâtiments durables ». Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris Tech, France.
- Verbeke, S., and Audenaert, A. (2018). Thermal inertia in buildings: A review of impacts through climate and building use, *Journals of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 82, pp. 2300-2318, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.083>).
- Villeneuve, C., Riffon, O., Tremblay, D. (2016). Comment réaliser une analyse de développement durable ? Guide d'utilisation de la Grille d'analyse de développement durable. Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, en partenariat avec l'OIF/IFDD.
- Vinayak G. P., Taehee, K., Haryeong, C., Varsha D. P. Mechanically Strengthened Aerogels through Multiscale, Multicompositional, and Multidimensional Approaches: A Review. *Advanced Materials*. 2023, 36, 2307772
- Wang, H., Wu, H., Ding, Y., Feng, J., & Wang, S. (2015). Feasibility and optimization of aerogel glazing system for
- Wang, Y., Wei, C. (2021). Design optimization of office building envelope based on quantum genetic algorithm for energy conservation. *J. Building Engineering*, 35, 102048.
- Wang, J. C. and K. T. Huang. (2013). "Energy consumption characteristics of hotel's marketing preference for guests from regions perspective," *Energy*, vol. 52, pp. 173–184.
- Wernery, J., Ben-Ishai, A., Binder, B., and Brunner, S. (2017). Aerobrick - an aerogel-filled insulating brick. In J. Littlewood & R. J. Howlett (Eds.), *Energy procedia: Vol. 134. Sustainability in energy and buildings proceedings of the ninth KES international conference* (pp. 490-498). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.607>.
- What is a PCM, Retrieve Sep 6, 2015, <https://illumina.usc.edu/2/get-that-34just-right34feel-incorporating-phase-change-materials-into-textiles/>.
- Whitesides, G.M.; Grzybowski, B. (2002). Self-assembly at all scales. *Science*, 295 (5564), 2418-2421.
- World Tourism Organization info@unwto.org.
- Wu, W., (1997). Environmental Enrichment for the Lodging Industry: A Toolkit, U.S. Environmental Protection Agency & Agricultural and Biological Engineering Department of Purdue University, USA February 1997, pasture.ecn.purdue.edu, 24.10.2001.
- WU, Xuchao. 2007. Thèse de master en sciences du bâtiment école de design et de l'environnement université nationale de Singapore.
- Yamoul, N., Dlimi, L., Khalid El Harrouni., Baraka; A. C. (2023). Improving the Passive Building Energy Efficiency: A Case Study of a Moroccan Modern House. *Civil Engineering and Architecture*, Vol. 11, No. 5, pp. 2435 - 2446, 2023. DOI: 10.13189/cea.2023.110514.).

Yanping, Y., Huijun, Wu., Yang, L., Tao, x., Ding, Y., Ping, F. (2019). Thermal and day-lighting performance of aerogel glazing system in large atrium building under cooling-dominant climates. *Energy Procedia*, Vol 158, pp 6347–6357. DOI-10.1016/j.egypro.2019.01.273.

Yu, P. J., Lee, M. H., Hsu, H. M., Tsai, H. M., and Chen-Yang, Y. W. (2015). Silica aerogel-supported cobalt nanocomposites as efficient catalysts toward hydrogen generation from aqueous ammonia borane. *RSC Adv.* 5, 13985–13992. doi: 10.1039/C4RA14002H.

Zhou, D.; Zhao.C. Y; Tian, Y. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications, *Appl Ener*, 92, 2012, 593-605.

Zhuxian, Y.; Zhuang, Z.; Wen, G. (2015). Study on Energy Use Characteristics of Hotel Buildings in Shanghai. *Procedia Engineering* ,121 ,1977 – 1982, 9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE).

Zmeureanu, R.G., Hanna, Z.A., Fazio, P. (1994). Energy performance of hotels in Ottawa. *ASHRAE Transactions*, 100 (1), 314-322.

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Images thermiques des hôtels urbains dans les différentes wilayas

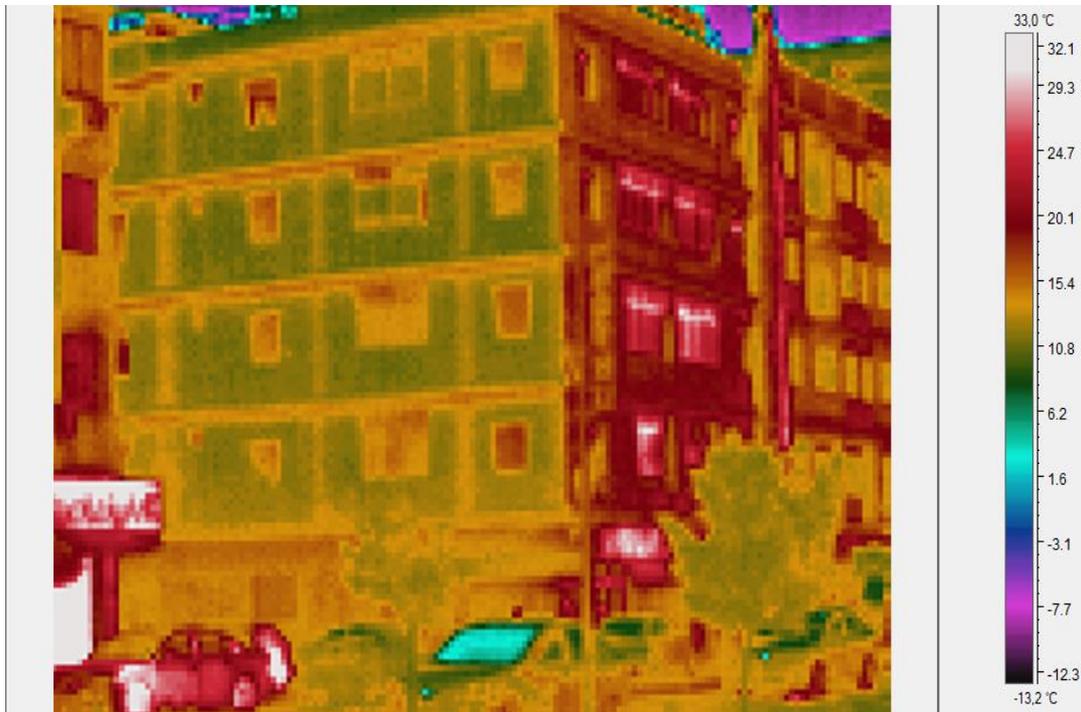


Figure 1. Hôtel Elhidab à Alger.

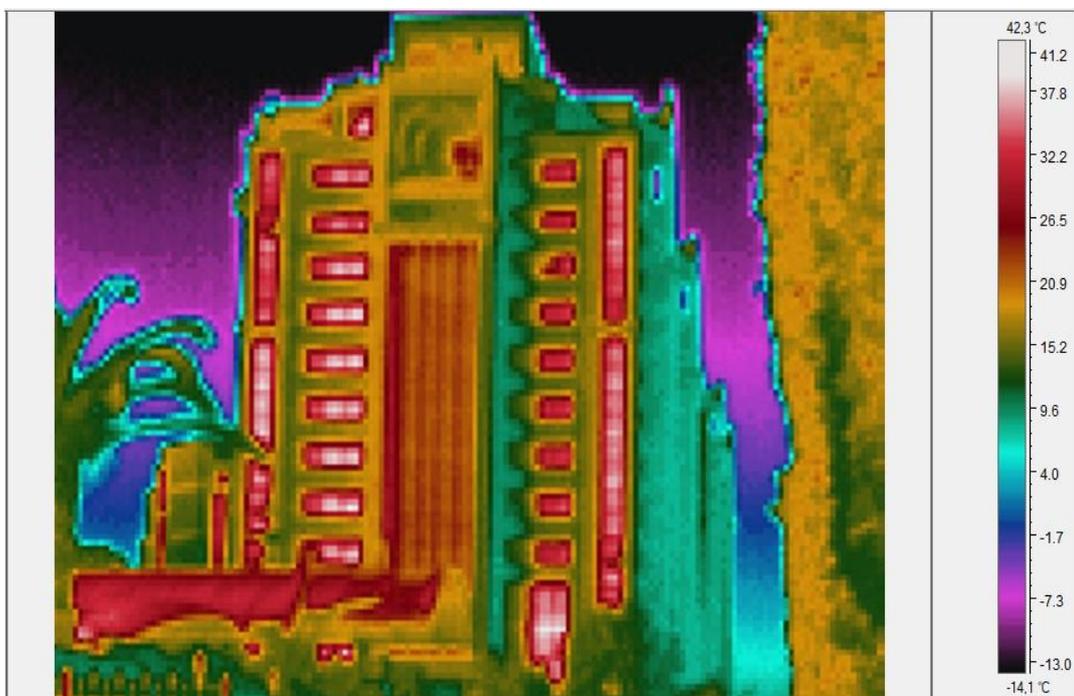


Figure 2. Hôtel Marriott à Alger.

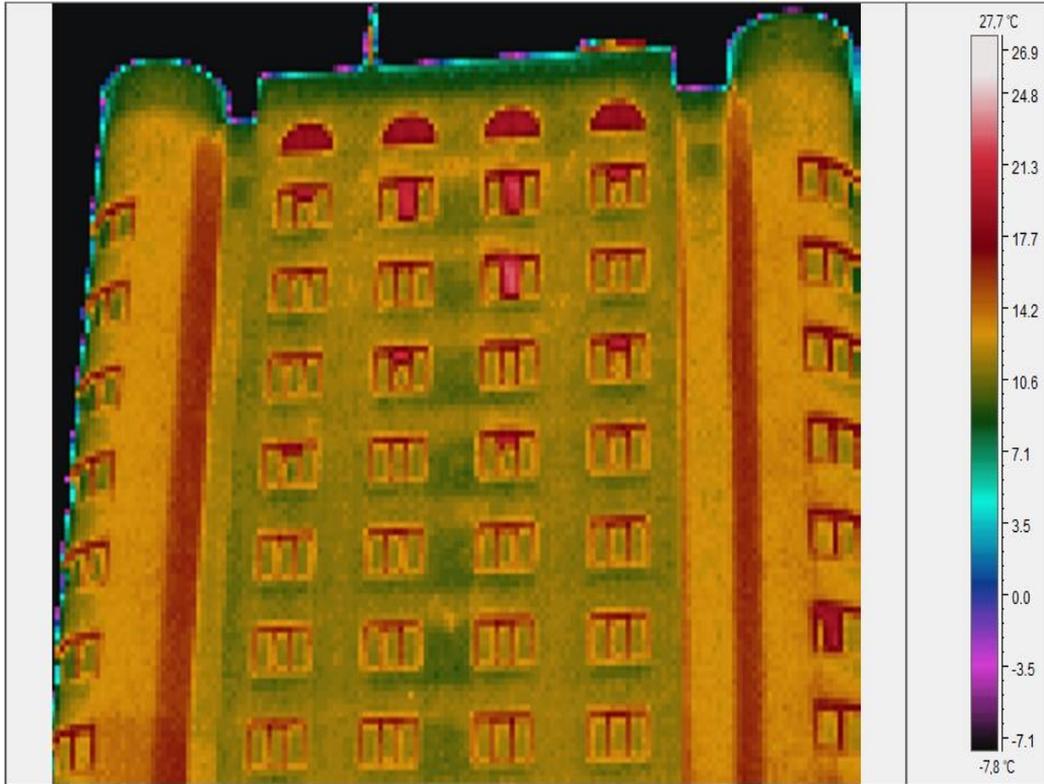


Figure 3. Hôtel Mercure à Alger.

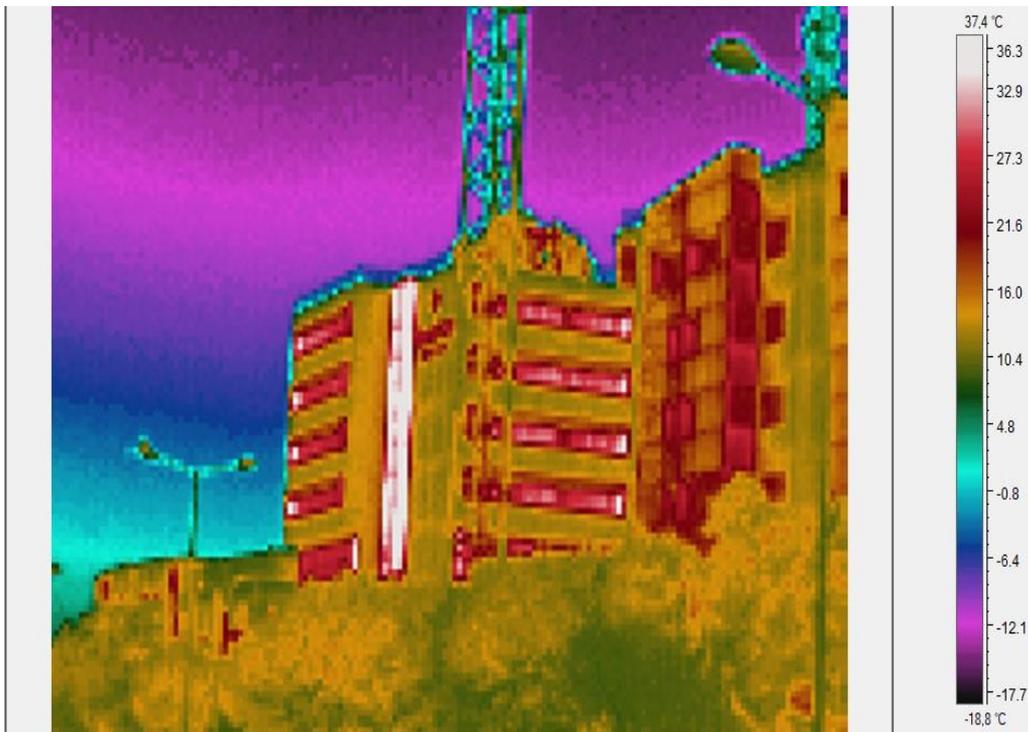


Figure 4. Hôtel Tulipe à Alger.

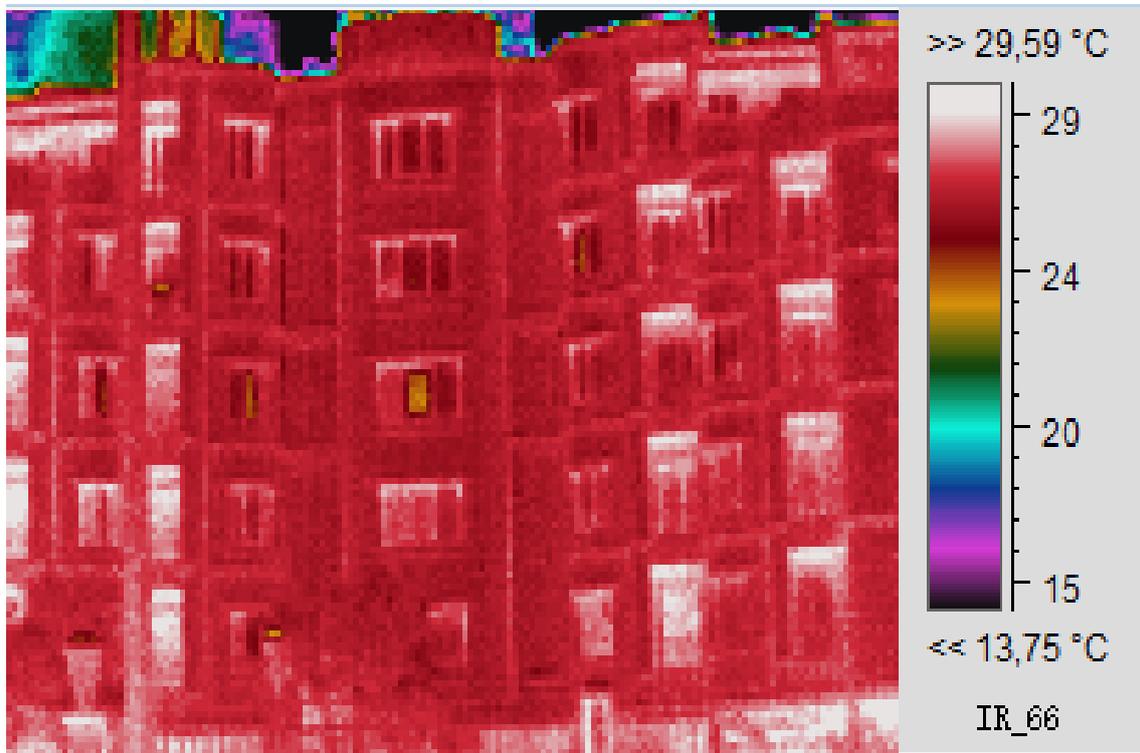


Figure 4. Hôtel Sidi Brahim Annaba.

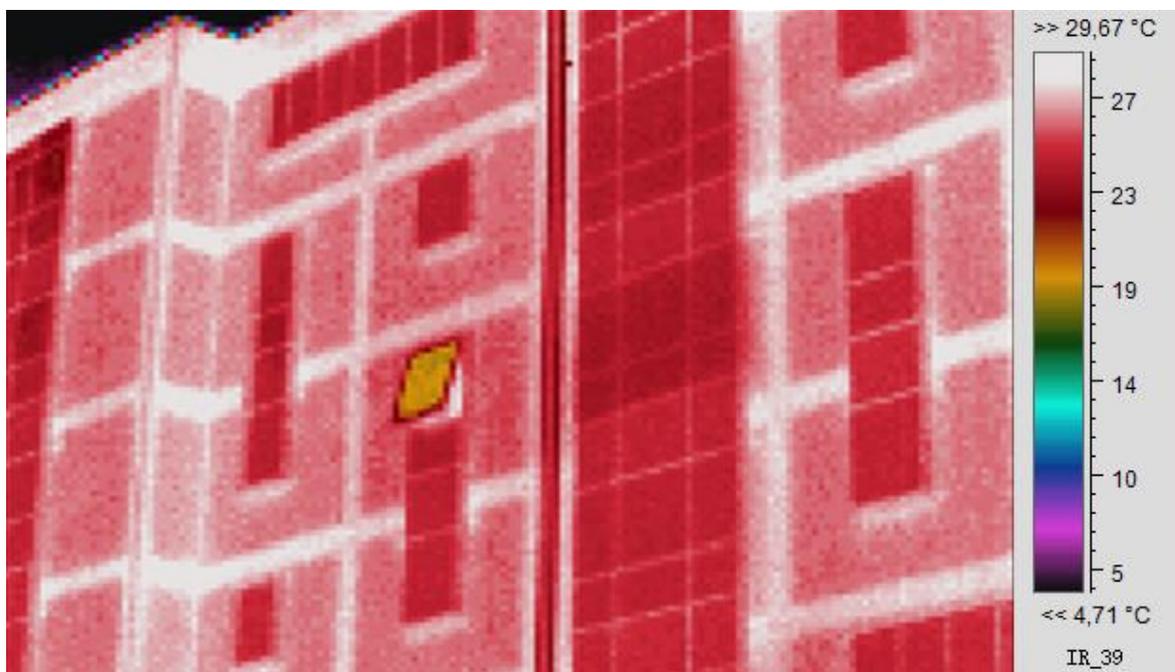


Figure 5. Hôtel du lac à Bejaia.

Annexe B : Détails sur le concept de développement durable

Les objectifs du développement durable

Afin de concrétiser réellement le développement durable des pays la déclaration du millénaire a été adoptée par 189 pays dans le cadre de l'Assemblée générale des Nations Unies en septembre 2000, cette déclaration comprenait des efforts pour réduire la pauvreté, développer et protéger l'environnement, En 2001, la feuille de route de cette déclaration a été généralisée par les Objectifs du Millénaire pour le développement (Hubert Gérardin et al ,2016), Après ce programme sur la période 2000-2015, figuré par les huit Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) (Figure 1), le deuxième programme lancé le 25 septembre 2015, en parallèle de l'Assemblée Générale de l'ONU, ou 193 dirigeants de la planète se sont engagés sur 17 objectifs mondiaux (ODD) (Figure 2) pour atteindre 3 super objectifs :Mettre fin à l'extrême pauvreté, lutter contre les inégalités et l'injustice ,résoudre les problèmes liés au changement climatique-tout cela au cours de la période 2015-2030 (UNICEF).



Historique et émergence de la notion du développement durable

Le développement durable est l'un des concepts les plus utilisés et un des facteurs clé de l'intérêt des parties prenantes aux questions d'environnement et de développement, L'utilisation du concept de développement durable a été mentionnée pour la première fois dans une publication de 1980 de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN) (Louis-Pascal Jacquemond,2017) ,En 1987, et dans le rapport de la Commission mondiale pour le développement environnemental, connu sous le nom de rapport Brundtland,

le concept de développement durable était défini comme suit : « Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Hamiti Dalila ,2021),

Historiquement, le développement durable est la rencontre de deux courants de pensée déjà anciens, le premier auteur de l'idée de développement qui s'opposent progressivement au concept de "croissance" purement économique qui se sont développées depuis les années 1950, le second on peut dire qu'il correspond la prise de conscience écologique et la protection de l'environnement et l'utilisation la plus économe des ressources naturelles s'est imposé à partir des années 1970 (Benhalima kheira ,2011) , En fait, la véritable émergence du concept de développement durable a commencé au début du XXe siècle pour des développements capables de réduire les inégalités sociales et de réduire la pollution de l'environnement ,le schéma des événements les plus importants dans l'émergence du développement durable permet de résumer quelques données importantes, En conclusion, on peut dire que la naissance de ce concept est soutenue par une nimbus de catastrophes naturelles et industrielles qui ont frappé et endommagé la terre, cela signe l'urgence du besoin d'une révolution écologique intense pour assurer l'extrême impulsion de la population à réagir. Par-là, la notion de développement durable est fondée principalement sur un équilibre entre d'un côté la croissance économique et d'autre côté l'écosystème.

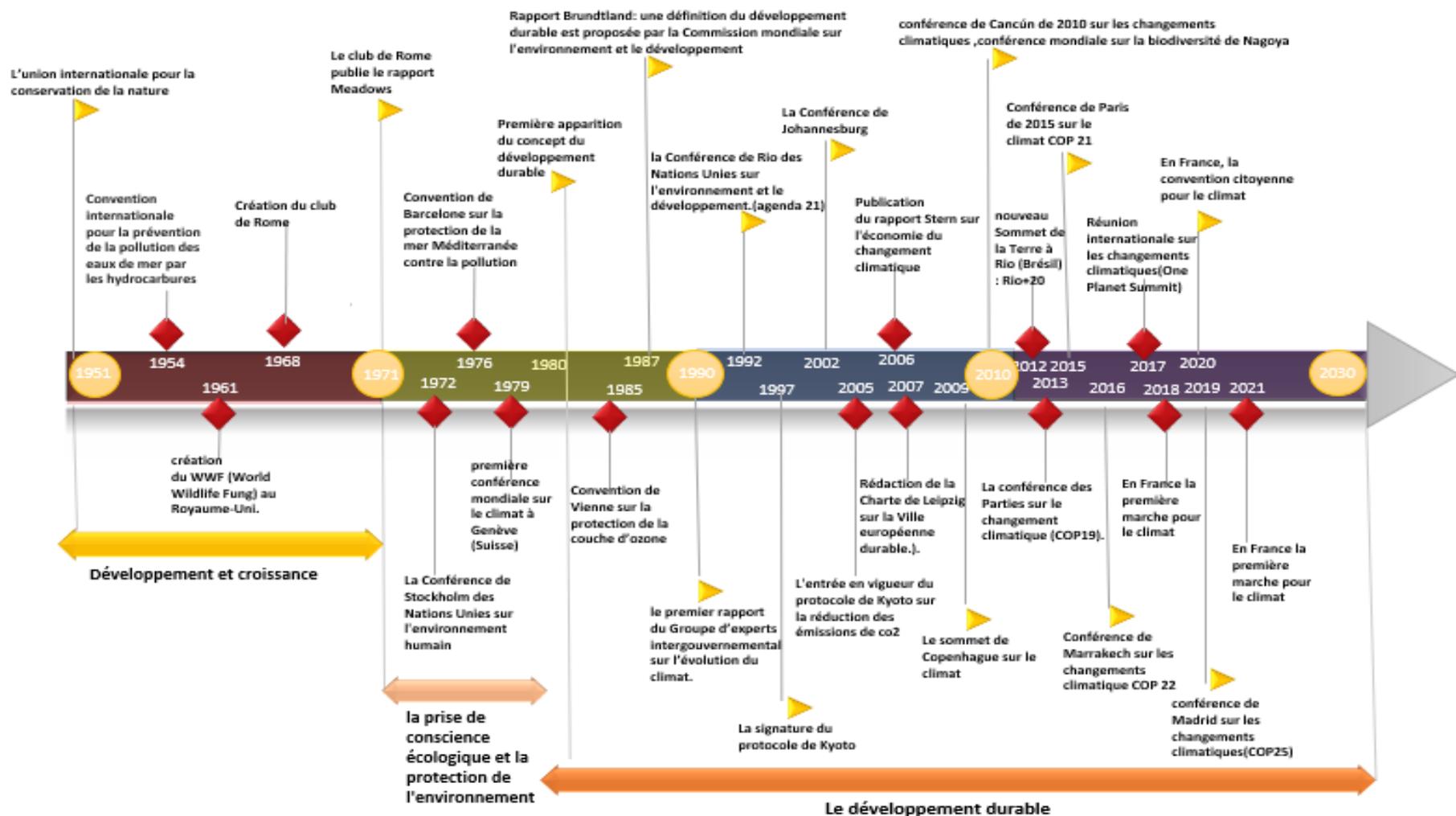


Figure 2. Historique et émergence de la notion du développement durable. Source : Auteur ,2021.

Annexe c : Plus des images de l'extérieur et l'intérieur des deux hôtels

HOTEL d'ALGER



Figure 1 Façade principale.

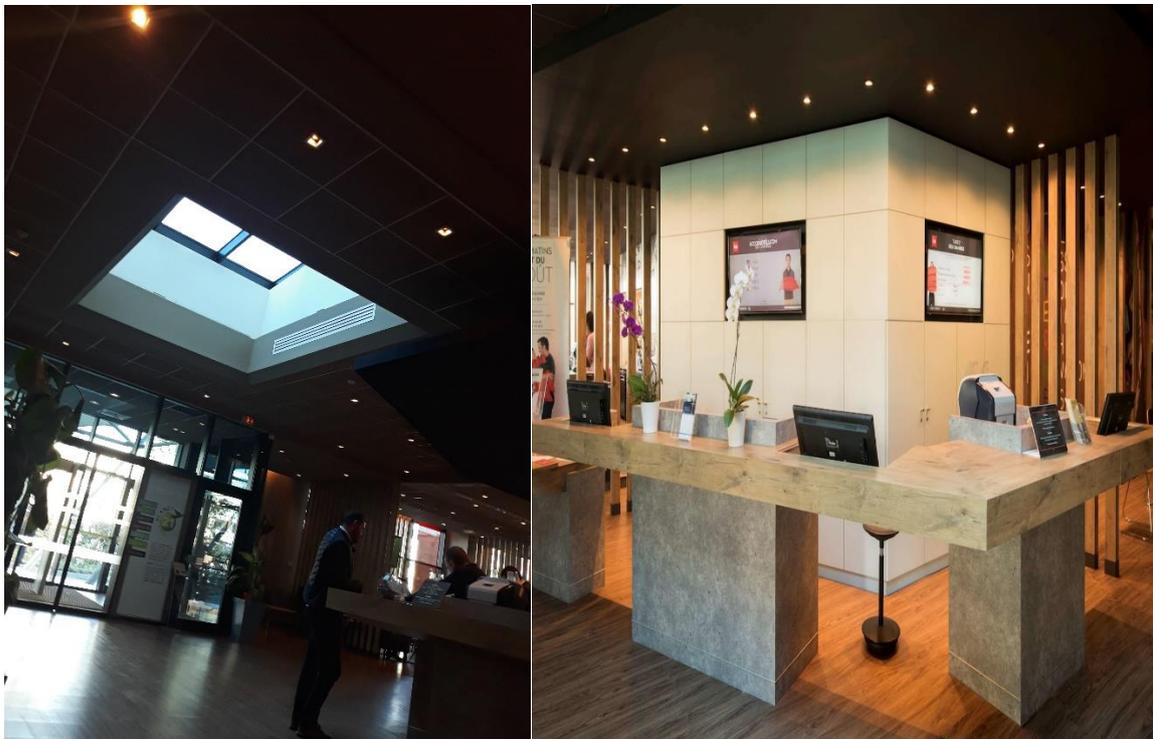


Figure 2. Espace de réception.



Figure 3. Espaces de transition.



Figure 4. Espace de restauration



Figure 5. Espace de détente.



Figure 6. Détails des chambres.



Figure 7. Centre d'affaires.

HOTEL DE BEJAIA



Figure 8. Façade principale.



Figure 9. Espace de réception.



Figure 10. Espace de restauration.



Figure 11. Espace de détente



Figure 11. Détails des chambres

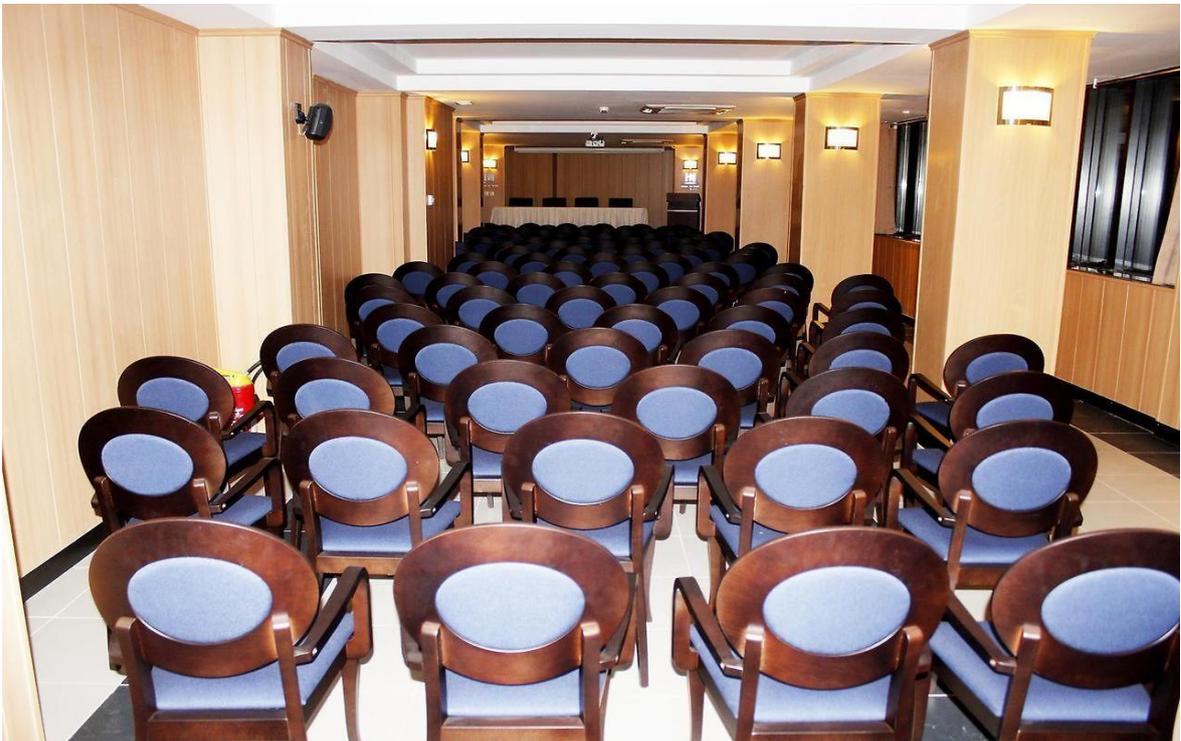


Figure 12. Salle de conférence

Annexe D les données climatiques sous le logiciel climat consultant 6.0

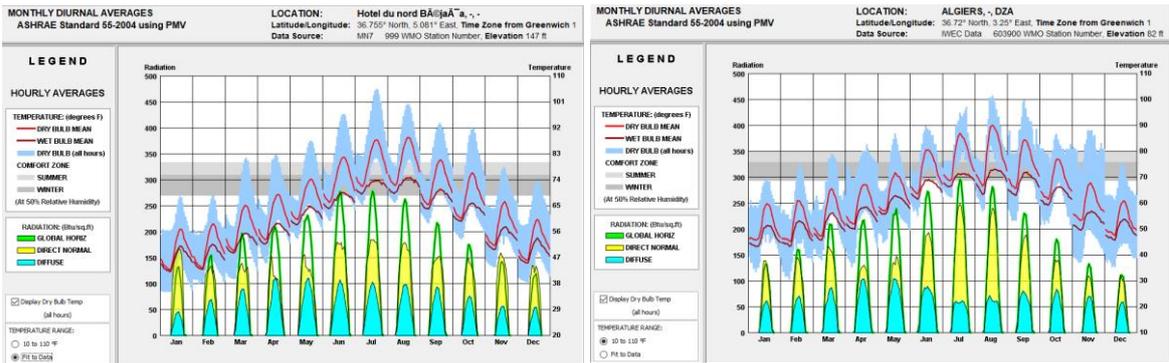


Figure.1 température mensuelle moyenne source : Auteur sous climat consultant 6.0.



Figure.2 Rayonnement mensuel (moyenne horaire) Source : Auteur sous climat consultant 6.0.



Figure.3 Couverture mensuelle du ciel source : Auteur sous climat consultant 6.0.

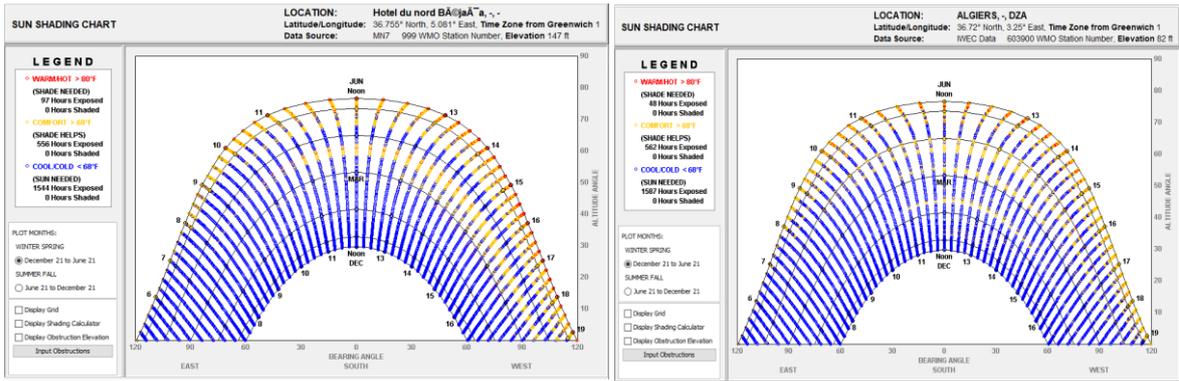


Figure.4 diagrammes d'ombrage solaire. Source : Auteur sous climat consultant 6.0

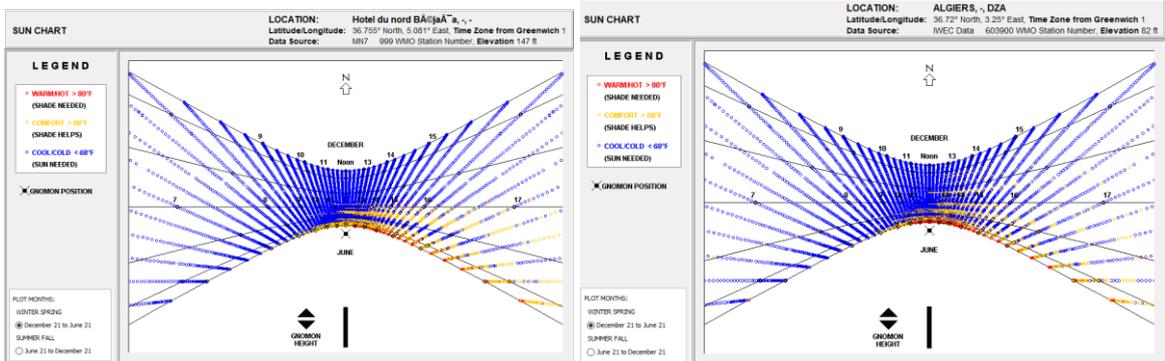


Figure.5 diagrammes solaire. Source : Auteur sous climat consultant 6.0

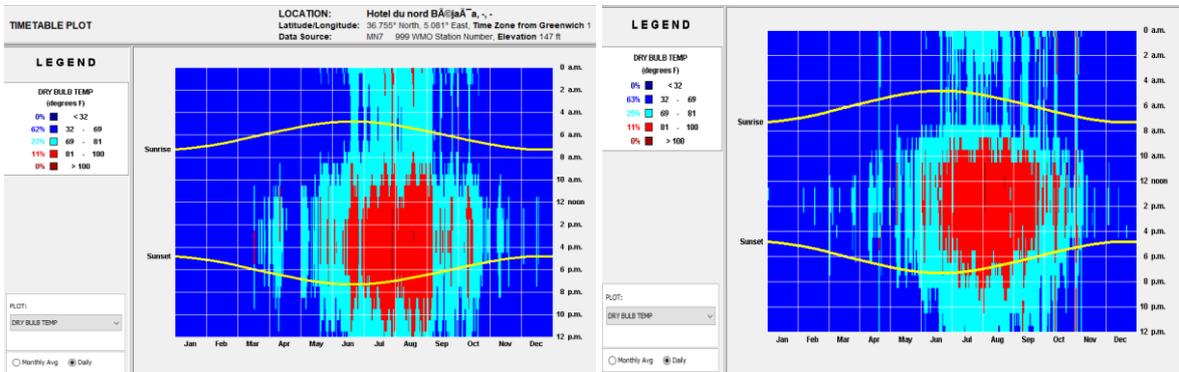


Figure.6 Diagrammes de température source : Auteur sous climat consultant 6.0

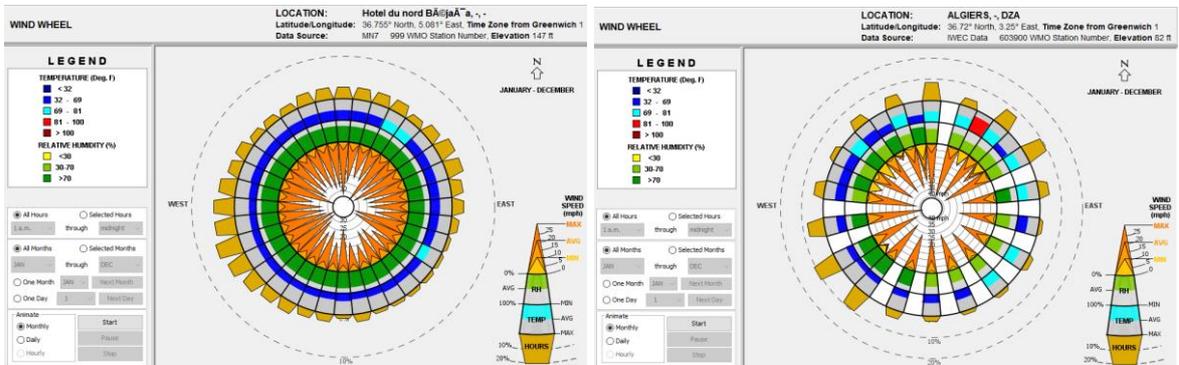


Figure.7 la rose des vents hiver/été source : Auteur sous climat consultant 6.0

Annexe E : Questionnaire

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

UNIVERSITE CONSTANTINE 3



FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

Questionnaire : évaluation post-occupationnelle des clients dans les chambres d'hôtel

Le questionnaire a pour objectif de renforcer notre travail de recherche sur l'évaluation de la performance énergétique des hôtels en climat méditerranéen, les résultats nous permettront en effet de proposer des recommandations pour réduire la consommation d'énergie des hôtels et l'amélioration du confort thermique dans ce type du bâtiment. Il est important pour nous que vous décriviez vraiment ce que vous ressentez dans votre chambre dans des conditions naturelles (sans chauffage ou sans climatisation) afin de proposer des prescriptions les plus adaptées à la situation thermique réelle.

Merci pour votre participation et la qualité de vos réponses.

Mettez une croix (X) s'il vous plait dans la case correspondante, commenter ou expliquer quand si vous penser nécessaire.

1-Informations générales

1-Sexe	Homme <input type="checkbox"/> femme <input type="checkbox"/>
2-Age	< 30 ans <input type="checkbox"/> entre 30 et 50 ans <input type="checkbox"/> > 50ans <input type="checkbox"/>
3-Orientation de la chambre	Sud <input type="checkbox"/> nord <input type="checkbox"/> est <input type="checkbox"/> ouest <input type="checkbox"/>
4-La durée d'occupation	1-2jours <input type="checkbox"/> 3-5jours <input type="checkbox"/> plus de 5jours <input type="checkbox"/>

2-Confort thermique dans la chambre

5-Température souhaitée dans une chambre d'hôtel	< 25C° <input type="checkbox"/> entre 25C°-27C <input type="checkbox"/> > 27C° <input type="checkbox"/>
6-Température réelle dans des conditions naturelles (sans chauffage ou sans climatisation).	< 25C° <input type="checkbox"/> entre 25C°-27C <input type="checkbox"/> > 27C° <input type="checkbox"/>
7-Pour vous quelles sont les mesures les plus défavorables pour votre confort thermique dans une chambre d'hôtels ?	Températures <input type="checkbox"/> Humidité <input type="checkbox"/> Mouvement d'air <input type="checkbox"/> Éclairage <input type="checkbox"/>
8-Comment vous sentez par rapport à la température de votre chambre ?	Très froid <input type="checkbox"/> Froid <input type="checkbox"/> Légèrement froid <input type="checkbox"/> Neutre <input type="checkbox"/> Légèrement chaud <input type="checkbox"/> Chaud <input type="checkbox"/> Très chaud <input type="checkbox"/>
9-Généralement cette sensation implique un état :	Très confortable <input type="checkbox"/> Confortable <input type="checkbox"/> Peu confortable <input type="checkbox"/> Inconfortable <input type="checkbox"/> Très inconfortable <input type="checkbox"/>
10-Comment trouvez-vous la qualité de l'air dans votre chambre en ce moment ?	Très Peu satisfaisante <input type="checkbox"/> Peu satisfaisante <input type="checkbox"/>

	Moyennement satisfaisante <input type="checkbox"/> Satisfaisante <input type="checkbox"/> Très satisfaisante <input type="checkbox"/>
11-Comment jugez-vous le niveau de l'humidité de votre Chambre ?	Humide <input type="checkbox"/> Naturelle <input type="checkbox"/> Sec <input type="checkbox"/>
12-Comment qualifiez-vous le niveau d'éclairage naturel à l'intérieur de votre chambre ?	Très bien <input type="checkbox"/> Bien <input type="checkbox"/> Acceptable <input type="checkbox"/> Mauvais <input type="checkbox"/> Très mauvais <input type="checkbox"/>
13-Comment qualifiez-vous le niveau d'éclairage artificiel à l'intérieur de votre chambre ?	Très bien <input type="checkbox"/> Bien <input type="checkbox"/> Acceptable <input type="checkbox"/> Mauvais <input type="checkbox"/> Très mauvais <input type="checkbox"/>
14-Trouvez-vous la chambre sombre ?	Très Peu claire <input type="checkbox"/> Peu claire <input type="checkbox"/> Moyennement claire <input type="checkbox"/> Claire <input type="checkbox"/> Très claire <input type="checkbox"/>
15-Avez-vous l'habitude d'ouvrir les fenêtres pour améliorer la qualité de l'air ?	Toujours <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Parfois <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>
16-Avez-vous le réflexe d'éteindre l'éclairage artificiel quand il n'est pas nécessaire ?	Toujours <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Parfois <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/>

Autres commentaires et propositions :

.....
.....
.....
.....

2-Impact de l'enveloppe extérieur

17-Comment trouvez-vous la performance thermique des matériaux utilisés dans cet hôtel ?	Très bonne <input type="checkbox"/> Bonne <input type="checkbox"/> Acceptable <input type="checkbox"/> Mauvaise <input type="checkbox"/> Très mauvaise <input type="checkbox"/>
18-Quel est votre avis sur l'influence de l'utilisation des matériaux isolants sur le confort thermique dans les hôtels ?	Très bonne <input type="checkbox"/> Bonne <input type="checkbox"/> Acceptable <input type="checkbox"/> Mauvaise <input type="checkbox"/> Très mauvaise <input type="checkbox"/>
19-Comment trouvez-vous la taille des fenêtres dans votre chambre ?	Très grande <input type="checkbox"/> Grande <input type="checkbox"/> Moyenne <input type="checkbox"/> Petite <input type="checkbox"/> Très petite <input type="checkbox"/>
20-Quel est le pourcentage de la surface vitrée que vous préféreriez dans une chambre d'hôtel ?	100% <input type="checkbox"/> 75% <input type="checkbox"/> 50% <input type="checkbox"/> 25% <input type="checkbox"/> 10% <input type="checkbox"/>
21- Avec la fenêtre ouverte, les mouvements d'air sont-ils présents ?	Oui <input type="checkbox"/> Moyennement <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
22- Les protections solaires des fenêtres vous semblent-elles suffisantes ?	Oui <input type="checkbox"/> Moyennement <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>

Autres commentaires et propositions :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3- Réduction des consommations d'énergies dans les hôtels

<p>23-A votre avis, quel est l'impact du choix judicieux des éléments de l'enveloppe sur la réduction de la consommation énergétique dans les hôtels.</p>	<p>Très grand <input type="checkbox"/></p> <p>Grand <input type="checkbox"/></p> <p>Moyen <input type="checkbox"/></p> <p>Faible <input type="checkbox"/></p> <p>Très faible <input type="checkbox"/></p>
<p>24-Quelle serait votre motivation pour réduire la consommation d'énergie dans une chambre d'hôtel ?</p>	<p>Un devoir civique <input type="checkbox"/></p> <p>La protection de l'environnement <input type="checkbox"/></p>
<p>25-Avez-vous reçu un guide pour vous inciter à réduire vos consommations d'énergie dans votre hôtel ?</p>	<p>Oui <input type="checkbox"/></p> <p>Non <input type="checkbox"/></p>
<p>26-Pensez-vous que l'utilisation d'un système de chauffage ou climatisation reste une tâche obligatoire pour avoir un environnement thermique optimal dans votre chambre d'hôtel ?</p>	<p>Oui <input type="checkbox"/></p> <p>Non <input type="checkbox"/></p>

Autres commentaires et propositions :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Annexe F : Principaux logiciels de simulation thermique dynamique

TRNSYS : est un logiciel de simulation thermique dynamique appliquée au bâtiment. Dans un environnement de simulation complet et extensible, il permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment et de son équipement (systèmes de chauffage, climatisation) pour mener des simulations en mode transitoire des systèmes et des bâtiments monos ou multizones. Il permet de valider de nouveaux concepts d'énergie, des systèmes d'eau chaude domestique simples à la conception et à la simulation de bâtiments et de leurs équipements, y compris les stratégies de contrôle, le comportement des occupants, les systèmes énergétiques alternatifs (éolienne, solaire, photovoltaïque, systèmes hydrogène). <http://www.cstb.fr/archives/webzines/editions/edition-du-14-decembre-2010/trnsys-17-une-percee-dans-la-modelisation-thermique-de-batiments.html>.

Energy-Plus : il possède de nombreuses caractéristiques importantes, il peut notamment : estimer l'énergie nécessaire pour chauffer ou refroidir une zone ; estimer la conduction de la chaleur de transition par les surfaces, modéliser le confort thermique, estimer le bilan thermique, estimer les sorties liées à chaque composant du bâtiment, et analyser l'influence des composants sous différentes conditions météorologiques conditions. Melo, Ana Paula, and Roberto Lamberts. "ENVELOPE INSULATION AND HEAT BALANCE IN COMMERCIAL BUILDINGS," n.d., 8.

Autodesk Ecotect : Ecotect est un outil de conception et d'analyse architecturale hautement visuel qui associe un modélisateur 3D complet à un large gamme de fonctions d'analyse des performances couvrant les aspects thermiques, énergétiques, d'éclairage, d'ombrage, d'acoustique et de coût. Alors que ses capacités de modélisation et d'analyse peuvent gérer la géométrie de n'importe quelle taille et complexité, son principal avantage est de se concentrer sur les commentaires dès les premières étapes du processus de conception du bâtiment. Crawley, Drury B., Jon W. Hand, Michaël Kummert, and Brent T. Griffith. "Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs." *Building and Environment* 43, no. 4 (April 2008): 661–73. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>.

DOE-2.1E : Un outil de simulation énergétique de bâtiment qui prédit la consommation d'énergie horaire et le coût énergétique pour tous types de bâtiments en fonction des informations météorologiques horaires, des horaires de fonctionnement, des systèmes de climatisation et d'éclairage, de la description géométrique du bâtiment et de la structure tarifaire du fournisseur d'énergie. Son développement a été financé par le département américain de l'énergie (DOE), d'où son nom. Coakley, Daniel, Paul Raftery, and Marcus Keane. "A Review of Methods to Match Building Energy Simulation Models to Measured Data." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37 (September 2014): 123–41.

CYPETHERM suite : Une série de logiciels pour l'analyse thermique et l'optimisation énergétique des bâtiments ; Comprenant :

IFC Builder : Pour la modélisation, la génération et la maintenance de maquettes numériques de bâtiments BIM.

CYPETHERM RT2012 et RT Existant : Pour l'application et l'optimisation de projets en conformité avec la réglementation thermique des bâtiments neufs (RT2012), et pour les études de faisabilité d'approvisionnement en énergie.

CYPETHERM LOADS : Pour le calcul des charges thermiques de chauffage et de refroidissement conformément à la norme NF EN 12831 et aux recommandations de l'ASHRAE.

CYPETHERM BRIDGES : Pour la détermination par le calcul de la transmittance thermique des ponts thermiques linéaires conformément à la norme NF EN ISO 10211.

CYPETHERM EPlus : Pour la simulation des performances énergétique des bâtiments avec EnergyPlus™ (version 9.1).

CYPETHERM Improvements : Pour la réalisation d'audits énergétiques permettant l'analyse économique de différentes mesures d'amélioration énergétique lors de la conception ou de la rénovation de bâtiments. <http://cypetherm-suite.cype.fr/>

CBE Thermal Comfort Tool : Un outil en ligne pour les calculs et les visualisations de confort thermique conforme aux normes ASHRAE 55–2017, ISO 7730:2005 et EN 16798–1:2019. Intégrant les principaux modèles de confort thermique, y compris le vote

moyen prévu (PMV), la température effective standard (SET), les modèles adaptatifs, les modèles d'inconfort local, SolarCal et l'isolation prédictive dynamique des vêtements. Tartarini, Federico, Stefano Schiavon, Toby Cheung, and Tyler Hoyt. "CBE Thermal Comfort Tool: Online Tool for Thermal Comfort Calculations and Visualizations." *SoftwareX* 12 (July 1, 2020): 100563. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>.

Annexe G : Simulation énergétique sous TRNSYS

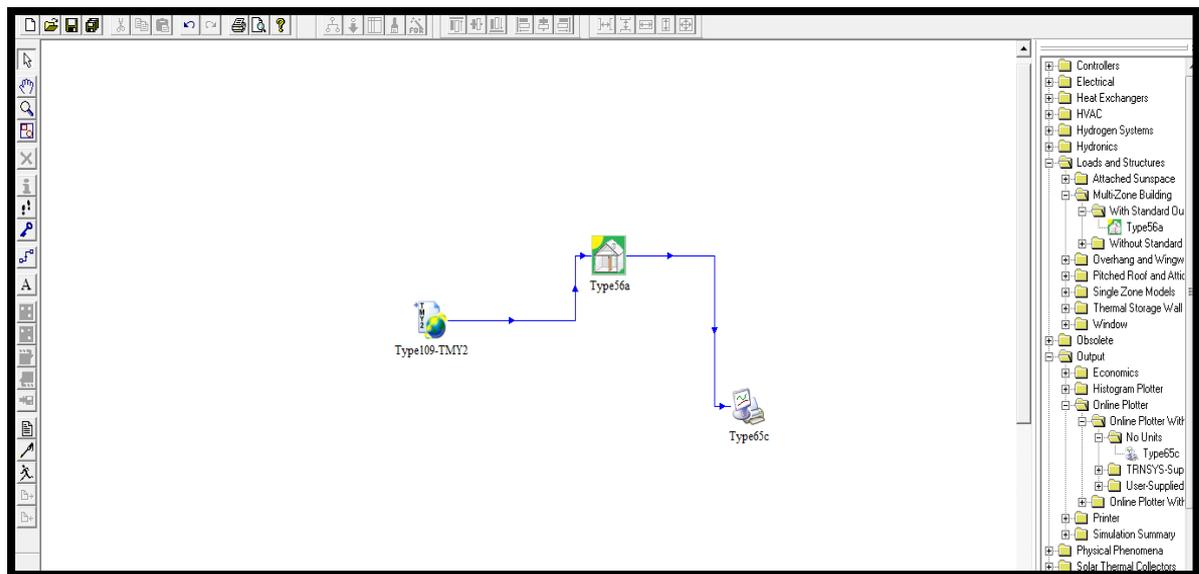


Figure 1. Les types et les connexions utilisés. Source : Auteur, 2022

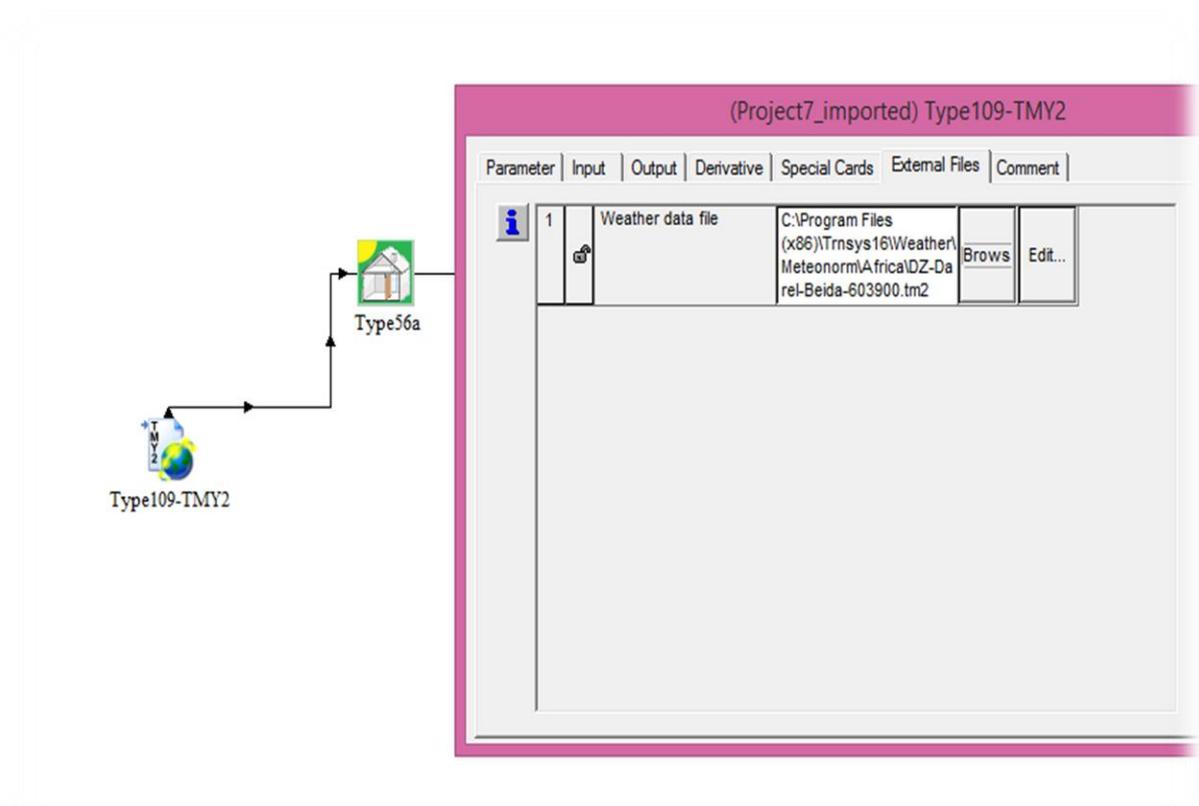


Figure2. Intégration des données climatiques. Source : Auteur, 2022

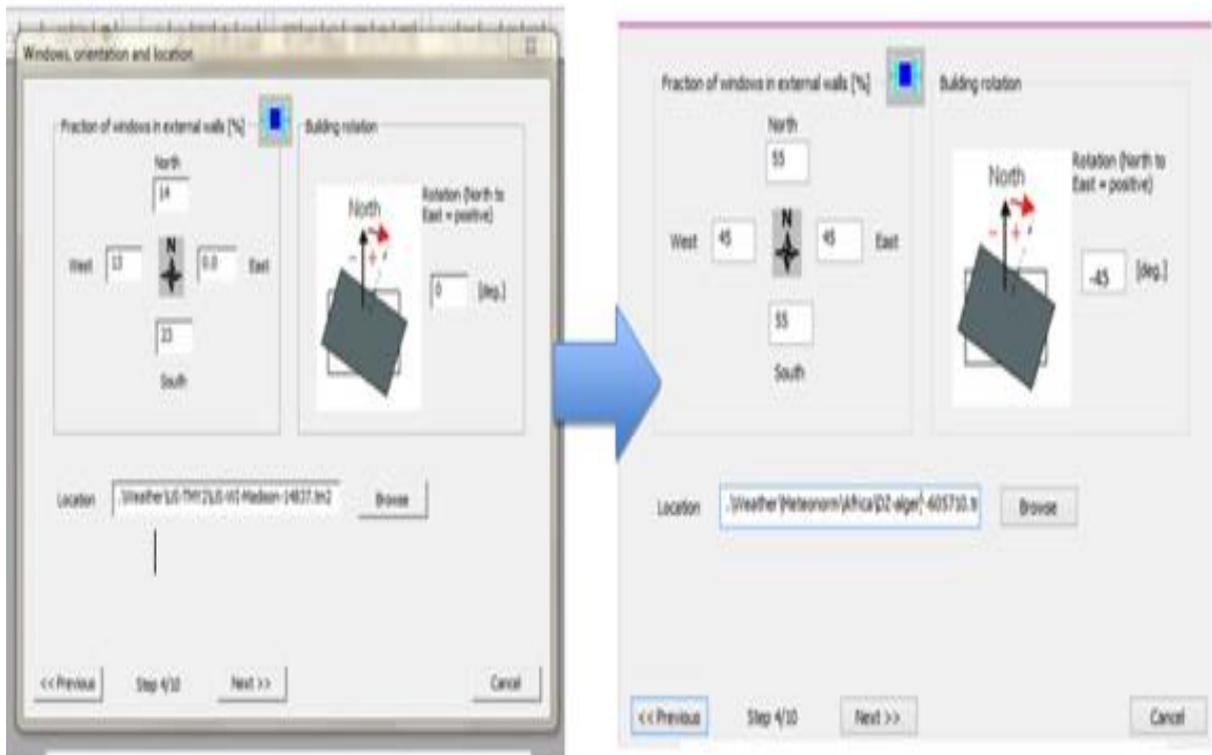


Figure 3. Définition de l'orientation et la surface vitrée. Source : Auteur, 2022

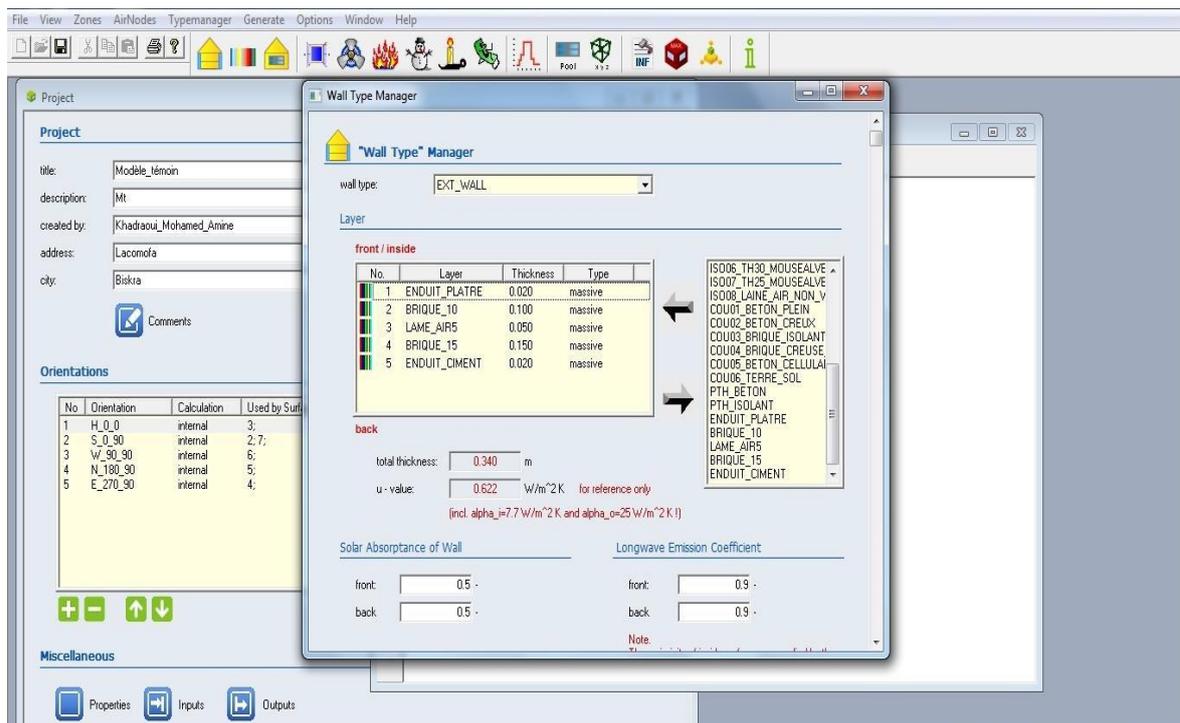


Figure 4. Composition des murs extérieurs. Source : Auteur, 2022

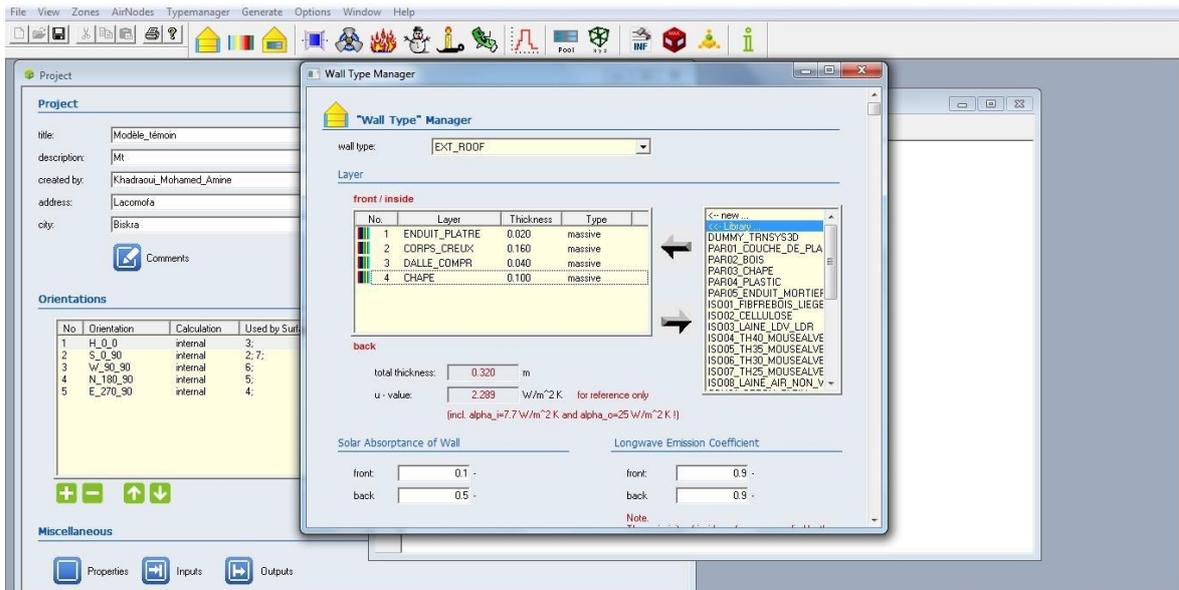


Figure 5. Les matériaux utilisés dans le plafond. Source : Auteur, 2022

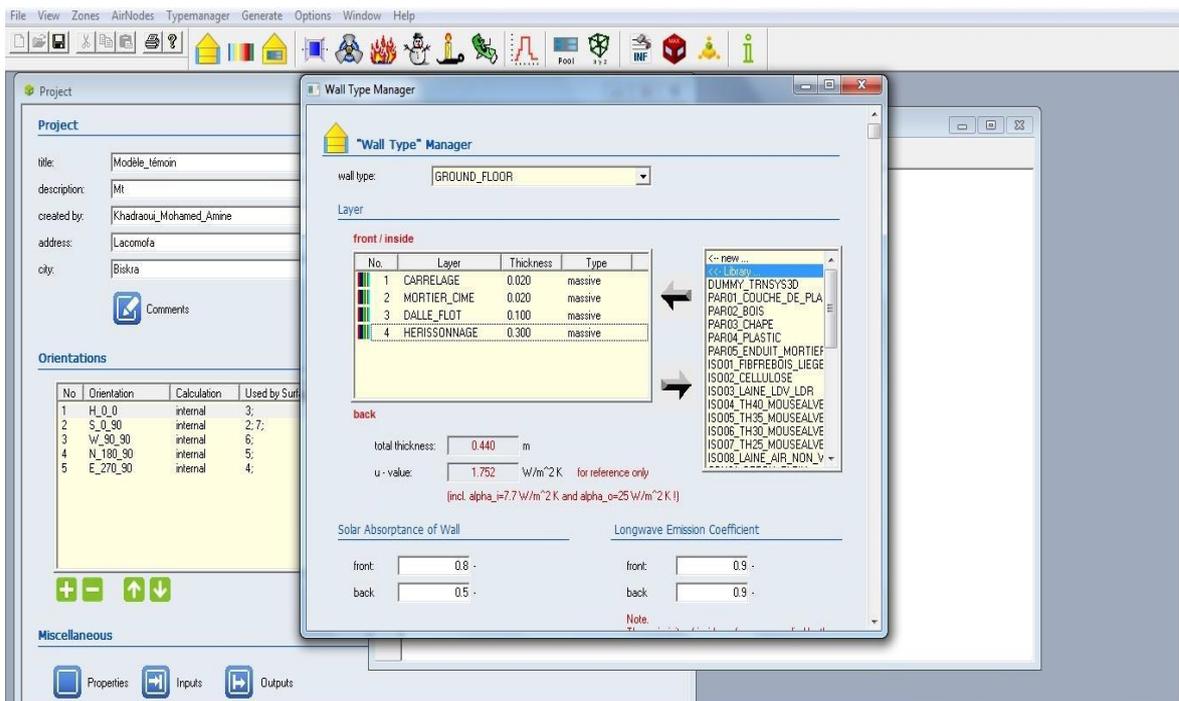


Figure 6. Les matériaux utilisés dans le plancher. Source : Auteur, 2022

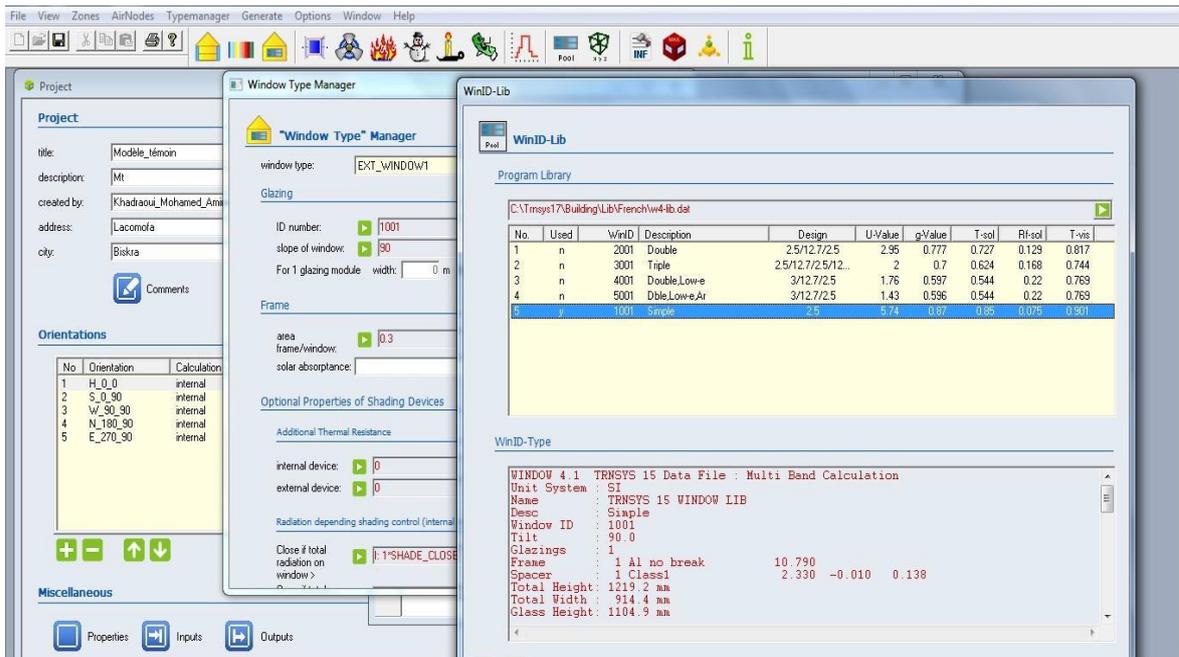


Figure 7. Les caractéristiques thermiques des fenêtres. Source : Auteur, 2022

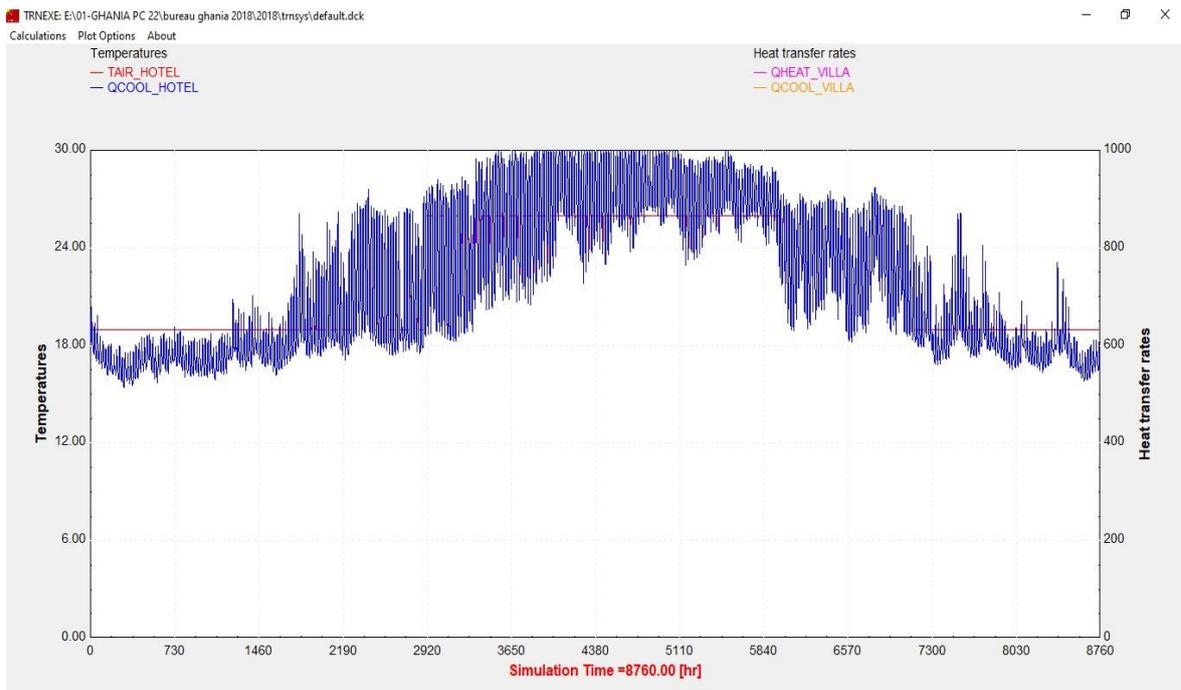


Figure 8. Les résultats obtenus. Source : Auteur, 2022

Annexe H : Articles publiés

Algerian Journal of Environmental Science and Technology
Month edition. Vol.8. N° 4. (2022)
ISSN : 2437-1114
www.aljest.org



Assessment of the impact of aerogel materials on the energy consumption of hotels under the coastal Mediterranean climate

G. Kihal^{1 2*}, D. Rouag-saffidine^{1 2}, Y. Laraba^{1 2}, O. Sotehi^{1 2}

¹Faculty of Architecture and Urbanism, University of Constantine 3, Algeria.

²Energy & Environment Laboratory, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Constantine 3, Algeria.

*Corresponding author: ghania.kihal@univ-constantine3.dz ; Tel.: +213 57 26 91 45

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 30/08/2022

Accepted : 10/12/2022

Key Words:

Energy consumption;
Hotels;
Silica aerogels materials;
Thermal comfort;
Temperature.

ABSTRACT/RESUME

Abstract: *With the increasing emphasis on sustainable development and climate change issues, there is an urgent need to address the issue of greenhouse gas emissions induced by the misuse of energy appliances in buildings. In Algeria, the building sector is the most energy-intensive, with the tertiary sector representing a very important fraction given its enormous energy consumption. As hotel construction is a current project in the country, they are addressed in this research which aims to highlight their needs for heating, cooling, lighting. More precisely, an investigation combining experimental work (air and surface temperature measurements and thermography) and numerical simulation (using TRNsys V17) was conducted on a prototype (an urban hotel) in Algiers, a city with a coastal Mediterranean climate. A diagnosis of the actual thermal comfort conditions and the results revealed that the envelope is not protective from external climatic agents mainly due to heat loss through walls, roofs, and floors, windows. To overcome this challenge, a proposal to integrate new insulation materials based on aerogels (silica aerogels) allowed a significant reduction in energy loads. This allowed reaching comfort levels in the study rooms (more than 53% reduction for heating needs and 43% for cooling needs compared to non-insulated rooms).*

I. Introduction

Combating climate change is one of the challenges of this century. The majority of studies show that anthropogenic greenhouse gas activities are the primary contributor to global warming by increasing ambient air temperature and energy consumption in the environment [1]. According to the International Energy Agency (IEA), global energy consumption will increase by 2.3% in 2018, and is considered to have had the sharpest growth in the last decade [2]. One of the most common concerns of building designers nowadays is to seek a balanced reconciliation of local climatic parameters and available renewable energies to accomplish a healthy and sustainable architecture.

In Algeria, the building sector is the first in terms of energy consumption (with a rate of 43% of the overall national amount) and the third in terms of GHG emitter (with 16% of the total amount of GHG emitted on the country) [3]. Given the increased development of the tourism sector, it has become one of the most important sectors for economic development in most countries [4]. Hotel construction is considered to be one of the largest emitters of greenhouse gases; in 2005 it emitted 274 million tons of CO₂ worldwide, 21% of the total quantity emitted by the world tourism sector [5]. The hotel establishments in the study are known worldwide as large energy consumers in the tourism sector. For example, in 2011, they ranked

2960

Copyright © 2022, Algerian Journal of Environmental Science and Technology, All rights reserved

among the top five with an estimated energy consumption of 97.5T wh [6] and an average energy intensity ranging from 69 to 689 KWh/year [7]. These values were recorded mainly at the room level, where the comfort requirements of the guests involve continuous use of heating or cooling. The cost of energy consumption, very recently estimated at nearly half of total energy consumption, was not considered [8].

In the last decade, the lack of accommodation in institutions has been addressed. Unfortunately, the latter are often built with little attention to regulatory and environmental requirements. A kind of construction standard has become widespread throughout the country, despite the differences in climatic characteristics that the most energy-intensive buildings unfortunately often suffer. The climatic policies aim to improve the energy efficiency of new buildings; however, existing buildings have been neglected due to the difficulties of refocusing when improving energy performance. Therefore, it becomes urgent to find sustainable solutions for this type of building [9].

Regarding Algeria, a large number of hotels have been built recently among which a high percentage (50 %) are located in the coastal areas [10]. These latest are characterized by the Mediterranean climate known for its hot and dry summers ranging between 25 °C and 40 °C and its mild and humid winters averaging 5 °C, and its rainy intermediate seasons [11]. In this context a study of the impact of building envelopes on environmental and energy for three touristic establishments (hotels) using a life cycle analysis approach was developed [12]. The results revealed the option to reduce the energy requirements of both traditional and standard hotel envelopes by assigning low-consumption building scenarios. In the same scope, Kaoula undertook a research work which aim was to reduce the pressure on the environment by intervening on a heritage hotel building located in central Algiers through a comparative LCA with a low consumption hotel in France [13]. The findings showed that in order to reduce environmental impacts generation for a new building under the Mediterranean climate, it would be necessary to introduce low- energy eco-techniques solutions. These would offer an environmental balance with a good thermal inertia of the materials, a generic insulation of the vertical and horizontal walls, the reduction of thermal bridges by external insulation and the low-emission double or triple glazing. The consideration of these solutions allows for better environmental preservation and conservation of energy [14].

Literature review of aerogel materials in building:

The exterior façade being the subject of this article, the current study aims to provide evidence of the effects of its important active architectural

element upon energy loads, with a particular interest to its materials characteristics. The considerable progress made recently in the generation of new materials called “super-insulation materials,” characterized by their energy performance two to three times higher than traditional insulators [15], has encouraged the deepening of this topic. One example is aerogel-based materials with thermal conductivity (λ) of up to $0.015 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [16] which allow a significant improvement in the building insulation process (by neutralizing the three heat transfer modes) [17].

The qualities of aerogels impact not only temperature but also the sound environment as they offer a remarkable ability to reduce surrounding noise [18]. Therefore, they are innovative thermal and acoustic insulation materials with extremely light solid foams (with a network of nanometric porosities composed of up to 99.8% air) [19] and can be subdivided into five types: silica, metal oxide, organic, carbon and hybrid aerogels. The development of silica aerogel technology is observable nowadays, and despite their excessively high price, they are restrictively applied to buildings. Yet, researchers believe that they could quickly become the most attractive materials in the future due to the development of cheaper innovative manufacturing techniques [20].

Indeed, with respect to the inherent advancement of aerogel materials, two research groups with clearly different but complementary objectives have been observed.

1-The combination of aerogels and standard materials:

The first group is dedicated to the development of new materials by combining aerogels and standard materials. For example, aerogels and bricks (called Aero-bricks) have been produced, reducing the thermal conductivity (λ) from 0.091 to 0.059 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ with a corresponding U-value of only 0.157 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$ [21]. Based on these results, Ganobjak and Josephine [22] confirmed the performance of this combination for insulation and high-performance design of building envelopes after considering the optimization of the Aero-brick topology.

On the other hand, Liu [23] developed a SiO_2 aerogel material (FC-SA) reinforced with concrete foam whose thermal conductivity of the FC-SA composite was as low as 0.049 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ along with a 48.4% decrease compared to aerated concrete. They also provided clear evidence of reduced energy consumption by using FC-SA instead of traditional concrete materials. Considering all European climates, Aspen Aerogels Company, U.S.A. has developed a high-performance thermal insulation material called SPACELoFT for residential and commercial building enclosures. This material is

very versatile, saves floor space, and improves energy efficiency [24].

2- The evaluation of the performance of aerogels materials:

The work of the second group of researchers was mainly limited to experimental and simulation studies to test and confirm the effectiveness of aerogel materials in reducing the energy consumption of interiors. Lang [25] revealed through simulation work that compared to more usual insulation materials, silica aerogel improves the energy efficiency of buildings by reducing the annual heating cost at a rate of 50%. Ibrahim Mohamad [26] showed that the addition of aerogel coating on the exterior surface of uninsulated or already internally insulated walls significantly reduces or eliminates the risk of moisture, also reduces heat loss on the walls. Buratti [27] stated that applying these innovative materials can be a useful tool for the insulation of new buildings and the renovation of existing buildings. The best value of thermal conductivity obtained from manufacturers is about 0.015 W/m K.

Following this state of the art, the same authors [28] showed through energy simulations for a case study under different climatic conditions (hot, moderate, and cold) the reduction in energy demand for heating and cooling of silica aerogel glazing systems compared to conventional systems. (Huang [29] proposed a super-insulating glazing system filled with silica aerogel in a commercial building in Hong Kong proving that the energy consumption of the HVAC system was reduced by 4 to 7%. Saio [30] analyzed through a series of numerical simulations using silica aerogel to renovate a historical building to achieve a high level of energy improvement. The study shows a reduction in heating demand of about 40% with aerogel and 25% with traditional insulation.

Yang [31] showed through numerical and experimental study that aerogel insulation panels (AIP) have 20% and 40% decreases in the internal temperature fluctuation range and heat flow, respectively, compared to traditional insulating walls. Belili [32] reported that the use of a super-insulating 2-cm-aerogel allow energy savings of 18.46% of the building study. Oualid [33] showed through numerical simulations that the use of aerogel insulation in building allows a reduction 50.90% in annaba city and 52.25% for the city of Setif and 38.72% For the city of Biskra.

From this premise, the field investigation of the proposed study focuses on the effective contribution of silica aerogel material applied to the studied enclosures (hotel rooms), where a diagnosis of the effective thermal comfort conditions was established through air and surface temperature measurements and thermography in winter and summer. After data collection and analysis, a

numerical simulation was carried out using TRNSYS software to compare cooling and heating needs under existing conditions and after applying innovative aerogel-based insulating materials (silica aerogels) combined with solar protection in summer.

II. Materials and methods

II.1. Climatic conditions

Algiers is known for its coastal temperate Mediterranean climate with long, hot, humid summers and mild, rainy winters [34]. According to the psychometric diagram of the concerned city (Figure 1), it is clearly shown that without passive strategies, the comfort conditions would be ensured for only 10.6% of the hours throughout the year. Beyond this rate, some strategies are required to achieve the desired thermal comfort level.

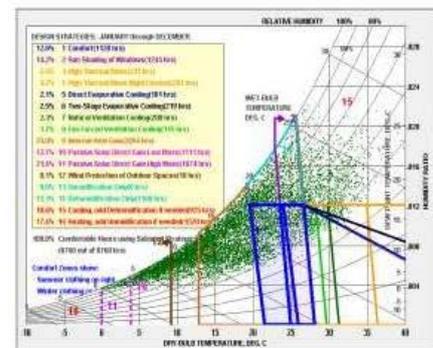


Figure 1. The psychrometric diagram of the city of Algiers. Source : Climate consultation software 6.0 : <https://climate-consultant.informer.com/>

The analysis of the climatic data in Figure 1 allows identifying the most relevant strategies to meet the climatic requirements of Algiers. Specifically, enhanced thermal insulation and passive heat gain would provide 33% hours of comfort without supplementary heating in winter. While to achieve summer comfort, a key strategy would be to provide windows with solar shading for at least 14.2% of the hours, which would help the indoor ambient temperature stay within the thermal comfort zone.

II.2. Case study

This study investigates a 9-story urban hotel in Algiers (north-central Algeria), its main facade is exposed to northwest orientation, the secondary one is exposed to the South-East (Figure 2.a). Ibis hotel is rectangular and includes 264 rooms and other facilities (restaurants, coffee-bar, offices). Moreover, it represents a series of similar buildings

owned by an international hotel chain that has established ten hotels in the country since 2010. The first room taken as a case study is located in fifth level floor in the South-East orientation, it has a rectangular shape, its treated floor area is 13.4 m² its characteristic length is 5.60 m and the width 3.1 m and its depth is 3.2 m as illustrated in (Figure 2.c) where the surfaces selected for measurements are the southeast window and North-East adjoining wall. The seconde room taken as a case study is located in fifth level floor in the northwest orientation, it has a rectangular shape, its treated floor area is 12.8 m² its characteristic length is 5.60 m and the width 3 m and its depth is 3.2 m. as illustrated in (Figure 2.c) where the surfaces selected for measurements are the northwest window. Details of this investigated rooms are shown in Figure 2.

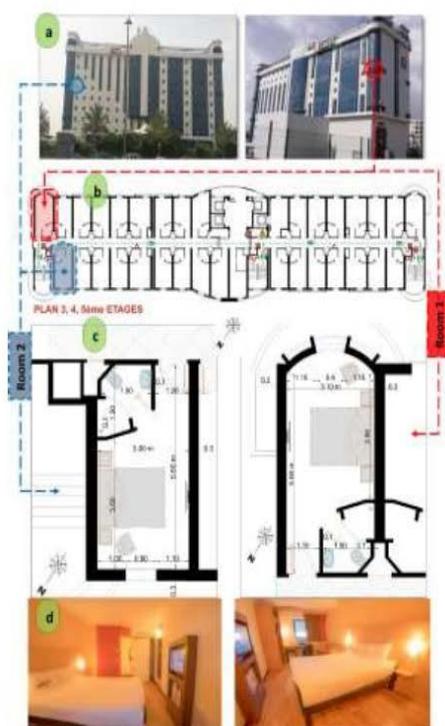


Figure 2. a. facades views of ibis hotel b. Floor plan view of hotel c. plan of investigated hotel rooms d. interior views of the rooms.

II.3. The investigation reports

II.3.1 In situ measurements and energy simulation

To identify the main thermal problems inside the studied hotel rooms, in situ measurements were carried out. The data were collected by measuring instruments (Figure 3): an infrared thermometer (a) to measure surface temperatures inside and outside the walls and glazing, a temperature and humidity Data Logger to facilitate the work between rooms (b), a thermo-hygrometer to measure air temperature and relative humidity (c). All the measured values were used to validate the numerical model made with the software (TRNSys V17).



a. Infrared thermometer **b.** Thermo-hygrometer



c. Temperature and humidity data Logger **d.** Thermal Imaging Camera

Figure 3. Measuring instruments.

Simulation software

The TRNSYS process is a dynamic simulation environment that allows for a good simulation of the behavior of a complex system, such as a building; it has been available since 1975. Based on architectural data and the thermo-physical properties of the material, an analysis of the thermal behavior of the samples was carried out using the "TRNSYS V 17" software.

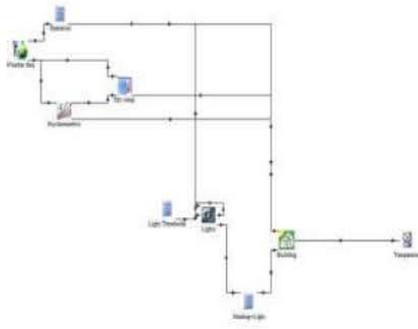


Figure 4. Local modeling under the V17.TRNsys environment.

II.3.2. Thermography of facades

The camera works by presenting a color scale showing relative differences in temperature, with red or white as the warmest and blue or purple as the coolest. In this study, we used a thermal image camera called Trotec EC040 (Figure 3.d). The inspection was made on the month of February 2020 in the afternoon, outside temperature being 6 °C.

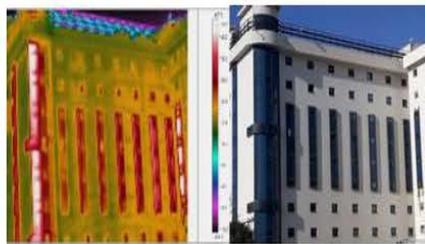


Figure 5. On-site infrared thermography of exterior facade.

The figure 5 shows a thermal image of the South-East where the average temperature on the wall is 11 °C, the windows and structural elements has not been properly insulated and there is a heat loss that can become significant over time, the temperature indicates 20 °C to 40 °C on comparing with the wall of 11 °C, it is clearly indicating the inadequacy or lack of insulation by the large areas colored in red which indicate an apparent surface temperature much higher than the rest of the hotel envelope. In Figure 6 the thermal images in the interior rooms, the color contrast clearly shows the intense presence of thermal bridges, it's showed that many sections are not insulated, as indicated by the warmer colors.



Figure 6. Infrared thermography of interior Rooms.

III. Results and discussion

III. 1. Validation of air temperature

measurement results

Comparing the measured and simulated room temperature variation in the two chambers in summer and winter shows a slight difference of 0.1 to 1.1 °C, proving the simulation model's reliability. For the summer period (Figure 7) in room 1 the outdoor and indoor temperature curves are almost equal at night. The inside temperatures are lower during the day (from 6 am to 8 pm). The outdoor temperature reached its maximum value of 34 °C at 2 pm, while the indoor temperature reached this value of 31 °C at 4 pm, i.e., a thermal shift of 2 hours.

It can also be noticed an amplitude of the interior temperature of 5 °C between a maximum value of 31 °C and a minimum value of 25 °C. This is explained by the average thermal inertia of the brick. Moreover, for room 2, the temperature curves are parallel, i.e., the indoor temperature is lower than the outdoor temperature, which reaches its maximum from 34 to 3 pm, on the other hand, the indoor temperature of room 1 reaches its maximum from 29 to 4 pm. Thus, for Room 1, there is a thermal phase shift of 2 h due to the low thermal inertia of the brick that composes the envelope of the hotel. For the winter period (Figure 8), the amplitude between indoor and outdoor temperatures remains average with smaller fluctuations.

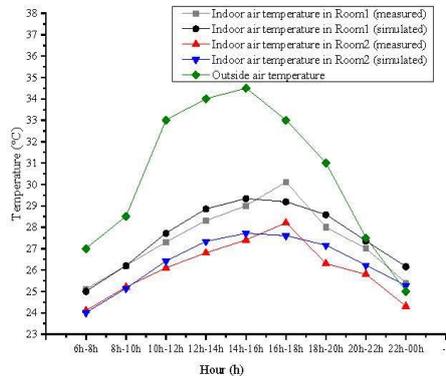


Figure 7. Measured and simulated summer temperature in Rooms.

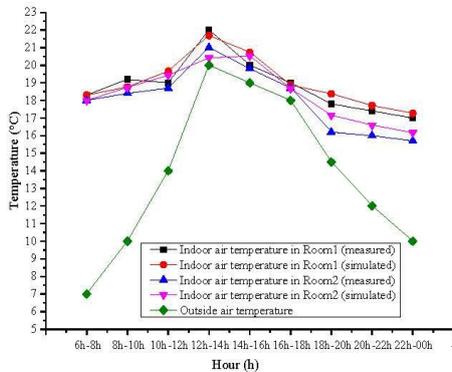


Figure 8. Measured and simulated winter temperature in Rooms.

III.2. Validation of surface glass window measurement results

A comparison of the measured and simulated surface temperature variations of the windows of the two chambers during the summer period shows a slight difference of 0.1 to 1°C (Figure 9).

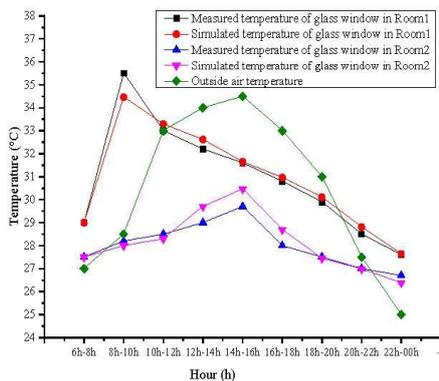


Figure 9. Measured and simulated temperature

results for glass windows in summer.

III.3. Validation of the results of the surface wall measurements

Comparison of the measured and simulated surface temperature variation of the northeast facing wall during the summer period shows a slight difference of 0.1 to 0.9°C. According to Figure 10, the outside temperature decreases after the afternoon while the inside wall surface temperature increases to reach its maximum of 1.42°C at 8:00 pm. This is due to the effect of the inertia of the wall, which stores heat and releases it towards the inside with a thermal phase shift of 4h and an amplitude of 3°C.

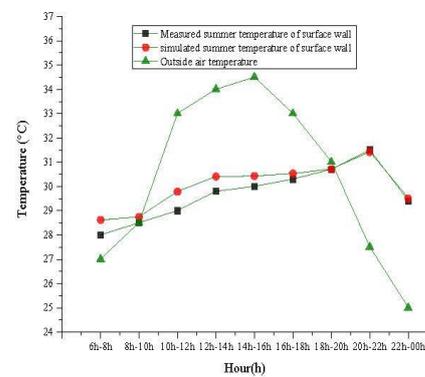


Figure 10. Measured and simulated summer surface wall (northeast) temperature results.

III.4. Evaluation of the impact of silica aerogel insulation materials on room energy consumption

The thermal images analysis and the experimental measurements' results indicate heat loss through the walls and windows. Therefore, based on the psychometric diagram of the study area, the proposed improvement consists of insulating the walls with a new material based on silica aerogel and integrating solar protection on the windows.

Table 1. Composition of the exterior walls in the current state

Reference	Thermal conductivity W/(m.K)	Thickness (cm)
Interior plaster coating	0.52	1
Airbrick	0.45	10
Air gap	0.29	5
airbrick	0.45	15
Exterior plaster coating	0.52	1

Table 2. Composition of exterior walls after silica aerogels insulation integration

Reference	Thermal conductivity W/(m.K)	Thickness (cm)
Interior plaster coating	0.52	1
Airbrick	0.45	10
Silica Aerogels	0.02	5
Airbrick	0.45	15
Exterior plaster coating	0.52	1

III. 4. 1. Evaluation of energy consumption

In the current state the Room 02 is the most energy efficient in terms of heating and cooling energy demand. there is a difference between the two rooms of 82.9 kWh for heating needs and 13.8 kWh for cooling needs so there is an important decrease in the energy needs when orientation is changed (Figure 11).

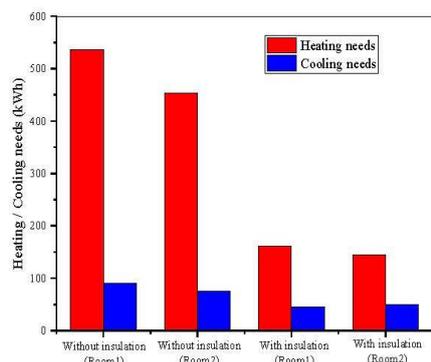


Figure 11. Heating and cooling requirements for the cases studied

For Room 1, a reduction in heating requirements from 453.8 kWh in the current state to 145.2 kWh, a reduction of 68% after the integration of the silica aerogel insulation, for summer period a reduction in cooling requirements from 75.9 kWh in the current state to 74.3 kWh after the integration of the silica aerogel insulation a reduction of 2% of needs. since the windows are in double glazed, the application of solar protection is the most suitable which leads to a considerable reduction in needs, estimated at 49.3 kWh a reduction of 35%. For Room 2, a reduction in heating requirements from 536.7 kWh in the current state to 161.01 kWh, a reduction of 70% after the integration of silica aerogel insulation, for summer period a reduction in cooling requirements from 89.7 kWh in the current state to 85.22 kWh after the integration of silica

aerogel insulation a reduction of 5% of needs, for this, the integration of solar protection of the windows reduces the needs to 44.85 kWh a reduction of 50%.

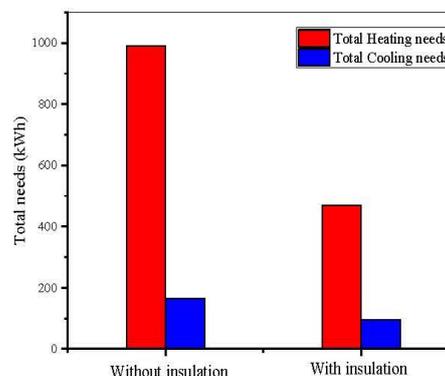


Figure 12. total needs for the cases studied.

For the total needs of the two rooms (Figure 12), a reduction in heating needs from 990.6 kWh in the current state to 469.61 kWh, a reduction of 53% after the integration of silica aerogel insulation, for summer period a reduction in cooling needs from 165.6 kWh in the current state to 94.15 kWh after the integration of silica aerogel insulation and solar shading of windows, a reduction of 43%.

IV. Conclusion

Accommodation buildings, especially hotels, represent a real threat to the environment because of their high energy consumption. In Algeria, a large number of hotels have been built in recent years, a high percentage of which are located in the Mediterranean area, where the region is particularly exposed to high humidity in summer and winter. The hotels envelope constitutes a key element in reducing energy. This paper aimed to evaluate the impact of silica aerogel insulation materials impact on affordable energy efficiency within hotel buildings in a humid climate (case of north-central Algeria). Thermography is a technique that allows to visualize and represent the temperature distribution on the part of the surface of a building. It is the distribution of this temperature that allows the detection of thermal irregularities. The analysis of the thermal images shows that there are heat losses at the level of the walls and the windows, which increases the energy consumption. Then series of measurements were carried out to validate the model developed under the TRNsys V17 environment. On this basis, we conclude that:
 -The exclusive properties of aerogels offer different applications in building sector. The use of insulating materials based on silica aerogel leads to

a considerable influence on the energy needs of the rooms studied.

-the integration of silica aerogel for the insulation of the external walls with a thickness of 5cm significantly reduces the heating needs (winter period) of the hotel rooms (53% compared to a non-insulated room).

-For the summer period, solar protection constitutes a good alternative of design with the integration of silica aerogel for the insulation of the external walls to reduce the air conditioning needs significantly; it reduces the needs to 43% of the rooms studied.

-The use of silica aerogel for building insulation can create an architectural challenge in Algeria, due to its great ability to reduce heating and air conditioning consumption. The results obtained show that obtaining high energy performance in Mediterranean climates is possible. This article is part of a larger study effort that aims to provide designers with a database to reduce energy consumption in hotels by integrating aerogel materials into the envelope.

Abbreviation and units

GHG: Greenhouse Gas Emission.

λ : the thermal conductivity in W/mK.

U: The thermal transmittance of a material in W/(m²·K).

FC-SA: the Foam concrete reinforced silica aerogel.

SiO₂: Silicon Dioxide.

AIP: Aerogel insulating panels.

HVAC: heating, ventilation, and air conditioning.

APRUE: Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (original term in French; National Agency for the Promotion and Rationalization of Energy Use).

IEA: International Energy Agency.

V. References

1. Amos Madhlopa, "Effect of controlling airflow in a solar chimney on thermal load in a built environment", *Journal of Engineering, Design and Technology* (2016) Vol. 14 Issue 2. permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/JEDT-04-2014-0023>.
2. Elnabawi, M.H., Saber, E. Reducing carbon footprint and cooling demand in arid climates using an integrated hybrid ventilation and photovoltaic approach. *Environment, Development and Sustainability* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01571-1>.
3. APRUE 'Consommation énergétique finale: année 2017', Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, Alger, Algérie (2017).
4. Susanty, A., Puspitasari, N.B., Saptadi, S. and Siregar, S.D. "Using system dynamics approach to build policy scenario for reducing CO2 emission resulted from tourism travel to Karimunjawa", *Kybernetes*, (2021), Vol. 50 No. 5, pp. 1277-1302. <https://doi.org/10.1108/K-09-2019-0624>.
5. UNEP, Fourth Global Environment Outlook, Environment for development (2007).
6. Public Report, Hotel Energy Solutions, Fostering Innovation to Fight Climate Change (2011).
7. Bodach Susanne. « Design Guidelines for Energy-Efficient Hotels in Nepal ». *International Journal of Sustainable Built Environment* (2016), Volume 5, Issue 2, pp 411-434
8. Orynych, O and Tucki, K. Total Productive Maintenance Approach to an Increase of the Energy Efficiency of a Hotel Facility and Mitigation of Water Consumption. *Energies* (2021), vol 14, 1706. <https://doi.org/10.3390/en14061706>
9. Dadzie, J., Runeson, G. and Ding, G. "Assessing determinants of sustainable upgrade of existing buildings: The case of sustainable technologies for energy efficiency", *Journal of Engineering, Design and Technology* (2020), Vol. 18 No. 1, pp. 270, 292. <https://doi.org/10.1108/JEDT-09-2018-0148>.
10. Naceur Yasmina Karima « promotion de tourisme en Algérie : l'infrastructure hôtelière pour quelle qualité : cas wilaya d'Alger », mémoire de magister en science de la terre ; USTHB (2009).
11. Ahriz, Atef, Abdelhakim Mesloub, Leila Djeflal, Badr M. Alsolami, Aritra Ghosh, and Mohamed Hssan Hassan Abdelhafez, "The Use of Double-Skin Façades to Improve the Energy Consumption of High-Rise Office Buildings in a Mediterranean Climate (Csa)" *Sustainability* 14, no. 10: 6004. <https://doi.org/10.3390/su14106004>. (2022).
12. Kaoula D. Bouchair A. "Evaluation of environmental impacts of hotel buildings having different envelopes using a life cycle analysis approach". *Indoor and Built Environment*, 27(4):561-580 doi:10.1177/1420326X16683235. (2018).
13. Kaoula D " Limitation of the environmental impacts of a heritage hotel building by Life Cycle Analysis" (LCA) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 863, SBE21 Sustainable Built Heritage 14-16 April 2021, Bolzano-Bozen, Italy. (2021).
14. APRUE, GIZ. Guide pour une construction écoénergétique en Algérie. Ministère de l'énergie Alger (2014).
15. AEROGEL-Brochure AGITEC AG (2019) available at <http://www.agitec.ch/> [accessed May, 5th, 2021].
16. Kevin Nocentini, Pascal Henry Biwole and Patrick Achard. Transfert de chaleur dans les blankets aérogels de silice. XIIIème Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes, May (2017), Saint-Lô, France.
17. Larisa Meliță and Cristiana Croitoru. Aerogel, a high-performance material for thermal insulation - A brief overview of the building applications. E3S Web of Conferences (2019); 111 : 9.
18. Géraldine Marcheteau, "Isolation et aérogel (2020). available at [accessed Mays, 5th, 2021]
19. Arnaud Moign. "Un aérogel céramique ultraléger résistant aux chocs thermiques" Le magasin d'actualité (2019). available at <https://cdn.techniques-ingenieur.fr> [accessed May, 5th, 2021].
20. Kevin Nocentini, Comportement thermo-hygrolique de blankets aérogels de silice et applications à l'isolation des bâtiments. Matériaux. Université Paris sciences et lettres. Français. NNT, (2018) PSLEM049.Tel-02413152.
21. Riffat, S.B. and G. Qiu, A review of state-of-the-art aerogel applications in buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2012. 8(1): p. 1-6.
22. Wernery, J., Ben-Ishai, A., Binder, B., and Brunner, S. Aerobrick - an aerogel-filled insulating brick. In J. Littlewood & R. J. Howlett (Eds.), *Energy procedia*: Vol. 134. Sustainability in energy and buildings (2017) proceedings of the ninth KES international

- conference (pp. 490-498).
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.607>
23. Michal Ganobjak and Josephine V. Carstensen Journal of Physics: Conference Series, Volume 1343, CISBAT | Climate Resilient Cities – Energy Efficiency & Renewables in the Digital Era 4-6 September (2019), EPFL Lausanne, Switzerland Ser. 1343 012195 doi:10.1088/1742-6596/1343/1/012195.
 24. Liu, Sijia, Kunmeng Zhu, Sheng Cui, Xiaodong Shen, and Gang Tan. « A Novel Building Material with Low Thermal Conductivity: Rapid Synthesis of Foam Concrete Reinforced Silica Aerogel and Energy Performance Simulation ». *Energy and Buildings* (2018). vol 177 (octobre): pp 385-93. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.014>.
 25. Company, A.A. Aspen Aerogels Company. Thin, High-Performance Thermal Insulation for New and Retrofit Building Applications (2019), Available at: <https://www.aerogel.com/>. [accessed Avril, 3rd, 2021].
 26. Lang Huang, Feasibility Study of Using Silica Aerogel as Insulation for Buildings, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology 30th May (2012), Stockholm, 92.
 27. Ibrahim, Mohamad, Pascal Henry Biwole, Etienne Wurtz, and Patrick Achard. « A Study on the Thermal Performance of Exterior Walls Covered with a Recently Patented Silica-Aerogel-Based Insulating Coating ». *Building and Environment* (2014). vol 81 (novembre): pp 112-22. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.017>
 28. Buratti, Cinzia, Elisa Moretti, Elisa Belloni, and Fabrizio Agosti. « Development of Innovative Aerogel Based Plasters: Preliminary Thermal and Acoustic Performance Evaluation ». *Sustainability*, (2014). vol 6, pp 5839-5852 doi:10.3390/su6095839.
 29. Buratti, C.; Moretti, E.; Zinzi, M. High Energy-Efficient Windows with Silica Aerogel for Building Refurbishment: Experimental Characterization and Preliminary Simulations in Different Climate Conditions. *Buildings* (2017). <https://doi.org/10.3390/buildings7010008>.
 30. Huang, Yu and Jian-lei Niu. « Energy and Visual Performance of the Silica Aerogel Glazing System in Commercial Buildings of Hong Kong ». *Construction and Building Materials* (2015). vol 94 (septembre): pp 57-72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.053>.
 31. Saio Camilla, Kevin Nocentini, Luca A. Tagliafico, Pascal Henry Biwole and Patrick Achard. Application of advanced insulating materials in historical buildings. International Journal of Heat and Technology, *International Information and Engineering Technology Association* (2017).
 32. Belili H, Abdou.S "assessment of the energy efficiency of anexternally-insulated rehabilitated building under semi-arid climate" Journal of Fundamental and Applied Sciences 12(1S), 288-303. (2020).
 33. Sotehi, O. Maifi, L. Belili, H. and Djebaili, I. "Nano technology building insulation effect on the thermal behavior of building under different Algerian weather", The International Journal of Multiphysics, 16(3), pp. 273-286. doi: 10.21152/1750-9548.16.3.273 (2022).
 34. Ilyas Khelifa Kerfah, Sidi Mohamed Karim El Hassar, Jean Rouleau, Louis Gosselin, and Abdelkader Larabi, March "Analysis of strategies to reduce thermal discomfort and natural gas consumption during heating season in Algerian residential dwellings" *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* (2020) pp 45-76 <https://doi.org/10.22712/susb.20200005>.



RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

JOURNAL	International Journal of Innovative Technologies in Social Science
p-ISSN	2544-9338
e-ISSN	2544-9435
PUBLISHER	RS Global Sp. z O.O., Poland

ARTICLE TITLE	GLAZING SYSTEMS WITH SILICA AEROGEL FOR OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION IN HOTEL BUILDING
AUTHOR(S)	Ghania Kihal, Djamila Rouag saffidine
ARTICLE INFO	Ghania Kihal, Djamila Rouag saffidine. (2024) Glazing Systems with Silica Aerogel for Optimizing Energy Consumption in Hotel Building. <i>International Journal of Innovative Technologies in Social Science</i> . 1(41). doi: 10.31435/rsglobal_ijitss/30032024/8104
DOI	https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijitss/30032024/8104
RECEIVED	24 January 2024
ACCEPTED	02 March 2024
PUBLISHED	05 March 2024
LICENSE	 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License .

© The author(s) 2024. This publication is an open access article.

GLAZING SYSTEMS WITH SILICA AEROGEL FOR OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION IN HOTEL BUILDING

Ghania Kihal

*Faculty of Architecture and Urbanism. AEEE laboratory, University of Salah Boubnider, Algeria
ORCID ID: 0000-0002-7037-0547*

Djamila Rouag saffidine

Faculty of Architecture and Urbanism. AEEE laboratory, University of Salah Boubnider, Algeria

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijitss/30032024/8104

ARTICLE INFO

Received 24 January 2024
Accepted 02 March 2024
Published 05 March 2024

KEYWORDS

*Energy Consumption, Hotels,
Silica Aerogels Materials,
Thermal Comfort, Glazing.*

ABSTRACT

Due to their high energy consumption hotel buildings have a significant impact on the environment. Such constructions are particularly energy-intensive demanding environments so as to meet the various needs of occupants and ensure their comfort. Guests tend to consume more energy during their stays than they do in their own homes (water, electricity, light, temperature...). In recent years, Algeria has seen a significant increase in the construction of hotels, many of which are concentrated in the Mediterranean region, which experiences particularly high humidity levels in the summer and winter. The new generation of building materials used to enhance comfort and reduce building energy consumption, are progressively sought after all over the world. This work, which studied the performance of silica aerogels for the glazing system of hotel rooms in a Mediterranean climate, can provide a database for hotel designers, an investigation combining experimental work (air and surface temperature measurements and thermography) and numerical simulation (using TRNsys V17) was conducted on an existing hotel building located in Béjaia. The results revealed the insertion of silica aerogel within a 6 mm thick glazing sheet decreases significantly the heating and cooling requirements of the study indoor environment.

Citation: Ghania Kihal, Djamila Rouag saffidine. (2024) Glazing Systems with Silica Aerogel for Optimizing Energy Consumption in Hotel Building. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*. 1(41). doi: 10.31435/rsglobal_ijitss/30032024/8104

Copyright: © 2024 Ghania Kihal, Djamila Rouag saffidine. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

1. INTRODUCTION.

Because of the world's heavy reliance on conventional fuel supplies, there are more environmental concerns for people, animals, and plants. Numerous studies have demonstrated the detrimental effects of fossil fuel use on the ecosystem (Alsaffawi Ali & Soheel, 2023). Tourism is known to be an important factor in driving employment and has a significant impact on the local economy and social well-being. According to WTO (World Tourism Organisation), 10% of the world's CO₂ emissions is generated by tourism activities of which 7% is attributed to hotel business exclusively. These figures keep increasing each year given the continued growth of this sector, therefore it is necessary to react carefully in order to minimize these emissions to avoid a possible climate crisis. In addition, the energy consumption of hotels is among the top five in the tertiary sector, in 2001 the energy consumption of hotels worldwide was estimated at 97.5 twh (Nocera, Giuffrida & Trovato, 2019) of which the average energy intensity varies between 69 to 689 kwh / year (Bodach, 2019).

In Algeria, there is a significant concentration of service activities in tourism sector. This country was ranked 4th in the list of tourist destination in Africa in 2013 (Rehab, Philippe, Cleide & Gabrielle, 2015). However, hotels are often at the origin of the negative ecological footprint due to CO₂ emissions, excessive water and energy consumption and waste generation. To meet to such adverse facts, the need to construct buildings that take into account the climatic conditions of the region and the exploitation of renewable energies is the major concern of building designers in order to succeed in developing healthy and sustainable architecture with a minimum impact on the environment, In Algeria, this sector is the first in terms of energy consumption with 41% of national final energy consumption and the third emitter of greenhouse gas with more than 16% of gold emissions (APRUE, 2017), for hotel buildings are large-scale buildings that consume a large amount of energy, they consume 200-400 kwh / m² / year (Arriola Carrillo & Quijas, 2021) especially in rooms where the customer consumes more than in his house in order to achieve his desired comfort, in fact, heating and air conditioning are the most important energy consumption activities which account for almost half (40% to 45%) of total consumption (Orynych & Tucki, 2021). The importance of passive provisions has increased recently as a result of environmental protection and energy-saving policies. The expansion of structures that incorporate these systems results in the validation of the research endeavors. These days, a lot of designers are concentrating on creating systems that adhere to energy-saving guidelines while still satisfying indoor comfort and air quality standards (Boudjadja & Benhalilou, 2022).

The exterior envelope of hotel being the subject of this article, Subsequently, this becomes a key factor in improving the energy efficiency of buildings, The considerable progress made recently in the generation of new materials called “super-insulation materials,” characterized by their energy performance two to three times higher than traditional insulators (Wernery, Ben-Ishai & Binder, 2017), has encouraged the deepening of this topic. One example is aerogel-based materials with thermal conductivity (λ) of up to $0.015 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ which allow a significant improvement in the building insulation process (by neutralizing the three heat transfer modes) (Ganobjak & Josephine, 2019). Aerogel is a gel material that forms a porous structure that contains 80–99% air upon drying. Due to its homogeneity and low reflection loss, it can be used in multiple elements for retrofitting or as the primary component during design and manufacture (Gao, Ihara, Grynning & Jelle, 2015). Additionally, compared to other TIM geometries, it offers a high level of transparency of up to 99% (Du, Zhou, Zhang & Shen, 2013), the characteristics of this material is the pure color and flexible shapes. by controlling the thickness during the manufacturing phase, it is possible to improve the performance of architectural spaces by using it as a treatment for opaque and transparent envelope elements, according to their specific requirements (Elgohary & Haytham, 2022).

The current research aims to present evidence of the effects of the important active architectural element upon energy loads as it exchanges heat with the external environment. The energy efficiency of buildings is influenced by the different energy characteristics and the important roles played by the components of the envelope (roofs, exterior walls, openings...). Aerogel glazing is a glazing technology that we are particularly interested. Silica aerogels occupy the air cavity exists between two transparent windows, just like the traditional double glazing (Figure 1). The manufacturing of this nanoporous material resulted in high fire resistance, excellent optical transmittance, low density and high acoustic resistance (Schneider, 2011).

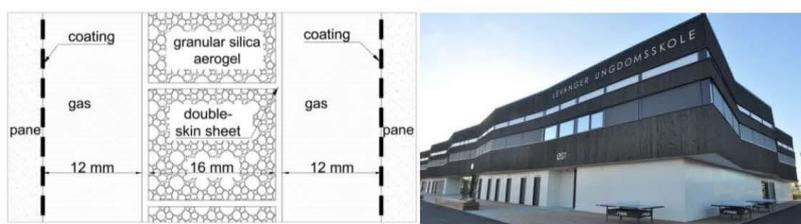


Figure 1. a. Aerogel Glazing system (Jelle, Baetens & Gustavsen, 2015),

b. Aerogel glazing (Levanger primary school, Norway).

<https://dysleksivennlig.no/dvs-nettverk/levanger-ungdomsskole-levanger-nord-trondelag>.

The field research for the proposed study is focused on the effective impact of aerogel glazing material applied to the studied enclosures (hotel rooms). A diagnosis of the effective thermal comfort conditions was established through air temperature measurements and thermography in winter and summer. A numerical simulation was performed using TRNSYS software after collecting and analyzing the data. The objective is to examine the need for cooling and heating under current conditions and after implementing innovative aerogel glazing materials.

2. MATERIALS AND METHODS.

2.1. Case of study description.

This study investigates an urban hotel in Béjaia city, its main facade is exposed to northwest orientation (Figure 2), it has a rectangular shape of R +8 with a basement, the building has about 102 rooms in the accommodation part (Figure 3), a restaurant, a café-bar, offices, and a reception hall.



Figure 2. Case of study hotel building.

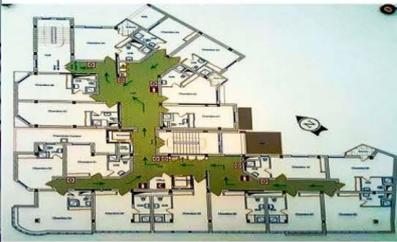


Figure 3. Case of study floor plan.

3. THE INVESTIGATION REPORTS.

3.1. Infrared thermography of the hotel.

A thermal camera uses a color scale to depict temperature differences, with red or white representing the warmest temperature and blue or purple representing the coldest. This study utilized the Trotec EC040 thermal camera in Figure 4. The examination was conducted on February 20, 2020, when it was 5°C outside.



Figure 4. Thermal Imaging Camera.

The thermal image in Figure 5 depicts the main façade of the hotel that was chosen for the case study, which has an average temperature of 11 °C on the wall. There is a significant heat loss that can grow over time due to the inadequate insulation of the windows and structural elements. The temperature shows a range of 23°C to 36°C compared to the wall at 11°C. The large areas colored white clearly indicate a deficiency or lack of insulation which indicate an apparent surface temperature much higher than the rest of the hotel envelope.



Figure 5. On-site infrared thermography of exterior façade.

3.1. In-situ measurements and numerical simulation.

The hotel room selected as a case study has a rectangular shape, a processed floor area of 46.50 m², and is situated on the fourth level floor exactly in the main façade northwest orientation. Its typical dimensions are 3.2 m in length, 5 m in breadth, and 3.2 m in depth. The figure 6 shows the details of this room.



Figure 6. Details of the room selected for the case study.

The TRNSYS is a transient systems simulation program, which has been in use since 1975, is a dynamic simulation environment that enables accurate simulation of the behavior of complex systems like buildings. The "TRNSYS V 17" program was used to analyze the thermal behavior of the samples based on architectural information and the thermo-physical characteristics of the material.

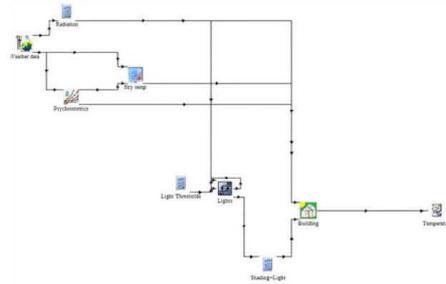


Figure 7. Local modeling under the V17.TRNsys environment.

4. RESULTS AND DISCUSSION.

4.1. Validation of air temperature measurement results.

The simulation model's accuracy is reflected in the small difference in the measured and simulated room temperature variations during summer and winter, which ranges from 0.1 to 1.1°C. During the summer in Figure 8, both the outdoor and indoor temperatures at night are almost identical. Yet, during the same season, the daytime indoor temperatures are lower. A thermal shift of two hours occurred when the inside temperature reached this value of 35°C at 2 pm while the outdoor temperature reached its maximum value of 43.7°C at 12 pm. Additionally, a 6.8°C difference in the internal temperature between a maximum of 35°C and a minimum of 28.2°C can be seen. The brick's typical thermal inertia explains this. For the winter period in Figure 9, the amplitude between indoor and outdoor temperatures remains average with smaller fluctuations.

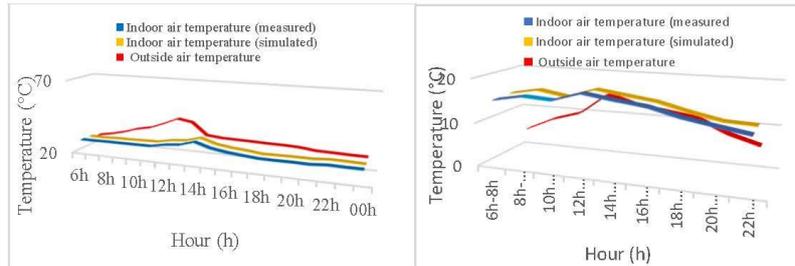


Figure 8. Measured and simulated summer temperature.

Figure 9. Measured and simulated winter temperature.

4.2. Determination of the energy needs of the room (the base case).

The needs (heating and cooling) of the room are evaluated under a Mediterranean climate. Figure 10 illustrates the variation in needs of the room selected for the case. Heating needs present high values with a maximum obtained in January estimated at 152 kWh and a minimum in April estimated at 28.73 kWh with an annual total of 537.72 kWh, the heating period extends between November and May. While for air conditioning, the needs are spread between June and October with a maximum obtained in August estimated at 115.30 kWh and a minimum of 10 kWh in June and an annual total estimated at 265.30 kWh.

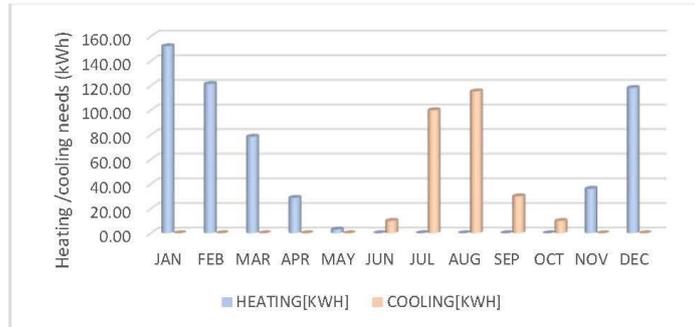


Figure 10. Heating and cooling needs (the base case).

4.3. Evaluation of the impact of silica aerogel glazing materials on room energy consumption.

The findings of experimental measurements and thermal image analysis show heat losses through windows and walls. The suggested improvement entails calculating the room's energy consumption with a different type of glazing and comparing it to the base case (double glazing) we calculated the energy consumption with triple glazing and silica aerogel glazing in order to minimize the room's energy consumption and select the glazing type that is "adapted" to this environment.

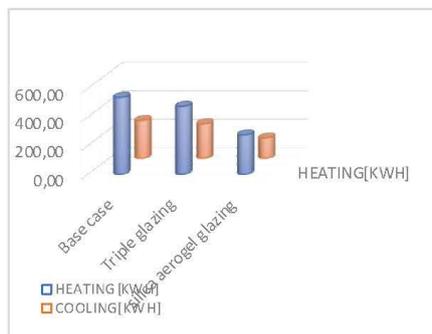


Figure 11. Heating and cooling needs different types of Glazing.

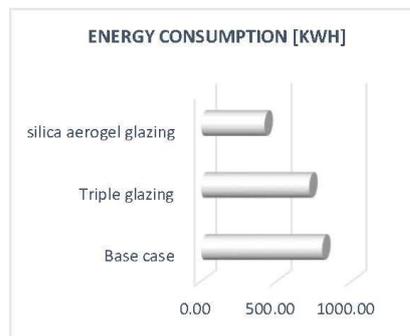


Figure 12. Energy consumption with different types of glazing.

The simulation results, presented in Figure 11, show that the alternative of aerogel glazing led to a reduction in heating loads by nearly 49% compared to other alternative of triple glazing with the heating needs were reduced only by nearly 11% for the cooling needs a reduction of 46% is obtained with the aerogel glazing however a reduction of 9% for the triple glazing.

For the total energy consumptions presented in the figure 12, a reduction from 803.02 kWh in the base case to 418.20 kWh, a reduction of 47% after the integration of silica aerogel in the glazing, compared to the triple glazing with the energy consumption is reduced from 803.02 kWh in the base case to 716.50 kWh, a reduction of only 10%.

Based on the study simulation results, it can be concluded that silica aerogel glazing reduces considerably indoor energy consumption in comparison to the mere glazing use. Therefore, it is essential to research the factors that encourage the adoption of this material in hotel rooms.

5. CONCLUSION.

The exterior envelope of hotel building plays an important role to minimize energy consumption with a particular interest in the constitution and characteristics of its materials. A more contemporary technique, aerogel material, can be used as glazing material and on opaque building surfaces. In this study, we are particularly interested in aerogel glazing because it is an intriguing glazing technology with the potential to decrease energy usage in hotel rooms. The investigation incorporated experimental work and numerical simulation (using TRNsys V17) using an urban hotel constructed in Bejaia city.

The objective of this work was to evaluate the performance of a silica aerogel glazing system within hotel rooms under a Mediterranean climate and the findings provide clear evidence of the potential of such glazing type in optimizing indoor energy-efficiency. More precisely, the integration of silica aerogel in a 6mm thick glazing was found to reduce by 47% the energy consumption of the study rooms.

Declaration of Interest Statement.

The author declare that she has no conflict of interest.

REFERENCES

1. Alsaffawi, A.M., Ali, F.A., Soheel, A.H. (2023), "Experimental Comparison of Thermal Performance Between V-corrugated and Flat Plate Solar Collectors", *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, Issue 54, Vol. 15, No. 1, pp. 357-364.
2. World Tourism Organization info@unwto.org.
3. Nocera, F., Giuffrida, S. M., Trovato, A. G. (2019), "Energy and New Economic Approach for Nearly Zero Energy Hotels". *Entropy (Basel)*, Issue 7, Vol 21, pp 639.
4. Bodach, S. (2019), "Design Guidelines for Energy-Efficient Hotels in Nepal". *International Journal of Sustainable Built Environment*, Issue 2, Vol 5, pp 411-434.
5. Rehab, I.A., Philippe, A.S., Cleide, M., Gabrielle, H., (2015), Jules, Jean LEBRUN. "Verification of the Energy Balance of a Passive House by Combining Measurements and Dynamic Simulation", *Energy Procedia* 78 pp 2310 – 2315.
6. APRUE. (2017), "Final Energy Consumption of Algeria, Key Figures Year 2017", Retrieved from <http://www.aprue.org/> / Accessed: 02 December 2023.
7. Arriola, D., Carrillo-González, S., Quijas, R. U. (2021), "Energy Efficiency Indicators for Hotel Buildings", *Sustainability*, Vol 13, No.4 pp 1754. <https://doi.org/10.3390/su13041754>.
8. Oryncz, O., and Tucki, K. (2021), "Total Productive Maintenance Approach to an Increase of the Energy Efficiency of a Hotel Facility and Mitigation of Water Consumption", *Energies*, vol 14, No.6,1706. <https://doi.org/10.3390/en14061706>.
9. Boudjadja, R., Benhalilou, K, (2022), "Conceptual Modeling of Environmental Devices of a Vernacular House with a Patio", *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, Issue 51, Vol. 14, No. 2, pp. 267-274.
10. Wernery, J. A., Ben-Ishai, B., Binder, S. B., (2017), "Aerobrick - an Aerogel-filled Insulating Brick", In J. Littlewood & R. J. Howlett (Eds.), *Energy procedia: Vol. 134. Sustainability in energy and buildings proceedings of the ninth KES international conference* pp. 490-498. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.607>.
11. Ganobjak, M., and V. Josephine. (2019), "Topology-Optimized Insulating Facebrick with Aerogel Filling" *Carstensen Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1343, CISBAT, Climate Resilient Cities – Energy Efficiency & Renewables in the Digital Era, EPFL Lausanne, Switzerland, 4-6. doi:10.1088/1742-6596/1343/1/012195.
12. Gao, T., Ihara, T., Gyrning, S. B., Jelle, A.L. (2015), "Perspective of Aerogel Glazings in Energy Efficient Buildings". *Building and Environment*, 95, pp. 405-413. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.10.001.
13. Du, A., Zhou, B., Zhang, Z., Shen, J. (2013), "A Special Material or a New State of Matter: A Review and Reconsideration of the Aerogel". *PubMed Central*, Vol.6 No.3, pp 941-968. DOI: 10.3390/ma6030941.
14. Elgohary, A.S., M. Haytham, E.S. (2022), "Optimizing Energy Performance Using Silica Aerogel Material in Building Envelope", *international journal of sustainable Building Technology and Urban Development*. Vol. 13, No. 1, pp 69-83.
15. Schneider, OKAGEL.F. (2011), "High Insulating Day Lighting Systems", in: M.A. Aegerter, N. Leventis, M.M. Koebel (Eds.), *Aerogels Handbook*, Springer, pp. 879-888, New York.
16. Jelle, B.P., Baetens, R., Gustavsen, A. (2015), *The Sol-Gel Handbook: Synthesis, Characterization, and Applications* pp. 1385–1412.
17. <https://dysleksivemlig.no/dvs-nettverk/levanger-ungdomsskole-levanger-nord-trondelag>.



NOM ET PRENOM : KIHAL Ghania

Titre : Evaluation post occupationnelle et optimisation de la performance énergétique du bâtiment -cas des hôtels urbains-

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat
3^{ème} cycle LMD en Architecture

Résumé

Actuellement, le réchauffement et le changement climatiques impliquent une prise de conscience écologique, politique et sociale. En outre, il est bien connu que les ressources non renouvelables sont limitées et que de nombreuses conséquences traitées comme des déchets causent la pollution de l'environnement.

À mesure que la population augmente, toutes les habitudes non durables actuelles du monde ne feront qu'empirer. La conception de bâtiments durables a pris de l'importance au cours des trois dernières décennies à toutes les échelles, et dans toutes les industries, y compris les secteurs du bâtiment et du tourisme.

Ces dernières années, l'Algérie a connu une augmentation significative de la construction d'hôtels, dont la majorité est concentrée dans la région méditerranéenne. En raison de leur forte consommation d'énergie, les hôtels ont un impact significatif sur l'environnement. Ces constructions sont des espaces particulièrement énergivores et exigeants afin de répondre aux différents besoins des occupants et d'assurer leur confort. Cette situation est le résultat d'une pratique architecturale indifférente à l'environnement, les aspects thermiques, énergétiques et climatiques étant souvent ignorés lors du processus de conception.

Pour pallier cette situation, l'objectif de cette étude est d'évaluer et d'optimiser le comportement thermique des enveloppes des hôtels situées en zone urbaine, à titre d'étude de cas des villes d'Alger et de Béjaïa. Le travail d'investigation porte précisément sur les éléments de l'enveloppe (matériaux, ouvertures, surfaces et dispositifs) afin de maîtriser et améliorer ses performances thermiques et énergétiques dans le contexte du climat méditerranéen. De plus, l'optimisation a été faite à travers l'intégration de la nouvelle génération de matériaux de construction qui sont progressivement recherchés partout dans le monde.

Pour ce faire, la méthodologie utilisée a été fondée sur une approche empirique (prise de mesures in situ combinée à une enquête par questionnaire) afin d'étudier le fonctionnement thermique des hôtels cas d'études. Enfin, une étude paramétrique par le logiciel de simulation thermique dynamique TRNSYS a été réalisée afin d'étudier et d'optimiser l'influence de certains matériaux aérogels intégrés en premier lieu au niveau des murs comme matériaux d'isolation en comparaison avec d'autres traditionnelles et en deuxième lieu au niveau de vitrage des fenêtres par rapport à d'autres types conventionnels.

En effet, les résultats ont révélé que l'intégration d'aérogel de silice pour l'isolation des murs avec une épaisseur de 5cm réduit significativement les besoins totaux de chauffage des chambres d'hôtel de 53% par rapport à une chambre non isolée. Pour la période estivale, la protection solaire constitue une bonne alternative de conception combinée avec l'intégration d'aérogel de silice pour l'isolation des murs extérieurs afin de réduire significativement les besoins totaux de climatisation, elle réduit les besoins à 43% des chambres étudiées. En outre, les impacts des vitrages nano-aérogel sur la performance énergétique des hôtels et leur faisabilité économique par rapport à d'autres types de vitrage ont été étudiés dont la recherche a montré que les fenêtres vitrées en nano-aérogel peuvent permettre d'économiser environ 47 % sur la consommation énergétique annuelle.

Mots clés : Consommation énergétique, Hôtels, Aérogels, Confort thermique, Isolation thermique, Evaluation.

Directeur de thèse : Pr. SAFFIDINE ROUAG Djamilia – Université Constantine 3

Année universitaire : 2023 / 2024

