

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

Université Mohamed Khider-Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture
Réf. :



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

Thèse présentée en vue de l'obtention
du diplôme de 3ème cycle de :
Doctorat en Architecture
Option : Architecture, Environnement et Patrimoine

**Étude patrimoniale et approche sensible de
l'environnement thermique
Cas d'étude: Maison coloniale
(Biskra)**

Présentée par :

LEBBAL Fatima Zohra

Soutenu publiquement le : 27/11/2022

Devant le jury composé de :

Dr. BOUZAHER Soumia	M.C.A	Président	Université de Biskra
Pr. MAZOUZ Said	Professeur	Rapporteur	Université d'Oum El Bouaghi
Pr. BRIMA Abdelhafid	Professeur	Examineur	Université de Batna 2
Pr. MOUMMI Abdelhafid	Professeur	Examineur	Université de Biskra
Pr. MAHIMOUD Aissa	Professeur	Examineur	Université de Constantine 3

À mes parents
À mon mari, ma fille
À mes frères et ma sœur
À la mémoire de ma grand-mère paternelle
« mama Zohra »

REMERCIEMENTS

En préambule à cette thèse qui a été le fruit d'un effort collectif. Je remercie ALLAH qui m'aide et me donne la patience et le courage durant ces années d'étude. Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères à mon encadreur Pr. MAZOUZ Said qui m'a apporté son aide et qui a contribué à l'élaboration de ce travail ainsi qu'à la réussite de cette formidable formation, pour son orientation, sa confiance et sa patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Je tiens à exprimer ma gratitude au professeur BELAKEHAL Azzedine pour m'avoir confié les appareils de mesure à ma disposition et pour avoir facilité mon chemin tout au long de l'enquête sur le terrain.

Mon vif remerciement va également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions et orientations.

Les mots de merci s'adressent aussi à tous mes enseignants de l'université de Biskra qui m'ont beaucoup donné et qui par leurs compétences nous ont soutenus dans la poursuite de nos études.

J'exprime également ma reconnaissance à Mme ZANOVELLO Pola de l'université de Padova, Italie et son équipe pour leurs encouragements et orientations durant mon séjour en Italie.

D'une manière spéciale, j'adresse mes remerciements à mes chers parents, mon mari, ma fille, mes frères et ma sœur. À mon très cher papa LEBBAL Noureddine et à ma très chère maman pour tout le soin qu'ils m'ont prodigué toute ma vie et surtout les dernières années universitaires, qu'ils puissent se reconnaître dans le travail de leur fille. Sans oublier mes grands-parents et ma belle-famille que dieu les protège.

Aussi je remercie encore une fois mon mari et collègue Latoui BENSMINA, Ousseima SAIGHI et ma sœur Chiraz LEBBAL pour leur disponibilité toute la période du travail de terrain. Je remercie aussi mes collègues : Sara ZINEDDINE, Djihen BOUNHESS, Ikram BENKHELFALLAH, Sara SEDIRA.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de cette thèse.

Merci à toutes et à tous

i. Résumé

De multiples controverses entourent le patrimoine national, en particulier le patrimoine colonial, qui offre une image mitigée. Elle atteste de sa profondeur et de son étendue. Toutefois, elle met l'accent sur la complexité de sa gestion, ainsi que sur les procédures et les mesures à prendre pour assurer sa préservation. L'architecture "coloniale" fait partie de l'identité de nombreuses villes algériennes. C'est une trace du passé et un héritage qui mérite reconnaissance et étude approfondie au profit de notre génération ainsi que les générations futures.

Dans le cadre de cette recherche, le travail combine deux approches synergiques ; la première celle du patrimoine colonial et la deuxième celle propre au confort thermique. Il est beaucoup plus axé sur une lecture originale du patrimoine architectural colonial datant de la période française et l'analyse de sa dimension sensible. Il se base sur l'hypothèse stipulant que le patrimoine colonial qui a été construit à une époque où les techniques de rafraîchissement n'étaient pas très développées aurait produit des conformations architecturales offrant des qualités d'urbanité, spatiales et de confort par l'adaptation de l'architecture au climat.

L'étude se base sur la qualité thermique et la sensation des occupants à l'intérieur des maisons coloniales françaises dans la ville de Biskra où de nombreuses techniques sont utilisées qui ont été inspirées de l'architecture traditionnelle locale. Conséquemment, elle a pour objectif de s'éloigner des clichés et de faire un diagnostic scientifique sur ce legs important, et de voir l'impact des techniques de rafraîchissement utilisées (matériaux de construction, l'épaisseur des murs, les petites ouvertures, les brise-soleils, les cours ... etc.) dans le climat saharien sur la qualité ambiante de l'espace intérieur des maisons.

Une investigation est menée sur un certain nombre des maisons choisies comme des échantillons représentatifs de l'architecture coloniale à Biskra par une méthode expérimentale qui se divise en deux parties objective et subjective. La première partie contient des mesures in situ utiles pour le calcul des indices du confort (Top et PMV/PPD), et pour la deuxième partie on va utiliser un questionnaire pour l'évaluation de la sensation thermique personnelle et impliquer l'utilisateur dans l'étude.

En conclusion, la méthode revient à croiser les données climatiques avec les résultats de l'enquête (questionnaire) exécutée sur terrain sur la sensation des habitants vis-à-vis de l'environnement thermique.

Afin d'avoir des maisons plus confortables, de nombreuses techniques traditionnelles pourraient être améliorées en utilisant des connaissances modernes, plutôt que les abandonnées totalement.

Mots-clés : Patrimoine- Patrimoine colonial- maison coloniale- confort – confort thermique- ambiance- ambiance thermique- climat- microclimat

الملخص

الدراسة التراثية والمنهج الحسي للمحيط الحراري

مجال الدراسة: المنازل الاستعمارية ببسكرة

يتكون موضوع الدراسة التي نجريها من منهجين متكاملين، الأول متعلق بالتراث الاستعماري والثاني خاص بالرفاهية الحرارية (المنهج الحسي)، تقوم هذه الدراسة بالربط بين الجوانب التقنية والقراءة المعمارية والعمرانية للميراث الاستعماري الفرنسي.

تعتبر العمارة الاستعمارية كجزء من هوية العديد من المدن الجزائرية وبصمة من الماضي والإرث الذي يستحق التقدير ومزيد من الدراسة لصالح جيلنا وأجيال المستقبل .

يستند هذا البحث على الفرضية التي تقول بأن التراث الاستعماري الذي تم بناؤه في وقت كانت فيه تقنيات التبريد ليست متطورة جدا وهذا ما أنتج مطابقات معمارية حسب النوعية العمرانية (على مستوى المجموعة، المنطقة)، ونوعية المجال ونوعية الرفاهية من خلال تكييف العمارة حسب مناخ المنطقة وذلك من خلال استخدام تجهيزات المبنى. يستند هذا البحث أساسا على دراسة النوعية الحرارية وإحساس المستخدم داخل المنازل الاستعمارية الفرنسية في مدينة بسكرة (الراحة الحرارية)، تهدف هذه الدراسة إلى الابتعاد عن المناظر المتجاورة وإجراء التشخيص العلمي للتراث المهم، وذلك لمعرفة تأثير تقنيات التبريد المستعملة (مواد البناء، سمك الجدار، الفتحات الصغيرة، كاسرات الشمس، الفناء ... الخ) في مناخ المنطقة (المناخ الجاف وشبه الجاف) على نوعية الأجواء الداخلية للمنازل.

الكلمات المفتاحية: تراث، تراث استعماري، المنزل الاستعماري، الرفاهية، الرفاهية الحرارية، مناخ، مناخ مصغر

Abstract

The national heritage, especially the colonial one, is exposed to multiple controversies and reveals a mixed assessment. It bears witness to its richness and scope. However, it highlights the complexity of its management and the methods and the consequent means that should be implemented in order to preserve it. "Colonial" architecture is part of the identity of many Algerian cities. It is a trace of the past and a legacy that deserves recognition and in-depth study for the benefit of our generation as well as future generations.

Within the framework of this research, the work combines two synergistic approaches; the first is that of the colonial heritage and the second is that of thermal comfort. It is much more focused on an original reading of the colonial architectural heritage dating from the French period and the analysis of its sensitive dimension. It is based on the assumption that the colonial heritage, which was built at a time when the techniques of refreshment were not very developed, would have produced architectural conformations offering qualities of urbanity, space and comfort by the "Adaptation of architecture to climate".

The study is based on the thermal quality and the feel of the occupants inside the French colonial houses in the city of Biskra where many techniques are used which have been inspired by the traditional local architecture. Consequently, it aims to distance itself from clichés and to make a scientific diagnosis of this important legacy, and to see the impact of the refreshing techniques used (building materials, wall thickness, small openings, Sun breezes, courses ... etc.) in the Saharan climate on the ambient quality of the interior space of houses.

An investigation is carried out on a number of houses chosen as representative samples of colonial architecture in Biskra by an experimental method, which divides into two objective and subjective parts. The first part contains in situ measurements useful for the calculation of comfort indices (PMV / PPD), and for the second part we will use a questionnaire for the evaluation of the personal thermal sensation and involve the user in the study.

Finally, the method combines climate data with the results of a field survey (questionnaire) on residents' perceptions of the thermal environment.

In order to build more comfortable houses, many traditional techniques could be improved using modern knowledge, rather than totally abandoned.

Keywords: Patrimony - Colonial patrimony - colonial house – comfort – thermal comfort - ambience - thermal ambience - microclimate - climate

ii. Table des matières

i.	Résumé.....	ii
ii.	Table des matières	vi
iii.	Table des figures.....	xi
iv.	Table des tableaux:.....	xiv
v.	Nomenclature.....	xv
Introduction générale		1
I.	Introduction et généralité :	2
II.	Hypothèses de la recherche :.....	4
III.	L'objectif de la recherche :	5
IV.	Méthodologie :.....	5
V.	Structure du mémoire :.....	6
Partie 1: Revue de la littérature (Partie théorique).....		8
Chapitre I : Patrimoine et confort thermique : Synthèse des recherches.....		9
I.1	Introduction :.....	10
I.2	Le confort thermique et le patrimoine architectural :.....	11
I.3	Le confort thermique et les dispositifs architecturaux :.....	20
I.4	Confort thermique et les caractéristiques des matériaux de construction :..	24
I.5	Discussion	29
I.6	Conclusion	29
Chapitre II : Patrimoine colonial et contextualisation		30
II.1	Introduction.....	31
II.2	L'urbanisme et l'architecture précoloniaux :.....	32
II.3	L'urbanisme et l'architecture coloniaux : (1830-1962).....	32
II.3.1	L'urbanisme en Algérie durant la colonisation française.....	33
II.3.1.1	La colonisation française de l'Algérie, sur les traces de Rome. ..	33
II.3.1.2	Ajustement et adaptation de la ville coloniale :	36
II.3.1.3	L'urbanisme haussmannien comme référence :	37
II.3.1.4	L'urbanisme colonial et son impact sur les médinas maghrébines :	40
II.3.2	L'architecture en Algérie durant la colonisation française :.....	42
II.3.2.1	Les Tendances de l'architecture coloniale :	42
II.3.2.1.1	Le corps du génie militaire colonial: L'établissement de la domination française (1830-1845) :.....	42
II.3.2.1.2	L'architecture classique :.....	43
II.3.2.1.3	L'architecture néoclassique : style de vainqueur (1845-1900):.	44
II.3.2.1.4	L'architecture Néo-Mauresque : la France protectrice (1900- 1930).....	45

II.3.2.1.5	L'architecture moderne (1930-1945) :	47
II.4	Le colonial et l'habitation	48
II.4.1	Habitat colonial collectif.....	48
II.4.1.1	Les logements sociaux.....	49
II.4.1.2	Les immeubles de rapport	50
II.4.2	Habitat colonial individuel	51
II.5	Les matériaux et le système constructif	51
II.6	Le confort thermique comme thématique architecturale patrimoniale de la période coloniale.....	52
I.6	Conclusion :	59
Chapitre III : Concepts liés au confort thermique intérieur.....		60
III.1	Introduction.....	61
III.2	Notions sur le confort thermique :	62
III.3	Les paramètres du confort thermique :	63
III.3.1	Les paramètres liés à l'environnement (paramètres physiques) :	63
III.3.1.1	La température de l'air :	63
III.3.1.2	La température moyenne des parois :	64
III.3.1.3	L'humidité relative de l'air (HR) :	64
III.3.1.4	La vitesse de l'air :	65
III.3.2	Les paramètres liés à l'individu (paramètres personnels) :	66
III.3.2.1	Le métabolisme et l'activité :	66
III.3.2.2	La tenue vestimentaire :	67
III.4	Les mécanismes du confort thermique : (les aspects du confort thermique).....	69
III.4.1	L'aspect physique :	69
III.4.1.1	Convection.....	70
III.4.1.2	Conduction	71
III.4.1.3	Évaporation	71
III.4.1.4	Rayonnement.....	71
III.4.2	L'aspect psychologique	72
III.4.3	L'aspect physiologique :	72
III.5	Les modifiants du confort thermique intérieur :	74
III.5.1	Les facteurs intrinsèques :	74
III.5.1.1	Les facteurs liés à la nature du bâtiment :	74
III.5.1.2	Les caractéristiques thermiques des matériaux (et la couleur)	76
III.5.2	Les facteurs extrinsèques.....	77
III.5.2.1	L'emplacement du bâtiment.....	77
III.5.2.2	La nature du sol.....	78
III.5.2.3	Les données climatiques.....	78
III.6	Les approches du confort thermique	78
III.6.1	Approche analytique « approche du bilan thermique »	78
III.6.2	Approche adaptative	80
III.7	Les indices du confort thermique :	82
III.7.1	Des indices « empiriques » : (Auliciems & Szokolay, 1997).....	82
III.7.2	Des indices rationnels (physiologiques) :	83
III.8	Le confort thermique et le climat saharien « chaud et aride » : (les outils architecturaux)	86

III.8.1	Les caractéristiques climatiques en climat chaud et aride :.....	87
III.8.2	La conception en climat chaud et aride pour assurer le confort thermique :	88
III.8.2.1	Morphologie et forme compacte de bâtiments.....	88
III.8.2.2	Utilisation de l'inertie.....	89
III.8.2.3	Le refroidissement passif.....	89
III.8.2.4	La hiérarchisation des espaces :	91
III.8.2.4.1	L'espace intermédiaire :	92
III.9	Conclusion :	93
Partie 2: Partie pratique et analytique		94
Chapitre IV : Contexte d'étude et approche méthodologique.....		95
IV.1	Introduction :	96
IV.2	Présentation de Biskra :.....	97
IV.2.1	Caractéristiques climatiques de ville de Biskra :	97
IV.2.2	La température de l'air :	98
IV.2.3	Précipitation et humidité :	99
IV.2.4	Vents :	100
IV.2.5	Ensoleillement et potentiel solaire :	100
IV.3	Approche méthodologique.....	101
IV.3.1	Classification de l'étude expérimentale :	101
IV.3.2	Élaboration du questionnaire :.....	102
IV.3.2.1	Présentation du logiciel SPSS :	103
IV.3.3	Protocole de la campagne de mesure :	104
IV.3.3.1	La période de prise de mesure :	104
IV.3.3.2	Descriptions des instruments de mesure :	106
IV.3.3.3	Déroulement de la campagne de mesure :	108
IV.4	Conclusion :	110
Chapitre V : Corpus d'étude et typologie des maisons		111
V.1	Introduction :	112
V.2	Étude typo-morphologique et structurelle de la ville de Biskra :	113
V.2.1	Approche typo-morphologique :	113
V.3	Présentation du périmètre d'étude :	113
V.3.1	Évolution du damier colonial :	115
V.3.1.1	Espaces verts :	116
V.3.1.2	Jardin public (jardin 5 juillet).....	117
V.3.2	Les équipements et les édifices du quartier :	118
V.3.2.1	Le fort saint Germain :	118
V.3.2.2	L'église :	120
V.3.2.3	Le marché :	120
V.3.2.4	L'hôtel de ville :	121
V.3.2.5	Mosquée :	122
V.3.2.6	Les hôtels :	122
V.3.3	Les différents types d'habitat :	124
V.3.3.1	Langage architectural.....	126
V.3.3.2	Système constructif.....	128

V.3.4	La typologie des habitations (zone d'étude) : de la maison traditionnelle à la maison coloniale	129
V.3.4.1	Type 1 : habitat avec véranda (paysage)	130
V.3.4.2	Type 2 : habitat à cour	131
V.3.4.3	Type 3 : habitat à patio ou Wast-ed-dar avec Rozna.....	132
V.5	Conclusion :	135
Chapitre VI :	Analyse et interprétation des résultats in situ	136
VI.1	Introduction :	137
VI.2	Analyse et interprétation de l'environnement psychologique (des résultats du questionnaire) :	138
VI.2.1	Description et interprétation des réponses : (analyse univariée).....	138
VI.2.1.1	Zone d'étude.....	138
VI.2.1.1	Les maisons sélectionnées :.....	138
VI.2.1.2	Caractéristiques des individus :.....	139
VI.2.1.3	Le comportement de l'occupant : (activité).	141
VI.2.1.4	L'orientation :	142
VI.2.1.5	Les conditions générales de l'espace :.....	143
VI.2.1.6	Les conditions de la température de l'espace :	144
VI.2.1.7	L'humidité de l'espace :	145
VI.2.1.8	La vitesse de l'air dans l'espace :	147
VI.2.1.9	L'ambiance globale de l'espace :.....	149
VI.2.1.10	L'occupation de l'espace : (nomadisme journalier / saisonnier)	151
VI.3	Analyse et interprétation de l'environnement physique : (mesures in situ)	152
VI.3.1	Étude évaluative de la température l'air :	154
VI.3.2	Étude évaluative de l'humidité relative :.....	155
VI.3.3	Étude évaluative de la vitesse de l'air.....	156
VI.3.4	Évaluation de la température moyenne radiante :.....	157
VI.3.5	L'évaluation de la température opérative	158
VI.3.6	Évaluation du confort thermique adaptatif : (le vote moyen prévisible PMV)	159
VI.4	Conclusion :	161
Chapitre VII :	Étude de corrélation entre les variables.....	162
VII.1	Introduction.....	163
VII.2	L'impact de l'espace sur le confort thermique intérieur : (analyse bivariée)	164
VII.2.1	Typologie de la maison et les conditions de la température :.....	164
VII.2.2	Typologie de la maison et les conditions de l'humidité	169
VII.2.3	Typologie de la maison et les conditions de l'air :.....	173
VII.2.4	Typologie de la maison et l'ambiance thermique globale :.....	177
VII.3	Confrontation des résultats qualitatifs et quantitatifs :.....	179
VII.3.1	La sensation thermique et l'indice PMV :	179
VII.3.2	L'indice PMV et la température opérative :	180
VII.4	Conclusion :	183

Conclusion générale	184
I. Introduction :.....	185
II. Synthèse et résultats de la recherche :.....	185
III. Recommandations :.....	188
IV. Limites de la recherche :	190
V. Perspectives et pistes de recherche futures :.....	190
Bibliographie.....	191
Annexes.....	199
I. Annexe 1:	200
II. Annexe 2:	201
III. Annexe 3:	232
IV. Annexe 4:	237
V. Annexe 5:	239

iii. Table des figures

Figure 1: Les trois maisons choisies.	11
Figure 2: Distribution des réponses subjectives sur le confort thermique global.	14
Figure 3: Répartition des réponses subjectives sur divers paramètres de confort dans les bâtiments traditionnels et contemporaines pendant diverses saisons. a) réponse subjective à la température. b) réponse subjective sur l'humidité. c) réponse subjective sur mouvement de l'air. d) réponse subjective sur le confort thermique.....	15
Figure 4: La température en fonction du temps.	15
Figure 5: Présentation graphique des deux maisons choisies.	17
Figure 6: Les instruments de mesure.	17
Figure 7: Indice du PMV mesuré des espaces pendant l'investigation.....	18
Figure 8: Comparaison de la sensation de confort thermique pour les bâtiments anciens et les bâtiments neufs. Source : (Ealiwa, Taki, Howarth, & Seden, 2001).....	19
Figure 9: a) Comparaison entre PMV et AMV à 18 h 45 dans cinq anciens bâtiments, 1997, b) Comparaison entre PMV et AMV à 18 h 45 dans six nouveaux bâtiments, 1997 (systèmes de climatisation allumés).....	20
Figure 11: Résultats de l'investigation, l'ambiance globale.....	22
Figure 10: Résultats de l'étude.....	22
Figure 12: Résultats enregistrés dans différents espaces (cour rectangulaire, cour côté sud)	23
Figure 13: Cas d'étude.....	24
Figure 14: Les résultats de l'investigation	25
Figure 15: Le système constructif colonial	26
Figure 16: Les instruments de mesure utilisés.....	26
Figure 17: Variation de la température moyenne intérieure et extérieure (RDC, étage).....	27
Figure 18: Les résultats obtenus de l'investigation	28
Figure 19: Timgad, ville romaine de colonisation en Afrique du Nord, plan schématique.....	36
Figure 20: Ensemble du boulevard du front de mer Zirout Youcef 1850-1865.	40
Figure 21 : Tunis, ville traditionnelle et coloniale	41
Figure 22: Plan d'aménagement de Rebat	41
Figure 23: Théâtre national algérien, Alger.....	44
Figure 24: Théâtre d'Oran.....	45
Figure 25: Casino, Biskra.....	46
Figure 26: Vue sur l'Aéro-habitat depuis le Boulevard des martyrs.....	47
Figure 27: Cité HBM, indigène. Oran.....	49
Figure 28: HLM, Biskra.....	50
Figure 29: La température de confort dépend de la température de l'air et de la température des parois.....	64
Figure 30 : Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen d'après O. Fanger	65
Figure 31: Schéma de régulation autonome et comportementale de la température humaine	68
Figure 32: Les échanges thermiques entre l'ambiance et l'homme Source : (De Herde & Liébard, 2005).....	70
Figure 33: Principe de fonctionnement de la thermorégulation végétative, comportementale et technologique.....	73
Figure 34: Les éléments influençant sur la température intérieure	74
Figure 35 : Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité.....	75
Figure 36: Diagramme PMV/PPD.....	79
Figure 37: Le mécanisme adaptatif, (De Dear, 2003).....	81
Figure 38: La performance de la ventilation naturelle dans les bâtiments traditionnels	88
Figure 39: La ventilation naturelle est due à une différence de pression, causée par le vent ou par un écart de température	90
Figure 40: L'effet de cheminée, Maison à Patio	91
Figure 41: Le zoning climatique architectural.....	92

Figure 42 : Situation de la wilaya de Biskra, Algérie.....	97
Figure 43 : Situation de la ville de Biskra.....	97
Figure 44 : Données météorologiques de température mensuelle de Biskra pendant la période 2005/2015.....	99
Figure 45 : Précipitation annuelle de la ville de Biskra.....	100
Figure 46 : L'interface du logiciel SPSS.....	103
Figure 47: Fênetre des résultats.....	104
Figure 48: Design days.....	104
Figure 49: Le mois représentatif TMY: (typical meteorological year).....	105
Figure 50: Schéma représentatif de la période de surchauffe à Biskra d'après les résultats des derniers dix ans.....	106
Figure 51: Thermo-hygromètre électronique HD 100.....	107
Figure 52: Thermo-hygromètre électronique HD 100 avec une boule noire.....	107
Figure 53: Anémomètre LV 100.....	108
Figure 54: Le thermomètre Cason CA 380.....	108
Figure 55: Plan du damier durant la période coloniale, Biskra.....	114
Figure 56: distinction des différents tissus coloniaux.....	115
Figure 57: les différents types d'espaces verts.....	117
Figure 58: Le jardin public, Biskra.....	118
Figure 59: Plan du Fort Saint Germain.....	119
Figure 60: Vue sur l'entrée du fort.....	119
Figure 61: L'église de Biskra.....	120
Figure 62: Le marché couvert, Biskra.....	121
Figure 63: Hôtel de ville, Biskra.....	121
Figure 64: Bureau de poste et bureau de télégraphe.....	122
Figure 65: Vue sur la mosquée, Biskra.....	122
Figure 66: Hôtel Victoria, Biskra.....	123
Figure 67: Hôtel Terminus, Biskra.....	123
Figure 68: Hôtel l'Oasis, Biskra.....	123
Figure 69: Hôtel Sahara, Biskra.....	124
Figure 70: Hôtel Royal, Biskra.....	124
Figure 71: Maison à un seul niveau occupe toute la parcelle, avec une cour centrale.....	125
Figure 72: Maison des indigènes, accès par une impasse « skifa ».....	125
Figure 73: Maison coloniale avec de grandes ouvertures.....	126
Figure 74: Maison coloniale avec des passages couverts.....	127
Figure 75: Deux maisons coloniales du marché.....	128
Figure 76: Les techniques de construction.....	129
Figure 77: Maison à véranda, Damier colonial.....	131
Figure 78: Maison à cour, damier colonial, Biskra.....	132
Figure 79: Maison avec rozna, damier colonial, Biskra.....	133
Figure 80: Vues montrant les deux types de Patios, damier colonial, Biskra.....	133
Figure 81: Schémas représentatifs des trois cycles de ventilation.....	134
Figure 82: Tableau et graph décrire les espaces étudiés.....	139
Figure 83: Tableau et graph décrire le genre de l'échantillon.....	140
Figure 84: Tableau et graph décrire les tranches d'âge des sujets.....	140
Figure 85: Tableau et graph décrire l'activité des sujets au moment de l'enquête.....	141
Figure 86: Tableau et graph décrire l'orientation des maisons choisies.....	142
Figure 87: Histogramme des trois Échelles de la température à l'intérieur des maisons.....	145
Figure 88: Histogramme des trois échelles de l'humidité relative à l'intérieur des maisons....	146
Figure 89: Tableaux et histogrammes des trois échelles de la vitesse de l'air à l'intérieur des maisons.....	148
Figure 90: Histogrammes des deux échelles de l'ambiance globale à l'intérieur des maisons..	150
Figure 91: Graphes à barres qui montrent le nomadisme journalier de chaque espace durant la période estivale. Source : auteur (2016).....	152

Figure 92 : Graphe représente la variation de températures moyennes intérieures et extérieures.	155
Figure 93 : Différence de l'humidité relative entre intérieur et extérieur des espaces durant la période de mesure.	156
Figure 94: Différence de la vitesse de l'air entre intérieur et extérieur des espaces durant la période de mesure.	157
Figure 95: Graphe représente la variation de températures moyennes radiantes.	158
Figure 96: Graphe représentant la variation de la température opérative de chaque point de mesure	159
Figure 97: Variations des valeurs du PMV des différents points de mesure.	160
Figure 98: La perception des habitants en fonction des espaces	165
Figure 99: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle évaluatif.	167
Figure 100: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle de préférence thermique.	168
Figure 101: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de sensation	170
Figure 102: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle évaluative.	171
Figure 103: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de préférence thermique.	172
Figure 104: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de sensation	174
Figure 105: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle évaluative	175
Figure 106: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de la préférence	177
Figure 107: Les variables croisées (Type d'espace/Ambiance thermique globale) selon l'échelle évaluative.	178
Figure 108: La perception (Température) et l'indice de PMV en fonction de la température opérative	179
Figure 109: Comparaison entre PMV et Top	180
Figure 110: La corrélation entre la sensation T_{in} et l'indice PMV par rapport à Top.	181
Figure 111: La corrélation entre la sensation de l'ambiance globale et l'indice PMV par rapport à Top. Source: auteur, (2018)	181
Figure 112: Classification des valeurs de Top selon une nouvelle échelle de perception adopté au cas d'étude.	182

iv. Table des tableaux:

Tableau 1: Différentes catégories de confort thermique en fonction du PMV.....	18
Tableau 2: Caractéristiques thermo-physiques des matériaux.....	27
Tableau 3: Citation des architectes,	52
Tableau 4: Les paramètres influençant le confort thermique.	63
Tableau 5: Taux de métabolisme moyen correspondant à diverses activités. (ISO 7730, 1993) (Fabbri, 2015)	67
Tableau 6: La relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique...80	
Tableau 7: Température opérative recommandée pour les occupants basé sur ISO 7730-1984..85	
Tableau 8: Données météorologiques mensuelles de Biskra (2006-2015) en (°C), relevées de la station météorologique de Biskra.....	98
Tableau 9: Les échelles de jugements subjectifs sur les conditions thermiques.....	102
Tableau 10: les données climatiques des 10 ans de la ville de Biskra	105
Tableau 11: tableau représentant la prise de mesures d'une maison.	109
Tableau 12: représente la répartition des sujets selon les 3 parties du damier	138
Tableau 13: Tableau représentatif de l'état de la porte.....	143
Tableau 14: Tableaux représentant le nombre et l'état des fenêtres.....	143
Tableau 15: Histogramme des trois Échelles de la température à l'intérieur des maisons.....	144
Tableau 16: Tableaux des deux échelles de l'ambiance globale à l'intérieur des maisons.....	149
Tableau 17: Le nomadisme journalier de chaque espace durant la période estivale.....	151
Tableau 18: Tableau représentatif des différents points de mesures.....	153
Tableau 19: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle de sensation.	165
Tableau 20: Tests du Khi-deux.....	165
Tableau 21: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle évaluative.....	166
Tableau 22: Tests du Khi-deux.....	166
Tableau 23: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle de préférence thermique.....	168
Tableau 24: Tests du Khi-deux.....	168
Tableau 25: les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de sensation. Source : Auteur, 2018	169
Tableau 26: Tests du Khi-deux.....	169
Tableau 27: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle évaluative. Source : Auteur, 2018.....	170
Tableau 28 : Tests du Khi-deux.....	171
Tableau 29: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de préférence thermique.....	172
Tableau 30: Tests du Khi-deux.....	172
Tableau 31: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de sensation. Source : Auteur, 2018	173
Tableau 32: Tests du Khi-deux.....	173
Tableau 33: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle évaluative. Source : Auteur, 2018.....	174
Tableau 34: Tests du Khi-deux.....	175
Tableau 35: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de la préférence. Source : Auteur, 2018	176
Tableau 36 : Tests du Khi-deux.....	176
Tableau 37: Les variables croisées (Type d'espace/Ambiance thermique globale) selon l'échelle évaluative.....	178
Tableau 38: Tests du Khi-deux.....	178
Tableau 39: Classification des valeurs de Top selon une nouvelle échelle de perception adopté au cas d'étude.....	182

v. Nomenclature

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

ISO : Organisation internationale de normalisation

AFNOR : Association française de normalisation

Cf : Coefficient de forme.

Ext. : Extérieur.

Hr : L'humidité relative de l'air.

Max. : Maximum.

Min. : Minimum.

PMV: Predicted Mean Vote (en français Vote Moyen Prévisible).

PPD : Predicted Percentage Dissatisfied (en français Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits).

M : Le métabolisme (w/m^2).

Pc : La capacité thermique ($w/m^3.k$).

R : La résistance thermique ($m^2.k/w$).

Ta : La température ambiante de l'air ($^{\circ}C$).

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

Tp : La température des parois ($^{\circ}C$).

Tmr : Température moyenne radiante ($^{\circ}C$).

Va : La vitesse de l'air (m/s).

Top : Température opérative ($^{\circ}C$)

Introduction générale

I. Introduction et généralité :

Le patrimoine « colonial » fait partie de l'identité de nombreuses villes algériennes. C'est une trace du passé et un héritage qui mérite reconnaissance et étude approfondie au profit de notre génération ainsi que les générations futures. Ce patrimoine joue également un rôle important dans l'identité culturelle et contribue à définir le caractère d'un lieu (Tweed & Sutherland, 2007). Une réflexion sur ce legs permet de dégager ses valeurs historiques, architecturales et urbaines, qui permettront de mieux envisager son inscription dans le développement urbain. De cette façon, le patrimoine peut être considéré comme une partie d'une signification importante d'une génération à l'autre (Tweed & Sutherland, 2007).

L'importance du savoir et du savoir-faire sur les réalisations architecturales et urbaines sera accentuée; tandis que les XVIIIe et XIXe siècles qui ont apporté beaucoup d'innovations dans le domaine technique, ils ont également été les siècles de nouveaux humanistes-hygiénistes et des concepts scientifiques. Nous nous intéresserons à celles qui ont touché le domaine de la construction au sens le plus large, y compris le confort thermique dans les maisons coloniales.

Au cours de la colonisation en Algérie, la France s'est lancée dans un programme ambitieux de réalisation de constructions marquant l'extension de plusieurs villes, en particulier les grandes villes. Notamment dans la réalisation de l'habitat à caractère public ou privé. À l'échelle architecturale, l'habitat de la période coloniale est caractérisé par une certaine régularité; c'est-à-dire qu'il est gouverné par les mêmes principes de construction qui se répètent soit au niveau de conformation spatiale ou bien technique et matériaux de construction sans oublier que ces éléments cités sont inspirés par le génie militaire de l'architecture traditionnelle locale (Deluz, 1988)

Le terme « habitat » désigne l'environnement physique dans lequel les gens vivent. Cela s'applique non seulement à la maison, mais aussi à l'espace tout autour, où les gens se déplacent, travaillent et s'amuse. L'habitat semble être l'un des plus anciens concepts de l'humanité. Aujourd'hui, l'habitat constitue le cadre de vie indispensable et le besoin social fondamental de multitudes de générations qui l'ont façonné de sorte qu'il réponde à leur besoin d'abri et de vie en communauté. Il représente la projection au sol des relations que les générations ont avec l'environnement physique; avec lequel il faut s'adapter. En effet, pour produire un cadre de vie afin de répondre à ses besoins, l'homme a toujours cherché à satisfaire et à assurer son bien-être et son confort « thermique sonore ou visuel ».

Parmi les problèmes fondamentaux liés au bien-être de l'occupant, le confort thermique; tel que le problème de surchauffe qui peut survenir en été. La maîtrise des paramètres du

confort est primordiale dans la conception ou la rénovation des bâtiments afin d'assurer le bien-être, éviter des inconvénients comme les apports thermiques ou l'éblouissement, et réduire les consommations d'énergies. Aussi, l'optimisation des dispositifs architecturaux tels que les cours intérieures, les puits de jours et l'isolation thermique qui jouent un rôle important dans l'amélioration de l'habitat.

De ce fait, pour produire un cadre de vie et pour répondre à ses aspirations, l'homme a toujours cherché à satisfaire et à assurer son bien-être et son confort thermique. De nombreux travaux de recherche, de monographies, d'analyses typologiques et de conceptualisation ont eu pour objet d'étude le confort thermique.

Le confort thermique dans les bâtiments est d'une importance majeure en raison de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, ainsi que la santé et la productivité de l'occupant. Cependant, les pratiques architecturales ont recours aveuglément à des moyens mécaniques pour le satisfaire sans l'intégration de la dimension environnementale dans la conception architecturale, cela a engendré des impacts très lourds sur l'environnement, comme une forte consommation d'énergie. En conséquence, le confort thermique est considéré comme un prédicteur important et déterminant de la qualité globale du bâtiment. Ce niveau de confort ne peut être assuré que par la prise, en considération, des paramètres architecturaux lors de la conception.

En fait, l'étude du confort thermique intérieur notamment dans l'habitat a fait l'objet de nombreux travaux sur les méthodes de contrôle passif de la construction traditionnelle qui a donné des conditions de confort au fil des années. On peut citer l'étude de (Ahmed, Khetrish, & Abughres, 1985), où ils ont fait une comparaison entre deux maisons « traditionnelle et contemporaine » à Ghadames (Libya) par l'utilisation des mesures in-situ de la température de l'air et l'humidité. Khoukhi, M., & Fezzioui, N. (2012), le but de cet article est d'évaluer et de comparer le confort thermique à l'intérieur des trois maisons différentes, une contemporaine et deux traditionnelles, dans la ville de Kenadsa au sud de l'Algérie qui est caractérisée par un climat très chaud et sec. Le travail de Dili, A. S., Naseer, M. A., & Varghese, T. Z. (2010) a confirmé en outre que les bâtiments résidentiels traditionnels du Kerala (Inde) sont très efficaces pour fournir un environnement intérieur confortable indépendamment des différentes saisons. Une autre recherche de (Keshtkaran, 2011) où il a fait une étude d'harmonisation entre le climat et l'architecture dans le patrimoine vernaculaire dans la ville de Yazd, Iran.

D'autres chercheurs (Cho & Mohammadzadeh, 2013) (Nasrollahi, Hatami, Khastar, & Taleghani, 2017) (Amiriparyan & Kiani, 2016) se sont basés sur un seul dispositif

«cour intérieure» pour en étudier l'impact sur le confort intérieur dans les maisons traditionnelles.

Ainsi le présent travail de recherche se base sur la qualité thermique et la sensation des occupants (confort thermique) dans les typologies d'habitat colonial, à savoir la maison individuelle et cela dans le contexte climatique de la ville de Biskra, Algérie.

II. Hypothèses de la recherche :

« L'habitation destinée aux colons doit évidemment être adaptée au climat. C'est la première des conditions, et à ce point de vue, il y a intérêt à examiner sur place les habitations faites par les indigènes qui ont une habitude séculaire du pays et qui, par conséquent, auront pu prendre des dispositions qu'il est utile de conserver. Cependant faudrait-il se garder, en copiant ce qu'ont fait les indigènes, d'imiter des dispositions qui n'ont de raison d'être que par leurs mœurs ou leur religion. »¹ (Miller-Chagas, 1992)

Les exigences de confort ont changé, mais la conception architecturale patrimoniale reste la même. Le climat de la ville de Biskra est caractérisé par des saisons chaudes longues et sévères. Pour cette raison, les bâtiments doivent être conçus en fonction des exigences estivales. Ceux de l'hiver seront satisfaits par conséquent.

L'Algérie possède un patrimoine architectural colonial de la période française qui peut être remarqué à travers la connaissance dans le domaine de la construction basée sur l'architecture traditionnelle intégrant des données climatiques et des ressources locales. Dans le sud de l'Algérie (climat chaud et sec), l'architecture coloniale avait développé une connaissance empirique, particulièrement orientée vers la réalisation du confort en saison chaude. D'après le résultat d'une connaissance approfondie des conditions climatiques, une combinaison de plusieurs stratégies passives a été utilisée pour assurer le confort des habitants.

Notre problématique de recherche est abordée dans le contexte où l'habitat colonial a pensé au confort thermique intérieur des habitants quoi que les conditions et les techniques non développés de cette période coloniale française.

De ce fait, notre question de recherche est la suivante :

Est-ce que le patrimoine a pu nous léguer, malgré tout, des conformations architecturales offrant des qualités d'urbanité, des qualités spatiales et des qualités de confort ?

Sur ce plan, La présente recherche se base sur l'hypothèse stipulant que le patrimoine colonial, qui a été construit à une époque où les techniques de rafraîchissement n'étaient pas

¹ Joseph Marrast cité par Miller-Chagas, 1992. P344

très développées, peut assurer au mieux le confort des habitants par l'adaptation de l'architecture au climat de la région.

III. L'objectif de la recherche :

Cette recherche se base sur la qualité thermique et la sensation des occupants à l'intérieur des maisons coloniales françaises dans la ville de Biskra (confort thermique). Elle a pour objectif de faire un diagnostic scientifique sur ce legs important, et de caractériser l'impact des techniques de rafraîchissement utilisées dans le climat de la région sur la qualité thermique de l'espace intérieur.

Les objectifs de cette recherche s'appuieront donc sur les points suivants :

1. Chercher des paramètres spécifiques qui montrent que l'architecture coloniale française assure le confort thermique des habitants à l'intérieur des maisons
2. Trouver des indicateurs qui peuvent nous renseigner sur l'adaptation des constructions aux contraintes climatiques de la région selon une méthode et gestion de l'utilisation des techniques passives.
3. Analyser la dimension sensuelle à travers l'observation des mœurs des habitants dans les espaces où ils vivent et les questionnaires des occupants.
4. Caractériser les dualités urbaines et architecturales de ce patrimoine et les articuler avec les qualités thermiques sensibles.

IV. Méthodologie :

Méthodologiquement, il est évident que pour aller loin dans cette étude, qui tente de déterminer le confort thermique dans les maisons, il est indispensable de s'orienter vers une étude in situ. En général, au lieu de s'engager dans des facteurs subjectifs improbables, l'utilisation des mesures physiques et des relevés in situ donne un résultat.

La complexité de cette étude, en raison du nombre important de variables environnementales et personnelles, nécessite la combinaison en synergie de deux approches: une approche qualitative traitée par les questionnaires s'adressant aux habitants, et une approche quantitative basée sur des campagnes de mesures in situ des paramètres microclimatiques relevés au moment de l'entretien durant la période chaude à Biskra.

L'évaluation de cette démarche a été appliquée sur un échantillon d'une trentaine de maisons qui seront investies dans la même entité avec 120 questionnées. Durant la période de

surchauffe coïncidant avec la dernière semaine de juillet et les 3 premiers jours d'août, de 13h à 16h.

Afin de vérifier la validité de l'hypothèse, on a choisi certains indicateurs susceptibles de donner des résultats probants; à savoir la température opérative et le PMV/PPD.

V. Structure du mémoire :

Pour essayer de répondre à la problématique énoncée, de vérifier l'hypothèse et atteindre les objectifs de cette recherche, cette thèse a été structurée en deux grandes parties complémentaires qui s'agencent de la manière suivante :

La première partie : Elle est la synthèse de la recherche bibliographique, elle contient l'aspect théorique sur l'histoire du patrimoine colonial et le confort thermique. Elle est composée de trois chapitres nécessaires pour bien comprendre les approches du thème abordé et qui facilite notre appréhension des concepts et notions relatives à la thématique.

- . Le chapitre 1 fait le point sur l'état de l'art en passant en revue les résultats des recherches antérieures sur le rapport entre patrimoine et confort thermique, objet de cette étude. Ce chapitre couvre une variété de méthodes et techniques d'analyse, ainsi qu'une comparaison de diverses approches utilisées pour évaluer le confort thermique dans l'habitat, à partir de laquelle la méthode de recherche acceptée a été dérivée.
- . Le chapitre 2 qui s'intitule « Patrimoine colonial et Contextualisation » est consacré à la présentation de l'évolution de l'architecture algérienne durant la période précoloniale et coloniale. Une démarche historique a été adoptée pour bien comprendre l'architecture coloniale et démontrer l'intention d'intégrer la notion du confort thermique dans la conception.
- . Le chapitre 3 est un aperçu sur le confort thermique. Différentes définitions du confort sont abordées. Il passera également en revue la notion du confort thermique et les différentes notions relatives au confort thermique intérieur et en climat chaud et aride. Ce chapitre vise à étudier les différentes méthodes et approches d'analyse utilisées par les chercheurs ainsi que les différents indices qui aident à analyser le confort thermique intérieur.

La deuxième partie, composée de 4 chapitres, contient l'aspect analytique, elle contient une étude in situ sur le cas d'étude qui permet une lecture des maisons coloniales à travers une collecte des sensations des occupants à travers plusieurs techniques, dont les mesures expérimentales et l'observation.

- . Le chapitre 4 est dédié à la présentation de la ville de Biskra et les caractéristiques climatiques de la région. Il se conclura par notre méthodologie de recherche vis-à-vis des recherches antécédentes et une présentation de l'approche utilisée dans cette recherche.
- . Le chapitre 5 est consacré au corpus d'étude, ponctuée par une étude typomorphologique du tissu urbain du damier colonial afin de distinguer les différents types de maisons coloniales et les différents dispositifs utilisés.
- . Le chapitre 6 porte sur l'enquête in situ. Nous y présentons les résultats des deux approches in situ (questionnaire et mesures in situ) utilisées dans cette expérimentation avec les nécessaires interprétations.
- . Le chapitre 7 est complémentaire du précédent, pour parachever l'interprétation des résultats par la recherche de corrélations entre les différentes variables de l'étude.

Enfin, le travail est ponctué par une conclusion générale qui résume les résultats obtenus et par des perspectives de recherche. Elle est basée sur la synthèse de l'ensemble des recommandations utiles pour la conception des maisons coloniales confortables thermiquement dans un climat chaud et aride.

Partie 1: **Revue de la littérature (Partie théorique)**

Chapitre I : **Patrimoine et confort thermique :**
Synthèse des recherches

I.1 Introduction :

Ces dernières années, le confort thermique des bâtiments historiques en général et résidentiels en particulier a suscité l'intérêt des chercheurs spécialisés. Ce qui a été déclaré dans diverses enquêtes par l'utilisation de plusieurs techniques pour caractériser les aspects physiques, physiologiques et psychologiques.

Avant d'entamer toute recherche scientifique, il est inévitable d'analyser des expériences qui font partie du domaine étudié. Ce chapitre donne un aperçu de la littérature sur le sujet. Il couvre les différentes méthodes et techniques d'analyse récentes utilisées avec la confrontation des différentes recherches et approches adoptées pour évaluer le confort thermique dans l'habitat qui fait l'objet de notre étude. L'objectif est de choisir celle qui convient le mieux pour répondre à la problématique de cette recherche. Plusieurs types d'enquêtes se développent à partir des recherches que nous avons évaluées.

I.2 Le confort thermique et le patrimoine architectural :

Plusieurs études sur le confort thermique des bâtiments résidentiels traditionnels ont été faites ces dernières années. Parmi ces études, celle de Khoukhi, M., & Fezzioui, N. (2012) : cette étude avait pour objectif d'évaluer et de comparer le confort thermique à l'intérieur de trois maisons différentes : une contemporaine et deux traditionnelles, dans la ville de Kenadsa au sud de l'Algérie, caractérisée par un climat très chaud et sec. Cette recherche a été effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS®. (Khoukhi & Fezzioui, 2012)

Les chercheurs ont choisi pour l'analyse trois modèles de maison qui sont présentés à la figure 1, (WD, AD, et MH).² Pour le logement traditionnel, les murs extérieurs sont en pierre de 40 cm d'épaisseur, les cloisons intérieures sont en adobe de 30 cm, et le toit est en adobe de 17 cm d'épaisseur avec un faux plafond en bois de 4 cm. Le vitrage des fenêtres est en verre clair de 4 mm d'épaisseur. Pour le type de construction moderne, les murs extérieurs sont en double couche de 20 cm de parpaing creux, les murs de cloison sont en parpaing creux de 15 cm, et le toit est en blocs creux de 17 cm. Pour chaque type de constructions, le sol est en pleine terre dans une dalle de béton avec un carrelage de 2 cm.

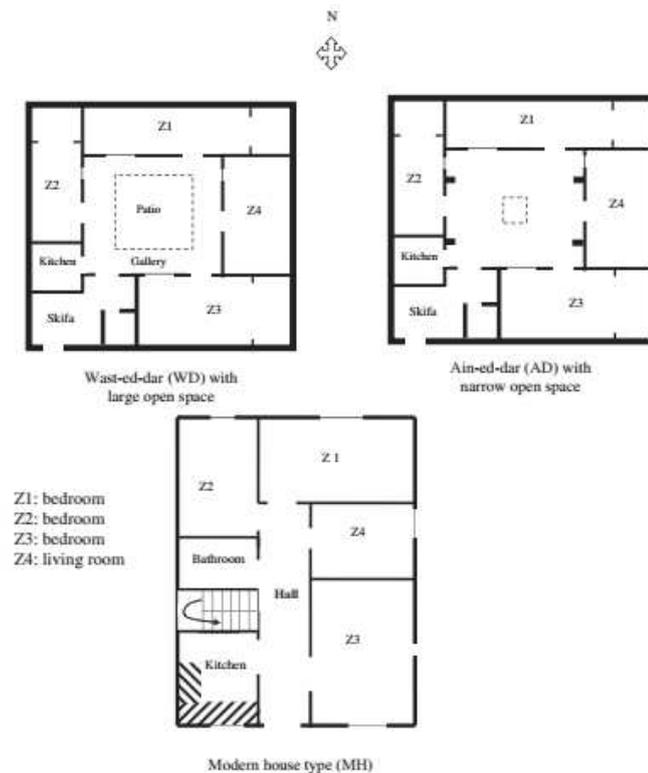


Figure 1: Les trois maisons choisies.
Source : (Khoukhi & Fezzioui, 2012)

² WD : Wast-ed-dar avec une large ouverture. AD : Ain-ed-dar avec une petite ouverture. MH : type de maison moderne

Les chercheurs ont fixé la même condition d'occupation pour les trois maisons. L'énergie métabolique des habitants a été fixée à 1.5 pendant la tranche horaire de 8:00 à 23:00 en été et de 8:00 à 21:00 pm en hiver et à 1 pendant la nuit. L'habillement (résistance thermique de leurs vêtements) a été fixé à 0.5 clo pour l'été et à 1.5 clo pour l'hiver, respectivement. La vitesse relative de l'air est d'environ 0,1 m/s. L'infiltration est définie comme une entrée selon le modèle d'ASHRAE ; le nombre de changements par heure (ACH) est donné par le recueil (Handbook-Fundamentals & A. S. H. R. A. E, 1997) comme suit :

$$ACH = K_1 + K_2(T_{zone} - T_{amb}) + K_3V_w$$

Dans leurs recherches précédentes (Fezzioui, Khoukhi, Dahou, Ait-Mokhtar, & Larbi, 2009), ont constaté que la maison moderne typique semble inappropriée pour un climat désertique en été; les deux maisons traditionnelles restent plus efficaces par rapport au problème de la chaleur pour les deux types de matériaux de construction testés (pierre et adobe) (Fezzioui, Khoukhi, Dahou, Ait-Mokhtar, & Larbi, 2009). Cependant, la compacité du tissu urbain est l'une des principales caractéristiques des tissus ksouriens dans le sud de l'Algérie.

D'après les résultats de la simulation, les deux constructions traditionnelles présentent une légère augmentation de l'intervalle de confort ($18\text{ °C} < T < 30\text{ °C}$).

De bons résultats sont obtenus pour la maison AD; il y a une absence de températures supérieures à 34 °C sauf pour la salle orientée au sud. Le pourcentage d'heures de confort pendant une année ($18\text{ °C} < T < 30\text{ °C}$) présente une moyenne de 48,48 %, ce qui est beaucoup plus élevé que dans le premier cas (43,24 %). Cependant, pour la maison moderne, une forte augmentation du pourcentage d'heures lorsque $T > 34\text{ °C}$ de 17,62% à 20,24% et une diminution de l'intervalle de confort de 38,36% à 34,65%. Par conséquent, la compacité du tissu urbain n'a pas d'effet significatif sur l'amélioration du confort thermique pour la maison moderne faite avec des parpaings creux.

Le 2e scénario est de changer le matériau de construction en utilisant le parpaing creux pour les constructions traditionnelles et l'adobe et la pierre pour la construction moderne. Les résultats montrent que le matériau utilisé influe légèrement sur la performance thermique globale de la maison WD dans la zone de confort ($30\text{ °C} < T < 18\text{ °C}$). Cependant, de meilleures performances ont été obtenues pour le logement AD pour la même zone de confort. Pour la maison de construction moderne avec pierre et adobe, nous remarquons une légère diminution du nombre d'heures dans la zone de confort thermique.

Les principaux résultats issus de la simulation viennent comme suit :

- La maison typique moderne semble inappropriée pour le climat désertique.

- En été, les deux maisons traditionnelles restent plus efficaces pour faire face au problème de chaleur malgré le changement de matériaux (adobe, pierre et parpaing creux).
- La maison WD a une ventilation naturelle très importante, mais elle offre moins de confort que le type AD. Il reste à optimiser ses composantes : dimension du patio, largeur des galeries, utilisation de la végétation et de l'eau.
- Le phénomène du nomadisme (journalier et saisonnier) permet une utilisation confortable de l'espace habité.

Une autre étude a été menée par (Dali, Naseer, & Varghese, 2010) dont l'objectif principal était d'évaluer et comparer le confort thermique entre les bâtiments traditionnels et modernes à travers différentes saisons. Cette investigation est basée sur :

- L'utilisation d'un questionnaire : La sélection et la gradation des composantes du questionnaire ont été effectuées au moyen d'un examen détaillé de la documentation dans le domaine concerné (Fountain, Brager, & De Dear, 1966). On a demandé aux résidents d'évaluer l'environnement dans un état où ils n'utilisent aucune des aides – mécaniques ou autres – pour améliorer ou modifier l'environnement intérieur.
- Des mesures in situ par une configuration d'instrumentation appelée Architectural Evaluation System a été conçue pour enregistrer continuellement les paramètres de confort sur une période de temps. AES est une combinaison de capteurs électroniques, d'enregistreur de données, de modules de mémoire et d'une interface informatique. Les capteurs électroniques de l'AES ont été utilisés pour détecter des paramètres de confort thermique tels que la température de l'air (T_a), l'humidité relative (Hr) et le mouvement de l'air. Un module mémoire a été utilisé pour enregistrer les données des capteurs et l'interface de l'ordinateur est utilisée pour visualiser et télécharger les données à des fins d'analyse.

L'investigation s'est déroulée durant trois périodes : période hivernale, période estivale et période des pluies durant la première semaine de janvier 2009 (pointe hivernale), la dernière semaine d'avril 2009 (pointe estivale) et la dernière semaine de juillet 2009 (saison des pluies).

La faible variation diurne de la température intérieure prouve la propriété d'isolation thermique élevée de l'enveloppe du bâtiment. L'absence de délai entre les températures extérieures et intérieures peut être attribuée à la paroi hautement isolante empêchant le flux de chaleur conducteur et au flux d'air continu maintenu dans le bâtiment. La raison de l'inconfort thermique en saison estivale au Kerala n'est pas seulement due à l'augmentation de la température minimale, mais est principalement due à l'augmentation de la teneur en humidité de l'air au cours de cette période. L'enquête a permis de constater que l'enveloppe du bâtiment permet un mouvement d'air contrôlé et continu à travers le bâtiment, indépendamment des saisons. (Figure 2)

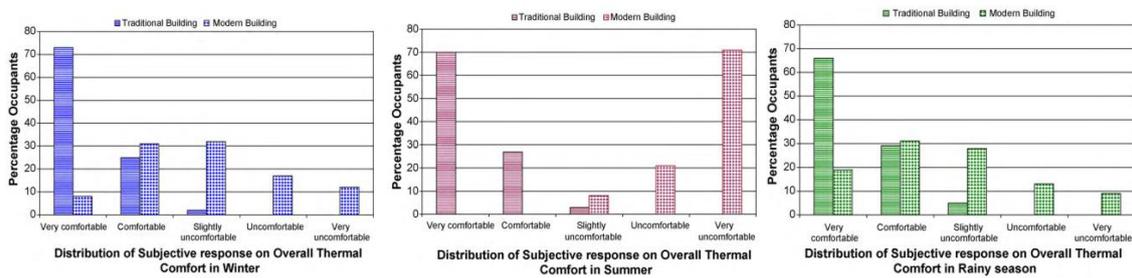


Figure 2: Distribution des réponses subjectives sur le confort thermique global.

Source : (Dali, Naseer, & Varghese, 2010)

Les résultats des réponses subjectives prouvent que les bâtiments traditionnels sont parfaits pour maintenir un flux d'air contrôlé et continu pour fournir un environnement intérieur confortable en contrôlant la chaleur de l'extérieur et lever l'humidité à l'intérieur du bâtiment. Pour les réponses subjectives sur divers paramètres de confort dans les bâtiments modernes pendant les trois périodes montrent qu'ils sont très inconfortables pour vivre en été. (Figure 3)

Il ressort clairement de cette étude que des solutions éconergivores sont nécessaires dans les bâtiments modernes pour atteindre des conditions de confort thermique en termes de refroidissement et de ventilation.

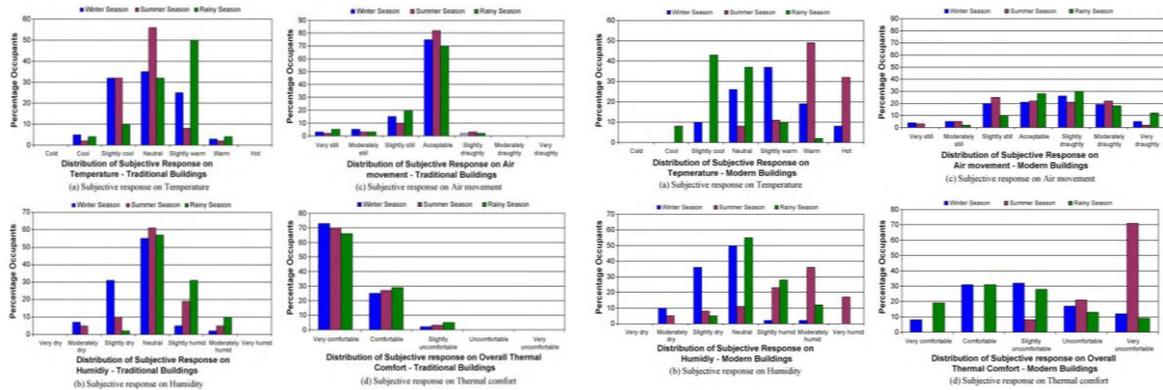


Fig. 14. Distribution of subjective response on various comfort parameters in traditional buildings during various seasons. (a) Subjective response on temperature, (b) subjective response on humidity, (c) subjective response on air movement, (d) subjective response on thermal comfort. Fig. 15. Distribution of subjective response on various comfort parameters in modern buildings during various seasons. (a) Subjective response on temperature, (b) subjective response on humidity, (c) subjective response on air movement, (d) subjective response on thermal comfort.

Figure 3: Répartition des réponses subjectives sur divers paramètres de confort dans les bâtiments traditionnels et contemporaines pendant diverses saisons. a) réponse subjective à la température. b) réponse subjective sur l’humidité. c) réponse subjective sur mouvement de l’air. d) réponse subjective sur le confort thermique.

Source : (Dali, Naseer, & Varghese, 2010)

Enfin, les chercheurs ont conclu que les bâtiments résidentiels traditionnels du Kerala, en raison de leur conception, des matériaux et des méthodes spéciales utilisées pour la construction, fournissent un environnement intérieur confortable.

Les mêmes chercheurs (Dili, Naseer, & Varghese, 2010) ; ont mené une autre analyse qualitative du système de contrôle de l’environnement passif de l’architecture résidentielle vernaculaire du Kerala qui est connu depuis des siècles pour son utilisation de méthodes naturelles et passives pour un environnement intérieur confortable. Une analyse quantitative a également été effectuée à partir d’expériences sur le terrain en enregistrant les paramètres de confort thermique dans un bâtiment sélectionné. (Figure 4)

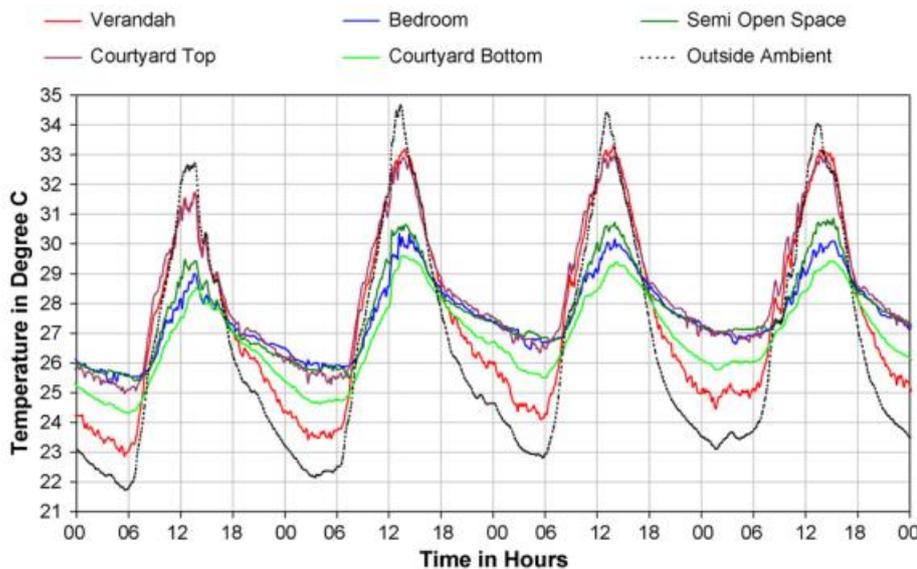


Figure 4: La température en fonction du temps.

Source : (Dali, Naseer, & Varghese, 2010)

Les résultats de l'analyse qualitative révèlent que la présence de la cour intérieure dans les espaces de vie, les dimensions des ouvertures ont généré un mouvement d'air continu, l'enveloppe de bâtiment hautement isolante pour la protection thermique, La fourniture de vérandas pour la protection des murs extérieurs contre le rayonnement solaire et le toit en pente pour la protection contre les fortes pluies contribuent à un système passif de contrôle de l'environnement dans l'architecture résidentielle vernaculaire du Kerala.

Par ailleurs, les résultats de l'analyse quantitative correspondent tout à fait avec les conclusions tirées de l'analyse qualitative. Ainsi, il peut être conclu de l'enquête que le système de contrôle de l'environnement passif de l'architecture vernaculaire du Kerala est très efficace pour fournir un confort thermique aux occupants.

L'étude de (Shaeri, Yaghoubi, Aflaki, & Habibi, 2018) visait à identifier les éléments passifs et à évaluer le confort thermique des maisons plus anciennes de Bushehr à Irak (maisons de Tabib et de Nozari) (Figure 5). Cette recherche est basée sur une des mesures in situ à grande échelle de deux unités résidentielles à Bushehr, dans le but d'évaluer les conditions thermiques intérieures. Afin de calculer les valeurs des indices PMV et PPD. Le modèle de confort thermique de Fanger est l'un des principaux modèles utilisés dans la majorité des études.

Par conséquent, pour mesurer et calculer le T_{mr} , ils ont mesuré la température de surface de toutes les chambres dans les deux cas par un capteur Testo-925 (Berlin, Allemagne) avec une précision de 0,5°C. Ensuite, les moyennes des données enregistrées pour chaque maison sont déclarées comme données finales dans les résultats de cette étude. (Figure 6)



Figure 5: Présentation graphique des deux maisons choisies.
Source : (Shaeri, Yaghoubi, Aflaki, & Habibi, 2018)



MIC-98583

Testo-925

AVM-305

Figure 6: Les instruments de mesure.
Source : (Shaeri, Yaghoubi, Aflaki, & Habibi, 2018)

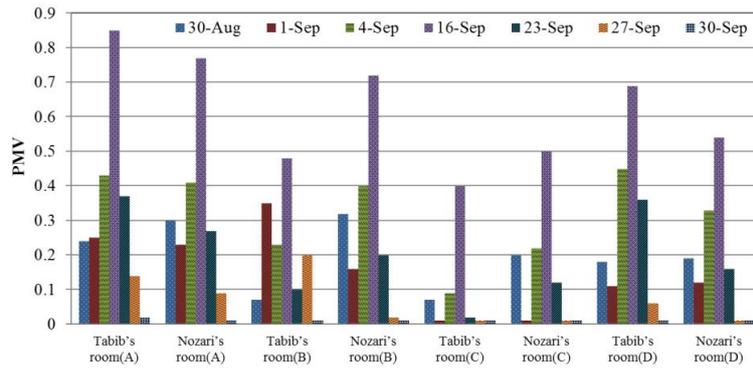


Figure 7: Indice du PMV mesuré des espaces pendant l'investigation.
Source : (Shaeri, Yaghoubi, Aflaki, & Habibi, 2018)

Tableau 1: Différentes catégories de confort thermique en fonction du PMV.
Source : (Shaeri, Yaghoubi, Aflaki, & Habibi, 2018)

Class	A	B	C
PMV	$-0.2 < PMV < 0.2$	$-0.5 < PMV < 0.5$	$-0.7 < PMV < 0.7$
PPD	<6	<10	<15

Les chercheurs ont étudié les stratégies de conception passive dans les maisons situées dans l'ancienne ville de Bushehr. De plus, ils ont évalué les conditions de confort thermique dans deux maisons sélectionnées de la ville. Des maisons plus anciennes dans la région chaude et humide ont été construites en fonction de facteurs climatiques. D'après les résultats de la mesure à grande échelle, le PMV moyen mesuré des chambres de Tabib, une maison près de la mer, était de 0,88 et le PMV moyen mesuré des chambres de Nozari était de 0,91.

Le PMV mesuré des chambres de Tabib était de 3,3% inférieur à celui des chambres de Nozari parce que la maison de Tabib est située à côté du golfe Persique et a reçu plus de brise marine que la maison de Nozari. La PPD mesurée des chambres dans les deux maisons était inférieure à 10 %, ce qui était dans la fourchette acceptable. La PPD moyenne du premier étage et du rez-de-chaussée des chambres étudiées dans les deux maisons était à peu près égale. Le principal facteur de confort thermique intérieur dans les bâtiments anciens dans les climats chauds et humides en été est l'utilisation de la ventilation naturelle.

La ventilation induite par le vent par la différence de pression était la principale raison de la circulation du vent à l'intérieur des maisons étudiées. Il est pratique de réduire la température en utilisant une couleur claire sur les parties extérieures des bâtiments, ce qui contribue à l'atténuation de la température de l'air intérieur. L'utilisation d'auvents verticaux et horizontaux, d'un portique et d'un espace semi-ouvert pourrait réduire considérablement la température de l'air intérieur.

L'utilisation des matériaux locaux (pierre de corail et gypse) dans les murs extérieurs et internes du bâtiment réduit la température intérieure et offre des conditions acceptables pour les occupants

Une autre étude de (Ealiwa, Taki, Howarth, & Seden, 2001) cherche à déterminer dans quelle mesure les résultats de recherche existants et la norme ISO 7730, qui est basée sur le modèle Fanger pourraient être appliqués lors de la conception pour le confort thermique dans un climat chaud et sec. Cette recherche passe en revue les résultats d'une étude de terrain sur le confort thermique dans deux types de bâtiments : ancien (traditionnel) et nouveau (contemporain), à l'oasis de Ghadames en Libye. L'enquête a été menée durant les saisons d'été 1997 et 1998 qui étaient typiques du climat chaud et sec de l'Afrique du Nord.

L'investigation a été effectuée par deux types d'enquêtes : i) Enquête subjective réalisée par questionnaire afin de représenter le vote moyen réel (AMV). ii) Enquête subjective et objective, qui consistait à mesurer les variables environnementales, afin de calculer le PMV à l'aide du modèle de Fanger de la norme ISO 7730.

La figure 8 montre la sensation de confort thermique globale pour une saison d'été des répondants dans les vieux bâtiments naturellement ventilés et les nouveaux bâtiments climatisés. Ces résultats donnent donc à penser que les occupants ont globalement une impression de plus haut niveau de confort thermique dans les bâtiments anciens que dans les bâtiments neufs.

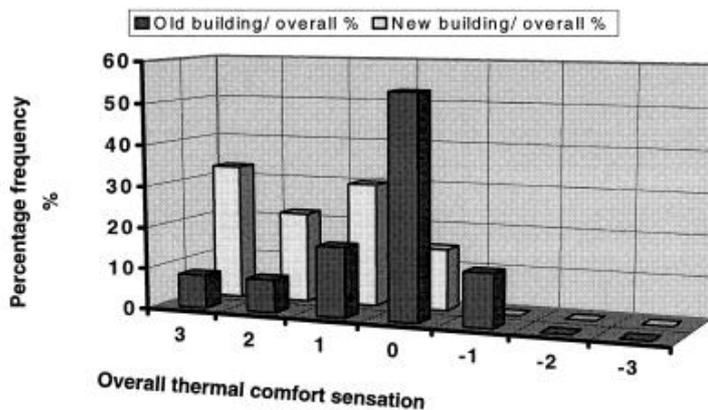


Figure 8: Comparaison de la sensation de confort thermique pour les bâtiments anciens et les bâtiments neufs. Source : (Ealiwa, Taki, Howarth, & Seden, 2001)

D'après les résultats, il y a une nette différence entre les PMV et les AMV pour les anciens bâtiments. La figure 9 montre une bonne conformité entre les valeurs PMV et AMV des occupants dans les nouveaux bâtiments climatisés. Il montre que 67% des sujets dans quatre nouveaux bâtiments se sentaient neutres, tandis que 33% se sentaient légèrement chauds. Les

occupants des nouveaux bâtiments dépendaient davantage de la climatisation pour atteindre la température intérieure entre 25 et 31,8 °C.

Il est conclu que les valeurs PMV de la norme ISO 7730 montrent toujours un désaccord

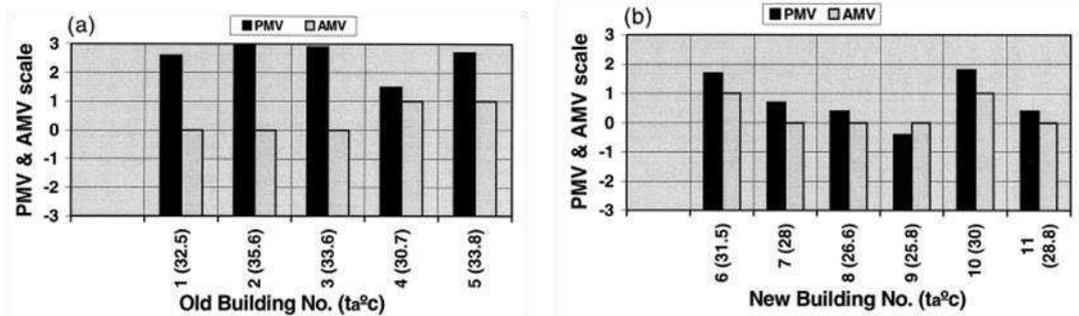


Figure 9: a) Comparaison entre PMV et AMV à 18 h 45 dans cinq anciens bâtiments, 1997, b) Comparaison entre PMV et AMV à 18 h 45 dans six nouveaux bâtiments, 1997 (systèmes de climatisation allumés).

Source : (Ealiwa, Taki, Howarth, & Seden, 2001)

avec les valeurs AMV rapportées par les occupants des vieux bâtiments. Toutefois, dans les nouveaux bâtiments climatisés, les valeurs de PMV changeraient de +0,4 pour toutes les conditions. Les nouvelles valeurs de PMV sont toujours en accord avec les valeurs AMV rapportées par les occupants dans les nouveaux bâtiments.

Finalement, les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette recherche sur ces bâtiments qui sont soit naturellement ventilés avec des cours, soit mécaniquement ventilés avec des systèmes de climatisation :

- Le sentiment général des occupants de Ghadames pendant les saisons estivales a indiqué qu'ils sont plus satisfaits et thermiquement neutres dans les vieux bâtiments à ventilation naturelle que dans les nouveaux bâtiments climatisés.
- Ces modifications devraient régler les problèmes liés aux effets adaptatifs.

I.3 Le confort thermique et les dispositifs architecturaux :

Diverses recherches théoriques et tentatives expérimentales ont été faites sur l'effet du « patio » de la cour, en tant que modificateur microclimatique, sur la performance thermique des bâtiments et sur un large éventail de climats (Almhafdy, Ibrahim, Ahmad, & Yahya, 2013) (Cantòn, Ganem, Barea, & Llano, 2014).

On mentionne quelques travaux antérieurs ; celui de (Mousli & Semprini, 2015) qui vise à contribuer à évaluer l'influence de la performance thermique des bâtiments et de la ventilation naturelle (ventilation transversale, ventilation latérale unique) sur le confort thermique intérieur des maisons traditionnelles de Damas en fonction de la présence d'une cour dans un climat chaud et aride. Afin d'évaluer les influences du type de bâtiment, la dépendance par rapport à

l'orientation, les matériaux de construction, la taille et la position des ouvertures, afin d'étudier son impact sur la température interne et le comportement naturel de la ventilation.

L'utilisation de matériaux absorbants pour le plâtre mural et le revêtement de toit augmente la température, tandis que l'activation de la fontaine dans la même cour diminue la température. Très important dans ce cas est l'impact de l'intervention sur la structure en utilisant de nouveaux matériaux qui ont augmenté la température interne de 1°C au moins

Plusieurs mesures sur les conditions microclimatiques de la cour intérieure et extérieure ont été réalisées durant la période estivale de 2014 afin d'étudier les conditions de confort et aussi les effets de la ventilation naturelle (fenêtre fermée et ouverte avec différents pourcentages d'ouverture). Toutes les mesures ont été effectuées en parallèle avec une enquête sur les conditions de confort. Les mesures ont été effectuées selon la norme ASHRAE pour la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air : toutes les données ont été enregistrées toutes les 5 minutes pour obtenir un bon indicateur et des tendances corrélées aux conditions climatiques externes.

La température opérative est calculée sur des périodes spécifiques à l'aide de données manuelles de vitesse de l'air correspondant à des mesures expérimentales d'autres paramètres physiques, en parallèle avec l'étude des sensations basée sur l'échelle PMV (échelle de 7 points : de -3=froid, à +3=chaud).

L'analyse du confort a été réalisée à l'aide du modèle adaptatif proposé par la norme ASHRAE-55 2010 par l'utilisation de la température extérieure moyenne dominante comme variable. (Figure 10)

Dans le hall nord du 1er étage, l'effet de la ventilation naturelle croisée fait baisser la température de 1°C à 3°C. Dans ce cas, le type de structure influe sur le comportement thermique en raison de la ventilation naturelle d'un seul côté de la cheminée pour deux niveaux qui donne une température plus basse par rapport à la structure des maisons traditionnelles Fig. Hall Fakhry augmentation de la température.

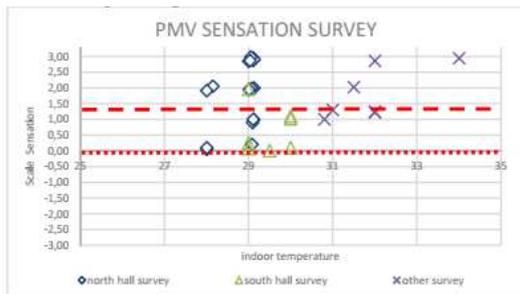


Fig.6; Comfort sensation survey for all Fakhry halls.

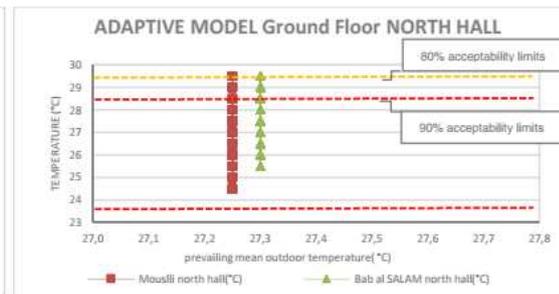


Fig.7; adaptive model for Ground Floor North Halls.

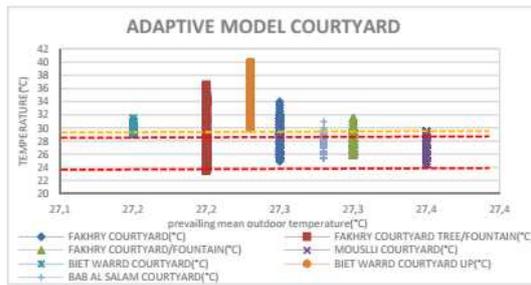


Fig.8; adaptive model for Courtyards.

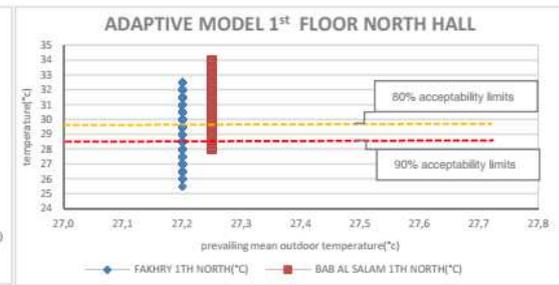


Fig.9; Adaptive model for 1st floor North Halls.

Figure 11: Résultats de l'étude
Source : (Mousli & Semprini, 2015)

Boulfani (2010) a fait une étude sur l'effet du patio sur les atmosphères thermiques estivales avec une expérimentation menée sur sept maisons de l'époque coloniale à Jijel (Algérie) une ville caractérisée par un climat méditerranéen modéré. Les résultats (Figure 11) ont montré que pendant l'été, le patio joue le rôle d'un régulateur thermique dans un tissu urbain compact. La profondeur du patio a un effet important sur la température interne (Tint). L'orientation nord-est/sud-ouest est recommandée, mais ne semble pas avoir d'effet significatif sur Tint.

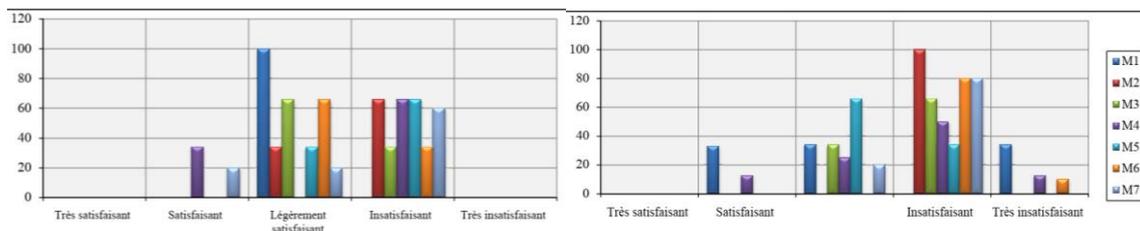


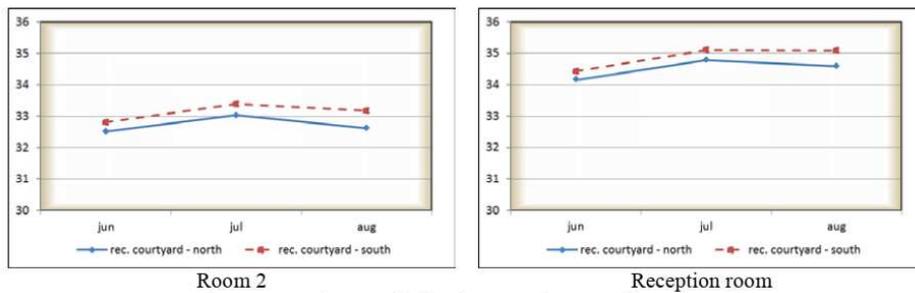
Figure 10: Résultats de l'investigation, l'ambiance globale.
Source : (Boulfani, 2010)

Des chercheurs iraniens (Soflaei, Shokouhian, & Shemirani, 2016) ont étudié l'effet de la cour centrale sur la durabilité des maisons traditionnelles en Iran, pour améliorer le confort thermique intérieur dans le climat BS de l'Iran. Les résultats de l'analyse sur terrain de cette étude quantitative montrent que les cours centrales traditionnelles d'Iran ont été conçues sur la

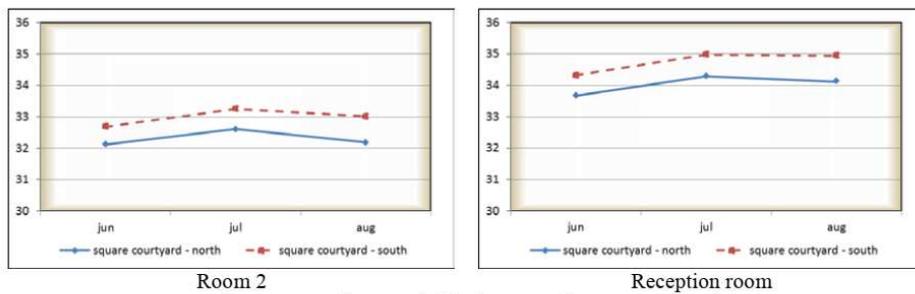
base d'une attention particulière à l'orientation et aux propriétés géométriques des paramètres physiques et naturels qui agissent comme un système de refroidissement passif.

(Yaşa & Ok, 2014), ont examiné l'efficacité énergétique de la cour en tant que contrôleur microclimatique dans un climat chaud ou contrôleur climatique à l'échelle urbaine, et pour déterminer les états thermiques de confort intérieur. Dans cette étude, en utilisant le programme CFD, sept maisons dans différents climats en Turquie seront évaluées en fonction de leur performance thermique.

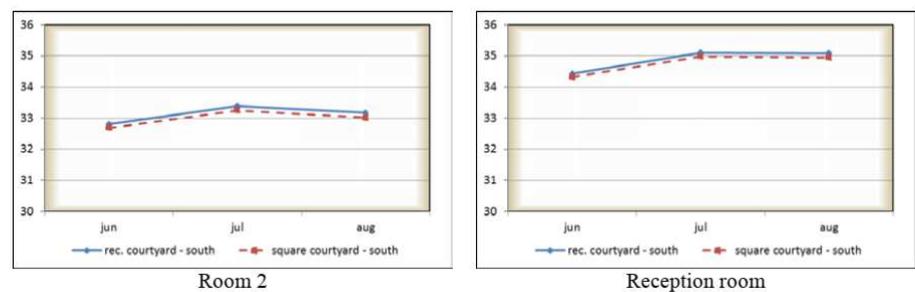
(Hassan, 2012) a étudié le potentiel d'une cour ventilée pour le refroidissement passif dans un petit bâtiment dans un climat désertique à New Aswan City, en Égypte. Les résultats de cette étude (Figure 11) ; qui a été faite à l'aide du logiciel TRNSYS 16® ; indiquent que l'orientation et la géométrie de la cour sont des facteurs importants qui influent sur le rendement thermique des bâtiments de cour.



Room 2
Reception room
Figure 7. Results recorded in the case of rectangular courtyard



Room 2
Reception room
Figure 8. Results recorded in the case of square courtyard



Room 2
Reception room
Figure 10. Results recorded in the case of courtyard facing the south

Figure 12: Résultats enregistrés dans différents espaces (cour rectangulaire, cour carrée, cour côté sud)
Source : (Hassan, 2012)

I.4 Confort thermique et les caractéristiques des matériaux de construction :

Dans cet article, (Martin, Mazarron, & Canas, 2010) ont essayé d'analyser les avantages environnementaux de la réutilisation des bâtiments ruraux abandonnés. En raison de leurs murs extérieurs épais de haute inertie thermique, l'environnement intérieur peut être confortable avec moins de consommation d'énergie que les nouveaux bâtiments.

Une campagne expérimentale sur le terrain de l'environnement thermique intérieur a été effectuée dans trois maisons durant l'été (06/20 à 07/01) et l'hiver (01/29 à 03/08) par des mesures de la température de l'air et l'humidité à l'aide d'un enregistreur de données de type HOBO. Deux maisons traditionnelles (maisons en pisé et en pierre) et une maison moderne en bois (Figure 12), aucune des maisons n'a un système de refroidissement et seule la maison en bois préfabriquée a deux petits radiateurs en hiver.

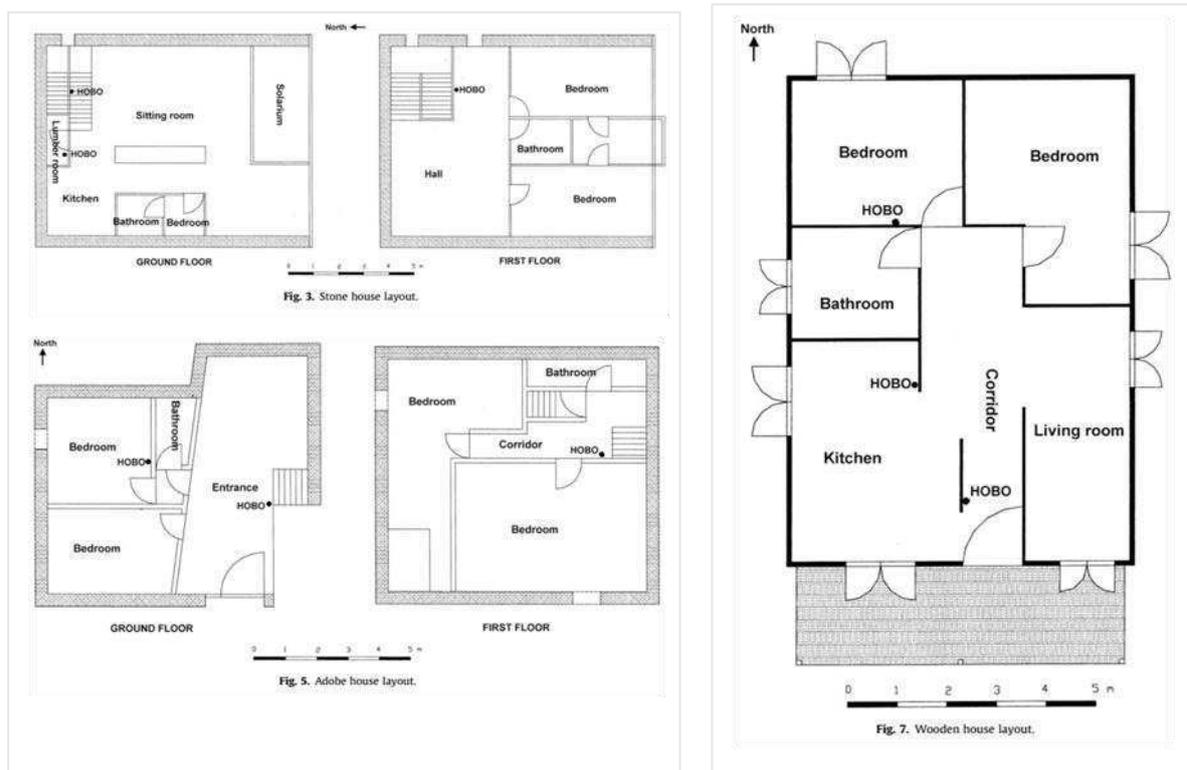


Figure 13: Cas d'étude
Source : (Martin, Mazarron, & Canas, 2010)

Les résultats des mesures indiquent l'existence d'un comportement thermique différent entre les deux maisons traditionnelles et la maison préfabriquée. L'inertie thermique élevée des murs extérieurs est illustrée dans les résultats de la surveillance par la température intérieure moyenne et par l'amortissement de l'onde thermique extérieure. Les maisons traditionnelles

ont conservé des conditions intérieures plus stables que la construction en bois. L'effet de la stabilité thermique intérieure sur les maisons traditionnelles qui ont une plus grande capacité de chaleur des murs

L'un des principaux objectifs de toute construction attribuée comme résidence est de fournir un environnement intérieur confortable et sain pour le développement des activités humaines, les chercheurs ont fait une approximation basée sur l'analyse statistique des températures intérieures et extérieures. Des fonctions de distribution cumulative (CDF) ont été réalisées à l'aide du logiciel Statgraphics® Plus avec la série de températures enregistrées dans les trois maisons pendant les deux périodes.

Les résultats de la surveillance sur le terrain (Figure 13) montrent qu'il existe une nette différence entre le comportement thermique des maisons traditionnelles et celui des nouvelles (maisons préfabriquées en bois). En été, l'environnement intérieur dans la maison traditionnelle est à l'intérieur de la zone de confort, mais ne tient pas pour la maison en bois. En hiver, l'environnement intérieur des trois maisons est en dessous des limites de confort, malgré l'existence de deux petits radiateurs à l'intérieur de la maison en bois. Considérant l'amortissement de l'onde thermique extérieure à l'intérieur des maisons traditionnelles, qui maintient la température et l'humidité relative plus stables à l'intérieur, si un certain système de chauffage était mis en œuvre dans ces maisons traditionnelles, l'environnement intérieur atteindrait les limites de confort thermique nécessitant moins de consommation d'énergie que la nouvelle maison préfabriquée en bois.

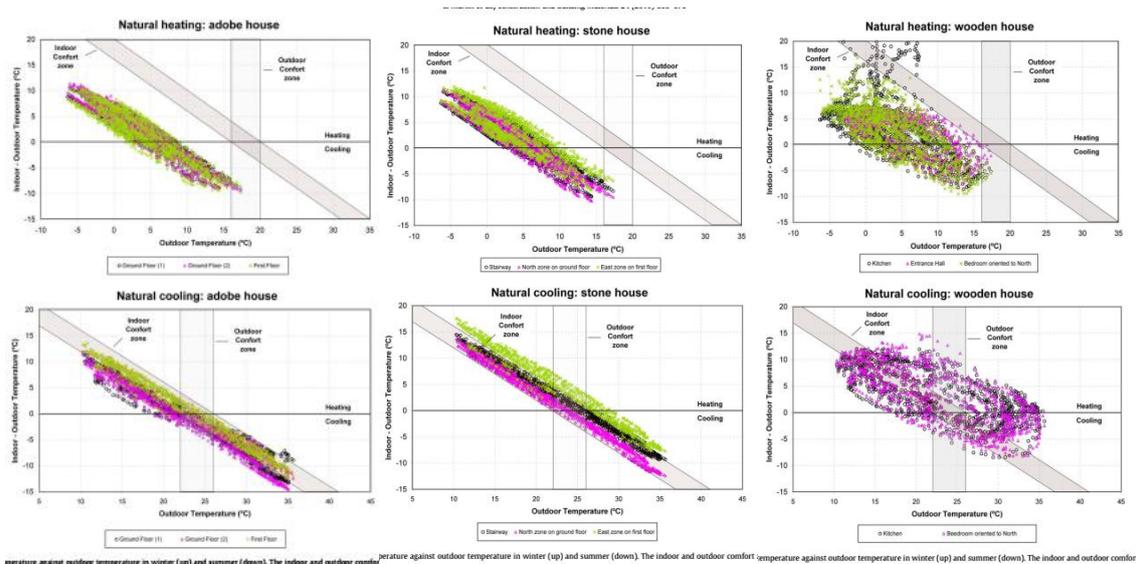


Figure 14: Les résultats de l'investigation

Source : (Martin, Mazarron, & Canas, 2010)

(Medjelakh & Abdou, 2008) ont effectué une étude qui s'appuie sur une investigation par des mesures in situ portant sur des maisons réalisées à deux époques différentes (coloniale et

contemporaine) à Guelma dans climat chaud, dans le but d'évaluer l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique et le confort thermique des habitants.

La maison coloniale choisie est construite en pierre, repose sur une cave semi-enterrée et dispose d'une façade sud-ouest qui s'ouvre sur la rue et d'une façade nord-est qui s'ouvre sur la cour (Figure 2). En fait, il s'agit d'un grand bâtiment ancien datant de 1890, composé de plusieurs maisons individuelles superposées et regroupées autour d'une cour. La maison contemporaine construite en système poteau-poutre, ses murs externes sont en parpaing (double paroi avec lame d'air) de 30 cm d'épaisseur. (Figure 14)

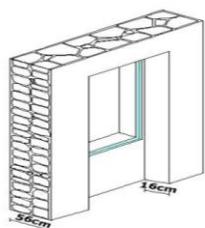


Fig. 10: Epaisseur du mur externe

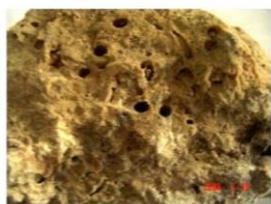


Fig. 11: Echantillon du traversin (vacuoles)



Fig. 13: Le mode constructif

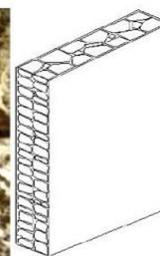


Figure 15: Le système constructif colonial

Source : (Medjelakh & Abdou, 2008)

Les relevés bi-horaires de la température et de l'humidité relative ont été retenus au mois d'août et au mois de janvier ; avec l'utilisation de la centrale météo, le thermomètre émetteur, et l'hygromètre - thermomètre digital du modèle : TES-1360 (Figure 15)



Figure 16: Les instruments de mesure utilisés

Source : (Medjelakh & Abdou, 2008)

Une validation des résultats a été effectuée par le logiciel TRNSYS V14. Les deux paramètres (la température de l'air et l'humidité relative) ont été retenus pour évaluer les conditions de confort thermique durant la période estivale et hivernale. Les résultats ont démontré que l'utilisation d'un matériau local adapté au climat de la région est à l'origine de la réalisation du confort hygrothermique et de la consommation réduite de l'énergie. Par ailleurs,

la réalisation des maisons avec des matériaux à forte inertie thermique assure l'équilibre thermique simultanément pour les deux saisons. (Figure 17)

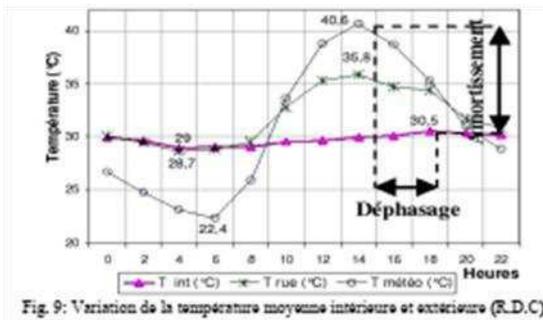


Fig. 9: Variation de la température moyenne intérieure et extérieure (R.D.C)

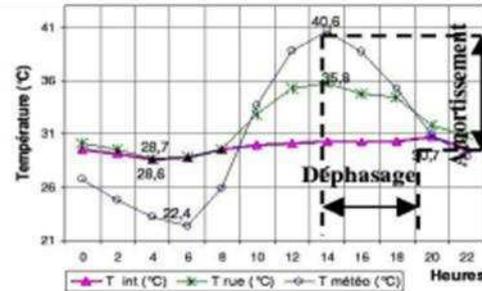


Fig. 16: Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure (étage)

Figure 17: Variation de la température moyenne intérieure et extérieure (RDC, étage)
Source : (Medjelakh & Abdou, 2008)

Par ailleurs (Matari & Mahi, 2013) ont mené des expérimentations pour évaluer l'effet du type de matériaux de construction sur la consommation énergétique dans une maison individuelle à Bechar sous les conditions climatiques chaudes et arides, à l'aide du logiciel de simulation EnergiePlus V7. (Tableau 2)

Tableau 2: Caractéristiques thermo-physiques des matériaux.
Source : (Matari & Mahi, 2013)

Matériaux	Epaisseur(m)	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Chaleur Spécifique C (J/kg.°C)	Masse volumique ρ (kg/m ³)
Brique creuse en terre cuite	0.01	0,42	/	650
Brique creuse en terre cuite	0.15	0,42	/	650
Parpaing en béton	0.2	0,95	1080	900
Adobe	0.5	0,65	1008	1600
Lame d'air	0.05	0,024	1024	1,29
Enduit en plâtre	0.02	0,35	936	1000
Enduit en ciment	0.02	1,15	1080	1800
Corps creux + dalle de compression	0.2	1,4	1080	1800
Corps creux en polystyrène + dalle compression	0.05	0,65	1600	600
Polystyrène	0.05	0,036	1450	34

Les résultats obtenus (Figure 18) révèlent que les murs en adobe et ceux en double-parois de brique ont des comportements thermiques presque similaires et ont permis de réaliser une température intérieure acceptable par rapport aux parois en parpaing. Dans le même registre, les murs en adobe de 70cm et en double parois de brique permettent de réaliser des résultats presque similaires soit pour la consommation énergétique en chauffage et celle pour la climatisation. Finalement, un mauvais choix du matériau constituant l'enveloppe du bâtiment peut entraîner à long terme des surcouts pour assurer le confort thermique des utilisateurs aussi bien pour la période estivale qu'hivernale.

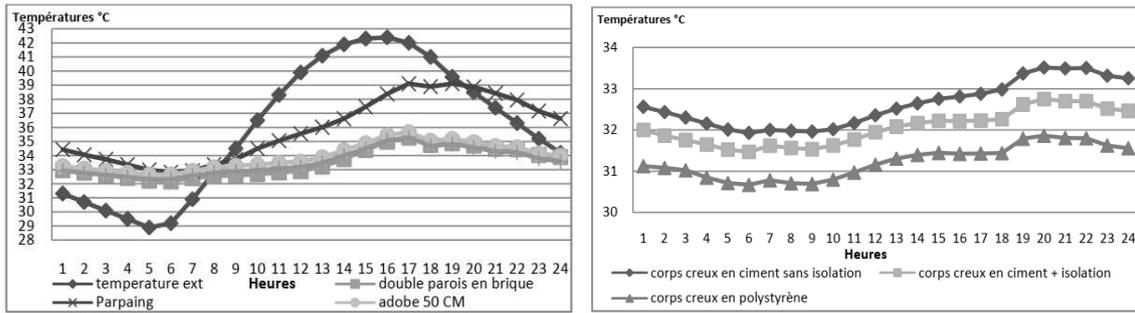


Figure 18: Les résultats obtenus de l'investigation
 Source : (Matari & Mahi, 2013)

I.5 Discussion

D'après la revue de la littérature dans le domaine de l'architecture patrimoniale, de nombreuses études indiquent que la conception des habitats favorise considérablement le confort thermique intérieur surtout pendant la saison chaude. L'influence des éléments de construction passifs : i) dispositifs, ii) matériaux, sur le confort thermique du bâtiment est de réduire et favoriser les conditions thermiques intérieures durant la période chaude où la température de l'air, le rayonnement solaire et la vitesse du vent sont les facteurs microclimatiques les plus cruciaux.

Selon les recherches antérieures dans les différentes méthodes d'évaluation du confort thermique intérieur et la vue d'ensemble des enquêtes in situ menées dans le domaine du confort thermique ont permis, non seulement la compréhension, la maîtrise et la définition des objectifs ciblés, mais aussi la capitalisation transversale des connaissances acquises. Cela nous permet de nous positionner épistémologiquement sur le choix des méthodes à utiliser pour démontrer des relations hypothétiques.

Cette recherche est basée sur **une approche adaptative**, à partir d'une évaluation objective (quantitative) et subjective (qualitative) du confort thermique :

1. Évaluation subjective : une enquête qualitative par des questionnaires
2. Evaluation objective : une enquête quantitative par des mesures physiques in situ.

I.6 Conclusion

L'analyse et la compréhension des recherches antérieures, ainsi que les méthodes d'évaluation du confort thermique dans les maisons nous permettent d'examiner le champ de la caractérisation du concept « confort thermique » dans différentes régions climatiques et précisément dans un climat chaud et aride. En outre, ces études confirment l'importance des enquêtes in situ et des méthodes d'évaluation fondées sur la collecte des sensations thermiques des habitants. Pour ce fait, certaines d'entre elles s'intéressent aux investigations sur terrain par l'étude des grandeurs climatiques en relation avec la forme de l'espace, l'orientation ...etc. D'autres favorisent l'utilisation des indices de la perception thermique (PMV/PPD, AMP, Top) pour l'évaluation. D'autres chercheurs se sont orientés vers la modélisation numérique pour effectuer des expérimentations sur le zonage du confort thermique par l'aide des logiciels spécialisés parmi lesquels : EnergiePlus V7, TRNSYS V14 et Statgraphics® ... etc.

Chapitre II : **Patrimoine colonial et contextualisation**

« Le patrimoine rassemble et divise à la fois. Il rassemble lorsqu'il est porteur de valeurs d'identification culturelle d'un peuple, et divise lorsqu'il devient instrument idéologique »³

II.1 Introduction

Tout au long de l'histoire, l'Algérie a été à la fois l'horizon commun d'innombrables civilisations qui se sont succédé sur le territoire et affirmé l'identité algérienne qui émerge d'un pays culturellement riche. Il abrite un important patrimoine dont les témoins sont tous les villes ; les sites, bâtiments et monuments encore debout de nos jours. En plus des riches héritages passés, le patrimoine colonial français témoigne d'un échange d'influences et représente un type de construction datant une période significative de l'histoire.

Un éclairage historique est nécessaire pour mettre en exergue les valeurs et les réflexions qui ont influencé la composition des villes algériennes tout au long de cette période, dont on peut inspirer des leçons et des techniques de conception, où elle représente un exemple dans son genre par son adaptation avec le climat.

Toutefois, nous nous arrêterons à un aperçu des villes précoloniales et coloniales ainsi que les différents styles architecturaux de cette période afin de nous concentrer sur les actions urbaines et architecturales pendant la période de la colonisation française, ce qui correspond mieux au sujet d'étude.

³ Aiche, B., Cherbi, F., & Oubouzar, L. (2006). Patrimoine architectural et urbain des XIXe et XXe siècles en Algérie. *Projet Euromed Héritage II. Patrimoines partagés, 4*, pp. 34-45, p. 149.

II.2 L'urbanisme et l'architecture précoloniaux :

L'histoire précoloniale de l'Algérie, telle qu'on la connaît aujourd'hui, pourrait se diviser en deux grandes périodes : 1/ de ses ancêtres à l'arrivée des Turcs (1516 ; prise du Penon en 1529) cette période, peu déterminée, englobe les époques phénicienne, romaine, vandale, byzantine, berbère. 2/ présence turque : 1561- 1830. (Deluz, 1988).

La première période, mal connue et alambiquée, s'intéressait davantage à l'histoire proprement dite qu'à celle de l'urbanisme ou de l'architecture. Les recherches portent encore sur des indices faibles, avec quelques découvertes archéologiques, faites en particulier dans les travaux de démolitions ou d'infrastructures (Deluz, 1988). Dans le catalogue de l'exposition sur la Casbah que « Riadh el Fath » a organisée en décembre 1984, l'historienne Lilian Meslem note en effet :

« ... si tous les voyageurs ou géographes arabes attestent d'une économie florissante, nous ignorons tout, ou presque, de sa forme, de son organisation, de sa vie propre, éléments essentiels à la lecture d'une ville... La rareté du matériel archéologique dont nous disposons s'explique aisément : la grande ère des travaux qui bouleversèrent les couches archéologiques de la ville ancienne furent faites à une époque où seuls les vestiges d'époque antique étaient jugés 'dignes d'intérêt', soit par mépris, soit par méconnaissance pour les tranches d'histoire ultérieures. »⁴

La période turque est beaucoup plus riche de renseignements, que ce soit par les relations des voyageurs, des anciens esclaves, des militaires, ou par des documents graphiques, ou peut-être à travers des archives turques qui semblent encore peu exploitées. Ou enfin dans les vestiges de la ville. Toutefois, la part de ce qui fut proprement l'apport des Turcs et de ce qui a été le prolongement, la permanence de la ville arabo-berbère des siècles précédents, n'apparaît pas clairement. (Deluz, 1988).

II.3 L'urbanisme et l'architecture coloniaux : (1830-1962)

Après plusieurs décennies de démolitions et d'altérations importantes que l'Algérie a subies pour s'adapter aux besoins des colons, un mouvement d'idées et un intérêt pour l'art et la culture indigènes ont émergé.

Pour de nombreux intellectuels, le but est de démontrer que la mentalité et la culture des Européens d'Algérie, installés sur le continent depuis des générations, sont influencées par la

⁴ Deluz, J. J. (1988). L'Urbanisme et l'architecture d'Alger: Aperçu critique. Liège: Mardaga. pp9

II.3.2 L'architecture en Algérie durant la colonisation française :

En 1830, L'Algérie est devenue une colonie française de peuplement et son territoire fut intégré à celui de la France (Meynier, 2010). Un nouveau style de fabrication remplacera la logique et la cohérence des tissus originaux au début de la colonisation pour la recherche d'une satisfaction des besoins militaires (Boussad, Cherbi, & Oubouzar, 2005). En conséquence, la structure spatiale et sociale des anciennes villes est irréversiblement perturbée, ce qui sera réalisé par des interventions dramatiques sur les tissus urbains existants, où l'acte de construction sera régi par de nouveaux critères et principes de construction (Aiche, Cherbi, & Oubouzar, 2006) . Une interaction entre la culture occidentale importée et la culture méditerranéenne locale caractérise cette période (Picard, 1994)

Par le fait, les structures des quartiers et des villes algériennes ont été modelées par une variété de transformations significatives. Cette période est caractérisée par une bataille entre la civilisation occidentale importée et la culture méditerranéenne autochtone. La typologie des bâtiments dominante dans cette période est une occupation maximale des parcelles avec des immeubles empruntés de la métropole européenne du 19e siècle et une seule façade conventionnelle sur la rue avec une galerie commerciale couverte.

Entre 1930 et 1945, l'architecture algérienne est caractérisée par un style composite avec une personnalisation limitée, combinant des éléments hygiénistes modernes avec des motifs ornementaux tels que des niches, claustras et d'autres éléments. Cette combinaison a créé une architecture importée qui s'ouvre vers l'extérieur, incorporant les concepts d'une architecture intime empruntée à plusieurs styles historiques pour caractériser tous les bâtiments alignés d'Alger. (Deluz, 1988)

II.3.2.1 Les Tendances de l'architecture coloniale :

À l'avenant, les villes deviendront un véritable laboratoire pour importer des idées et des formes de la métropole. Ces typologies et motifs coloniaux reflètent une succession de courants et de tendances architecturaux qui servent d'allusions au modernisme et à la culture occidentale, ainsi qu'aux premières architectures turques et mauresques (Picard, 1994).

II.3.2.1.1 Le corps du génie militaire colonial : L'établissement de la domination française (1830-1845) :

Depuis la colonisation française, et avec raison, la destruction d'une grande partie des médinas en Algérie pour l'installation de l'armée ; le génie a commencé par un plan militaire ; et des premiers colons (Picard, 1994). Cette période est marquée par une architecture monumentale, ainsi que par l'architecture et l'urbanisme qui projette une satisfaction des

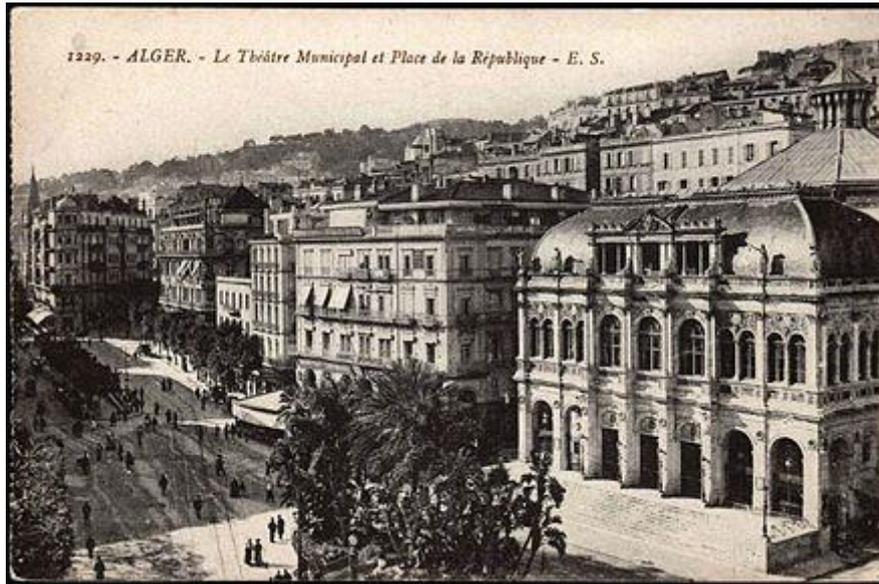


Figure 23: Théâtre national algérien, Alger
Source : <https://www.wikiwand.com/>

II.3.2.1.3 L'architecture néoclassique : style de vainqueur (1845-1900):

Pendant 70 ans, l'architecture néoclassique où l'architecture classicisante en Algérie d'appartenance européenne a été l'architecture officielle de l'Empire français (Deluz, 1988) (Chabi, 2012), c'est une réinterprétation du style classique, dérivant du style urbain français de l'époque. La plupart des bâtiments publics se référant aux éclectiques enseignées à l'École des Beaux-arts (Picard, 1994). Ce style est caractérisé par un aspect monumental pour les édifices publics, avec un développement d'un confort urbain pour les colons, fondés sur l'esthétique, l'hygiène, et l'agrément, tout en maintenant la ségrégation raciale entre les indigènes et les bourgeois européens. (Chaouche, 2013).

Ce style, fondé sur un esprit conservateur, est caractérisé par : la symétrie, les colonnes adossées, pilastres, corniches, bas-reliefs floraux, portique extérieur (entrée), baies encadrées, les balcons surchargés de décors (fantaisie) (Figure 24).



Figure 24: Théâtre d'Oran
Source : (Chaouche, 2013)

II.3.2.1.4 L'architecture Néo-Mauresque : la France protectrice (1900-1930)

Napoléon III (186-1865) en visite en Algérie avait déclaré : « *notre colonie d'Afrique n'est pas une colonie ordinaire, mais un royaume arabe* »⁷. Donc le gouvernement français s'intéresse à traduire le style vainqueur par la construction d'une métropole qui protège et respecte les valeurs et l'identité traditionnelle locale. En essayant d'établir un langage architectural référencé sur les nouveaux programmes et en participant à la codification de certaines composantes de l'architecture locale sous une nouvelle forme qui font renvoi au style néo-mauresque, avait pour objectif de défendre le patrimoine architectural existant (Beguin, baudez, Lesage, & Godin, 1983). Selon Jean Jacques Deluz : « *il naît des recommandations données aux architectes par le gouverneur Charles Célestin Jonnart pour mettre à l'honneur l'esthétique mauresque* »⁸

Ce style qui est nommé aussi « style Jonnart » est apparu en Algérie au début du XXe siècle à des fins, à la fois politiques, économiques et culturelles par l'architecte Benjamin Bucknal (1830-1895) (Carabelli, 2006). En inspirant des villas turques et en offrant un confort anglais à ces édifices, et favoriser par la suite le développement de l'architecture moderne (Picard, 1994).

Ce style est marqué par une certaine typologie : organisation spatiale, symétrie compositionnelle du bâtiment, des ouvertures typiques, les revêtements, les coupoles et les arcs.... etc. On peut citer certains édifices comme un témoignage de ce style durant la période

⁷ Source spécifiée non valide.

⁸ Carabelli, R. (2006). Héritage architectural récent en Méditerranée: temporalités et territoires. Editions Publibook

II.3.2.1.5 L'architecture moderne (1930-1945) :

Dans les années 30, le mouvement méditerranéen regroupe la majorité des intellectuels français d'Algérie. Le néo-Mauresque a été abandonné pour faire place à une métropole et une architecture contemporaine qui reflètent l'aventure coloniale sans aucun lien avec l'architecture et l'art musulmans. L'économie et la crise du logement sont les principales causes de la vague protestant contre le néo-Mauresque (Beguin, baudez, Lesage, & Godin, 1983). L'évènement qui a défini l'architecture de cette période est l'architecture moderne, qui préconise une architecture plus rationnelle et mieux adaptée à la croissance économique et de la société coloniale (Benevolo, 1983; Benevolo, 1983). L'une des expériences réalisées au cours de cette période est « l'Aéro-habitat » qui désigne les immeubles résidentiels avec une disposition perpendiculaire aux courbes de niveau permettant aux maisons environnantes de préserver leurs vues sur Alger. (Figure 26).

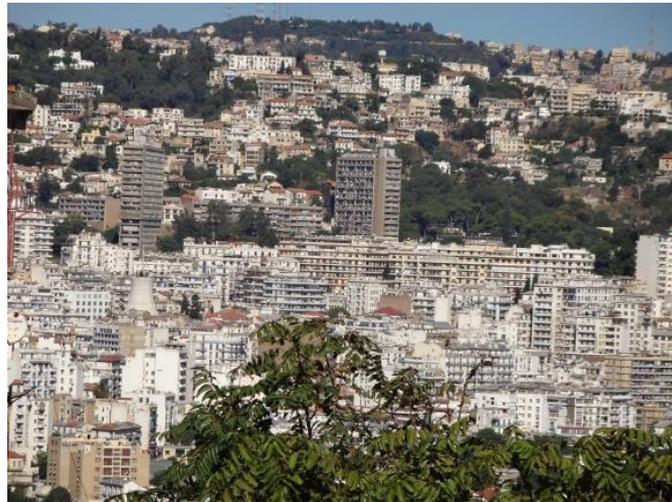


Figure 26: Vue sur l'Aéro-habitat depuis le Boulevard des martyrs
Source : (Stambouli, 2014)

Les architectes français défendent l'idée que l'architecture moderne est méditerranéenne (Picard & Malverti, 2003), et que le climat, le relief et la végétation du pays justifient le recours à des composantes architecturales typiques du mouvement moderne et aux constructions du style méditerranéen.

En Algérie, avec la contribution significative du rationalisme français d'Auguste Perret, cette tendance a permis le développement d'une modernité métissée qui était extrêmement distincte de l'avant-garde architecturale des années 30. Cependant, un grand débat se déroule pendant ce mouvement ; sur l'architecture, les matériaux et ses éléments du point de vue à la fois fonctionnel et esthétique (Almi, 2002).

Depuis 1950, Jacques Guiauchain, les frères Niermans, c'est un groupe d'architectes est apparu pour défendre l'identité algérienne et proposer un mouvement qui s'adapte aux principes architecturaux des pays méditerranéens avec notamment l'utilisation du patio, de la cour et de l'ouverture vers l'intérieur (Almi, 2002).

II.4 Le colonial et l'habitation

La colonisation française a laissé son empreinte sur le territoire algérien, ce qui apparaît sur les biens immobiliers dans toutes les régions du pays. Particulièrement l'immobilier à caractère d'habitation, qui se présente sous plusieurs formes, composées d'unités homogènes. À l'échelle urbaine et architecturale, le type colonial est caractérisé par l'alignement des habitations, un tissu régulier (des formes régulières des parcelles). Le cadre bâti doit répondre à certaines exigences, notamment l'homogénéité et la régularité. La commission des bâtiments civils chargée de la construction a établi des critères, à savoir :

- La hauteur maximale des bâtiments à délimiter, les dimensions dépendent du prospect ;
- Les maisons doivent présenter au moins un rez-de-chaussée et un étage ;
- L'utilisation de matériaux locaux.

Selon Daniel Pelligra « Les constructions de la première période de la colonisation française ne comportaient ni balcons, ni saillies, ni stores, ni auvents, de même que le tracé des rues évitait soigneusement les lignes brisées. Ce n'est pas bien plus tard que l'on vit apparaître les colonnes, pilastres, corniches, les bas-reliefs floraux et les balustres »¹¹.

Ces immeubles obéissaient à une réglementation stricte notamment en matière des saillies qui étaient interdites sur les façades, mais cette disposition fut révisée, ce qui donna plus de libertés dans la conception des façades des immeubles. La production d'habitat colonial dans la ville d'Alger est riche. Et varie d'habitat colonial individuel et collectif.

II.4.1 Habitat colonial collectif

Ce type d'habitat occupe de grandes parcelles qui sont situées dans les quartiers commerciaux et les grands axes. C'est une disposition de logements aux étages supérieurs qui dépassent R+1. Il y a principalement deux types:

¹¹ Algérie regards croisés : ouvrage édité avec le concours du commissariat général de l'année de l'Algérie en France, édition dirigée par Freddy Ghosland et Georges Rivière, édition Facih, rue de cirta-Hydra-Alger, 2003.P.55

II.4.1.1 Les logements sociaux

En réponse à la crise du logement qui touchait les villes algériennes, les premiers grands ensembles ont été construits. Cette carence était due à l'attraction de la ville sur les campagnes; l'arrêt presque complet de la construction de 1940 à 1945 et surtout la croissance démographique, donnèrent au problème une acuité nouvelle, les pouvoirs publics interviennent alors pour créer des cités de recasement au cours de l'année 1946 (Picard & Malverti, L'architecture française en Algérie de 1830 à 1962, 2003).

a) Les habitats à bon marché (H.B.M)

Le courant hygiéniste et paternaliste de la bourgeoisie moderniste du Second Empire a servi d'inspiration à la société française des HBM en 1889 (Figure 27). En lien avec l'élargissement de la clientèle aux classes moyennes, les exigences de qualité s'augmentent dans les années 1920 et 1930 : les ensembles s'ouvrent sur la ville et des façades plus ouvragées. L'habitation à bon marché n'est pas une réduction de l'immeuble haussmannien ou des habitations collectives privées qui faisaient l'essentiel du parc de logement pour les couches populaires (Malek, 2018), « mais la création d'un nouveau type d'habitat dont toutes les caractéristiques et les composantes vont faire l'objet d'une réflexion approfondie »¹²



Figure 27: Cité HBM, indigène. Oran.

Source : <http://halimede.humanum.fr/node/2095?position=1&list=CCsO9jhQ4Yh7ZKKzaRyoB9iEqSJxjWA1VBi0tRr0EZ8>

Après 1945, les HBM furent remplacés par les habitations à loyer modéré, HLM financés massivement par l'État pour répondre à la crise du logement due à la faible construction de l'entre-deux-guerres.

¹² J.P. Flamand «Loger le peuple – essai sur l'histoire du logement social» cité par Malek, 2018.

ainsi que pour les chainages. Les troncs d'arbres sont débités en planches assez grosses pour la confection des portes et des fenêtres.

Dans la majorité des immeubles, on retrouve un système constructif en murs porteurs soit en pierre bleue, en moellons, en brique pleine ou en tuf. Les cloisons sont généralement en briques rouge ou jaunâtre ou en brique creuse. Les planchers sont souvent en charpente métallique de type IPN, en voutains, en brique ou en bois avec une couche tout-venant. Les faux plafonds sont en lattis en bois ou en plâtre. On retrouve aussi des éléments décoratifs en pierre artificielle et enduits de mortier.

II.6 Le confort thermique comme thématique architecturale patrimoniale de la période coloniale.

Dans cette partie du chapitre, on présente la dimension sensorielle qui peut être vue explicitement ou subtilement dans l'architecture coloniale en Algérie. Selon ce qui a été documenté dans la littérature ou le discours des architectes présentées qui font l'objet de cette évaluation critique.

L'étude qualitative sur le confort thermique se concentre sur les réactions des usagers (leurs perceptions et leurs comportements) et sur les idées et les démarches conceptuelles des architectes qui s'intéressent aux questions liées au confort, au bien-être et à la manière d'introduire les dimensions physiques et psychiques dans l'espace architectural construit. L'objectif serait bien de répondre aux besoins des usagers et satisfaire leurs exigences. Quelques citations des ingénieurs du génie militaire et des architectes pendant la période coloniale montrent l'implication de la notion de confort thermique dans la conception des habitations.

La dimension thermique reste une préoccupation permanente, à travers les citations ci-dessous (voir tableau 3). Les ingénieurs du génie et les architectes l'ont réalisé conformément à leurs besoins et aux contraintes climatiques. Cette qualité spatiale a été assurée à travers l'utilisation des dispositifs architecturaux d'une référence locale.

Tableau 3: Citation des architectes,
Source : Auteur, 2015

Auteur	Citation		Dispositifs
Colonel Chron	Il est évident que pour obtenir dans les habitations une fraîcheur convenable, il faudra donner aux murs extérieurs une grande épaisseur	- une fraîcheur convenable - ventilation combinée	murs extérieurs avec une grande épaisseur

	<p>et ne les percer que d'ouvertures rares et petites, surtout à l'exposition du midi ; peut-être aussi serait-il à propos de pratiquer une ventilation combinée de telle sorte, que l'on puisse aisément renouveler l'air. ... Une des meilleures garanties de cette solidité consisterait à tenir les murs en fondation et ceux des étages inférieurs d'une forte épaisseur, et à voûter l'étage souterrain. »</p>		<p>-des ouvertures rares et petites</p>
	<p>« il est un point sur lequel on ne saurait jamais avoir aucune contestation, parce qu'il a pour bases la raison et le bon sens. Telle serait, sous le rapport de la salubrité et du bien-être des habitants, la nécessité ; premièrement, d'éviter, autant que possible, de percer des rues du nord au midi, et, dans le cas où les communications exigeraient qu'on leur donnât cette direction, de les onduler de manière que l'un des côtés de ces rues puisse toujours projeter assez d'ombre pour garantir des ardeurs du soleil ceux qui auraient à les parcourir ; deuxièmement, de border de portiques celles que l'on serait dans l'obligation de percer en droite ligne ou bien de les abriter par des toits très saillants, en ayant aussi le soin de les</p>	<p>- la salubrité et du bien-être des habitants</p>	<p>-éviter, autant que possible, de percer des rues du nord au midi -projeter assez d'ombre pour garantir des ardeurs du soleil -rafraichir par un courant d'air</p>

	<p>tenir le moins large possible, et de les rafraichir par un courant d'eau vive. Il faudrait aussi que les places publiques fussent également entourées de portiques et peu spacieuses ; quant aux grandes places, si, par exception, elles étaient jugées nécessaires, il conviendra de les planter d'arbres et de les décorer de fontaines »</p>		
	<p>" Les habitations mauresques modifiées et appropriées à nos habitudes sont les seules admissibles dans ce pays. Le climat et le risque de tremblement de terre doit nous entraîner à étudier de près les constructions établies par les Arabes. .. ",</p>	<p>- Les habitations mauresques modifiées et appropriées à nos habitudes</p>	
<p>Aleth Picard</p>	<p>« Le peu de la largeur des rues et le défaut d'ouverture au-dehors font que les maisons d'Alger sont dépourvues de façades et que les deux côtés de la rue se touchent en étages. Cette disposition, qui sert la jalousie des Maures, est en même temps favorable à contenir la fraîcheur dans les rues et dans les maisons, contribue à rendre les rues hideuses. Et on ne douterait pas que la ville d'Alger renferme une foule de belles maisons, dont l'extérieur a l'apparence des plus misérables habitations. On remarque, dans</p>	<p>- favorable à contenir la fraîcheur dans les rues et dans les maisons</p>	<p>l'étroitesse des rues</p>

	<p>toutes les maisons, des défauts choquants de régularité, des colonnes mal alignées, des escaliers avec des marches de hauteur inégales, des portes à faux qui prouvent que les Algériens mettent peu d'art dans leurs constructions, même s'ils font usage de matériaux précieux et qu'ils emploient la sculpture et la peinture. »</p>		
	<p>« Les terrasses ne sont séparées les unes des autres que par des murs minces, souvent peu élevés, en sorte qu'on pourrait y établir des communications assez facilement d'un quartier à l'autre en peu de temps. En cas de révolte, ces communications seraient fort utiles. La partie en rez-de-chaussée, donnant sur la rue, est généralement occupée par des écuries. Des magasins et des caves sont situés en dessous du niveau de la rue. Dans les quartiers marchands, le bord de la rue est occupé par des boutiques. Les façades n'offrent que de hauts murs percés aux étages de quelques ouvertures rares, étroites et bien grillées. Ce n'est qu'en entrant dans la cour intérieure que l'on prend idée véritable de la maison : une cour pavée de marbre. Des galeries et des</p>		<p>Terrasse Le RDC est occupé par des magasins et des caves.</p>

	arcades vont autour, soutenues par des colonnes de même matière, et produisent un fort bel effet. Les appartements sont ouverts sur les galeries et n'ont pas de communication entre eux. Ce genre de construction est parfaitement adapté au climat et aux mœurs jalouses des habitants ² . »		
Le corbusier	« Les architectes d'Algérie ont combattu la routine et le pastiche et découvert une esthétique qui s'adapte aux exigences de la construction et de la vie moderne en même temps qu'aux nécessités naturelles commandées par le climat et par le site. »	- S'adapte aux exigences de la construction Commandées par le climat et par le site	
Joseph Marrast	« L'habitation destinée aux colons doit, évidemment, être adaptée au climat. C'est la première des conditions, et à ce point de vue, il y a intérêt à examiner sur place les habitations faites par les indigènes qui ont une habitude séculaire du pays et qui, par conséquent, auront pu prendre des dispositions qu'il est utile de conserver. Cependant faudrait-il se garder, en copiant ce qu'ont fait les indigènes, d'imiter des dispositions qui n'ont de raison d'être que par leurs mœurs ou leur religion. »	copiant ce qu'ont fait les indigènes	l'utilisation des dispositifs

Xavier Malverti	Les ingénieurs du génie sont responsables des travaux nécessaires à la réorganisation du territoire du pays. Ces officiers ont pour mission de permettre l'installation militaire, de pacifier et défendre le pays, puis d'organiser le territoire pour l'accueil des civils et l'exploitation économique de l'Algérie. Ils œuvrent pour créer des villes confortables, adaptées au climat méditerranéen, et sans doute plus françaises que les villes de la métropole.	créer des villes confortables, adaptées au climat méditerranéen	
Stéphanie Burth-Levetto	Les maisons dites « mauresques », habitées par ceux que les auteurs français nomment les « Arabes des villes » ou encore les « hadars », constituent pour l'essentiel la matière de ces analyses architecturales. À l'instar de ces propriétés de la bourgeoisie citadine, les agents de l'autorité coloniale préconisent des murs extérieurs de grande épaisseur, de rares et petites ouvertures, une bonne ventilation des pièces, une couverture en terrasse, et la répartition des appartements autour d'une cour centrale, distribuant une lumière apaisée par l'intermédiaire de galeries ouvertes	une bonne ventilation distribution d'une lumière apaisée.	Des murs extérieurs de grande épaisseur, de rares et petites ouvertures. la répartition des appartements autour d'une cour centrale.

« la raison pour laquelle l'architecte peut être intéressé par les réalisations indigènes est la connaissance des procédés techniques de protection contre les faits spécifiques du milieu tropical ; il est possible que les autochtones aient trouvé des solutions méritant d'être retenues »¹⁴ L'ensemble des insinuations montre que les colons ont pris en considération dans leurs constructions la contrainte climatique en premier lieu et la construction traditionnelle locale en deuxième lieu pour assurer leur confort et bien-être.

¹⁴ L'ethnologue Robert Cresswell cité par Miller-Chagas, 1992. P345

I.6 Conclusion :

Ce patrimoine colonial du XIX siècle, représentatif d'une valeur culturelle, est devenu au fil du temps vulnérable face à des mutations irréversibles. En effet, les héritages coloniaux en Algérie se trouvent de plus en plus menacés par des problèmes d'ordre politique, économique et social, par des étalements urbains et d'immenses opérations de destruction, des séismes ou encore de menaces par des modes d'exploitation irrationnels.

À travers ce chapitre, qui présente le contexte de notre recherche, nous avons présenté le développement de l'architecture en Algérie depuis le début de la colonisation française jusqu'à l'émergence des différentes tendances.

Par ailleurs, notre attention est portée sur les différents types d'habitats de cette période afin de déterminer ses principales typologies et caractéristiques qui s'expriment par l'utilisation des différents dispositifs passifs tels que : i) Les types d'ouvertures ii) la cour, iii) le patio, iv) les matériaux pour gérer les contraintes de l'environnement et assurer le bien-être à l'intérieur des bâtiments.

Certainement, la connaissance de ces phases historiques de l'architecture algérienne facilite la compréhension de la démarche conceptuelle des habitations coloniales pour approfondir notre sujet de recherche.

Chapitre III : **Concepts liés au confort thermique intérieur**

III.1 Introduction

La qualité de l'environnement et la quantité d'énergie dépendent fortement de l'étude du confort thermique qui a été le sujet de nombreuses études. Cela dépend d'un certain nombre de paramètres, y compris les facteurs d'ordre individuel et les facteurs liés à l'environnement. L'homme a toujours besoin d'un environnement thermique plus confortable. D'après cette dernière, des recherches et des expériences profondes ont été faites pour mettre au point tous les aspects qui agissent directement et indirectement sur le confort thermique des espaces intérieurs.

Le confort thermique est une sensation qui intègre des composantes physiques, physiologiques et psychologiques. Cela explique la complexité de ce problème, car il dépend du côté subjectif des utilisateurs, ce qui met la perspective de chaque individu au centre de l'analyse.

Dans ce chapitre, nous exposerons la pensée actuelle sur les principes fondamentaux du confort thermique. En premier lieu, nous avons d'abord défini le terme "confort thermique." Les critères et de nombreux facteurs de confort thermique seront ensuite abordés. Enfin, certaines techniques de construction dans les zones chaudes et arides ont été mentionnées.

III.2 Notions sur le confort thermique :

La notion du confort est très complexe et difficile à définir à cause de sa subjectivité ; plusieurs chercheurs ont attribué des descriptions à cette dernière. Le confort provient du mot anglais « *Comfort* », apparu en 1816, et signifie qui « contribue au bien-être des individus par la commodité de la vie, matérielle, intellectuelle et sociale ».

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est basé sur l'équilibre dynamique créé par l'échange thermique entre le corps et son environnement. (De Herde & Liébard, 2005) Liébard a défini le confort thermique comme l'état dans lequel les systèmes thermorégulateurs du corps humain ne sont pas soumis à une contrainte appréciable. Le confort thermique permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un haut niveau de capacité de travail » (De Herde & Liébard, 2005).

D'après la norme ISO 7730, le confort thermique est semblable à une sensation de satisfaction avec l'environnement thermique. Une situation de confort thermique présente si le bilan thermique de l'individu est équilibré sans que ses mécanismes autorégulateurs ne soient pas trop sollicités. (ISO 7730, 1994)

L'ASHRAE définit le confort thermique comme l'état d'esprit où l'homme exprime la satisfaction des conditions thermiques. C'est une impression subjective basée sur la façon dont l'occupant perçoit la température, l'humidité et l'effort requis pour demeurer confortable. Dans les bureaux, la plupart des plaintes sont liées au confort thermique (ASHRAE, 2001)

En effet, Il existe de nombreuses définitions du confort thermique, mais elles s'articulent généralement autour de « un état d'esprit ou satisfaction du corps humain où il peut retenir sa température corporelle constante, mais elle souligne à juste titre que le jugement du confort est un processus cognitif comprenant de nombreux intrants influencés par des facteurs physiques, physiologiques, psychologiques et d'autres. » (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010) (Depecker, 1989)

Étant donné la complexité de l'être humain, la notion du confort est relativement subjective, et est donc difficile à standardiser. De nombreux facteurs, y compris l'âge, le métabolisme, les habitudes, l'environnement, le milieu social, etc., affectent ce confort. Selon Schreiber (1985), le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique de l'environnement.

III.3 Les paramètres du confort thermique :

La sensation thermique de l'individu étant influencée par les échanges entre l'environnement extérieur et l'individu. Ces échanges peuvent être effectués en fonction des paramètres liés à l'environnement et à l'individu (Vinet, 2000). Ces paramètres peuvent être divisés en deux : des paramètres d'ordre physiques et des paramètres d'ordre personnel. (Tableau 4). Pour maintenir l'ambiance entre le corps et l'environnement, l'adaptation à chaque environnement comprend des réactions physiologiques, comportementales et parfois techniques « l'utilisation des dispositifs ».

Tableau 4: Les paramètres influençant le confort thermique.
Source : Auteur (2016)

Paramètres physiques	Paramètres personnels
La température de l'air	Le métabolisme et l'activité
La température des parois	L'habillement
La vitesse de l'air	
L'humidité	

III.3.1 Les paramètres liés à l'environnement (paramètres physiques) :

Dans la définition du confort thermique, il est nécessaire de connaître les diverses grandeurs physiques qui influent sur le confort thermique d'une personne dans son environnement, y compris la température de l'air, la température des murs, la vitesse de l'air et l'humidité de l'air.

Le confort thermique à l'intérieur des espaces est lié essentiellement à la valeur de la température de l'air. Dans le bâtiment, la vitesse de l'air qui aurait pu paraître insupportable peut devenir, en période chaude, acceptable et parfois indispensable, de manière à favoriser l'évacuation de la chaleur par transpiration. (Vinet, 2000)

Aussi, un élément primordial qui doit être étudié est la grande diversité des surfaces et la complexité des formes de l'espace construit (les parois). Ce dernier induit une non-homogénéité des transferts de chaleur.

III.3.1.1 La température de l'air :

Le paramètre météorologique le plus influent sur le confort thermique de l'habitant est la température ambiante de l'air (Höppe, 1991) (Hensen, 1990). Cette dernière intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'homme au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. La température ambiante de l'air est mesurée par un thermomètre à bulbe sec à

l'ombre et avec une hauteur de 1.5 m par rapport au niveau du sol, l'intervalle de confort va généralement de 18 à 25°C.

Fréquemment, pour bien évaluer le confort thermique dans le bâtiment, la température ambiante de l'air n'est pas suffisante pour donner une idée précise sur le confort thermique. Pour cela, d'autres facteurs environnementaux, tels que la vitesse de l'air et l'humidité relative, doivent être associés pour y parvenir. La température ambiante influe sur la sensation de chaleur si le niveau de l'humidité est élevé et la vitesse de l'air faible, la sensation d'humidité de la peau augmente en conséquence avec la température ambiante. Dans certaines circonstances comme une faible humidité et une vitesse de l'air élevée, la peau peut rester sèche même à des températures élevées.

III.3.1.2 La température moyenne des parois :

La température des parois T_p influence les échanges thermiques par rayonnement. Malgré la complexité de la répartition des températures sur une paroi, on suppose que T_p est égale à la moyenne des températures des parois environnantes pondérées par leur surface (Figure 29).

Les échanges par rayonnement à grandes longueurs d'onde entre l'individu et son environnement sont calculés à l'aide de ce paramètre. La température des parois désigne l'impact combiné de toutes les températures surfaciques dans l'espace où ces facteurs influent sur le gain (et/ ou) la perte de la chaleur des habitants (Beckey, 1992). La température des parois associée à la température de l'air détermine le confort ressenti par les occupants.

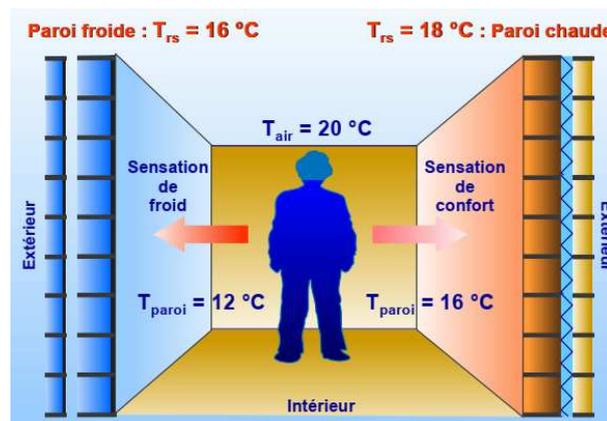


Figure 29: La température de confort dépend de la température de l'air et de la température des parois
Source : (De Herde & Liébard, 2005)

III.3.1.3 L'humidité relative de l'air (HR) :

Selon McIntyre (1973), l'humidité est déterminée comme une mesure de la quantité de la vapeur d'eau contenue dans l'air. En outre, l'humidité est « *le rapport exprimé en pourcentage*

entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température » (De Herde & Liébard, 2005).

L'humidité influe sur la capacité évaporatoire de l'air et par conséquent, sur l'efficacité de refroidissement de la sueur (l'humidité de l'air influe également sur le taux d'évaporation). Si le corps humain est incapable d'évaporer complètement la sueur, une couche liquide se développera sur la peau (peau humidifiée).

Les réactions physiologiques et sensorielles provoquées par l'humidité sont observées lorsque la vitesse de l'air augmente. La sensation du confort thermique est entre 30% et 70%. Le processus peut s'expliquer par l'humidité relative (Hr en %), humidité absolue, ou par la pression de la vapeur (p, en kPa). (Auliciems & Szokolay, 1997)

III.3.1.4 La vitesse de l'air :

La vitesse de l'air affecte fortement le confort de l'être humain sur le plan subjectif. Généralement le confort ou l'inconfort dû au vent dépend de: l'activité de l'individu, le vêtement, des conditions météorologiques et de l'échelle physique (âge, sexe) et psychologique de l'individu (Figure 30). (Gandemer & Guyot, 1976)

La vitesse de l'air affecte les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau. À l'intérieur des bâtiments, ces vitesses sont encore limitées et ne dépassent pas 0,20m/s. Cependant, elle est responsable à l'apparition de l'inconfort de l'occupant, lié à l'existence de courants d'air froids ou chauds. (De Herde & Liébard, 2005)

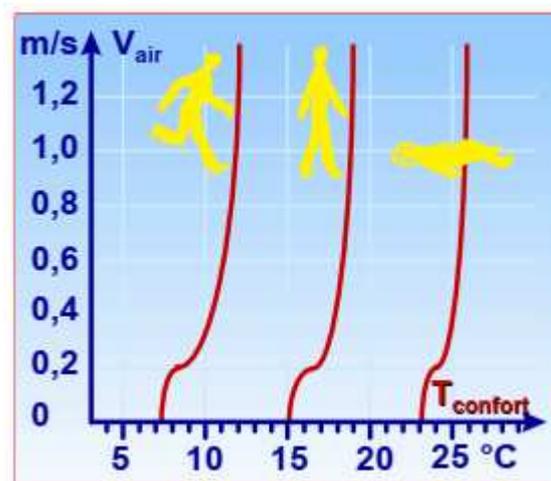


Figure 30 : Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen d'après O. Fanger

Source : (De Herde & Liébard, 2005)

III.3.2 Les paramètres liés à l'individu (paramètres personnels) :

III.3.2.1 Le métabolisme et l'activité :

Le corps humain produit principalement de la chaleur par métabolisme qui permet de maintenir une température entre 36.5°C et 37°C. La quantité de chaleur métabolique produite est soustraite de la consommation d'oxygène, est déterminée par la différence de concentration entre l'air inspiré et l'air expiré (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010). L'échange de la chaleur avec l'environnement (principalement 75 % de l'énergie) est dissipé par rayonnement et convection (Zingano, 2001) et perd de la chaleur par évaporation des fluides corporels (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010). Lorsque la chaleur corporelle ne peut pas être dissipée dans le milieu environnant, une condition qui se produit lorsque la température ambiante est supérieure à la température du corps, puis l'inconfort thermique commence.

La sensation de confort thermique est déterminée par la température de la peau (Zingano, 2001). Un certain nombre de paramètres ont un impact sur l'activité métabolique du corps humain, y compris: le sexe, l'âge, l'état de la santé, et d'autres paramètres liés à l'environnement en raison des changements climatiques (McIntyre, 1973).

Selon Fabbri (2015), il a distingué trois niveaux de métabolisme :

- le métabolisme de base correspond aux besoins énergétiques nécessaires pour assurer les fonctions vitales d'un individu dans des conditions de neutralité thermique. Le métabolisme basal permet à un être humain de survivre :

- Le métabolisme lié à la position du corps (couché, assis, debout) ; la chaleur minimale produite lorsque le corps est au repos.

- Le métabolisme de travail est lié au type d'activités effectuées (activité physique légère, moyenne, lourde, etc.)

Le niveau d'activité se mesure en "met", les valeurs caractéristiques de l'activité métabolique des individus sont fournies dans le tableau suivant (tableau 5):

Tableau 5: Taux de métabolisme moyen correspondant à diverses activités. (ISO 7730, 1993)

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

Pendant le repos et l'exercice, les processus de transfert de chaleur entraînent des températures moyennes des organes vitaux proches de 37,8°C. Le système de contrôle de la température du corps essaie de maintenir ces températures lorsque des perturbations thermiques se produisent. Selon Hensel, le système thermorégulateur humain est plus complexe et intègre plus de principes de contrôle que tout système de contrôle technique réel (Hensel, 1981). Il se comporte mathématiquement de manière hautement non linéaire et contient de multiples capteurs, de multiples boucles de rétroaction et de multiples sorties.

III.3.2.2 La tenue vestimentaire :

L'isolation thermique des vêtements est l'un des paramètres les plus importants utilisés dans le modèle de confort thermique adopté par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) EN ISO 7730, (Al-Ajmi, Loveday, Bedwell, & Havenith, 2008). Il est l'un des paramètres les plus difficiles à estimer dans les études sur le terrain. (Rupp, Kaznci, & Toffum, 2021). L'unité de la résistance thermique d'habillement est le « Clo », qui est équivalent à 0,155 °C.h.m²/kcal.

La tenue vestimentaire à l'intérieur des bâtiments domestiques est différente de ceux des ensembles extérieurs en termes d'apparence, d'épaisseur et de couleurs. (Al-ajmi & Loveday, 2010). Après la peau, les vêtements forment une deuxième barrière thermique. Les vêtements, qui jouent le rôle d'un isolant, représentent une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement (De Herde & Liébard, 2005). D'après Givoni (1978) : "... À des températures de l'air supérieures à 35°C, les effets des vêtements sont plus complexes. D'un côté, ils réduisent le gain de chaleur «sèche» en provenance de l'ambiance, mais d'un autre côté, ils augmentent l'humidité et réduisent la vitesse de l'air en contact avec la peau, ce qui se traduit par une diminution du refroidissement résultant de l'évaporation de la sueur"¹⁵. Néanmoins, par l'effet de réchauffement, l'évaporation se produit à travers les vêtements. (Figure 31)

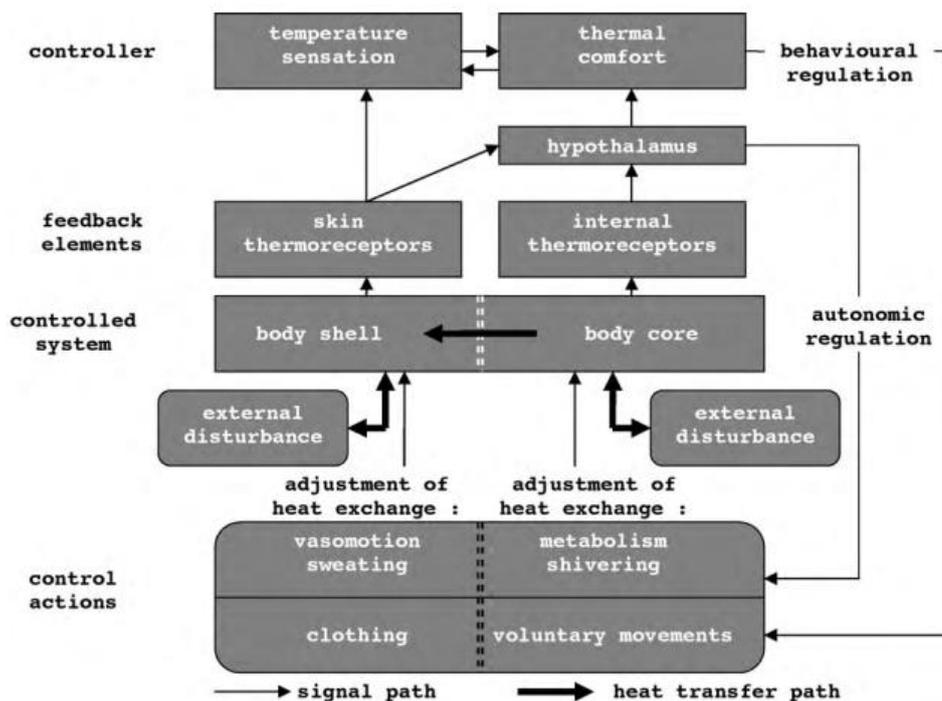


Figure 31: Schéma de régulation autonome et comportementale de la température humaine

Source : (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010)

¹⁵ GIVONI Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. Editions du Moniteur; Paris, 1978. p : 84

III.4 Les mécanismes du confort thermique : (les aspects du confort thermique)

Selon Höpfe (2002), le confort thermique comporte trois éléments différents : psychologique, thermo-physiologique, et le bilan thermique qui basé sur l'équilibre thermique du corps humain. L'objectif est d'évaluer le confort thermique à l'intérieur des espaces architecturaux en utilisant les paramètres étendus de ces différentes caractéristiques.

Lin et Deng (2008) attachent que le jugement du confort est un processus épistémé comprenant l'interaction entre nombreux facteurs influencés par : le physique, le physiologique et la psychologique. (Lin & Deng, 2008).

III.4.1 L'aspect physique :

Il représente les différents échanges de chaleur entre l'homme et son environnement qui se représente par la production de chaleur ou d'énergie qui se transfère du corps à l'environnement ou vice versa.

« L'homme produit et échange de la chaleur. Sa production de chaleur interne se répartit dans sa masse corporelle tandis que ces échanges thermiques externes se font à la surface cutanée »¹⁶

Dans le bâtiment, l'échange de chaleur s'effectue par les quatre mécanismes qui se produisent au niveau de l'enveloppe : la conduction, la convection, le rayonnement et l'évaporation ou la condensation (Figure 32). D'après ASHRAE (2009), le bilan thermique du corps s'écrit de la façon suivante (Owen & Kennedy, 2009) :

$$S = M - W_k - E_{sk} - E_r - C - R - C_k \text{ [w/m}^2\text{]}$$

Avec : M : chaleur métabolique,

W_k : travail externe,

E_{sk} : flux de chaleur latente échangé par évaporation à la surface de la peau,

E_r : flux de chaleur échangé par voie respiratoire,

C : flux de chaleur sensible échangé par convection à la surface de la peau,

R : flux de chaleur sensible échangé par rayonnement à la surface de la peau,

C_k : flux de chaleur sensible échangé par conduction à la surface de la peau

¹⁶ DuBois cité par Candas V. (2003), "L'homme dans son environnement climatique : facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques". In : "Habitat, confort et énergie". Actes de la 13^e Journée du CUEPE, 22 mai 2003, P : 5

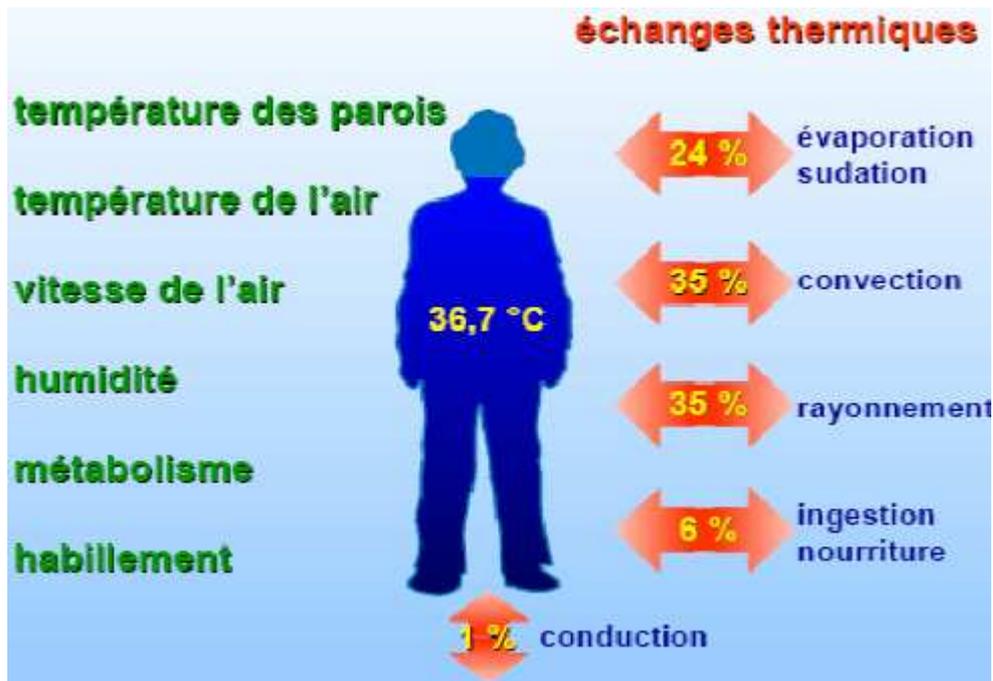


Figure 32: Les échanges thermiques entre l'ambiance et l'homme
Source : (De Herde & Liébard, 2005)

III.4.1.1 Convection

On parle de convection si les molécules se déplacent d'un endroit à un autre et échangent la chaleur qu'elle transporte. Les échanges par convection sont régis par l'équation :

$$C = hc \cdot F_{cl} (T_a - T_{sk})$$

- hc : coefficient de transfert de chaleur par convection (w.m.k)
- F_{cl} : facteur de réduction des échanges de chaleur par les vêtements (chaleur sèche)
- T_a : température de l'air (°C) mesurée.
- T_{sk} : température cutanée locale (°C).

La convection est un mécanisme de transmission de chaleur par circulation d'un fluide (air, eau, etc.) vers un milieu plus froid. Elle est provoquée par un changement de température ou de pression. C'est un phénomène qui se produit aux fluides ou aux interfaces solide-fluide. Deux types de convection existent :

- **Convection naturelle**

La tendance naturelle de l'air chaud à monter quand il devient moins dense et plus léger est connue comme convection naturelle. Cet effet est observé près de surfaces froides comme les fenêtres, où l'air a tendance à descendre alors que près des surfaces chaudes, il a tendance à monter.

- **Convection forcée**

La convection forcée s'applique aux mouvements d'air ou de fluide entraînés par un système mécanique. Les transferts de chaleur entre le fluide et la surface de la paroi dépendent de :

- Leurs températures respectives.
- La nature du fluide.
- L'inclinaison et la rugosité de la paroi.
- La vitesse de déplacement du fluide, le sens et le type d'écoulement.

III.4.1.2 Conduction

La conduction thermique est la méthode par laquelle l'énergie thermique traverse les matières. Les éléments qui composent les matières reçoivent et transmettent l'énergie aux éléments adjacents à travers le contact des molécules les plus chaudes avec les molécules les plus froides.

La conduction thermique est un mécanisme de transfert de chaleur par diffusion qui se produit principalement à travers un solide opaque ou entre deux matériaux qui sont en contact et dont les faces sont soumises à des températures différentes. L'élément le moins chaud absorbe l'excès de chaleur de l'autre, jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. (Bianchi, Fautrelle, & Etay, 2004).

III.4.1.3 Évaporation

Ce mécanisme entraîne l'absorption ou l'émission de chaleur et implique un changement d'état liquide ou gazeux. Une absorption ou une émission de chaleur résulte d'un changement de l'état liquide ou gazeux. Un changement dans l'atmosphère est impliqué par les phénomènes d'évaporation et de condensation qui ont lieu à l'intérieur d'un bâtiment parce qu'ils permettent la transmission de la chaleur. Ce phénomène accélère le refroidissement de l'air, il est observé dans les espaces fortement vitrés tels que les vérandas. (Bianchi, Fautrelle, & Etay, 2004).

III.4.1.4 Rayonnement

Le rayonnement thermique est le transfert de l'énergie thermique d'une surface à une autre par des ondes électromagnétiques contrairement à la conduction et la convection, qui impliquent le transfert d'énergie par la présence de matière. De tels rayons, qui peuvent même traverser le vide, sont émis par n'importe quel objet au-dessus du zéro absolu.

Tous les matériaux produisent de l'énergie rayonnante, mais l'intensité des émissions dépend de composition du matériau, du facteur d'absorption (a), du facteur de réflexion (r), et

de la température. Alors que la quantité du rayonnement qu'un corps absorbera est influencée par sa température, de la taille et la finition de sa surface, et de l'angle d'incidence des rayons sur la surface. Le corps noir est la surface qui absorbe tout le rayonnement incident.

III.4.2 L'aspect psychologique

À l'intérieur comme à l'extérieur, les facteurs psychologiques du confort thermique jouent un rôle important. Rohles affirme que, dans ses recherches *"température ou tempérament : un psychologue regarde le confort thermique"*, le simple fait d'ajouter des panneaux de bois, des tapis et des meubles confortables, sans changer les propriétés thermiques de la pièce, a rendu les occupants plus chauds que dans les tests sans eux (Rohles, 2007). Le simple fait d'informer les occupants que la température est plus élevée qu'elle ne l'est leur a déjà permis de se sentir plus à l'aise. Les gens préféreraient les températures chaudes aux conditions froides en hiver, mais le contraire était vrai en été. Cela est presque certainement dû au fait que l'air peut être chauffé à des températures extrêmement élevées en hiver ou refroidi à des températures extrêmement basses en été par un système de climatisation, qui est considéré comme un luxe.

Selon Hensel (1981), l'activité thermo-sensorielle qui se traduit par des jugements sensoriels est qualitative, dépend de l'expérience sensorielle et ne peut pas être seulement basée sur la physique et la physiologie (Parsons, 2003). L'aspect psychologique est la sensation et le comportement de l'individu dans son environnement thermique.

Les facteurs psychologiques, en termes d'appréciations, sont importants dans les évaluations subjectives du confort thermique intérieur et extérieur (Nikolopoulou & Steemers, 2003). L'attente de conditions thermiques spécifiques est certainement l'aspect majeur de l'évaluation subjective et de la satisfaction. Mais ce n'est pas seulement la psychologie qui distingue le confort thermique intérieur et extérieur, il existe également des différences thermo-physiologiques quantifiables, principalement dues au fait que les temps d'exposition aux climats intérieurs ou extérieurs, en général, sont différents.

III.4.3 L'aspect physiologique :

Une dépense d'énergie constante, ou le métabolisme, est nécessaire pour le maintien de la vie au niveau cellulaire, le fonctionnement de nombreux organes, et l'activité musculaire. Grâce à la conduction tissulaire et en particulier la convection sanguine, cette énergie, qui est principalement dégagée sous forme de chaleur, se propage de l'intérieur du corps à l'extérieur. La répartition énergétique et les coefficients locaux d'échange de chaleur font que, globalement, le noyau central est à une température de l'ordre de 37 °C, tandis que la surface périphérique

(peau) varie de 29 à 30°C aux pieds et de 34 à 35°C au niveau de la tête. En réaction aux perturbations internes et externes, ces températures peuvent varier tous les jours. (Handbook-Fundamentals & A. S. H. R. A. E, 1997).

Essentiellement, l'activité d'une personne détermine la température interne du corps. La chaleur produite par les déplacements et les activités musculaires est libérée dans la circulation sanguine, où elle est transportée dans tout le corps et modifie leur température interne. L'activité métabolique n'a aucun impact sur la température extérieure ; les changements dans les paramètres externes (température de l'air, température du rayonnement, vitesse de l'air, vêtements) sont les seuls facteurs qui la modifient.

Le corps humain est homéo-thermique, donc l'homme possède un système dynamique de thermorégulation qui lui permet de contrôler et réguler les échanges de chaleur interne et externe. Ce mécanisme à régulation passive maintient les températures du corps à des niveaux prédéterminés (Parsons, 2003). Il existe deux types de thermorégulation: la thermorégulation physiologique végétative (Figure 33) qui maintient la température interne du corps aux alentours de 37°C, et la thermorégulation comportementale, consciente ou inconsciente, qui permettent d'anticiper les changements environnementaux rapides pour prévenir les réactions physiologiques désagréables (Narcon, 2001).

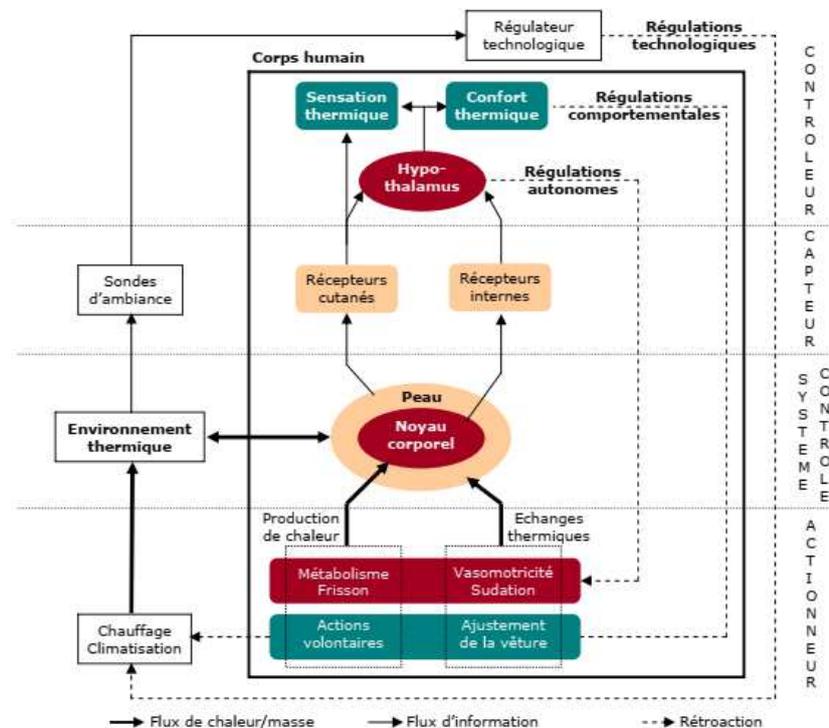


Figure 33: Principe de fonctionnement de la thermorégulation végétative, comportementale et technologique

Source : (Moujalled, 2007)

III.5 Les modifiants du confort thermique intérieur :

Selon Izard J.L (2006), la thermique du bâtiment est dépendue d'un certain nombre de paramètres. Le premier type des paramètres est représenté par les facteurs intrinsèques qui sont relatifs aux bâtiments « les facteurs architecturaux » tels que : la forme architecturale, l'orientation, protection solaire, isolation thermique, inertie thermique. Les autres paramètres sont extrinsèques comme la latitude, la nature d'occupation de l'espace, les apports solaires. Il s'agit généralement des facteurs climatiques. (Figure 34)

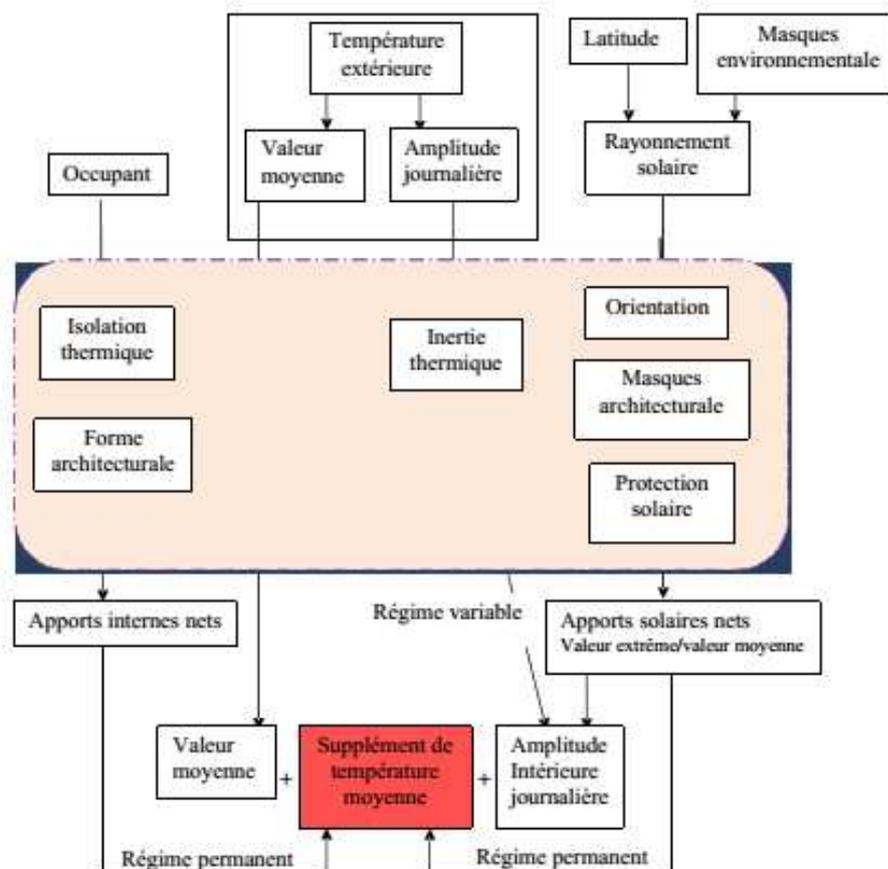


Figure 34: Les éléments influençant sur la température intérieure

Source :Source spécifiée non valide.

III.5.1 Les facteurs intrinsèques :

III.5.1.1 Les facteurs liés à la nature du bâtiment :

- La composition architecturale : les principaux paramètres de la forme architecturale sont :

La forme de l'enveloppe : La taille et la forme du bâtiment ont un rôle à jouer dans la détermination de la quantité de chauffage et de refroidissement nécessaire. La déperdition thermique par transmission des bâtiments mitoyens sera moins qu'entre les bâtiments isolés. De même des bâtiments compacts par rapport à des bâtiments étroits avec beaucoup de

décrochements. Un facteur déterminant par rapport à la surface exposée au volume protégé du bâtiment est la compacité géométrique. Plus la forme est assez compacte, plus le bâtiment assure un minimum d'échange thermique avec l'environnement à cause de la présence d'un minimum de surfaces ayant relation avec l'extérieur, par conséquent, ont de faible coefficient de forme (Cf) (Figure 35) (Izard & Millet, 1993)

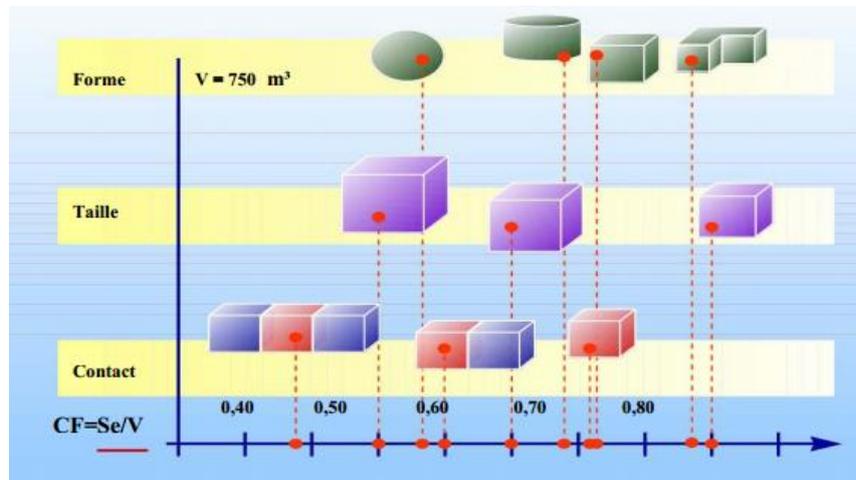


Figure 35 : Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité.

Source : (De Herde & Liébard, 2005)

Hauteur du bâtiment : La hauteur du bâtiment a un impact sur la qualité des ambiances à l'intérieur du bâtiment, car ce paramètre agit sur la quantité des radiations transmettre aux occupants. D'autre part, lorsque la hauteur sous plafond est considérable, elle offre de meilleures possibilités de dégagement l'air chaud et de garder l'air frais plus longtemps (Mansouri & Sahnoune, 2008). Selon Roger Camous : « *En règle générale, pour un même volume habitable, un bâtiment situé dans le sud devrait être plus haut qu'un bâtiment situé dans les latitudes nordiques, si l'on tient au contrôle du soleil* »¹⁷.

- L'orientation : l'enveloppe du bâtiment reçoit des rayons solaires de manière plus ou moins en fonction de leur orientation et de leur capacité d'absorption (Berghout, Forgues, & Monfet, 2014). « *L'impact de l'orientation est perceptible dans la création du confort intérieur, et suivant le degré d'exposition de la façade au rayonnement solaire direct qui influe directement sur l'élévation de la température intérieure.* » (Louafi & Abdou, 2010).

- Les ouvertures : (les apports solaires) une réduction de transmission d'énergie et l'absorption d'énergie par les ouvertures, en particulier les parois vitrées, est également nécessaire pour améliorer le confort thermique (Bouchahm & Bourebia, 2010). Les cinq principaux facteurs

¹⁷ Camous Roger, Watson Donald, L'habitat Bioclimatique : de la conception à la construction, édition l'Étincelle, Montréal, Canada, 1979. p : 134

définissant l'impact des ouvertures sur le confort thermique sont : i) la forme, ii) la surface, iii) la position et la distribution, iv) l'orientation et v) le type de vitrage.

III.5.1.2 Les caractéristiques thermiques des matériaux (et la couleur)

Les éléments de la construction sont directement impliqués dans le processus d'échange thermique entre l'environnement intérieur et extérieur. Plusieurs paramètres thermiques qui influent sur le niveau de confort intérieur dictent la quantité de chaleur qui traverse un mur, notamment :

Inertie thermique : est une propriété qui décrit le temps qu'une onde thermique met à retarder et à amortir avant d'atteindre l'intérieur (Catalina, Virgone, Roux, & Blanco, 2008). Une bonne inertie thermique est celle qui produit une ambiance thermique intérieure stable, et qui n'est pas affectée par les changements de temps à l'extérieur. (Medjelekh & Abdou, 2010). Plus les murs sont épais et les matériaux lourds (béton, pierre, brique pleine, terre crue, etc.), plus l'inertie est grande, de ce fait, le bâtiment se réchauffe et se refroidit lentement.

La conductivité thermique (λ) : ($W/m^{\circ}C$) est la propriété du matériau qui contrôle le flux de chaleur qui traverse une unité d'épaisseur d'une unité de surface de matériau soumis à un gradient de température égal à l'unité (Izard, 2006).

La résistance thermique : est une résistance élevée lorsque le matériau est un bon isolant thermique. C'est l'inverse de la conductivité thermique $1/\lambda$.

Isolation thermique : joue un rôle crucial dans la maîtrise énergétique du bâtiment. Les pertes de chaleur à travers les murs extérieurs et les toits sont responsables de plus de 70% des pertes de chaleur dans les constructions existantes. Elle conduit à un meilleur confort et une protection améliorée du bâtiment. Les considérations relatives à l'amélioration de l'isolation thermique comprennent: i) l'épaisseur de l'isolant et sa position dans le mur ii) les matériaux de construction utilisés.

Pont thermique : est un défaut de l'enveloppe isolante qui résulte de limitations géométriques ou constructives, responsable de provoquer plusieurs problèmes, y compris l'inconfort (parois froides), perte de chaleur supplémentaire, risque de condensation et de moisissures. Les ponts thermiques peuvent entraîner des pertes de chaleur proportionnellement assez importantes par rapport aux pertes totales en cas de structure bien isolée.

Suivant les conditions climatiques extérieures, la modification des conditions intérieures est influencée par le choix du matériau qui dépend des trois principales propriétés thermiques :

Les couleurs des parois : ont différents coefficients d'absorption du rayonnement solaire. Elles peuvent donc contribuer à la protection solaire. Selon Givoni : Ce paramètre varie en

fonction du facteur d'absorption de la surface externe (couleur) ; les surfaces blanches n'absorbent qu'environ 15 % du rayonnement incident ; les couleurs claires ordinaires, telles que le blanc crème où le gris clair absorbe de 40 à 50 %, les couleurs sombres moyennes (gris foncé, vert, rouge, etc.) absorbent 60 à 70 % et les surfaces noires absorbent 80 à 90%.

Conduction thermique : La conduction thermique est une propriété du matériau qui détermine le flux de chaleur qui traverse une unité de surface du matériau soumis à un gradient de température égale à l'unité par unité de temps et (K en $w/m^{\circ}C$). L'inverse de la conductivité est la résistance thermique.

La capacité thermique : La capacité d'un matériau à retenir la chaleur par rapport à son volume est appelée chaleur volumique. Elle est déterminée par la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter de $1^{\circ}C$ la température d'un mètre cube de matériau. Il s'agit donc d'une grandeur intensive égale à la capacité thermique rapportée au volume du corps étudié.

III.5.2 Les facteurs extrinsèques

III.5.2.1 L'emplacement du bâtiment

Les éléments géographiques locaux, tels que la latitude, l'altitude, l'existence de plans d'eau, la disposition et les caractéristiques de la topographie, la végétation, et aussi l'urbanisation, ont un impact sur le climat local, qui à son tour affecte le bâtiment (Franck, 2017).

- La latitude : les climatologues ont divisé la planète en deux parties symétriques à travers la ligne de l'Équateur. Chaque de ces deux pôles, est divisée en cinq sous parties en fonction de la température. Chaque latitude représente des températures qui sont essentiellement semblables pour toutes les régions qui en font partie.

- L'altitude : le terme altitude désigne la hauteur d'un lieu par rapport au niveau de la mer, il est évident que plus on monte, plus la température et la pression atmosphérique baissent et affectent immédiatement les précipitations.

- Les étendues d'eau : Comme l'eau absorbe et dégage de la chaleur beaucoup plus lentement que le sol et la roche, la distance par rapport aux plans d'eau plus ou moins grands a un impact important sur le climat. Les amplitudes thermiques entre hiver et été sur les côtes et les zones proches de la mer et des lacs sont moins intenses qu'à l'intérieur des terres, les hivers y sont donc plus doux et les étés plus frais. L'humidité de l'air augmente à cause de la présence de mer et de lacs.

- La végétation : autre facteur important, elle contribue de manière significative à l'humidification du climat en l'absorbant la chaleur et en produisant la vapeur par le phénomène d'évapotranspiration, ce qui rafraîchit l'environnement et diminue les températures journalières en générale et la température nocturne en particulier.

III.5.2.2 La nature du sol

La présence de la nappe phréatique provoque forcément une augmentation de l'humidité à l'intérieur du bâtiment à travers les murs en raison de l'action capillaire. En outre, en fonction de la succion, la conductivité thermique du sol change en fonction de sa teneur en eau. De plus, ce phénomène a également un impact significatif sur les déperditions. (Franck, 2017)

D'autre part, la quantité d'eau dans le sol détermine sa capacité thermique, et plus la capacité thermique est élevée, moins l'amplitude des variations de température changerait pour un même niveau de conductivité thermique (Beaulieu, 2015).

III.5.2.3 Les données climatiques

Le confort thermique est principalement influencé par les facteurs climatiques (De Herde & Liébard, 2005). Loin de là, les paramètres climatiques constituent la principale base pour estimer les besoins de refroidissement en été et de chauffage en hiver. Par conséquent, il est essentiel non seulement de prendre conscience, mais aussi de savoir comment adapter les constructions aux conditions climatiques locales afin de fournir le confort thermique nécessaire avec une consommation d'énergie réduite. (Mokhtari, Brahimi, & Benziada, 2008).

III.6 Les approches du confort thermique

Depuis des années, l'évaluation du confort thermique, dans le domaine du bâtiment, s'effectue à travers deux approches différentes. La première approche consiste à évaluer et déterminer l'aspect physique et physiologique du confort thermique, mieux caractérisée par les travaux de Fanger (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010). La deuxième approche, qui a été établie en réponse à l'insuffisance de l'approche analytique et à l'incapacité de saisir avec précision la réalité du confort thermique, traite le confort thermique à travers les réactions comportementales et adaptatives de l'occupant dans son environnement habituel. (Moujalled, 2007).

III.6.1 Approche analytique « approche du bilan thermique »

L'approche analytique traite le confort thermique à travers le calcul du bilan thermique du corps humain à l'aide de modèles physiques et physiologiques (Cantin, Moujalled, Guarracino, & Audin, 2005). Dans les années soixante-dix, de nombreux modèles analytiques

ont été développés, parmi eux le modèle de Fanger. Ces modèles ont été fondés sur le principe de prévoir les réponses thermiques du corps humain en face aux diverses conditions environnementales.

Cette approche est basée sur des mesures des grandeurs physiques telle que la température de l'air, température de rayonnement, humidité relative et vitesse de l'air, ainsi que les caractéristiques de l'individu (taille et poids, métabolisme et les caractéristiques des vêtements) (Cantin, Moujalled, Guarracino, & Audin, 2005).

En effet, les différents modèles analytiques développés se différencient au niveau de la modélisation physiologique de la thermorégulation (Cantin, Moujalled, Guarracino, & Audin, 2005).

Dans les bâtiments, le modèle du confort thermique le plus utilisé est le modèle de Fanger de la norme internationale ISO 7730 (Attia & Carlucci, 2015). Il est basé sur le calcul du bilan thermique du corps humain par un indice « PMV » (ISO 7730, 1994). Fanger propose une échelle de notation de perception du confort de sept points de la sensation thermique ASHRAE allant de froid (-3) au chaud (+3) avec neutre (0) au milieu (Han, et al., 2007).

À ce sujet, le PMV de Fanger est devenu comme un indice empirique développé physiologiquement sur un modèle d'équilibre des échanges thermiques entre le corps humain et l'environnement. Par la suite, le PMV a été incorporé dans l'indice de « Pourcentage Prévu des Insatisfaits » (PPD) (Figure 36). Ce dernier prévoit le pourcentage des personnes qui seront insatisfaites de leurs environnements afin de déterminer l'acceptabilité de l'ambiance thermique. Ils ont été largement utilisés comme indices du confort thermique dans plusieurs recherches, tel que : (Butera, 1998) (Jang, Koh, & Moon, 2007) (Tian & Love, 2008) et (Zeiler & Boxem, 2009).

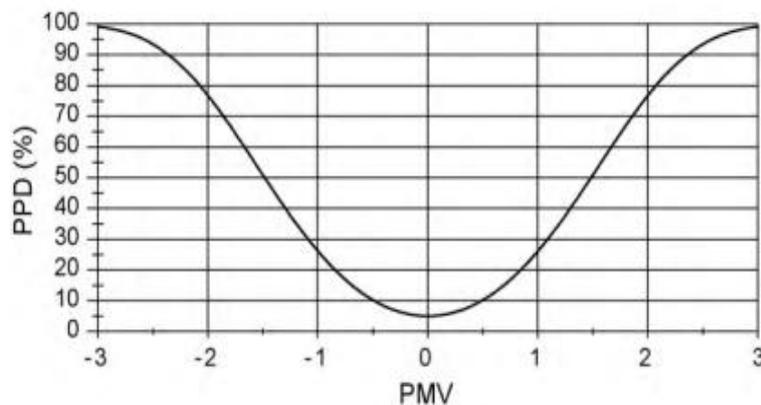


Figure 36: Diagramme PMV/PPD
Source : (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010)

Par ailleurs, un autre modèle analytique « Modèle de Gagge » a été développé pour simplifier le principe de la thermorégulation, et qui est basé sur le centre du corps et la peau en les considérant comme deux nœuds principaux (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010). Ce modèle a défini deux indices supplémentaires au cours de son développement, l'indice le ET^* (new effective température) pour introduire les facteurs d'activité et de vêtements du sujet; l'indice « SET » (température effective standard) pour standardiser les calculs (Tableau 6) (Moujalled, 2007).

Tableau 6: La relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique.
Source : (Parsons, 2003)

<i>SET (°C)</i>	<i>Sensation</i>	<i>L'état physiologique d'une personne sédentaire</i>
>37.5	Extrêmement chaud, très inconfortable	Echec de la régulation
34.5-37.5	Très chaud, très inacceptable	Sudation profuse
30.0-34.5	Chaud, inconfortable, inacceptable	Sudation
25.6-30.0	Légèrement chaud, légèrement inacceptable	Sudation légère, vasodilatation
22.2-25.6	Confortable et acceptable	Neutralité
17.5-22.2	Légèrement froid, légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14.5-17.5	Froid et inacceptable	Refroidissement ralenti du corps
10.0-14.5	Très froid, très inacceptable	Frissons

Dans d'autres études, les participants ont contrôlé leur propre environnement thermique en modifiant la température jusqu'à ce qu'ils atteignent un état de « neutralité thermique » (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010).

En outre, la norme américaine ASHRAE a établi deux autres indices, TSENS (sensation thermique) qui détermine la sensation thermique sur l'échelle de l'ASHRAE et DISC (l'inconfort thermique) qui mesure le degré d'inconfort thermique sur une échelle à 6 points (Handbook-Fundamentals & A. S. H. R. A. E, 1997).

Par conséquent, l'approche analytique ne permettait pas de transmettre les sensations et les perceptions thermiques des individus, elle n'était plus suffisante pour nous rapprocher de la réalité du confort thermique. En raison des limites dans la technique analytique et la découverte de soi-disant « adaptation psychologique », les chercheurs ont développé l'approche adaptative

III.6.2 Approche adaptative

L'approche adaptative a adhéré à une logique non-abstractive, elle est basée sur les résultats de l'étude in situ du confort thermique (Humphreys, 1994) (Yao, Li, & Liu, 2009). Elle combine la méthode quantitative qui s'appuie sur les mesures physiques et la méthode qualitative qui est basée sur les évaluations subjectives des occupants sur la qualité de leurs

ambiances thermiques. Ce protocole expérimental s'effectue en deux parties qui se déroulent simultanément et indiquent, au moment des mesures, leurs sensations thermiques sur une échelle d'évaluation normative de ASHRAE ou ISO 7730, qui définissent les conditions de confort thermique dans les ambiances modérées, et sont basées sur les indices (PMV et PPD) (Moujalled, 2007).

Dans le cadre de l'enquête sur le terrain, les chercheurs recueillent des données sur l'environnement thermique et la réponse thermique simultanée de sujets qui vont dans leur vie quotidienne. La réponse thermique des sujets est généralement mesurée en leur demandant un « vote de confort » sur une échelle descriptive telle que l'échelle ASHRAE ou Bedford. Selon Cena et de Dear (2001), les études sur le terrain permettent également d'évaluer d'autres facteurs que ceux qui peuvent être simulés dans les chambres, car les sujets fournissent des réponses dans leur environnement quotidien, en portant leurs vêtements de tous les jours et en agissant d'une manière qui est sans restriction. (Cena & De Dear, 2001).

Cette approche tient compte du confort thermique en examinant les réactions comportementales qui caractérisent la capacité d'adaptation environnementale de l'occupant. Basée sur les données météorologiques extérieures, l'approche adaptative définit les conditions de confort en utilisant les résultats des études expérimentales in situ (Figure 37) (Pfafferott, Herkel, Kalz, & Zeuschner, 2007).

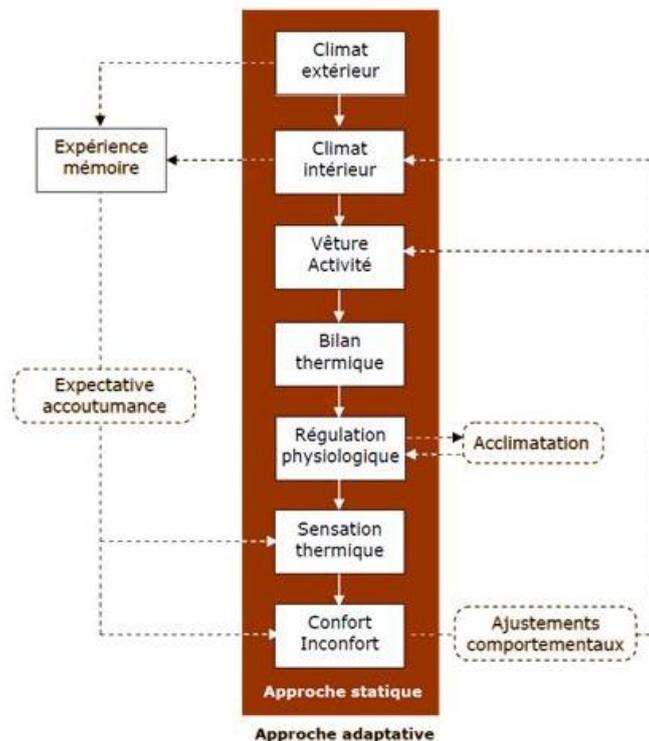


Figure 37: Le mécanisme adaptatif, (De Dear, 2003)
Source : (Moujalled, 2007)

Finalement, L'inclusion de cette approche dans les normes actuelles, qui ne sont actuellement fondées que sur la méthodologie de l'approche analytique, suscite actuellement beaucoup d'attention. Cependant quelques réserves sont émises quant à la possibilité de l'extrapoler à toutes sortes de conditions, puisque les méthodes utilisées reposent sur des évaluations statistiques des mesures prises dans un nombre limité de bâtiments. En citant quelques études dans la littérature comme l'étude de Nicol et al, 2002, Emmeriah et al 2011, l'étude de Buratti et al (2009), l'étude de Nicol, F (2004) et celle d'Olesen et Parsons (2002). Malgré le conflit apparent entre les deux approches, elles ne sont pas contradictoires dans le principe, mais elles sont complémentaires.

III.7 Les indices du confort thermique :

« Un indice de confort thermique est une valeur unique qui intègre les effets des paramètres fondamentaux de l'homme dans n'importe quel environnement thermique de telle sorte que sa valeur varie en fonction du stress thermique rencontré par les individus » (Kitous, 2012)

La société ASHRAE définit le confort thermique comme « une condition de bien-être psychophysique de l'individu par rapport à l'environnement dans lequel il vit et travaille ». L'évaluation de cet état subjectif peut être objectivée et quantifiée en choisissant des valeurs dites « les indices thermiques intégrés » qui prennent en considération les paramètres microclimatiques ambiants (T_a , T_{mrt} , V_a , H_r), la dépense énergétique (dépense métabolique MET) relative à l'activité professionnelle, ainsi que le taux d'habillement (CLO).

L'intérêt aux conditions du confort thermique a connu une évolution importante avec de nombreuses études qui ont mené à la découverte de plusieurs indices dont l'objectif, au début, était de mettre les variables environnementales au centre de leurs priorités, en utilisant une approche physique. Des indices sont apparus plus tard en faisant appel aux effets du taux métabolique et de l'habillement mettant une approche physiologique à suivre.

Ces approches donnent une classification des indices thermiques, selon lesquels on peut distinguer deux catégories :

III.7.1 Des indices « empiriques » : (Auliciems & Szokolay, 1997)

Ils sont dérivés à l'aide d'un processus expérimental basé sur le calcul de la sensation thermique en mesurant les variables microclimatiques : température de l'air, rayonnement solaire, humidité et vitesse de l'air. Ces indices sont connus par la précision de la prédiction du confort thermique, mais ont l'inconvénient d'être limités à l'environnement et au climat à

l'étude. Parmi ces indices, nous citons la température effective (ET), la température résultante (TR) et la température de bulle humide (TBH).

$$S = M - W + R + C + E + K + C + E$$

Avec : S : Balance énergétique instantanée et globale,

M : métabolisme basal,

W : travail externe,

R : perte par rayonnement,

C : échange par convection,

E : échange par évaporation,

K : échange par conduction,

C_{res} : échange par convection respiratoire,

E_{res} : échange par respiration, latente et sèche

- La température effective, un indice arbitraire qui intègre l'effet de la température, l'humidité et le mouvement de l'air avec la sensation de chaleur ou froid ressentie par l'être humain en une seule valeur. Cette température effective va s'obtenir en combinant et en modifiant la quantité d'humidité de l'espace, la température du bulbe sec, ou la vitesse de l'air en fonction des possibilités d'agir.
- Indices de refroidissement, tient compte le mouvement d'air dans l'évaluation de la sensation de chaleur.
- Degré de satisfaction en fonction de recensement, qui permet de qualifier la sensation créée par un site en fonction de plusieurs variables.

III.7.2 Des indices rationnels (physiologiques) :

Ces indices sont basés sur l'équation du bilan énergétique du corps humain. Sur la base des données climatiques disponibles, l'utilisation de ces modèles du bilan énergétique permet de calculer la perception thermique moyenne d'un groupe de personnes exerçant certaines activités dans des endroits spécifiques.

De plus, nous pouvons classer les indices du confort thermique en fonction de leurs niveaux de précision et leurs objectifs comme suivants :

- A. Directs : des indicateurs partiels du confort et qui sont : la température, l'humidité, la vitesse de l'air.
- B. Dérivés des directs : constituent les plus intéressants pour la sensation thermique :

La température moyenne radiante : Récemment, plusieurs études portant sur le confort thermique, en particulier la température radiante, ont été réalisées par des chercheurs. La

température radiante moyenne est un facteur important, en particulier dans les bâtiments dont les enveloppes ont été exposées à un fort rayonnement solaire, que le contrôle conventionnel de la température intérieure et de l'humidité ne peut garantir le confort intérieur. (Atmaca, Kaynakli, & Yigit, 2007).

La température moyenne radiante peut être calculée à partir des valeurs mesurées de la température des parois et des surfaces environnantes et de leur position par rapport à la personne. Comme la plupart des matériaux de construction ont une forte émissivité, toutes les surfaces de la pièce peuvent être considérées comme noires. Si des différences de température relativement faibles existent entre les surfaces de l'enceinte, on peut utiliser l'équation suivante : (Atmaca, Kaynakli, & Yigit, 2007).

$$T_r = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_N F_{p-N}$$

Pour calculer cet indice, on utilise température globe noir (T_g) mesuré avec un thermomètre de globe noir, de la température sèche (T_s) et la vitesse de l'air (v_a).

$$T_{mr} = T_g + 0.24 (T_g - T_s) v^{1/2}$$

$$T_{mr} = [(T_g + 273)^4 + 2.5 * 10^8 * v^{0.6} * (T_g - T_a)]^{1/4} - 273$$

Où : - T_g est la température globale (°C)

- T_a est la température de l'air (°C)

- V est la vitesse de l'air (m/s)

- La température équivalente, c'est la température à laquelle un processus adiabatique aurait complètement éliminé toute la vapeur d'eau d'un volume donné d'air.

- La température opérative (la température de confort ressentis, la température résultante sèche). Elle est déterminée en faisant la moyenne entre la température de l'air et la température moyenne radiante (Fabbri, 2015).

$$T^{\circ} \text{opérative} = (T^{\circ} \text{air} + T^{\circ} \text{parois}) / 2$$

D'autre part, cet indice peut être exprimé par l'équation suivante :

$$T_{op} = (h_r \times T_{mr} + h_c \times T_a) / (h_r + h_c)$$

Sachant que :

- T_a : c'est la température de l'air (°C) ;

- T_{mr} : c'est la température radiante moyenne (°C) ;

- h_r : c'est le coefficient de rayonnement ;

- h_c : c'est le coefficient de convection.

La température opérative optimale qu'un grand nombre d'occupants sont les plus susceptibles d'accepter en tant que température interne est connue comme la température de fonctionnement. (Alexandre, Freire, Teixeira, Silva, & Rouboa, 2011).

III.9 Conclusion :

Le confort thermique est une notion complexe, dans ce premier chapitre, nous pouvons conclure que l'interaction d'un certain nombre d'aspects physiques, physiologiques et psychologiques détermine le confort thermique de l'utilisateur avec son environnement. La performance thermique du bâtiment est influencée par deux facteurs : intrinsèques et extrinsèques, les premiers sont relatifs au bâtiment lui-même, comme la géométrie de l'enveloppe, l'orientation, le zonage thermique, l'inertie thermique. Les éléments extrinsèques comprennent : les apports internes, l'occupation et aussi le comportement de l'habitant dans son abri.

Par conséquent, nous avons découvert que les deux méthodes principales les plus fréquemment utilisées par les chercheurs dans ce domaine pour évaluer le confort thermique dans les environnements bâtis sont : l'approche analytique qui considère les interactions avec l'environnement comme des échanges de chaleur et qui a décrit l'homme comme une machine thermique. La seconde approche ; l'approche adaptative ; suppose que l'utilisateur participe activement au maintien de leur confort thermique en fonction de ses besoins et de sa perception du climat.

Au final, nous avons découvert que pour évaluer avec précision le degré de confort thermique des occupants, les chercheurs ont élaboré un certain nombre d'indices fondés sur des études approfondies sur terrain.

Partie 2: **Partie pratique et analytique**

Chapitre IV : **Contexte d'étude et approche
méthodologique**

«Les principaux éléments climatiques à considérer, lors de la conception d'un bâtiment, sont le rayonnement solaire, le rayonnement de grande longueur d'onde du ciel, la température d'air, l'humidité, le vent et les précipitations (pluie, neige, etc.)» (Givoni, 1978)

IV.1 Introduction :

Un contexte spatial bien défini est nécessaire à l'étude des ambiances architecturales. Pour ce faire, une étude de cas doit être soigneusement choisie et spécifiée pour cette recherche. De ce point de vue, il est possible de comprendre comment le climat de la zone étudiée, ainsi que ses caractéristiques et changements météorologiques, affecte le confort des personnes à l'intérieur de bâtiment.

Compte tenu de l'importance et de la sensibilité de Biskra à l'environnement thermique, le choix de Biskra comme étude de cas nous a permis d'aborder la question du confort thermique intérieur des maisons.

Ce chapitre consiste à :

- Étudier les caractéristiques climatiques de la ville de Biskra, par la collecte de ses données météorologiques en vue de déterminer la zone climatique à laquelle appartient cette ville déterminer la période de la prise des mesures.
- Positionnement épistémologique sur l'approche méthodologique adoptée pour cette recherche.

IV.2 Présentation de Biskra :

Le long des siècles, la ville de Biskra a été un lieu de croisement de plusieurs civilisations qui marquaient son urbanisme et ses modes d'habiter. La connaissance de l'histoire de la ville est indispensable pour comprendre les étapes de son évolution. Elle était la capitale des Ziban (elle est surnommée la reine des Ziban) et de l'Aurès, Vescera ou Ad Piscinam, elle fut à la fois une ville romaine et numide dans l'Antiquité. (Balhi, 2011)

La ville de Biskra est une commune algérienne, chef de lieu de la wilaya de Biskra, elle est située au nord du Sahara, au pied du massif de l'Aurès et des monts du Zab.

La ville de Biskra est située à 433 Km au sud-est d'Alger (Figure 42, 43). Biskra est une commune algérienne, chef-lieu de la wilaya de Biskra, d'une superficie de 127,70 km², et compte 244.773 habitants (estimation 2015). Géographiquement, la ville de Biskra située au pied sud de la chaîne montagneuse de l'Atlas saharien, sur les lignes 34,48° de latitude nord, à une longitude de 5,73° est et à 87 m d'altitude.

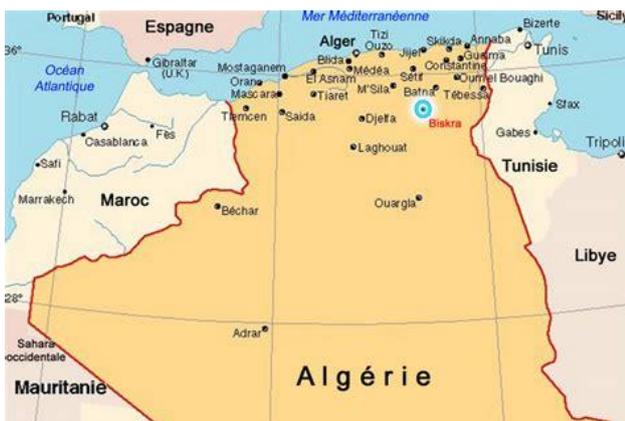


Figure 42 : Situation de la wilaya de Biskra, Algérie.

Source :

<http://www.mondecarte.com/amp/carte/biskra-carte>



Figure 43 : Situation de la ville de Biskra.

Source :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Biskra#/media/Fichier:DZ-07_Biskra.svg

IV.2.1 Caractéristiques climatiques de ville de Biskra :

Par la position de Biskra au pied des derniers contreforts des Aurès qui la protègent des vents du nord et laissent libre accès aux vents du sud et qui s'ouvre vers l'immensité saharienne, Biskra se caractérise par un climat rigoureux (climat saharien), selon la classification de Köppen-Geiger; par un climat chaud et sec en été et froid et semi- aride en hiver. En effet la ville est située au milieu d'une vaste serre. La température annuelle moyenne est de 21,8 °C et il y a généralement 141 millimètres de précipitations.

Pour les périodes chaudes, qui durent plus de 14 heures par jour, Biskra bénéficie de 2000 à 2500 heures d'ensoleillement par an. Et cela prend environ 10 heures pendant l'hiver. Elle se

distingue par un ciel lumineux et ensoleillé presque perpétuellement, avec un rayonnement global compris entre 240 et 90 kWh/m². L'environnement de Biskra dispose d'un potentiel solaire défavorable à l'obtention d'un confort thermique tout au long de l'année. Pour l'incorporation de processus architecturaux passifs dans les structures, c'est encourageant.

En conséquence, nous utilisons des données climatiques moyennes et sévères pour décrire le climat de la ville ; selon les recherches d'Estienne (1974). Dans cette optique, il est utile de s'appuyer sur les données météorologiques mensuelles collectées à la station météorologique de cette dernière entre les années 2006 et 2015 afin de caractériser plus précisément les caractéristiques du climat de Biskra (tableau 9).

Tableau 8: Données météorologiques mensuelles de Biskra (2006-2015) en (°C), relevées de la station météorologique de Biskra

10 ans	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
T_{max} extrême	26.0	38.5	35.7	42.0	45.3	47.0	49.4	47.4	45.6	45.6	33.0	30.6
T_{moy}	12.5	13.5	17.1	21.7	26.3	31.1	34.6	34.1	29.2	24.0	17.5	13.3
T_{min} extrême	-1.5	-0.5	-9.5	1.2	10.0	13,6	17,6	7.9	13.0	10.0	1.3	-1.0

IV.2.2 La température de l'air :

À une latitude de 34° 48' Nord et une longitude de 5° 44' est, BISKRA est située au sud-est de l'Algérie. Les températures maximales tout au long de l'année varient de 26,5 °C à 44 °C, et le seul but d'une partie importante de la consommation d'énergie est la climatisation. Cependant, bien qu'elles soient minimales, les demandes de chauffage en hiver sont bien réelles. (Berghout, Forgues, & Monfet, 2014).

Selon le graphe ci-dessous de la période 2005/2015, nous pouvons classer distinctement l'année en deux grandes périodes. Mai à octobre est une période de six mois extrêmement chaude et sèche, tandis que novembre à avril est une période de six mois fraîche et légèrement humide (Berghout, Forgues et Monfet, 2014). La ville de Biskra connaît une température annuelle moyenne de 22,9 °C. Elle se distingue également par un été très dur, au cours duquel la température la plus élevée peut atteindre 41,3 °C en juillet, moment où se produit la phase de surchauffe. (Figure 44).

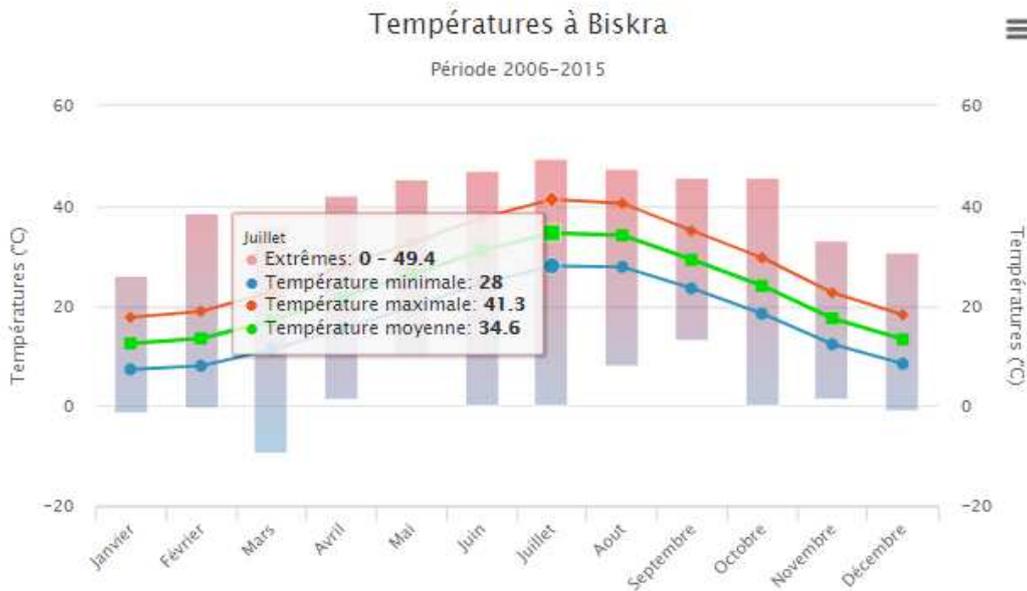


Figure 44 : Données météorologiques de température mensuelle de Biskra pendant la période 2005/2015.

Source : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/2005-2015/biskra/valeurs/60525.html>

En outre, ce tableau montre pareillement les degrés de la température minimale et maximale qui arrivent à -1.5°C à -1°C durant la période hivernale pendant le mois de janvier et le mois de décembre.

IV.2.3 Précipitation et humidité :

La ville de Biskra est connue pour avoir un climat sec même pendant la saison hivernale, quand il fait froid et sec. Ceci est démontré par le fait que le pourcentage mensuel moyen d'humidité relative et de précipitations ne dépasse pas 60% pendant les périodes humides.

Le trimestre octobre/novembre/décembre est le plus humide en termes de précipitations. Le cumul des précipitations est impressionnant ce trimestre et peut atteindre jusqu'à 160,4 millimètres par an en octobre.

La ville a relativement peu de précipitations en moyenne annuelle ; sa valeur la plus élevée de 20 mm se produit au mois de mars. Le nombre moyen de jours de précipitations tout au long de l'hiver est de deux (2) à trois (3) jours, avec une quantité moyenne de 12 mm. Si les précipitations estivales sont quasi inexistantes en moyenne, elles atteignent parfois 3 mm (Figure 45).

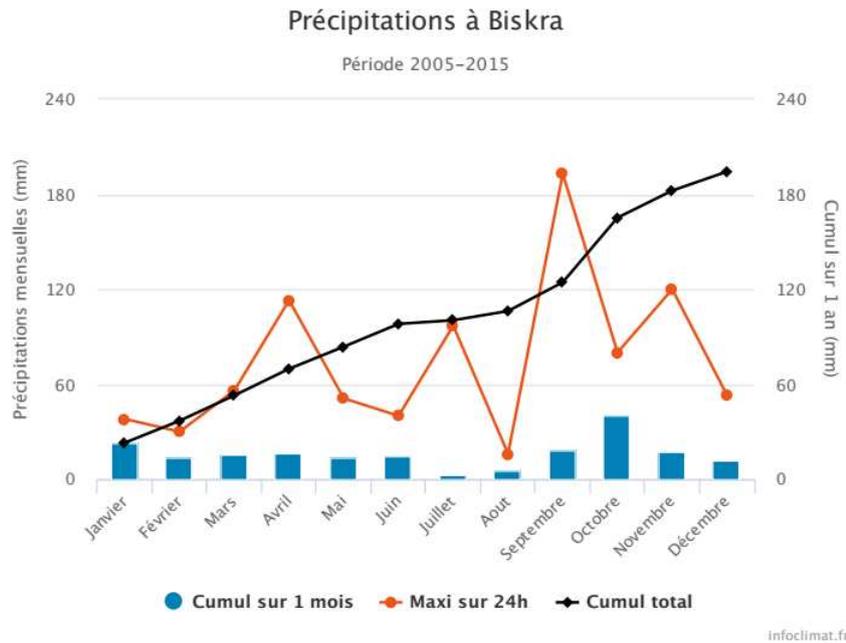


Figure 45 : Précipitation annuelle de la ville de Biskra

Source : (<https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/2005-2015/biskra/valeurs/60525.html>)

IV.2.4 Vents :

Les vents du nord et du nord-ouest dominent à Biskra, avec des vitesses moyennes allant de 2,3 m/s à 2,9 m/s, une moyenne annuelle de 2,4 m/s et une fréquence moyenne de 45 %. Pendant l'hiver, ces vents sont froids et humides. Au moins une fois par an, surtout en été, des tempêtes de sable du sud-est (sirocco) chargées de poussière soufflent. (Berghout, Forgues, & Monfét, 2014)

IV.2.5 Ensoleillement et potentiel solaire :

Le terme "ensoleillement" fait référence à un indicateur climatique qui compte le nombre d'heures pendant lesquelles le soleil éclaire une surface ou un lieu pendant une période de temps spécifique. Cette définition désigne la nébulosité (ciel propre ou ciel couvert de nuages). Par conséquent, il ne faut pas le confondre avec le dépôt, qui représente la quantité d'énergie du rayonnement solaire reçue sur une certaine surface et pendant une durée spécifique.

Par exemple, juillet, le mois le plus chaud, peut avoir jusqu'à 107,4 heures lumineuses par an, ce qui indique que Biskra a un dépôt solaire important. De plus, le graphique d'ensoleillement moyen annuel de la Terre montre que cette ville reçoit entre 1825 et 2190 kWh/m² de potentiel chaque année, soit entre 5 et 6 kWh/m²/jour. (Daich, 2011).

IV.3 Approche méthodologique

Pour essayer de répondre à la problématique de ce travail de recherche et de vérifier l'hypothèse, nous avons utilisé une méthode expérimentale basée sur :

- i) Une expérimentation qualitative subjective de l'occupant, réalisé à l'aide d'un questionnaire comme outil de recherche.
- ii) Une expérimentation quantitative objective effectuée par des mesures in situ pour l'évaluation du confort thermique intérieur.

Tout d'abord, nous avons utilisé une méthode d'expérimentation subjective des occupants et pris en considération la sensation de l'individu dans notre étude, pour évaluer le confort thermique des maisons coloniales françaises de la ville de Biskra. Pour ce faire, cette partie expérimentale repose sur l'utilisation de la technique d'un questionnaire afin d'avoir une idée sur la sensation de l'habitant.

En ce qui concerne la deuxième approche, l'expérimentation quantitative objective à l'aide des mesures in situ effectuée pour la prise des paramètres du confort : la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air et la température globe. Les mesures et le questionnaire sont les outils de recherche respectifs utilisés pour mener à bien ce travail.

Et pour faire une évaluation précise du confort, qui est un état de satisfaction du corps avec son environnement thermique, nous avons utilisé la méthode de corrélation entre les résultats quantitatifs et qualitatifs.

IV.3.1 Classification de l'étude expérimentale :

Conformément au modèle de classification de l'étude expérimentale de (Moujalled, 2007), l'**enquête transversale** est le choix le plus approprié pour notre étude qui aborde la problématique du confort thermique intérieur des habitations. Ce qui nous permet d'être rapides et succincts pour éviter tout dérangement et toute perturbation pouvant nuire à l'état psychique des sujets et de minimiser le nombre de participants.

En ce qui concerne la classification en fonction de l'étendue et la précision des mesures effectuées, nous choisissons **le niveau III** parce qu'il nous permet également de calculer les différents indices pour permettre leur évaluation. Ces enquêtes nous permettront de créer une base de données contenant des données quantitatives et qualitatives sur les ambiances thermiques à l'intérieur des maisons visées par l'enquête au cours de la période chaude (Moujalled, 2007).

IV.3.2 Élaboration du questionnaire :

L'importance de l'utilisation du questionnaire comme outil de recherche pour évaluer subjectivement le confort thermique a été soulignée dans les références de la littérature développées au premier chapitre. Cette étude rassemble les réactions des occupants aux sensations thermiques dans des conditions réelles.

D'après Moujalled (2007), l'évaluation d'une ambiance thermique est effectuée selon trois échelles de la norme ISO 10551 : la sensation, l'évaluation et la préférence (Tableau 9)

Tableau 9: Les échelles de jugements subjectifs sur les conditions thermiques.
Source : (Moujalled, 2007)

Échelle de jugements perceptifs (sensation)	Échelle de jugements d'évaluatifs	Échelle préférence thermique
-3 Très chaud	5 confortable	+3 Beaucoup plus chaud
-2 Chaud	4 légèrement inconfortable	+2 Plus chaud
-1 Légèrement chaud	3 inconfortable	+1 Un peu plus chaud
0 Neutre	2 très inconfortable	0 Ni Plus chaud ni plus froid
+1 Légèrement froid	1 extrêmement inconfortable	-1 Un peu plus froid
+2 Froid		-2 Plus froid
+3 Très Froid		-3 Beaucoup plus froid

Avec la participation des habitants des maisons coloniales, un test préliminaire du questionnaire a été entrepris pour vérifier leur compréhension de chacune des questions. Par la suite, le questionnaire a été modifié selon les réponses du test. Le questionnaire final est présenté dans l'annexe 4. Il convient de souligner que les résultats du prétest n'ont pas été utilisés dans les résultats finaux de notre enquête.

Sur le plan statistique, le questionnaire est structuré sur trente-cinq (35) questions de types fermées à choix unique et multiple, qui se divise en cinq parties :

1. Informations générales sur la maison : zone, dimension, orientation et la date/heure.
2. Les informations générales sur l'habitant : cette partie vise à identifier le sexe, l'âge, l'habillement et l'activité, afin de calculer les différents indices de confort.
3. Les conditions de l'espace mesuré : les conditions des portes et des fenêtres.
4. Sensation thermique personnelle : cette partie destinée à recueillir les votes selon trois échelles de jugements l'ambiance de l'espace des habitants sont invités à noter leurs impressions. D'abord, pour chaque paramètre physique et puis pour l'ambiance globale de l'espace.

5. L'effet des dispositifs sur le confort : nomadisme.

IV.3.2.1 Présentation du logiciel SPSS :

Pour permettre le traitement et l'analyse aux fins d'interprétation, toutes les questions de l'enquête, les réponses recueillies des enquêtés ainsi que les mesures in situ au moment de l'enquête ont été introduites et codées uniformément afin de pouvoir les traiter et les analyser pour les interpréter par la suite. Pour cela, on a eu recours à la statistique descriptive à l'aide du logiciel 'IBM SPSS 24' qui est la méthode la plus adoptée dans plusieurs recherches.

SPSS signifie « Statistical Package for the Social Sciences ». Son objectif est de fournir un logiciel qui peut effectuer tous les calculs statistiques qui sont généralement utilisés en sciences humaines. (Figure 46).



Figure 46 : L'interface du logiciel SPSS

Source : Auteur, 2018

Le logiciel 'IBM SPSS Statistics 24' a été utilisé pour traiter les données collectées en utilisant la méthode des statistiques descriptives en termes d'observations subjectives ainsi que de valeurs objectives calculées. Ce logiciel permet de multiples tests d'analyses sur toutes les variables quantitatives et qualitatives, y compris le test khi2, le test de Spearman ... ect (Figure 47)

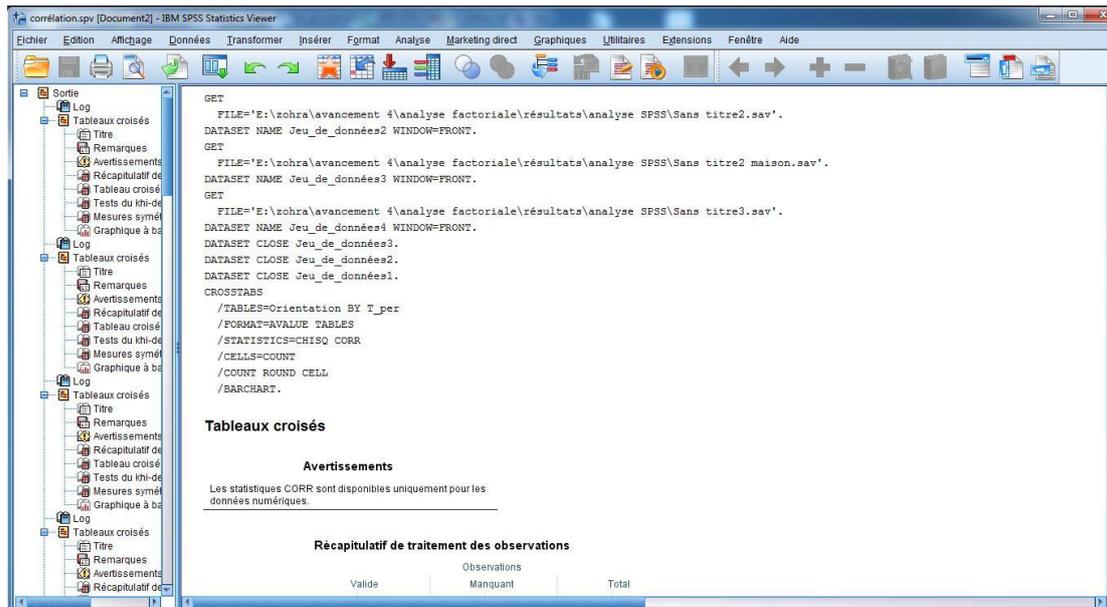


Figure 47: Fênetre des résultats
Source : Auteur, 2018

IV.3.3 Protocole de la campagne de mesure :

IV.3.3.1 La période de prise de mesure :

Afin d'obtenir les résultats les plus précis possible, la période expérimentale nous permet d'utiliser toutes les conditions climatiques et environnementales de la zone étudiée, et placer les sujets dans un environnement réel. Étant donné que le confort thermique d'un point de vue quantitatif dépend d'un certain nombre de variables annuelles (température ambiante, humidité, vitesse de l'air, rayonnement, etc.). L'idée du concept « design-days », qui établit les journées typiques représentant les circonstances climatiques les plus représentatives de la région, doit être utilisée pour définir un profil météorologique et utiliser les données météorologiques des années précédentes pour y parvenir. (Khelil, 2015) (Figure 48)

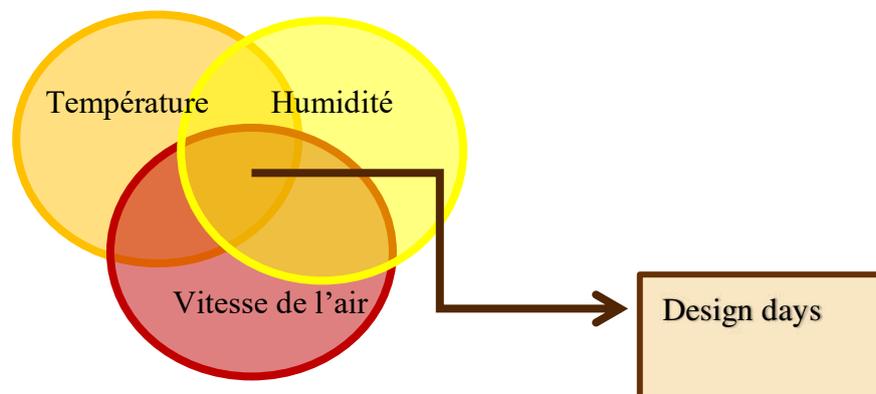


Figure 48: Design days
Source : Auteur, 2015

Dans notre travail de recherche, le concept a été extrapolé vers les journées représentatives de la période chaude. On va mettre en lumière le cas extrême de la période estivale de la ville de Biskra (avril, mai, juin, juillet, août et septembre). Afin de, définir les mois présentatifs de cette ville. **Juillet et août** sont les mois les plus chauds à Biskra selon les données climatiques des 10 ans (tableau 10). (Figure 49)

Tableau 10: les données climatiques des 10 ans de la ville de Biskra
Source : Traité par l'auteur, 2015

10 ans	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
T max	22,3	24,1	30,6	34,8	39,3	43,7	46,2	44,9	40,9	35,6	29,9	23,9
T moy	12	13,1	16,9	21,5	26	30,8	34,4	33,9	29	23,6	17,1	12,7
T min	2,5	2,9	4,3	10	13,1	17,6	20,5	22,9	17,4	12	6,8	3,4

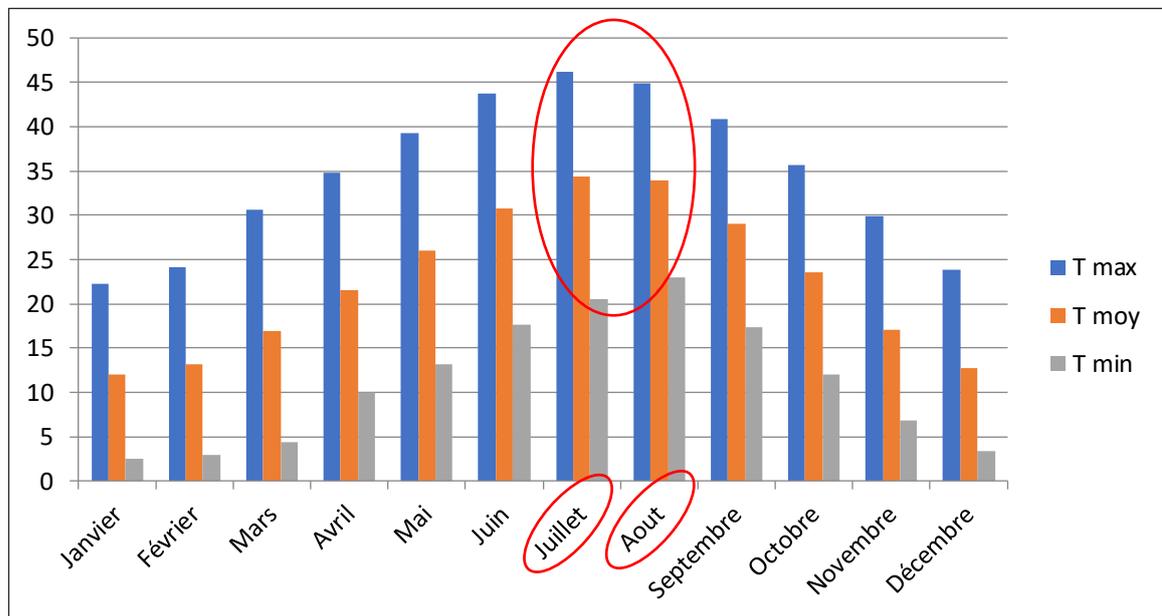


Figure 49: Le mois représentatif TMY: (typical meteorological year)
Source : Auteur, 2015

On peut déterminer la période la plus défavorable de la période estivale à partir de ce diagramme, la semaine la plus chaude s'étale du 25 juillet jusqu'au 10 août. La prise de mesures s'est effectuée durant la période de surchauffe de la journée de 13h à 16h de l'après-midi. (Figure 50)

des conditions naturelles dans l'espace étudié « sans climatisation » pour bien étudier le comportement des sujets envers leurs environnements.

Les mesures ont été effectuées dans deux ou trois espaces des 30 maisons y compris les dispositifs architecturaux (Patio, la cour, wast-ed-dar avec rozna et la terrasse) et la rue (espace extérieur). On a positionné l'appareil au centre de la pièce avec une hauteur de 1,2m. On a suivi la même méthode pour toutes les maisons (Tableau 11). Ces valeurs vont être confrontées au jugement des habitants grâce aux questionnaires distribués au moment de mesure.

Tableau 11: tableau représentant la prise de mesures d'une maison.

Source : Auteur, 2016

espace	03/08/2016	temps	T _{int}	H _{int}	V _{int}	T _{radiante}	T _{m1}	T _{m2}	T _{m3}	T _{m4}	T _{planche}	T _{plafond}	T _{mext1}
Wast-ed-dar	1	16h00	32,9	29,9	calme	32,6	33,9	-	-	-	-	-	44,6
	2		33,0	30,0	calme	32,7	33,9	-	-	-	-	-	45,0
	3		32,7	29,8	calme	32,7	33,5	-	-	-	-	-	45,3
	4		32,8	32,0	calme	32,7	33,5	-	-	-	-	-	45,6
	5		32,9	29,5	calme	32,8	33,9	-	-	-	-	-	45,6
		moyenne	32,9	30,2	0,0	32,7	33,7	-	-	-	-	-	45,2

espace	03/08/2016	temps	T _{int}	H _{int}	V _{int}	T _{radiante}	T _{m1}	T _{m2}	T _{m3}	T _{m4}	T _{planche}	T _{plafond}	T _{mext1}
Chambre	1	16h15	33,9	29,9	calme	32,6	33,9	-	-	-	-	-	44,6
	2		33,5	30,0	calme	32,7	33,9	-	-	-	-	-	45,0
	3		33,5	30,3	calme	32,7	33,5	-	-	-	-	-	45,3
	4		33,9	32,0	calme	32,7	33,5	-	-	-	-	-	45,6
	5		33,6	31,5	calme	32,8	33,9	-	-	-	-	-	45,6
		moyenne	33,7	30,7	0,0	32,7	33,7	-	-	-	-	-	45,2

T _{ext}	39,4 °C
H _{ext}	11,2 %
V _{ext}	1,98 m/s
T _{radiante}	43,6 °C

Parameter	Results
Operative temp. (°C)	32,8
PMV	2,3
PPD	88,3

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a traité le contexte climatique de notre recherche « La ville de Biskra » qui est connue par un climat désertique rude en été, selon les moyennes des températures des dernières dix années, les mois de juillet / août sont les plus chauds de l'année, avec une température moyenne de 34.4°C et des précipitations pratiquement inexistantes. Les caractéristiques climatiques de la ville influent fortement sur le comportement thermique des bâtiments, qui ont également un impact sur le confort des habitants.

Sur ce point, nous avons présenté notre méthodologie de recherche qui est basée sur une expérimentation in situ pour bien comprendre le comportement des habitants à l'intérieur des habitations dans ce climat pénible.

Chapitre V : **Corpus d'étude et typologie des
maisons**

« La maison n'était que comme un autre costume, moins étroit, mais plus durable, que moulait en quelque sorte à sa ressemblance l'âme de l'individu avec les âmes plus vastes auxquelles elle participe. Et un ameublement apparaissait ainsi comme une sorte d'histoire où côte à côte l'individu, la profession, la classe avaient leur présence, fixé leur vie, exprimé leur rêve, déposé leur mémoire. »

*Marcel Proust, Jean Santeuil.
L'hôtel de Mme Desroches*

V.1 Introduction :

Focalisée sur les ambiances thermiques, dont le cas d'étude choisie répond à cet intérêt. Il en a été donc déterminé à ce que les espaces domestiques de l'époque coloniale choisie pour le travail de terrain se situent dans un environnement chaud et aride. Se prêtant bien à cette condition, Biskra a été préférée à titre de contexte d'étude pour des raisons, à la fois, de représentativité et de faisabilité.

En premier lieu, nous allons faire une présentation du périmètre d'étude et des caractéristiques contextuelles de la région. Dans une deuxième étape, nous allons présenter le contexte d'étude dans son évolution ; d'abord, on se base sur le tissu urbain (entité urbaine), puis, l'analyse du tissu résidentiel (la maison)

Parmi les maisons existantes dans le damier colonial, il sera question de choisir celles qui offriront un lieu propice pour un travail de terrain et qui répondent aux exigences établies pour cette recherche ; à savoir des maisons habitées et habitables et qui n'ont pas subi beaucoup de modifications.

Finalement, l'objectif de ce chapitre est de montrer l'importance de la ville coloniale du point de vue historique, et de démontrer les différentes techniques utilisées par les colons et leur savoir-faire, l'histoire d'un peuple se manifeste à travers son architecture.

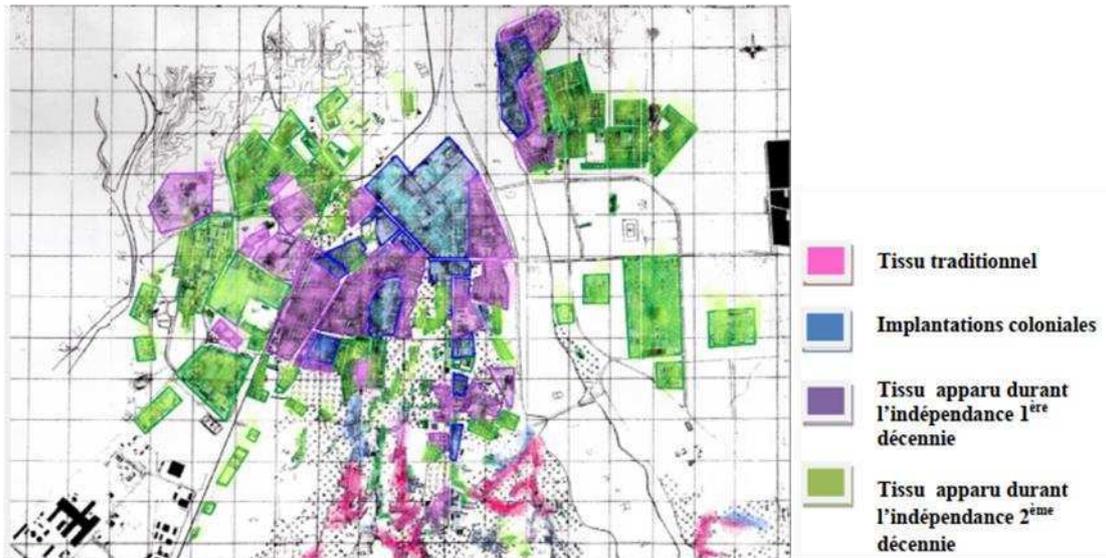


Figure 56: distinction des différents tissus coloniaux
Source : (Sriti, 2013)

La nouvelle implantation coloniale allait se démarquer par sa configuration en damier et par le caractère extraverti de ses habitations. Le choix du damier n'était certainement pas fortuit. Il exprime une volonté de dominance vis-à-vis des modèles de la ville romaine. Cette nouvelle implantation urbaine se présentait sous la forme d'un ensemble d'îlots disposés suivant une trame en échiquier dans la direction des remparts du fort Saint Germain (Sriti, Belakehal, Boussoura, & Saouli, 2002).

V.3.1 Évolution du damier colonial :

La volonté de créer une nouvelle ville, selon de nouvelles techniques d'urbanisation, d'organisation spatiale et de conception architecturale tout en assurant un minimum d'intégration des populations locales, a donné naissance à une conception en damier qui s'inspire du modèle des villes romaines, avec un caractère extraverti des habitations. Ce tissu facile à mettre en œuvre permettra des économies de projection, et une rationalité des tracés parcellaires (Alkama, Farhi, Mazouz, & Saouli, 2000).

D'un point de vue morphologique, le damier colonial est composé d'un ensemble d'îlots disposés en une trame régulière, orientés dans la même direction que le Fort Saint Germain. La forme dominante des îlots est le carré variant de 30 à 40 mètres de côté. Chaque îlot est structuré par 4 à 5 maisons individuelles à deux niveaux, s'ouvrant sur des cours ou jardins qui occupent le centre de l'îlot (Sriti, Belakehal, Boussoura, & Saouli, 2002). Cette trame a engendré des rues carrossables rectilignes et uniformes, qui sont orientées selon l'axe nord-ouest/sud-est et l'axe nord-est/sud-ouest, afin de s'adapter aux conditions climatiques de la ville de Biskra (Agli, 1988).



Figure 57: les différents types d'espaces verts
Source : Auteur, 2016

V.3.1.2 Jardin public (jardin 5 juillet)

Il est créé par les colons vers 1849, il possède une forme linéaire qui s'allonge le long de la rue berthe (Rue de la république) et sépare le damier colonial du fort Saint Germain. (Figure 58), le jardin public représente l'ensemble des éléments du paysage oasien à l'échelle locale avec une prise en charge de l'ensemble des problèmes, notamment le problème climatique de la ville.



Figure 58: Le jardin public, Biskra
Source : Carte postale

V.3.2 Les équipements et les édifices du quartier :

Par sa vocation de haut lieu de l'administration française, le Damier regroupe la majorité des édifices et services publics, on y trouve également quelques espaces verts (squares, placettes).

V.3.2.1 Le fort saint Germain :

La présence de cet édifice, l'implantation du secteur opérationnel militaire (au sein du centre-ville) et au voisinage du jardin public donnent à ces lieux un caractère de répulsion. C'est une immense citadelle dotée de structure d'accueil, qui peut héberger une population de plusieurs centaines d'individus. (Figure 59)

Le premier élément avec lequel ont travaillé les ingénieurs est le fort saint Germain ; il déterminera le tracé général de la ville. Les rues doivent être perpendiculaires et parallèles aux

différentes faces du fort. C'est le premier point de départ, il détermine la forme de l'enceinte de la ville.

Nommé en l'honneur d'un officier français, le commandant du Cercle de Biskra, tué à Seriana, une oasis voisine, lors d'une insurrection de la Zaatcha en 1849. Le fort est de 400 mètres carrés, avec des bastions à chaque coin, et les extrémités sud. Il est assez grand pour abriter l'ensemble de la population civile en cas d'urgence, et ici le peuple a cherché refuge dans la rébellion de 1871.



Figure 59: Plan du Fort Saint Germain
Source : Carte postale



Figure 60: Vue sur l'entrée du fort
Source : Carte postale

V.3.2.2 L'église :

La seule église de Biskra, l'Église catholique, est située à l'extrémité sud des jardins publics. (Figure 61)



Figure 61 : L'église de Biskra
Source : Carte postale

V.3.2.3 Le marché :

Il est situé à l'extrémité sud du quartier européen (la partie des indigènes), où il y a beaucoup d'attractions. Le marché était le seul endroit où les populations indigènes et européennes pouvaient interagir. (Agli, 1988)

C'est la place de rassemblement des indigènes. Il y a des cafés, des magasins. En dehors des magasins, sous les arches, les Arabes réunies. Au centre de la place du marché est un marché couvert. (Figure 62)

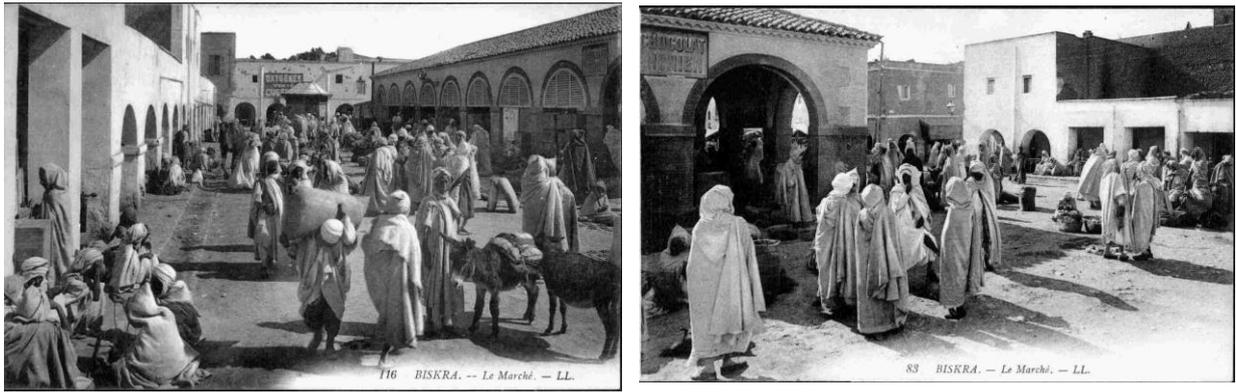


Figure 62: Le marché couvert, Biskra
Source : Carte postale

V.3.2.4 L'hôtel de ville :

L'hôtel de ville qui se trouve à la place Carbuccia n'a été construit qu'en 1892, après qu'elle a été considérée comme commune de plein exercice (1878). Il devait bien y avoir un lieu où les services de l'état civil se déroulaient avant cette date.

L'hôtel de ville est construit dans un style dit «arabisation». Cependant, tout l'extérieur du bâtiment, y compris sa cour, ses arcades, ses colonnes et sa façade, est surmonté d'un immense dôme blanc qui domine la ville. Deux grands lions en marbre rouge gardent chaque côté de l'entrée. (Figure 63)

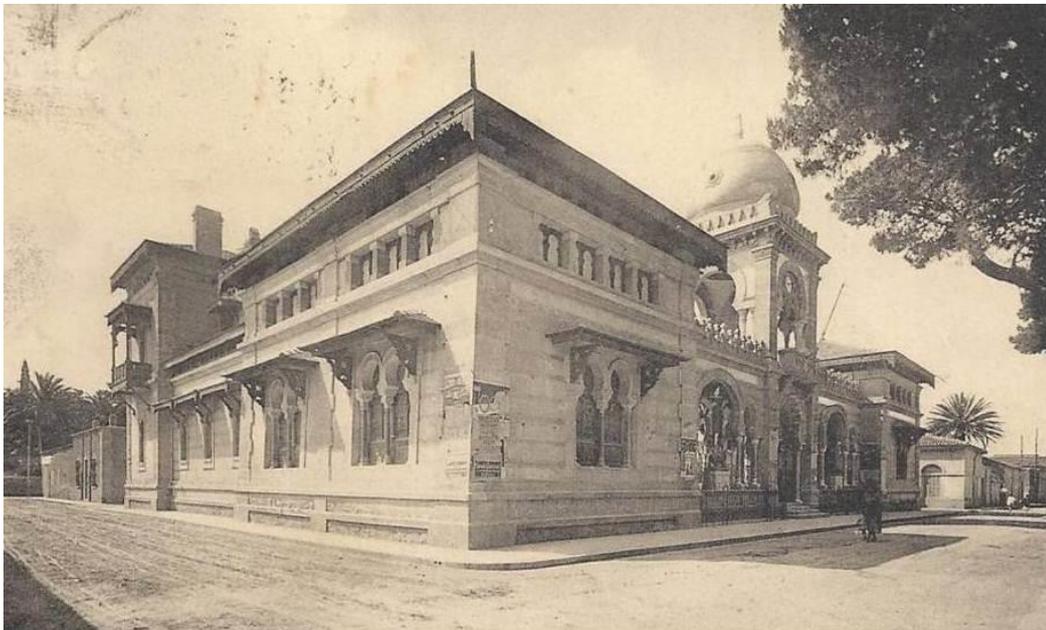


Figure 63: Hôtel de ville, Biskra
Source : Carte postale

En face de l'hôtel de ville, un square qui donne accès au bureau de poste et jouxtant sur son côté nord-ouest le bâtiment de la Gendarmerie. (Figure 64)

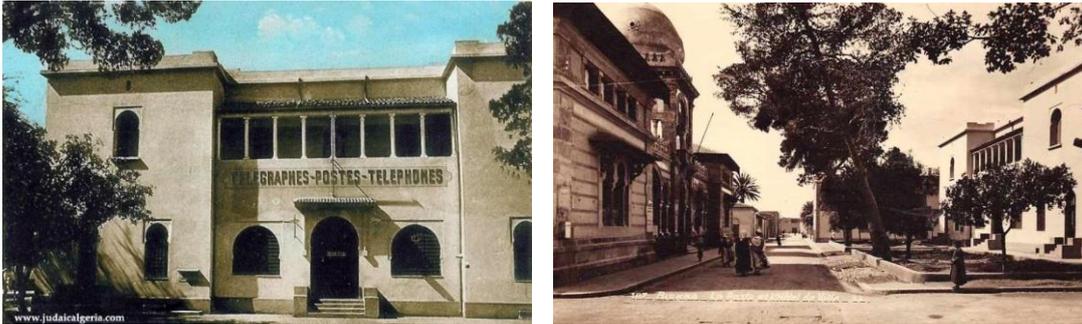


Figure 64: Bureau de poste et bureau de télégraphe
Source : Carte postale

V.3.2.5 Mosquée :

Il y a une seule mosquée dans le quartier européen, à l'extrémité nord-ouest du marché.
(Figure 65)



Figure 65: Vue sur la mosquée, Biskra
Source : Carte postale

V.3.2.6 Les hôtels :

Dans la ville coloniale de Biskra se trouve plusieurs hôtels, des résidences modernes affectées aux services civils et militaires : hôtel Victoria, hôtel Terminus et hôtel l'Oasis (Figure 65, 66, 67)



Figure 66: Hôtel Victoria, Biskra
Source : Carte postale



Figure 67: Hôtel Terminus, Biskra
Source : Carte postale



Figure 68: Hôtel l'Oasis, Biskra
Source : Carte postale

Hôtel du Sahara, situé sur la rue Berthe, est le plus ancien de Biskra, Situé en face du jardin public, près du Bureau de poste et de la mairie. (Figure 68)



Figure 69: Hôtel Sahara, Biskra
Source : Carte postale

Hôtel Royal : le plus somptueux de tous, comme aussi le plus récent, est une véritable copie de l'architecture mauresque. Situé sur la route de Touggourt, il montre au loin le rayonnement de son minaret et de ses blanches arcades enchâssées dans cette immense émeraude, l'oasis. (Figure 69)



Figure 70: Hôtel Royal, Biskra
Source : Carte postale

V.3.3 Les différents types d'habitat :

La ségrégation sociale entre militaires, colons et "indigènes" et la façon dont la terre est divisée reflètent le mode de vie et la tradition. Selon le type d'habitat, les parcelles sont distinctes (coloniales, indigènes). Le long des voies ferrées, l'écosystème colonial s'étale sur de

vastes parcelles. La voirie facilite l'accès aux chantiers. Les maisons sont insérées dans des îlots, ont un seul étage et sont souvent construites autour d'une cour. Dans la Figure 38. Parce que la population locale vit sur de minuscules parcelles de terre, dont certaines sont organisées le long du chemin et d'autres à l'intérieur de l'îlot, la structure de l'îlot est plus compliquée. Les bâtiments ne sont généralement accessibles que par une impasse. (Skif) (Figure 70).



Figure 71: Maison à un seul niveau occupe toute la parcelle, avec une cour centrale
Source : Auteur, 2016



Figure 72: Maison des indigènes, accès par une impasse « skifa »
Source : Auteur, 2016

À l'exception de ces formes urbaines, la ville a connu d'autres types d'habitats ; il s'agit essentiellement des constructions en barre contenant des logements collectifs au sud du damier, appelé HLM, ainsi qu'un habitat précaire, appelé « habitat de recasement » destiné aux indigènes. "L'abandon balbutiant du damier dans les années 1930 ne fit que s'affirmer à mesure



Figure 74: Maison coloniale avec des passages couverts
Source : Auteur, 2016

Les maisons de l'extension rurale sont par contre dépourvues de toutes décorations, les façades sont homogènes et leur traitement est rudimentaire avec des petites ouvertures. « *Il est évident que pour obtenir dans les habitations une fraîcheur convenable, il faudra donner aux murs extérieurs une grande épaisseur et ne les percer que d'ouvertures rares et petites, surtout à l'exposition du midi ; peut-être aussi serait-il à propos de pratiquer une ventilation combinée de telle sorte, que l'on puisse aisément renouveler l'air* »¹⁸. Celles de la zone du marché, à la différence des précédentes, sont assez hétéroclites ; on y trouve des balcons ouvragés en bois ou en fer forgé parfois même des moucharabiehs, mais les décorations y sont également rares. (Figure 74)

¹⁸ Picard, A. (1994). Architecture et urbanisme en Algérie. D'une rive à l'autre (1830-1962). *Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée*, 73(1), 121-136.



Figure 75: Deux maisons coloniales du marché
Source : Auteur, 2016

Enfin, le damier fut aussi l'occasion de voir apparaître une architecture publique de style arabesque (chapitre I) marquée par des éléments décoratifs empruntés à l'architecture mauresque tels que les coupoles, les arcs, les auvents en tuiles, la mosaïque, etc.

V.3.3.2 Système constructif

« Ils ont toujours su modifier admirablement leur manière de construire d'après les matériaux qu'ils trouvaient sur les lieux mêmes, sans jamais pour cela manquer de satisfaire aux exigences impétueuses du climat de l'Afrique septentrionale »¹⁹ (Burth-Levetto, 1994).

La maison du damier est réalisée en matériaux locaux : briques de terre pour les murs et madriers pour le plancher suivant des techniques mixtes (traditionnelles améliorées) où on retrouve, notamment, l'utilisation de revêtements à l'intérieur de la maison et à l'extérieur, l'étanchéité de la toiture...etc. Pour les édifices publics, la brique de terre est remplacée par la pierre. À la fin des années 50, le béton armé est introduit à Biskra, mais son emploi était assez restreint, on ne le trouve que dans quelques édifices publics.

La conception des habitations n'a pas négligé d'intégrer certaines méthodes de construction traditionnelles utilisant les ressources locales malgré l'adoption de nouvelles technologies de construction (blocs de terre, tronc de palmier) (Alkama et al, 1996).

¹⁹ Rapport sur "le meilleur système de construction à adopter en Algérie" adressé au ministre de la Guerre par messieurs Lebas, Renié et Ravoisié, daté du 17 août 1844 à Paris, AOM, gouvernement général de l'Algérie, INI. P 3



Figure 76: Les techniques de construction.
Source : auteur 2016

V.3.4 La typologie des habitations (zone d'étude) : de la maison traditionnelle à la maison coloniale

La typologie est à la fois un outil d'analyse utile et un cadre conceptuel de référence pour générer une forme. Le logement se prête particulièrement bien aux recherches typologiques parce que l'habitation symbolise les besoins humains fondamentaux qui ont donné naissance à des types architecturaux distincts (Tice, 1993).

Ce type correspond à l'aspect que les maisons ont en fonction de leur forme constructive. La typologie est une discipline utilisée pour catégoriser les logements selon leur type. Ces genres distinguent localement les différents types d'habitats. La portée géographique de chaque type varie cependant ; tandis que certains ont une adhésion plus répandue, d'autres sont plus localisés. Certains s'opposent clairement, tandis que d'autres se chevauchent. Certaines localités, comme le vaste nord-est de la France, ont des types d'habitation assez prononcés, tandis que d'autres, comme le sud-ouest, ont des types beaucoup moins prononcés, chaque bâtiment méritant presque sa propre classification. Pour cette raison, il est difficile de catégoriser les nombreuses formes d'architecture paysanne d'une manière «systématique» similaire à la façon dont les règnes animal, végétal et minéral sont classés. (Chauvet, 2011).

Les structures architecturales et leurs typologies à Biskra ont changé tout au long du colonialisme français. Cette variété est influencée par un certain nombre de variables et de critères, notamment :

- La situation sociale et économique entre les colons et les indigènes.
- Les besoins des colons.
- Les conditions climatiques.
- Les techniques constructives.

Le premier facteur et selon Joseph Marrass « L'habitation destinée aux colons doit, évidemment, être adaptée au climat. C'est la première des conditions ... Cependant faudrait-il se garder, en copiant ce qu'ont fait les indigènes, d'imiter des dispositions qui n'ont de raison d'être que par leurs mœurs ou leur religion. ». (Miller-Chagas, 1992)

De plus, à la suite des considérations mentionnées ci-dessus, plusieurs critères relatifs aux types de conception et aux types de matériaux ont été élaborés pour classer les typologies architecturales.

V.3.4.1 Type 1 : habitat avec véranda (paysage)

Il s'agit d'une maison de pierres que l'on trouve en haut du damier colonial. Ces maisons sont regroupées et implantées au nord du damier. La maison typique du paysage a un plan rectangulaire et est constituée d'un seul étage. (Figure 76)

La maison est divisée horizontalement en trois sections principales qui correspondent à une hiérarchie des demandes sociales et personnelles de bourgeois et assurent une transition en douceur entre l'extérieur et l'intérieur. Un certain nombre d'activités se font à l'extérieur par temps chaud. Il y a plusieurs endroits, dont chacun sert un certain but entre l'extérieur et l'intérieur. Nous distinguons, entre autres, les entrées du bâtiment, les vérandas et les espaces de terrasse :

- La première partie : véranda, l'entrée de la maison. Cette partie joue le rôle d'un apport extérieur/intérieur.
- La partie intermédiaire : c'est la maison, l'espace principal où vivait la famille. L'organisation de la maison était simple d'une forme rectangulaire. Un hall d'entrée entouré par les chambres et les zones de service.

L'orientation pour ce type de maisons est-sud-est/nord-ouest qui est simple à protéger de la lumière directe du soleil, car elle y est à son maximum pendant la journée. Cette zone offre une excellente ventilation et protection contre le rayonnement solaire. Il protège de la pluie. La perméabilité de la ventilation naturelle à l'intérieur de l'habitat peut être modifiée par l'ajout successif de murs (De Herde & Liébard, 2005). Pouvoir faire entrer de l'air frais a été rendu possible par les immenses fenêtres.

Une véranda offre à tous les vents de larges espaces dégagés. Il sert d'espace pour les repas, les siestes et même les corvées. Cette zone est disponible pour une utilisation par une famille élargie en visite. (De Herde & Liébard, 2005).



Figure 77: Maison à véranda, Damier colonial
Source : Auteur, 2016

V.3.4.2 Type 2 : habitat à cour

Les principaux dispositifs thermiques et d'éclairage naturel dans l'habitation traditionnelle sont la cour et les différentes configurations d'ouvertures. La variation de ces configurations que l'on rencontre dans certains pays du monde musulman est due aux changements de climats. Ainsi dans le rude désert algérien, la cour est le plus souvent couverte avec une petite ouverture, opérée dans la surface de cette couverture, laissant passer la lumière naturelle suivant les besoins et désirs des usagers (Ouahrani, 1993).

La cour est un élément clé de l'adaptation climatique qui se caractérise par un rôle multifonctionnel (vision, ventilation, éclairage, usage, distribution). (Figure 77)



Figure 78: Maison à cour, damier colonial, Biskra
Source : auteur 2016

V.3.4.3 Type 3 : habitat à patio ou Wast-ed-dar avec Rozna

C'est le type le plus présent et le plus utilisé durant la période coloniale. Un style de maison plus urbain que rural se caractérise par le patio. Le patio se distingue de la cour par sa situation plus centrale, son objectif fonctionnel plus complexe et, surtout, sa fonction sociale en tant que lieu d'habitation et de vie familiale. Surtout, la cour sert de lieu de transit. (Abdulac, 2012). Le patio (west-ed-dar avec rozna), qui émane du climat méditerranéen et sert de point focal à la composition, est la première chose visible à l'œil et où sont disposés les appartements. C'est un lieu de relations et d'ouverture qui suppose un sens profond de la communauté. « A l'instar de ces propriétés de la bourgeoisie citadine, les agents de l'autorité coloniale préconisent des murs extérieurs de grande épaisseur, de rares et petites ouvertures, une bonne ventilation des pièces, une couverture en terrasse, et la répartition des appartements autour d'une cour centrale, distribuant une lumière apaisée par l'intermédiaire de galeries ouvertes. » (Burth-Levetto, 1994).



Figure 79: Maison avec rozna, damier colonial, Biskra
Source : auteur, 2016

D'après le Corbusier : « Les architectes d'Algérie ont combattu la routine et le pastiche et découvert une esthétique qui s'adapte aux exigences de la construction et de la vie moderne en même temps qu'aux nécessités naturelles commandées par le climat et par le site. »



Figure 80: Vues montrant les deux types de Patios, damier colonial, Biskra
Source : auteur, 2016

Du point de vue thermique, le patio (cour intérieure) joue un rôle dans la régulation thermique en été (Mazouz, 2005). Il fonctionne comme une surface pour accumuler l'air froid durant la nuit par radiation (Bisam, Ahmad, & Mohd, 2010). Dans l'après-midi, la température du patio augmente qui permet la convection et l'échange thermique avec l'air intérieur frais jusqu'à la nuit (Haj Hussein, 2012). Pour la ventilation, le patio fonctionne comme une cheminée (Figure 49) où les façades intérieures sont percées par des ouvertures petites et rares pour avoir une fraîcheur convenable avec l'utilisation d'une fontaine (Picard, 1994) (Haj Hussein, 2012) (Arrouf, 2006) (Figure 80)

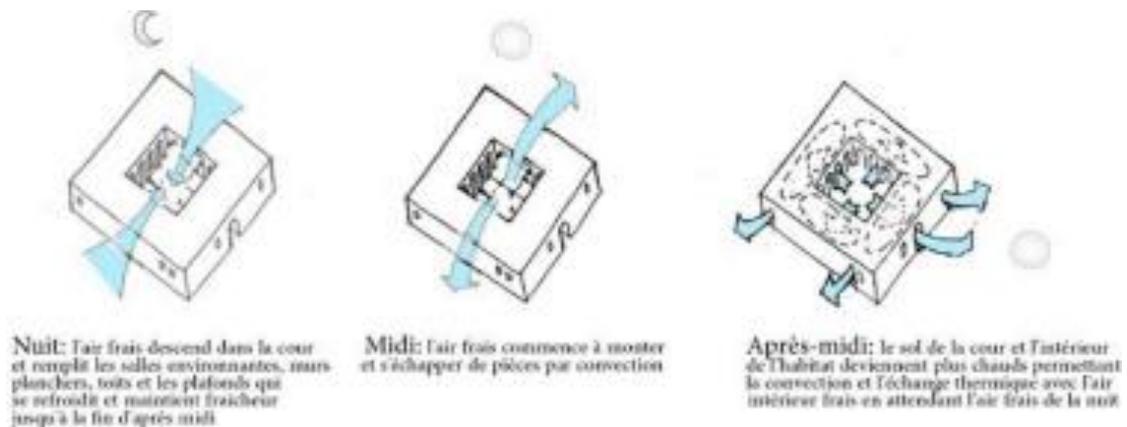


Figure 81: Schémas représentatifs des trois cycles de ventilation

V.5 Conclusion :

Nous avons décrit le périmètre d'étude « en damier colonial » de Biskra dans ce chapitre. Le tissu colonial a été choisi comme modèle après avoir fait une étude typologique sur le lieu. Un examen typo-morphologique des habitations de la période coloniale s'est concentré sur ces dernières. Les maisons sélectionnées comprennent une variété de traits architecturaux distinctifs.

En fonction des objectifs de la recherche, une mesure supplémentaire a été réalisée sur place et des échantillons représentatifs ont servi de support à l'étude du comportement thermique. Cela a été fait afin de confirmer d'abord l'impact thermique des différents appareils, puis d'examiner les réponses uniques de chaque utilisateur.

Chapitre VI : **Analyse et interprétation des
résultats in situ**

VI.1 Introduction :

Chaque être humain réagit différemment aux conditions climatiques externes. Certains sont extrêmement sensibles au chaud comme au froid, et pour caractériser le confort thermique à l'intérieur des maisons, plusieurs méthodes et approches d'évaluation sont utilisées. La méthode expérimentale est ambitieuse par sa recherche de causalité, la technique d'enquête est grandiose par l'ampleur de son champ.

En effet, l'objectif fondamental de ce chapitre est d'étudier l'effet des dispositifs sur le confort des habitants durant la période chaude basée sur l'enquête in situ avec deux approches subjective et objective. Il consiste en une évaluation générale de l'environnement thermique des maisons et l'impact de l'espace (dispositif) sur la satisfaction des habitants d'une manière générale.

On débutera par une description détaillée des caractéristiques de l'environnement d'étude en mettant l'accent sur le comportement des individus, le type et l'orientation des dispositifs et les conditions générales de l'espace. Par la suite, on procèdera à une évaluation du degré de satisfaction des besoins de confort des usagers et leurs ajustements comportementaux.

La deuxième partie portera sur l'analyse et l'interprétation des mesures in situ des trois variables du confort thermique «la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air » qui révèlent la réaction thermique de chaque habitation et chaque espace où les mesures ont été faites.

VI.2 Analyse et interprétation de l'environnement psychologique (des résultats du questionnaire) :

VI.2.1 Description et interprétation des réponses : (analyse univariée)

L'analyse univariée fournit une description synthétique de tous les sujets observés, en calculant les nombres de citations de chaque modalité (effectif) et le pourcentage correspondant (fréquence). La façon d'effectuer ces descriptions dépend de la propriété statistique des variables. Selon le type de variable, l'information recueillie n'est pas de la même nature et n'autorise pas les mêmes traitements. À chaque cas correspondent des indicateurs de résultats différents.

VI.2.1.1 Zone d'étude

Le tissu colonial est doté d'un cadre bâti plus ou moins homogène selon un modèle uniforme, il se présente comme une trame en échiquier. Le damier colonial se divise en trois parties,

- La première partie : zone du marché
- La deuxième partie : des colons
- La troisième partie : des bourgeois

Tableau 12: représente la répartition des sujets selon les 3 parties du damier
Source : Auteur, 2018

		Fréquence	Pourcentage
Zone d'étude	1	40	33,3
	2	56	46,7
	3	24	20,0
	<i>Total</i>	120	100,0

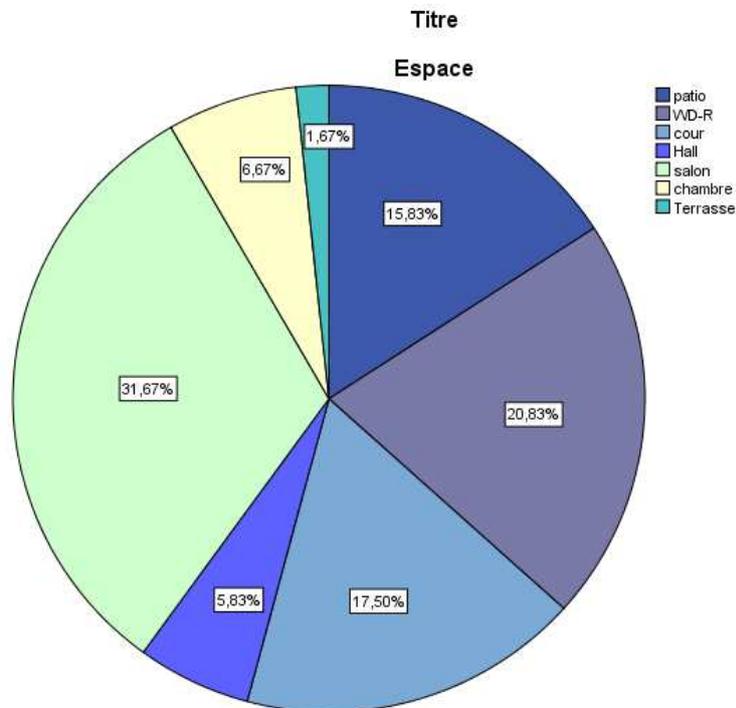
VI.2.1.1 Les maisons sélectionnées :

Les maisons choisies se sont réparties en trois grands types : maison à patio, maison à rozna (petite ouverture au ciel au niveau du hall) et maison avec cour, avec deux maisons seulement avec terrasse. La plupart des maisons contiennent des terrasses.

On a fait l'investigation dans deux ou trois espaces « salon » et « chambre » y compris les dispositifs pour faire la différence entre les espaces. (Figure82)

Figure 82: Tableau et graph décrire les espaces étudiés.
Source : auteur (2016)

		Fréquence	Pourcentage
Espace	patio	19	15,8
	WD-R	25	20,8
	cour	21	17,5
	Hall	7	5,8
	salon	38	31,7
	chambre	8	6,7
	Terrasse	2	1,7
	<i>Total</i>	120	100,0



VI.2.1.2 Caractéristiques des individus :

Les tableaux ci-dessus (Figure 83, 84) présentent les caractéristiques de l'échantillon de notre étude. Lors de l'analyse des caractéristiques sociales des 120 habitants, on remarque que la plupart des interviewés sont des femmes réparties comme suit : 65.8% femmes et 34.2% hommes. Ce pourcentage s'explique par la culture de la société ainsi que le moment choisi (après-midi) qui favorise l'intimité de la femme. Les sujets sont distribués sur différentes tranches d'âge avec une catégorie d'âge dominante située entre 31-60 ans avec un pourcentage de 37.5%.

Figure 83: Tableau et graph décrire le genre de l'échantillon
Source : auteur (2016)

		Fréquence	Pourcentage
Genre	Femme	79	65,8
	Homme	41	34,2
	<i>Total</i>	120	100,0

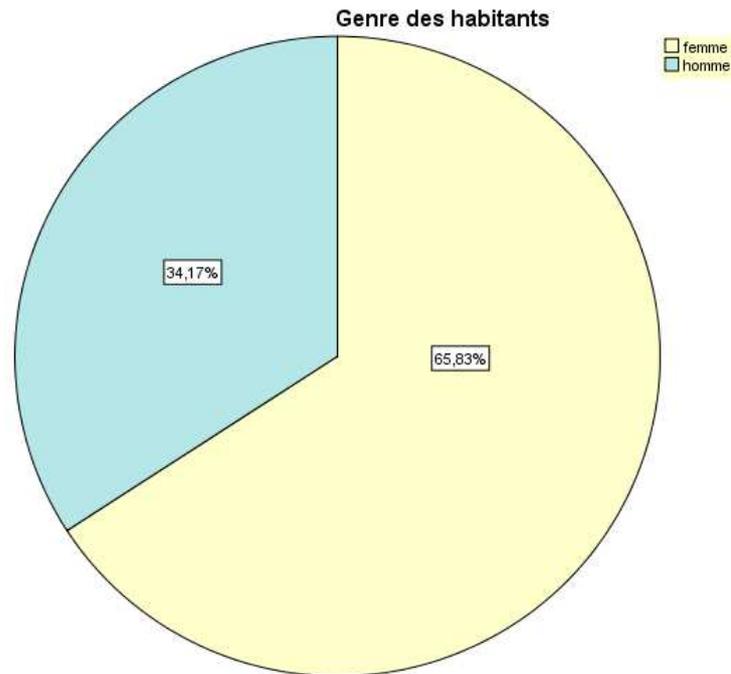
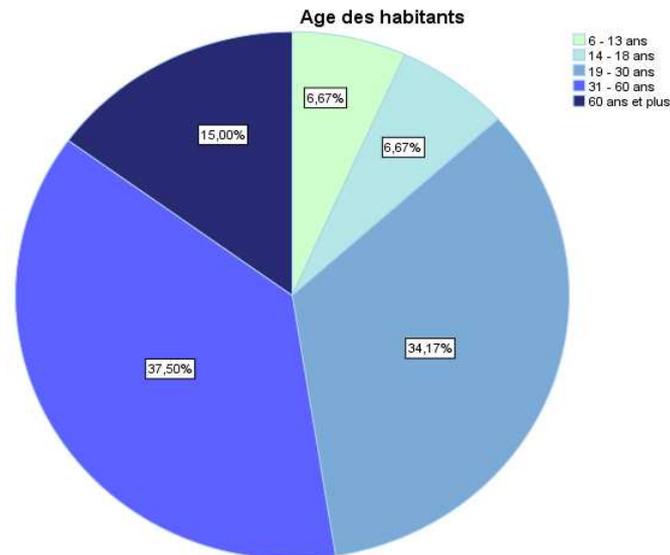


Figure 84: Tableau et graph décrire les tranches d'âge des sujets.
Source : Auteur, 2016

		Fréquence	Pourcentage
Catégorie d' âge	6 - 13 ans	8	6,7
	14 - 18 ans	8	6,7
	19 - 30 ans	41	34,2
	31 - 60 ans	45	37,5
	60 ans et plus	18	15,0
	<i>Total</i>	120	100,0

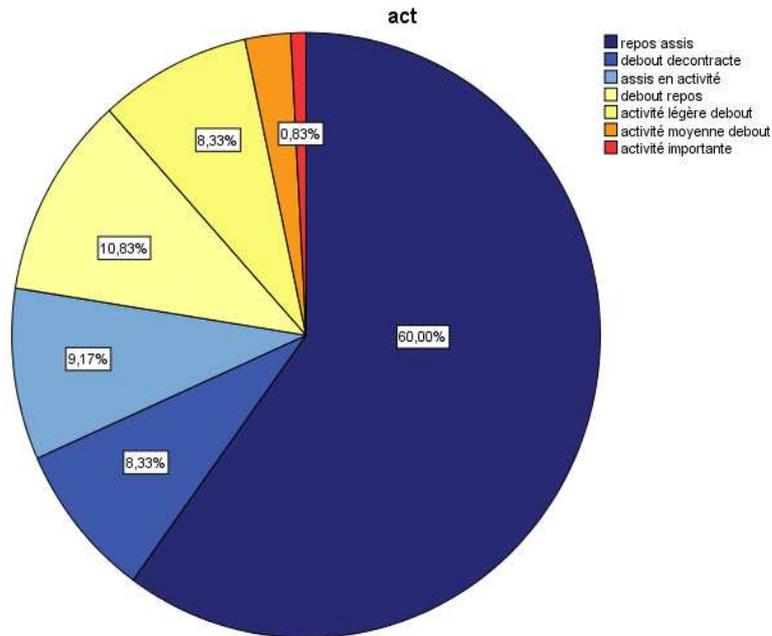


VI.2.1.3 Le comportement de l'occupant : (activité).

Le comportement des sujets est traduit par les différentes positions des individus au moment du questionnaire. La plupart des individus se sont en position assise (52,6%) par ce que l'enquête a été effectuée entre 14H et 16H le moment de repos (Figure 85). Dans ce cas, le niveau d'activité est de 0,8 à 1 met avec une production de chaleur entre 46 – 56 w/m².

Figure 85: Tableau et graph décrivent l'activité des sujets au moment de l'enquête.
Source : Auteur, 2016

		Fréquence	%
Activité	repos assis	72	60,0
	debout décontracté	10	8,3
	assis en activité	11	9,2
	debout repos	13	10,8
	activité légère debout	10	8,3
	activité moyenne debout	3	2,5
	activité importante	1	,8
	<i>Total</i>	120	100,0

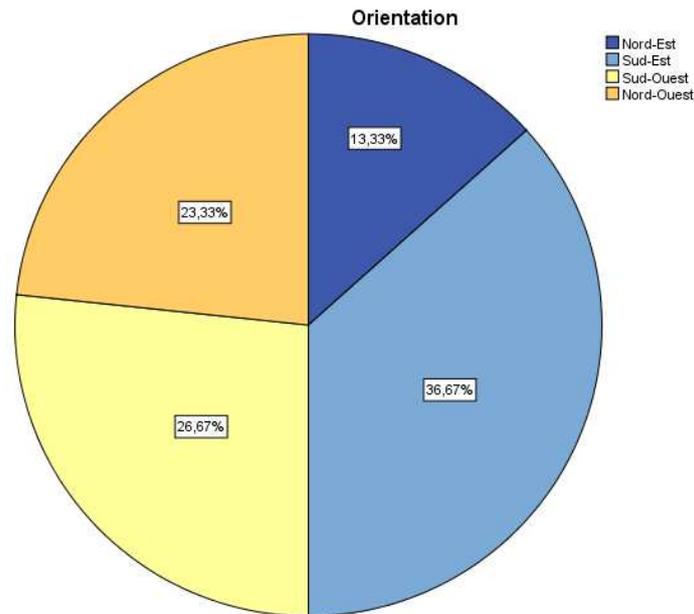


VI.2.1.4 L'orientation :

Le plan du damier est orienté nord-ouest/sud-est pour but de créer des ambiances agréables pendant l'été (la circulation de l'air froid). Cette orientation fait que le soleil n'est dans l'axe des rues qu'au milieu de la journée. Alors la plupart des maisons (Figure 86) sont orientées dans les quatre sous-directions (nord-est/ nord-ouest) (sud-est/ sud-ouest).

Figure 86: Tableau et graph décrivent l'orientation des maisons choisies
Source : Auteur, 2016

		Fréquence	Pourcentage
Orientation	Nord-Est	16	13,3
	Sud-Est	44	36,7
	Sud-Ouest	32	26,7
	Nord-Ouest	28	23,3
	<i>Total</i>	120	100,0



VI.2.1.5 Les conditions générales de l'espace :

Il y a 63.2% de portes ouvertes et 36.8% de portes fermées qui sont des portes extérieures. (Tableau 13)

Tableau 13: Tableau représentatif de l'état de la porte.
Source : Auteur (2016)

		Fréquence	Pourcentage
État de la porte	fermée	44	36,7
	ouvert	76	63,3
	<i>Total</i>	120	100,0

Il y a 22 espaces sans fenêtre (Tableau 14), 30 espaces avec des fenêtres fermées (78.9%) ce qui signifie que durant la période de l'étude (14H à 16H), les fenêtres sont fermées pour éviter la chaleur.

Tableau 14: Tableaux représentant le nombre et l'état des fenêtres.
Source : auteur (2016)

		Fréquence	Pourcentage
Nombre de fenêtres	0	73	60,8
	1	20	16,7
	2	21	17,5
	3	6	5,0
	<i>Total</i>	120	100,0

		Fréquence	Pourcentage
État de fenêtre	fermée	87	72,5
	ouvert	33	27,5
	<i>Total</i>	120	100,0

VI.2.1.6 Les conditions de la température de l'espace :

La lecture préliminaire des tableaux (Tableau 15) montre la répartition des réponses des occupants sur les trois échelles de jugement suivantes : de sensation, d'agrément et de préférence de la température des occupants. On note que la distribution des réponses s'oriente vers les sensations : légèrement chaud (51.7%) et chaud (31.7%), en ce qui concerne l'échelle d'agrément, 50% des occupants déclarent que c'est légèrement inconfortable et inconfortable avec un pourcentage de 27.5%, leurs préférences idéales étaient d'avoir un climat un peu plus froid (51.7%) et plus froid (33.3%).

Tableau 15: Histogramme des trois Échelles de la température à l'intérieur des maisons
Source : Auteur, 2016

		Nb	%			Nb	%
T_per	très chaud	18	15,0	T_évl	très inconfortable	14	11,7
	chaud	38	31,7		inconfortable	33	27,5
	légèrement chaud	62	51,7		légèrement inconfortable	60	50,0
	neutre	2	1,7		confortable	13	10,8
	<i>Total</i>	120	100,0		<i>Total</i>	120	100,0

		Nb	%
T_pré	beaucoup plus froid	13	10,8
	plus froid	40	33,3
	un peu plus froid	62	51,7
	sans changement	5	4,2
	<i>Total</i>	120	100,0

Les histogrammes ci-dessous démontrent que les occupants ont réagi favorablement vis-à-vis de la température intérieure. (Figure 87)

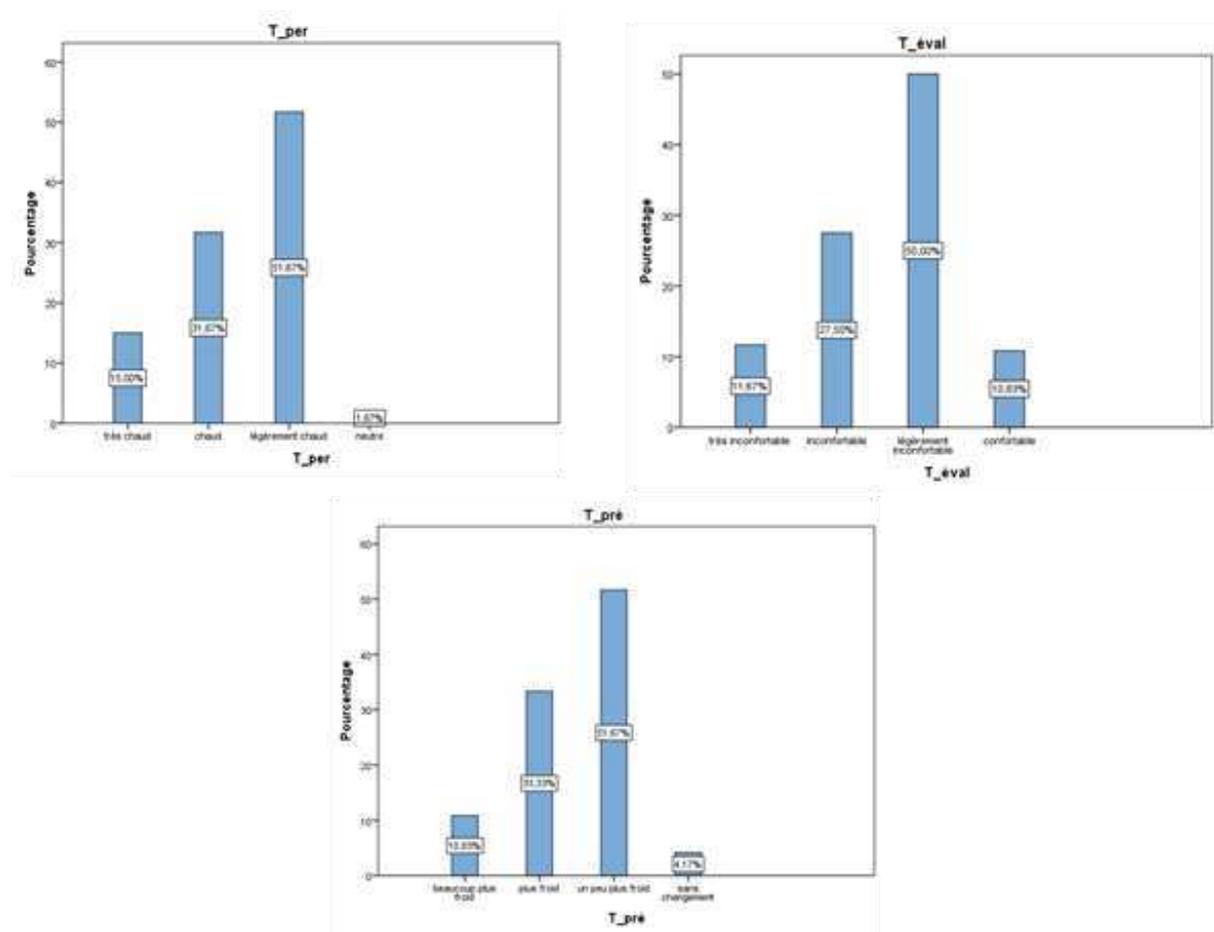


Figure 87: Histogramme des trois Échelles de la température à l'intérieur des maisons
Source : auteur (2016)

VI.2.1.7 L'humidité de l'espace :

L'humidité est un paramètre à prendre en compte pour l'évaluation de la sensation de l'individu dans notre étude. À travers la lecture des histogrammes, la majorité des sensations des sujets dans toutes les maisons confirment que l'humidité relative intérieure est « neutre » avec un pourcentage de 38.33% et la modalité « légèrement sec » avec un taux de 28.33%. Cela confirme que l'humidité est basse quelles que soient la forme et l'orientation des maisons et ceci est dû au climat de la ville (le sud de l'Algérie). Par ailleurs, on remarque un pourcentage de 22.50% pour la modalité « légèrement humide ». (Figure 88)

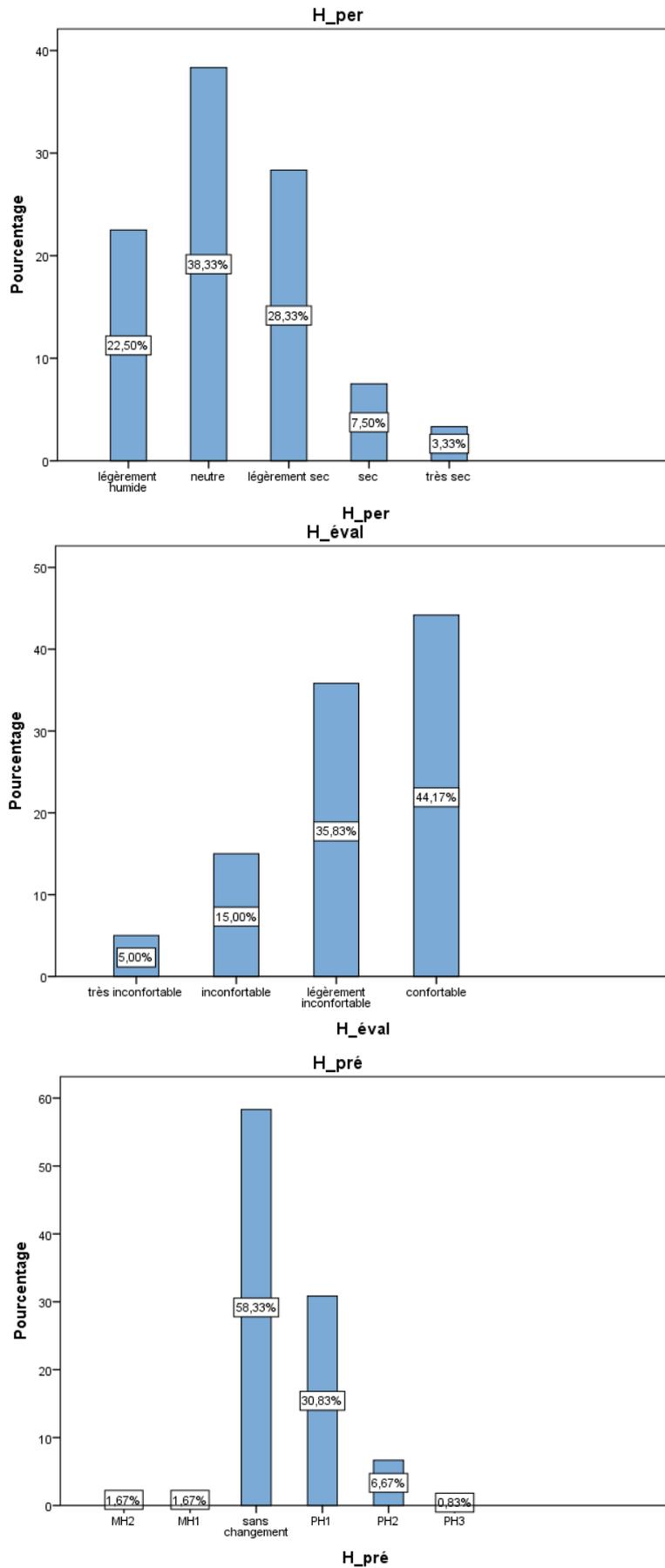


Figure 88: Histogramme des trois échelles de l'humidité relative à l'intérieur des maisons
Source : Auteur (2016)

De ce fait, la majorité des occupants trouvent que l'ambiance est confortable avec un taux de 44.17% et 35,83% trouvent qu'elle est « légèrement inconfortable ». Tandis que 15.00% des individus la qualifient "d'inconfortable ». La valeur minimale enregistrée est de 5.00% pour la sensation « très inconfortable ».

En mettant l'accent sur les préférences des habitants, on trouve que leurs réponses ne tendent vers « aucun changement » à l'intérieur avec un taux de 50.33%. Pour la modalité « plus humide », on trouve un pourcentage de 30.83%. En dernier, pour les autres modalités on a enregistré un taux faible de 6.67% « un peu plus humide ».

VI.2.1.8 La vitesse de l'air dans l'espace :

À propos des conditions de l'air (Figure 89), la majorité des habitants perçoivent que le mouvement de l'air est « léger » d'un taux de 57.5%. Les autres habitants considèrent que le mouvement de l'air est « calme » avec un taux de 35.8%. Pendant que les deux modalités « moyenne » et « élevé » représentent les pourcentages de : 5.8% et 0.8%.

Leurs évaluations du mouvement d'air étaient « confortables » et « légèrement inconfortables » avec les pourcentages de : 44.2% et 28.3%. Alors que, 20.8% trouvent que l'ambiance est « inconfortable », et la valeur minimale enregistrée est pour la modalité « très inconfortable » avec un taux de 6.7%.

Pour les votes de préférence, la majorité des participants dans ce questionnaire préfèrent la réponse sans changement avec un pourcentage de 44.2%, d'autres questionnées désirent avoir « un peu de mouvement d'air » dans leurs maisons avec un pourcentage de 30% et 24.2% des sujets préfèrent « plus de mouvement d'air » (24.2%).

		Fréquence	%
Valide	élevé	1	0,8
	moyen	7	5,8
	léger	69	57,5
	calme	43	35,8
	<i>Total</i>	120	100,0

		Fréquence	%
Valide	sans changement	53	44,2
	PV1	36	30,0
	PV2	29	24,2
	PV3	2	1,7
	<i>Total</i>	120	100,0

		Fréquence	%
Valide	très inconfortable	8	6,7
	inconfortable	25	20,8
	légèrement inconfortable	34	28,3
	confortable	53	44,2
	<i>Total</i>	120	100,0

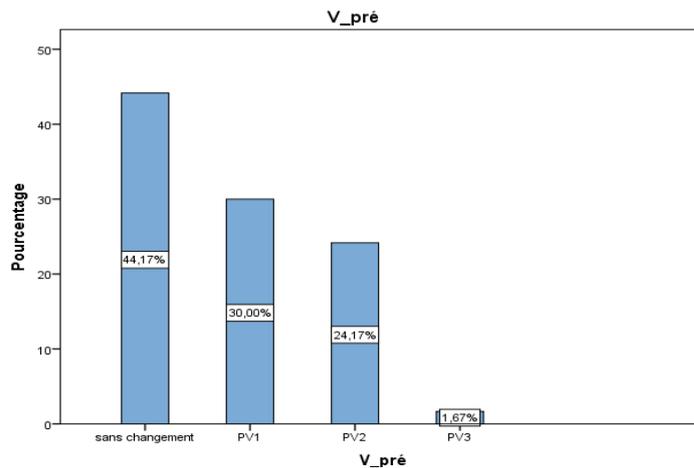
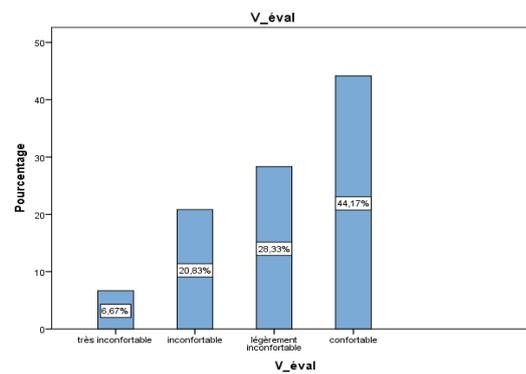
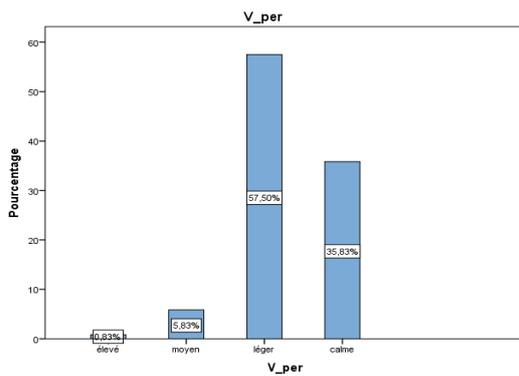


Figure 89: Tableaux et histogrammes des trois échelles de la vitesse de l'air à l'intérieur des maisons
Source : Auteur (2016)

VI.2.1.9 L'ambiance globale de l'espace :

Dans cette phase, l'ensemble des paramètres (la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air) a été pris en considération pour évaluer l'ambiance globale de l'espace (Tableau 16) (Figure 90). D'après les réponses des occupants, l'ambiance globale de l'espace est caractérisée par la sensation « légèrement inconfortable » avec un taux de 68.3% et un pourcentage peu perceptible pour la sensation « inconfortable » avec un pourcentage de 18.3% contrairement à la sensation « confortable » avec un pourcentage de 10.8%.

L'évaluation de l'ambiance dans cette période, qui s'étale de 13h00 à 16h00, montre que la plupart des occupants considèrent que le climat est « satisfaisant » avec un pourcentage de 45.8%. La modalité « légèrement insatisfaisante » est d'un taux de 39.2%. Alors que certains occupants trouvent que l'ambiance thermique est « insatisfaisante » et d'autres « très satisfaisante » et cela suivant les pourcentages : 7.5%, 5.8%.

Tableau 16: Tableaux des deux échelles de l'ambiance globale à l'intérieur des maisons
Source : Auteur, 2016

		Nb	%
A_per	extrêmement inconfortable	1	,8
	très inconfortable	2	1,7
	inconfortable	22	18,3
	légèrement inconfortable	82	68,3
	confortable	13	10,8
	<i>Total</i>	120	100,0

		Nb	%
A_éval	très insatisfaisant	2	1,7
	insatisfaisant	9	7,5
	légèrement insatisfaisant	47	39,2
	satisfaisant	55	45,8
	très satisfaisant	7	5,8
	<i>Total</i>	120	100,0

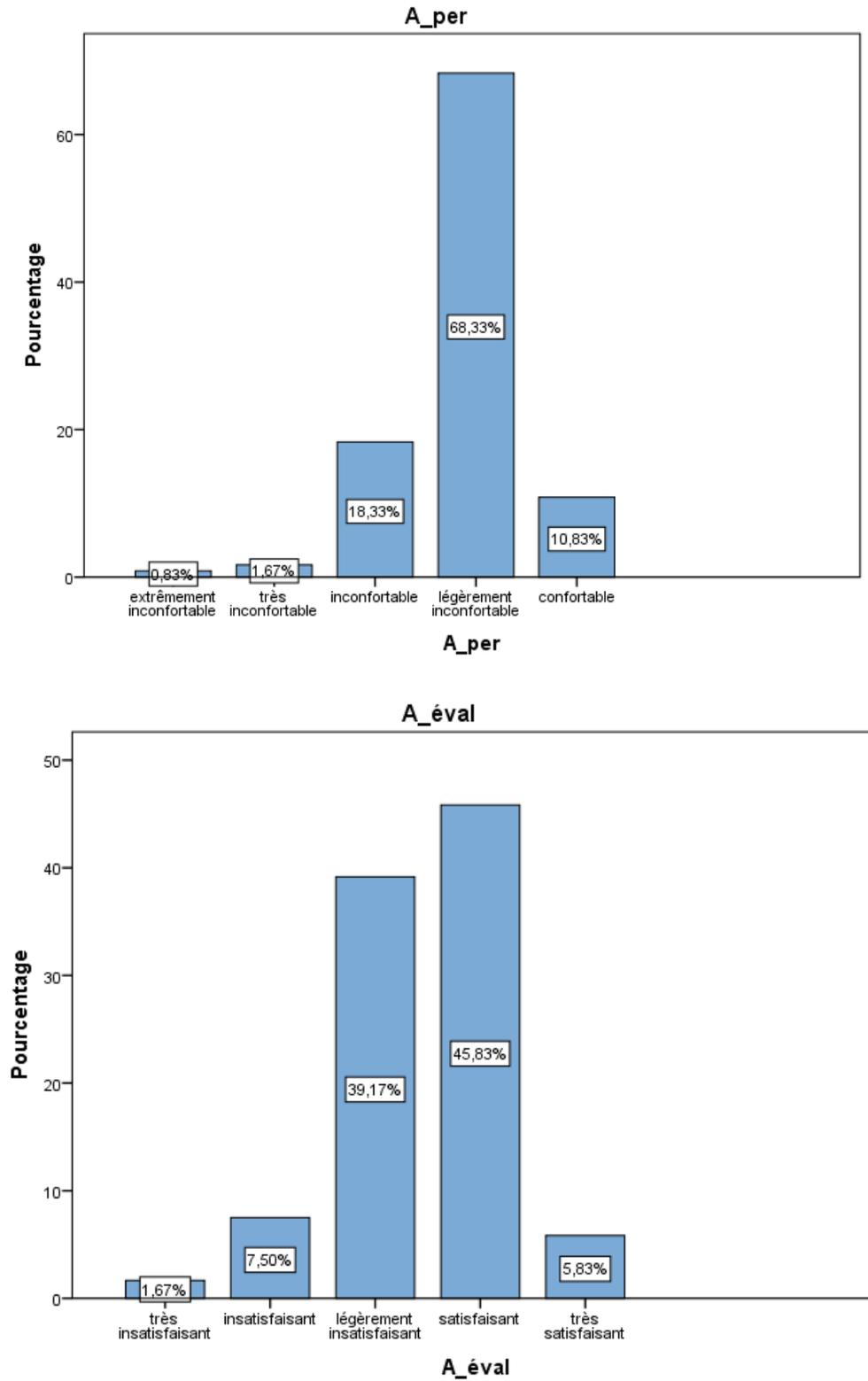


Figure 90: Histogrammes des deux échelles de l'ambiance globale à l'intérieur des maisons
 Source : Auteur, 2016

VI.2.1.10 L'occupation de l'espace : (nomadisme journalier / saisonnier)

À l'analyse des taux de fréquentation des différents espaces mentionnés dans le questionnaire (Tableau 17), la plage horaire convenable pour l'utilisation de chaque espace a été retenue dans la question sous forme de périodes bien distinguées, à partir desquelles, on a découvert que 81.6% des habitants préfèrent le matin, car il fournit les conditions thermiques optimales pour fréquenter ces espaces. Tandis que 36.8% préfèrent la fréquentation de certains espaces la nuit. La valeur minimale qui offre les conditions extrêmes d'inconfort a été enregistrée dans la période de midi avec un taux de 2.6% qui signifie la présence d'un nomadisme journalier. D'autres chercheurs l'ont appelé « nomadisme quotidien » ou « nomadisme interne » (Bencherif & Chaouche, 2013).

Tableau 17: Le nomadisme journalier de chaque espace durant la période estivale
Source : Auteur, 2016

		C_pré_matin		C_pré_midi		C_pré_après midi		C_pré_nuit	
		non	oui	non	oui	non	oui	non	oui
Espace	Patio	4	15	18	1	5	14	11	8
	WD-R	2	23	25	0	8	17	11	14
	Cour	6	15	19	2	5	16	3	18
	Hall	1	5	7	0	3	4	5	2
	Salon	11	27	18	20	15	23	16	22
	Chambre	4	4	2	6	7	1	3	5
	Terrasse	1	1	2	0	1	1	0	2
<i>Total</i>		29	90	91	29	44	76	49	71

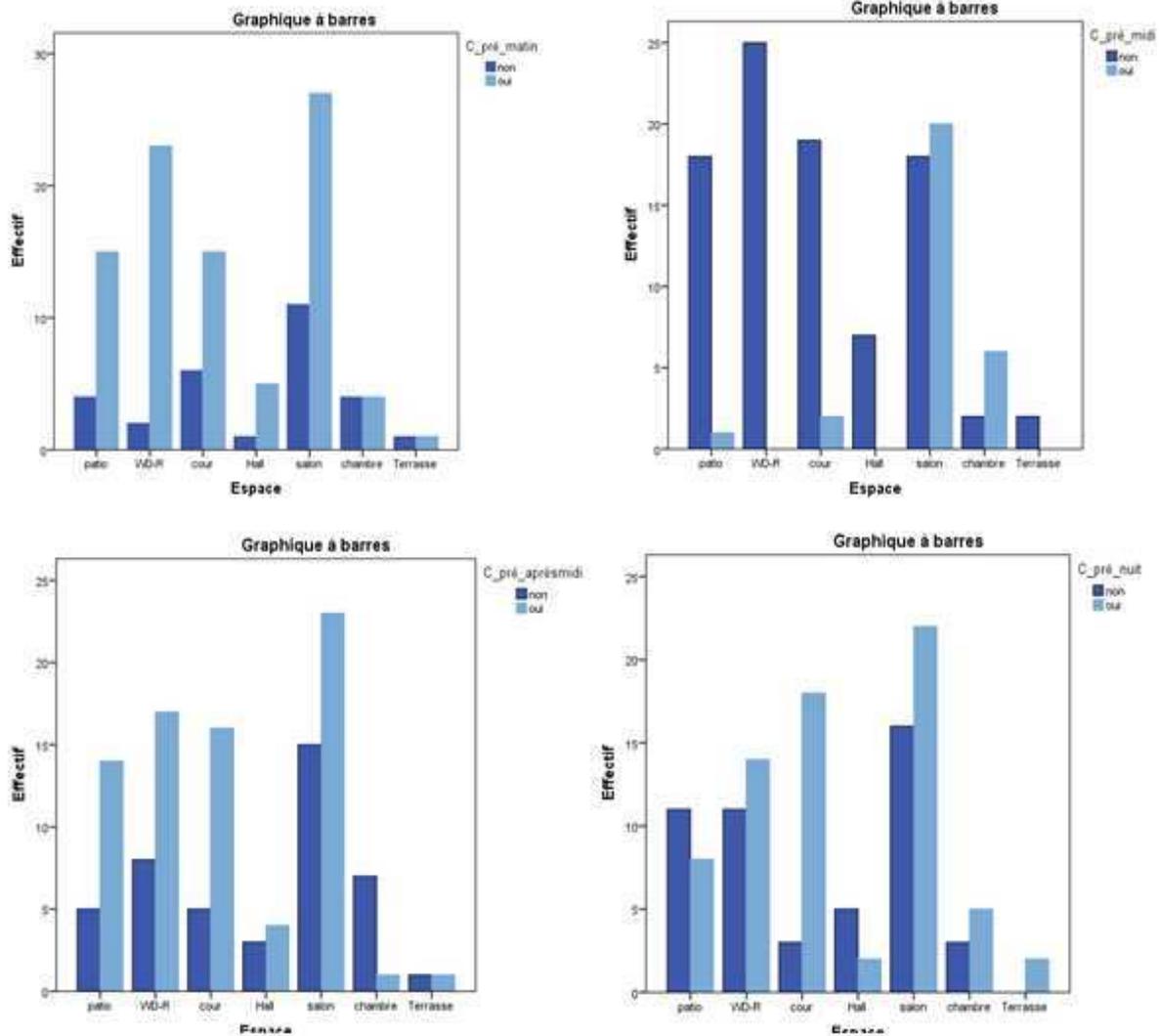


Figure 91: Graphes à barres qui montrent le nomadisme journalier de chaque espace durant la période estivale. Source : auteur (2016)

VI.3 Analyse et interprétation de l'environnement physique : (mesures in situ)

Dans la première section de ce chapitre, nous avons examiné le confort thermique intérieur à partir d'une enquête subjective. Pour cette partie, nous allons évaluer objectivement le confort thermique des habitants à partir des mesures in situ et des indices du confort. (Tableau 18)

Les mesures in situ sont destinées à évaluer l'impact des dispositifs architecturaux utilisés durant la période coloniale sur le confort thermique intérieur ressenti par les habitants. De ce fait, nous allons étudier les paramètres du confort thermique « la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air » et les indices que sont la température moyenne radiante et la température opérative et PMV, comme indicateurs d'évaluation du confort thermique.

Tableau 18: Tableau représentatif des différents points de mesures
Source : Auteur, 2016

Indv	Espace	Orientation	Indv	Espace	Orientation	Indv	Espace	Orientation
1	M1_Hall	Sud-Est	41	M11_Salon	Sud-Est	81	M21_Salon	Nord-Ouest
2	M1_Hall	Sud-Est	42	M11_Salon	Sud-Est	82	M21_Salon	Nord-Ouest
3	M1_Hall	Sud-Est	43	M11_WR	Sud-Est	83	M21_Salon	Nord-Ouest
4	M1_cour	Sud-Est	44	M11_WR	Sud-Est	84	M21_cour	Nord-Ouest
5	M2_Hall	Sud-Est	45	M12_cour	Nord-Ouest	85	M22_Salon	Sud-Ouest
6	M2_Hall	Sud-Est	46	M12_Salon	Nord-Ouest	86	M22_cour	Sud-Ouest
7	M2_cour	Sud-Est	47	M12_cour	Nord-Ouest	87	M22_cour	Sud-Ouest
8	M2_cour	Sud-Est	48	M12_Salon	Nord-Ouest	88	M22_Salon	Sud-Ouest
9	M3_WR	Sud-Ouest	49	M13_Patio	Sud-Ouest	89	M23_Patio	Nord-Est
10	M3_WR	Sud-Ouest	50	M13_Patio	Sud-Ouest	90	M23_Patio	Nord-Est
11	M3_WR	Sud-Ouest	51	M13_Salon	Sud-Ouest	91	M23_Patio	Nord-Est
12	M3_Ch	Sud-Ouest	52	M13_Salon	Sud-Ouest	92	M23_Ch	Nord-Est
13	M4_WR	Sud-Ouest	53	M14_Patio	Nord-Est	93	M24_Patio	Sud-Est
14	M4_WR	Sud-Ouest	54	M14_Ch	Nord-Est	94	M24_Patio	Sud-Est
15	M4_WR	Sud-Ouest	55	M14_Patio	Nord-Est	95	M24_Patio	Sud-Est
16	M4_WR	Sud-Ouest	56	M14_Patio	Nord-Est	96	M24_Salon	Sud-Est
17	M5_Salon	Sud-Est	57	M15_Salon	Nord-Est	97	M25_WR	Nord-Ouest
18	M5_Salon	Sud-Est	58	M15_cour	Nord-Est	98	M25_WR	Nord-Ouest
19	M5_Salon	Sud-Est	59	M15_cour	Nord-Est	99	M25_WR	Nord-Ouest
20	M5_Terrasse	Sud-Est	60	M15_cour	Nord-Est	100	M25_Ch	Nord-Ouest
21	M6_Patio	Sud-Est	61	M16_Salon	Nord-Ouest	101	M26_WR	Sud-Est
22	M6_Patio	Sud-Est	62	M16_Salon	Nord-Ouest	102	M26_WR	Sud-Est
23	M6_Patio	Sud-Est	63	M16_cour	Nord-Ouest	103	M26_Salon	Sud-Est
24	M6_Ch	Sud-Est	64	M16_cour	Nord-Ouest	104	M26_Salon	Sud-Est
25	M7_Ch	Nord-Ouest	65	M17_Salon	Sud-Est	105	M27_WR	Nord-Est
26	M7_WR	Nord-Ouest	66	M17_Salon	Sud-Est	106	M27_WR	Nord-Est
27	M7_WR	Nord-Ouest	67	M17_Salon	Sud-Est	107	M27_WR	Nord-Est
28	M7_WR	Nord-Ouest	68	M17_cour	Sud-Est	108	M27_Salon	Nord-Est
29	M8_WR	Nord-Ouest	69	M18_Patio	Sud-Est	109	M28_Salon	Sud-Est
30	M8_WR	Nord-Ouest	70	M18_Patio	Sud-Est	110	M28_Salon	Sud-Est
31	M8_Salon	Nord-Ouest	71	M18_Patio	Sud-Est	111	M28_Salon	Sud-Est
32	M8_Salon	Nord-Ouest	72	M18_Salon	Sud-Est	112	M28_Terrasse	Sud-Est
33	M9_cour	Sud-Ouest	73	M19_WR	Nord-Ouest	113	M29_Salon	Sud-Ouest
34	M9_cour	Sud-Ouest	74	M19_WR	Nord-Ouest	114	M29_Hall	Sud-Ouest
35	M9_cour	Sud-Ouest	75	M19_WR	Nord-Ouest	115	M29_cour	Sud-Ouest
36	M9_Salon	Sud-Ouest	76	M19_Ch	Nord-Ouest	116	M29_cour	Sud-Ouest
37	M10_Salon	Sud-Est	77	M20_Salon	Sud-Ouest	117	M30_Ch	Sud-Ouest
38	M10_Salon	Sud-Est	78	M20_Salon	Sud-Ouest	118	M30_Patio	Sud-Ouest
39	M10_cour	Sud-Est	79	M20_Salon	Sud-Ouest	119	M30_Patio	Sud-Ouest
40	M10_cour	Sud-Est	80	M20_Hall	Sud-Ouest	120	M30_Salon	Sud-Ouest

VI.3.1 Étude évaluative de la température l'air :

Pour bien étudier les résultats des mesures effectuées dans les trente maisons, on a fait référence à la température extérieure prise par les instruments et de la météo (Biskra). Les journées choisies pour l'étude sont le 29, 30 et 31 de juillet et la première semaine d'août.

Afin de vérifier la performance thermique des maisons étudiées, nous avons pris les plages de la température ambiante de l'air déterminé par les deux études d'Ealiwa et al (2001) et Khoukhi et Fezzioui (2012) qui ont été effectuées dans un climat aride, où la zone de confort est « $30.8^{\circ}\text{C} < T < 32.5^{\circ}\text{C}$ » (Ealiwa, Taki, Howarth, & Seden, 2001) et « $18^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$ » (Khoukhi & Fezzioui, 2012). Alors, nous pouvons considérer que la zone de confort se situe entre « 18°C et 32.5°C »; les autres zones représentant les zones d'inconfort.

Il est possible de comprendre la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur en soustrayant les températures moyennes externes de celle de l'intérieur de la pièce (Bennadji, 1999). Le graphe (Figure 91) représente les températures de l'air mesurées dans chaque espace, en corrélation avec les températures extérieures mesurées. Il apparaît que les températures moyennes intérieures dans toutes les maisons sont inférieures à celle de la température extérieure sauf au niveau de la maison M14 dans laquelle on trouve que les températures intérieures et extérieures sont équivalentes vu que cette maison est faite sur un seul niveau et orientée dans la direction nord-est/sud-est. La température moyenne intérieure maximale est remarquée dans la maison 28 à 15h35, tandis que pour la température extérieure est de 40.3°C , et cela dû à l'effet de l'inertie thermique de la pierre (Mazouz, 2005).

Les maisons M6, M9 et M24 sont les espaces où les valeurs de la température moyenne intérieure sont les plus importantes. La maison M9 est composée d'un seul niveau et est orientée au sud-ouest, mais on peut dire que l'espace de mesure (Cour) est allongé sur l'axe nord-est/sud-est et n'est pas protégée, cela provoque un agrandissement de la surface exposée aux rayons solaires. En conséquence, une grande surface de l'enveloppe interne est ensoleillée. Pour les deux autres maisons (M6 et M24) où l'espace mesuré est le Patio, qui sont orientées au sud-est et composées de deux niveaux, avec une petite surface exposée aux rayons solaires, l'inconfort est présent.

En contrepartie, on trouve que les Maisons M4 et M26 ont enregistré des températures moyennes intérieures moins élevées. Cela explique l'effet de la petite ouverture au niveau du toit « rozna » (Wast-ed-dar avec Rozna) la température intérieure de l'air (maison en un seul niveau avec terrasse), avec une orientation sud-ouest, et sud-est pour la deuxième.

L'écart maximal entre la température extérieure et intérieure est indiqué de : 11.2°C , 10.6°C , 9.3°C respectivement pour M4, M7, M27 (des maisons avec rozna) ce qui montre

l'effet de la petite ouverture en haut. Alors que l'écart minimal est marqué à M9 et M14 de -0.3°C et 0.7°C , ce qui montre que parce que ces deux maisons sont composées d'un seul niveau, l'augmentation de la température intérieure est proportionnelle à l'espace avec une orientation nord-est. Les maisons non protégées avec une faible densité urbaine (zone1).

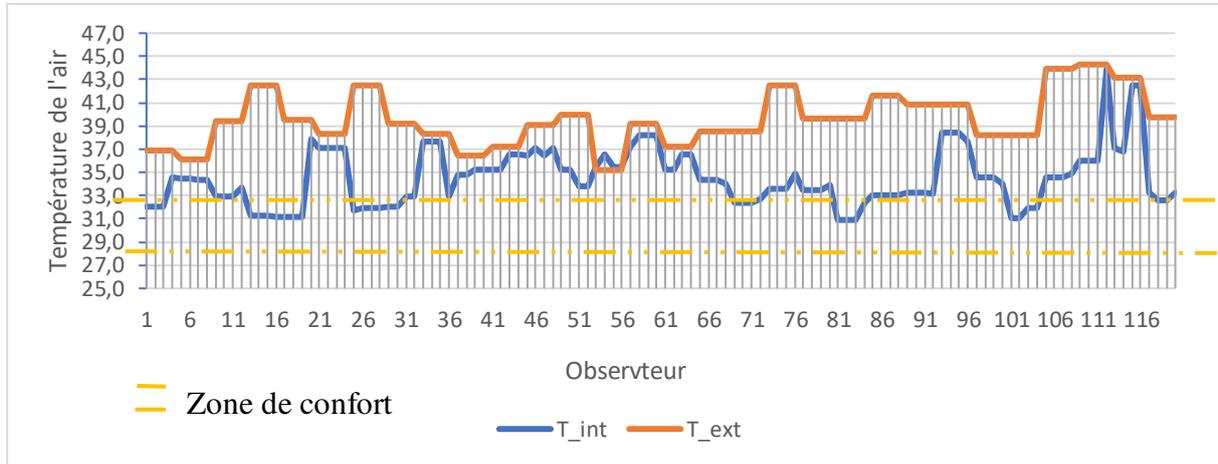


Figure 92 : Graphe représente la variation de températures moyennes intérieures et extérieures.

Source : Auteur, 2016

On peut retenir que la faible conductivité thermique des matériaux et leurs inerties thermiques provoquent une augmentation de l'écart entre les températures intérieures et extérieures. Quelques valeurs de la température mesurée sont dans la zone de confort « $18^{\circ}\text{C} < T < 32.5^{\circ}\text{C}$ », on peut donc conclure que les conditions de confort hygrothermiques des habitants des maisons coloniales sont réalisées pour un climat saharien (chaud et sec).

VI.3.2 Étude évaluative de l'humidité relative :

La perception thermique des habitants est influencée aussi par l'humidité relative, à mesure que le taux d'humidité augmente la sensation thermique chaude augmente également. Dans le cas d'une température très élevée, on pourrait exprimer que l'effet de l'humidité influe plus sur la sensation thermique.

À la lecture du graphe (Figure 93), les humidités relatives internes sont élevées par rapport aux humidités extérieures, tout se résume au type de revêtement dans un milieu urbain dominé par l'asphalte et le manque d'espace vert. Cela se traduit par une absorption significative des apports solaires et la réémission du rayonnement en grandes longueurs d'onde. Dans ce cas aussi on remarque que l'humidité mesurée au niveau de la rue est également inférieure à l'humidité moyenne intérieure. Le minimum de l'humidité relative interne est de 16.5% pour M29 « cour », avec une humidité relative externe de 18.7%. La valeur maximale de l'humidité d'air interne enregistrée est de 46.5% pour M30 « patio » du même espace avec une humidité

relative externe de 22.8%, ce qui signifie l'utilisation d'un bassin l'eau au centre du Patio dont le rôle est l'humidification de l'air. (voir Annexe 2, Maison 30)

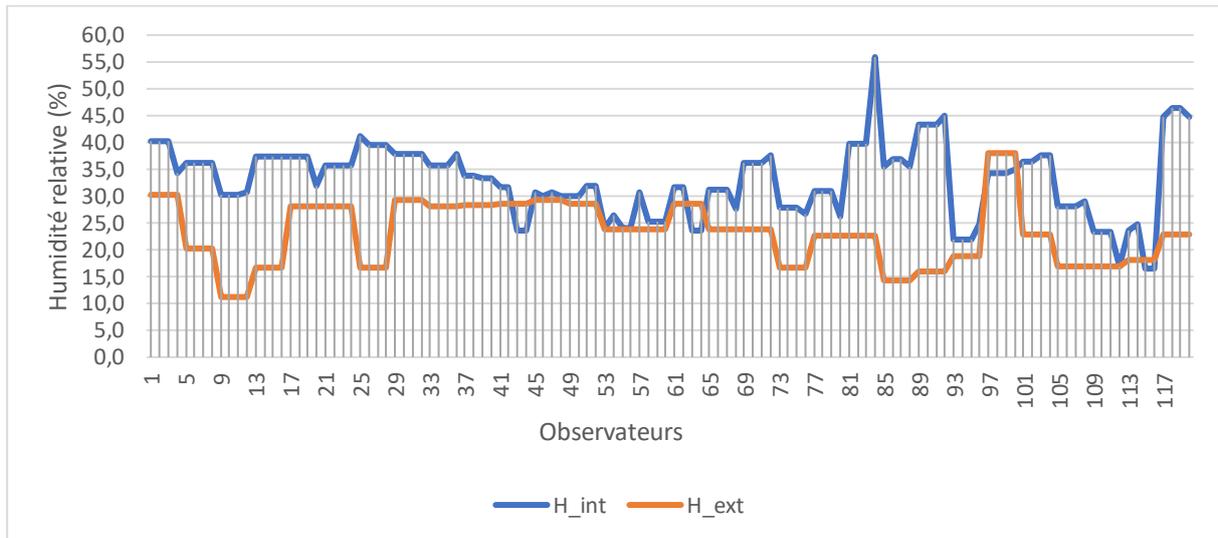


Figure 93 : Différence de l'humidité relative entre intérieur et extérieur des espaces durant la période de mesure.

Source : Auteur (2016)

VI.3.3 Étude évaluative de la vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un autre facteur influençant l'environnement thermique dans un climat chaud et sec. La ventilation joue un rôle important pour le confort thermique de l'habitant (Hamel, 2005). Par conséquent, la ventilation naturelle dans l'habitat affecte les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau (Izard & Millet, 1993).

L'investigation s'est basée sur l'obtention des mesures momentanées de la vitesse de l'air dans chaque point. La période choisie de la prise de mesures est la période de surchauffe (13h à 16h) qui exige généralement que les habitants ferment les fenêtres, ce qui élimine le courant d'air et rend la vitesse de l'air presque inexistante. Ceci est confirmé par les mesures enregistrées qui indiquent que la vitesse de l'air intérieur est de 0m/s (Figure 94). Les valeurs enregistrées dans les patios et les cours sont plus au moins élevées par rapport aux autres espaces. Avec une vitesse qui ne dépasse pas 0.33 m/s grâce à l'ouverture au ciel et au manque d'obstacle. Pour le cas de l'observateur 20, « M5 » ou on trouve une grande vitesse de vent de 1.64 m/s parce que l'espace mesuré est une terrasse.

La vitesse moyenne de l'air est inférieure à l'intérieur à celle de l'extérieur, car les portes et les fenêtres sont fermées, ce qui diminue les échanges de chaleur par évaporation et pour cela l'humidité est maximale à l'intérieur. (Lebbal & Mazouz, 2018)

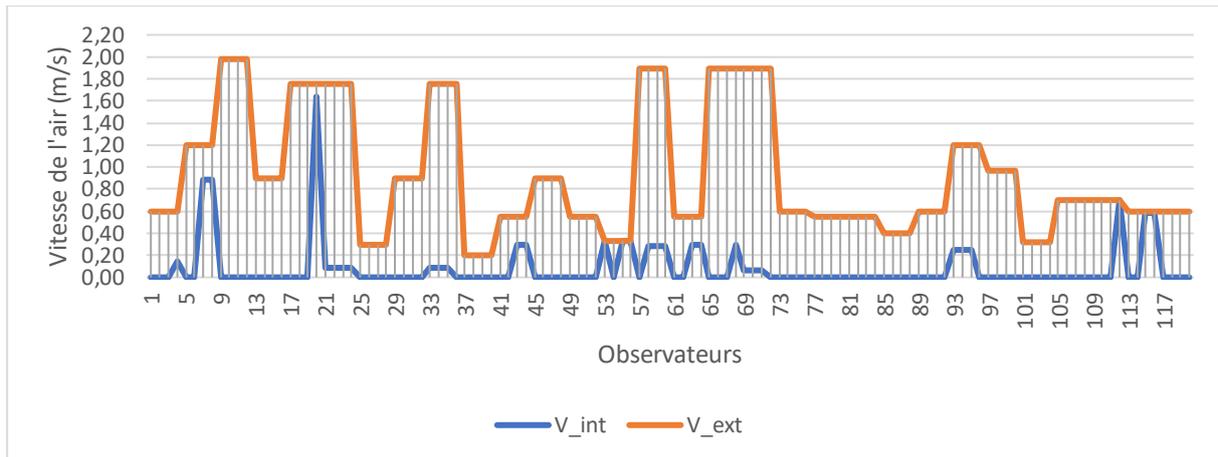


Figure 94: Différence de la vitesse de l'air entre intérieur et extérieur des espaces durant la période de mesure.

Source : Auteur (2016)

VI.3.4 Évaluation de la température moyenne radiante :

Le calcul de l'indice de la température moyenne radiante T_{mr} est nécessaire pour analyser l'impact des dispositifs architecturaux sur le confort thermique intérieur. Selon la formule suivante, température moyenne radiante est déterminée :

$$T_{mr} = [(T_g + 273)^4 + 2.5 * 10^8 * V^{0.6} * (T_g - T_a)]^{1/4} - 273$$

Où : - T_g est la température globale (°C)

- T_a est la température de l'air (°C)

- V est la vitesse de l'air (m/s)

Par l'analyse des résultats du graphe (Figure 95), on remarque que la température moyenne radiante atteint ses valeurs maximales dans les espaces ouverts (cours, terrasses). Et on a enregistré les valeurs faibles dans les espaces intérieurs fermés.

Un autre dispositif d'espace est représenté par le Patio formé d'une petite ouverture au niveau de la toiture dont les valeurs de la T_{mrt} sont moins faibles que celles des espaces totalement ouverts (terrasse et cour) qui possèdent une hauteur importante; c'est-à-dire un rapport H/L fort (Boulfani, 2010).

On peut émettre l'hypothèse que les valeurs de la Température moyenne radiante T_{mrt} sont largement influencées par la forme et la dimension des dispositifs.

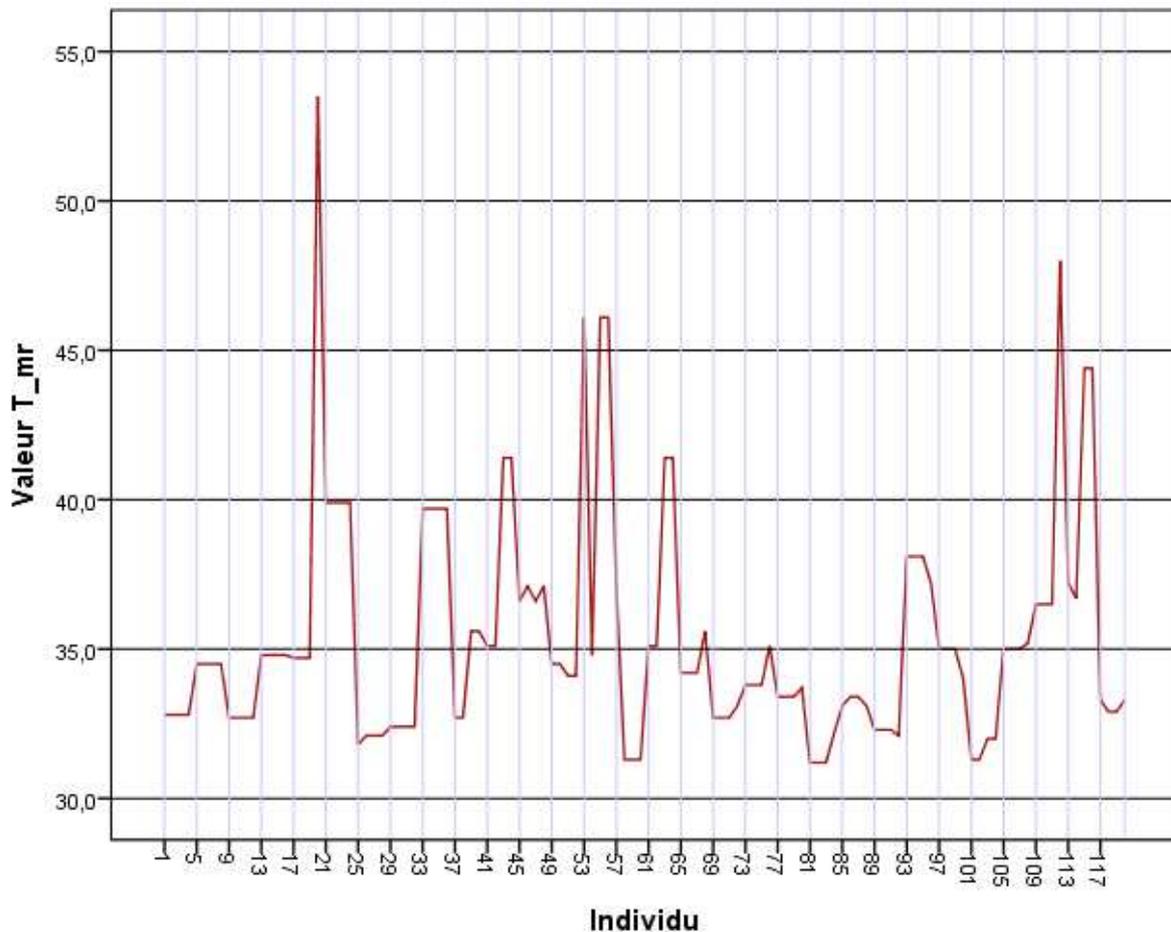


Figure 95: Graphe représente la variation de températures moyennes radiantes
Source : Auteur (2016)

VI.3.5 L'évaluation de la température opérative

Afin d'étudier l'impact des dispositifs de la maison coloniale sur le confort thermique intérieur, le calcul des valeurs de la température opérative (T_{op}) est nécessaire, car cette dernière constitue le paramètre clé dans l'évaluation du confort thermique intérieur.

Nous observons que les courbes suivent à peu près les mêmes allures que celle de la température de l'air en comparant les températures opératives aux différents points de mesure (Figure 96). Dans la plupart des espaces, on a une vitesse de l'air = 0.0 m/s. La température opérative est différente par rapport à chaque espace et chaque dispositif, ou on a enregistré la température (T_{op}) la plus élevée pour la terrasse de 45.1°C et la minimale pour l'espace « salon » de 31.1°C.

D'après le graphe de la T_{op} (Figure 95), la courbe est au-dessus de la zone de confort qui est de 22.5°C < T_{op} < 28.0°C selon la norme ISO 7730 pour la période d'été, avec des différences remarquables entre les maisons étudiées. Mais par rapport aux sensations subjectives des habitants.

La température opérative obtenue de M1 et M2 est la même que la T_{air} . Mais pour la M3, la valeur de Top connaît une différence intéressante de $1.4^{\circ}C$ comme on trouve pour la T_{mr} qui est de $39.9^{\circ}C$ (figure 94) qui peut être expliquée par un effet d'exposition aux rayons solaires à cause de l'orientation de la maison Nord-Ouest/ Sud-Est qui est la plus défavorable et aussi sa faible hauteur.

De ce fait, les deux maisons M4 et M5 répondent encore mieux que le reste des maisons grâce à leur orientation nord-est/ sud-ouest et on trouve aussi que la maison M23 est la plus confortable avec une T_{op} de $32.8^{\circ}C$ (proche de la zone de confort entre 30.8 et $32.5^{\circ}C$) (Ealiwa, Taki, Howarth, & Seden, 2001) à cause de sa hauteur R+2 engendrant une profondeur du patio comparativement aux autres espaces comme la terrasse ou la cour. La maison M26 avec «Wast ed-dar et rozna » est la plus confortable avec une $T_{op} = 31.2^{\circ}C$ à cause de la petite ouverture à la toiture.

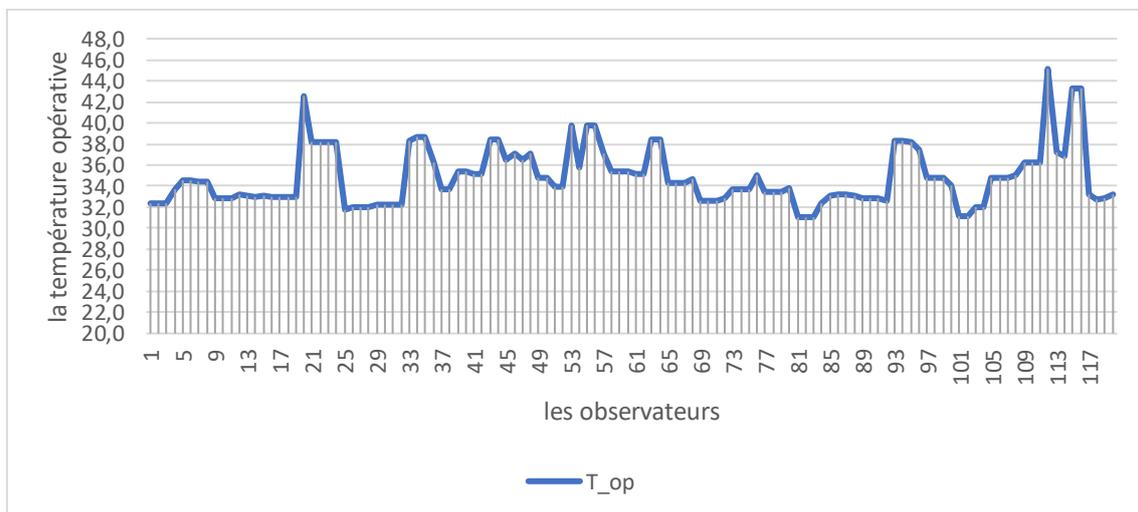


Figure 96: Graphe représentant la variation de la température opérative de chaque point de mesure
Source : auteur, 2016

VI.3.6 Évaluation du confort thermique adaptatif : (le vote moyen prévisible PMV)

Dans le calcul des valeurs de l'indice PMV dans la période de la surchauffe, de 14h00 à 16h00, on a enregistré des valeurs élevées pour les espaces ouverts (cour, Terrasse et patio), où on a enregistré $PMV = 8.2$ dans la terrasse qui signifie que l'espace est bien exposé au rayonnement solaire. Alors que les espaces intérieurs protégés des rayonnements solaires ont des valeurs minimales du PMV; c'est le cas des deux points 83 et 84 qui représentent l'espace «salon » avec un $PMV = 1.8$ qui a été jugé par les habitants « légèrement chaud ». (Figure 97)

Selon les différentes sensations, nous avons découvert que les différents espaces étudiés présentent un bilan thermique « légèrement chaud » en classant les valeurs de cet indice.

D'après les valeurs du PMV, l'intensité de cette sensation varie d'un point à un autre, cela démontre la fiabilité des résultats du questionnaire.

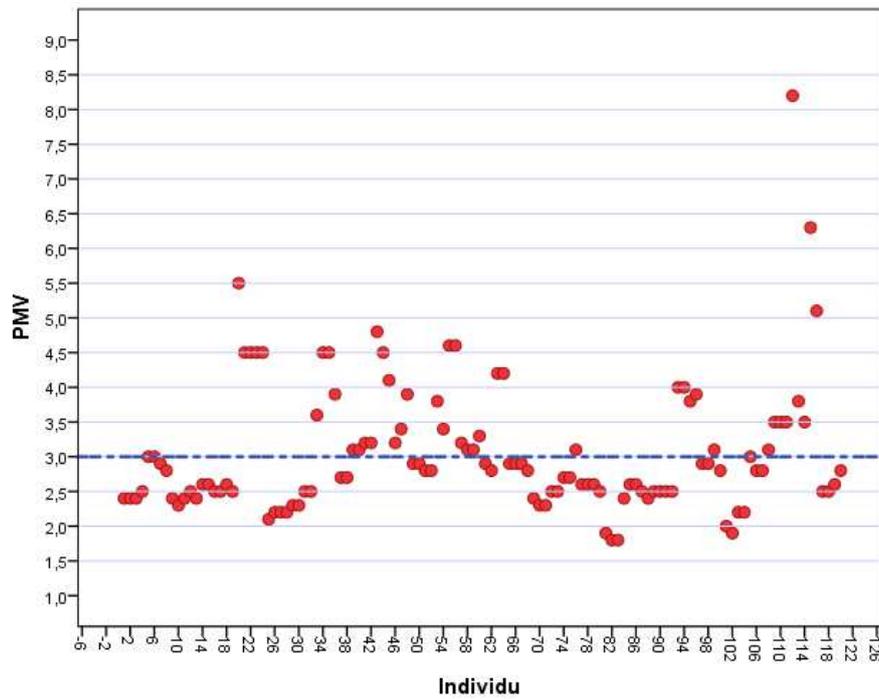


Figure 97: Variations des valeurs du PMV des différents points de mesure
Source : Auteur (2016)

VI.4 Conclusion :

L'étude des différents paramètres confirme la complexité de la notion du confort thermique, car elle englobe plusieurs facteurs, non seulement la température, l'humidité et la vitesse de l'air, mais aussi d'autres paramètres comme la température moyenne radiante et la température opérative. L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'effet des dispositifs architecturaux sur le confort thermique des habitants durant la période estivale à travers une étude expérimentale in situ, subjective et objective.

Nous avons commencé par l'approche qualitative subjective qui consiste à évaluer les sensations, les préférences et le degré de satisfaction des habitants à l'égard de l'ambiance thermique intérieure à partir d'un questionnaire.

On est passé par la suite à l'enquête quantitative qui est basée sur les mesures physiques des différents indices du confort thermique (la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air) ainsi que les indices adaptatifs la température opérative et PMV / PPD et dont les résultats ont validé les résultats de la partie subjective (qualitative).

Les résultats obtenus de cette section, nous ont permis de mieux comprendre l'effet des dispositifs architecturaux et les matériaux de construction utilisés durant la période coloniale sur les conditions microclimatiques et la sensation thermique des habitants. Les résultats seront entièrement interprétés dans le chapitre suivant qui expliquera clairement les liens entre les différentes variables et aidera à comprendre profondément l'impact des dispositifs sur les perceptions thermiques des habitants.

Chapitre VII : **Étude de corrélation entre les variables**

VII.1 Introduction

Après l'analyse expérimentale des résultats des enquêtes qualitatives et quantitatives dans le chapitre précédent, nous essayerons dans ce chapitre de comprendre les liens et les différentes relations entre eux. Il est donc essentiel d'étudier les corrélations entre les différentes échelles d'évaluation et les différentes variables. Cela nous permet de déterminer le taux de crédibilité des votes en fonction des mesures in situ.

Nous commençons par examiner le lien entre les échelles de vote et les dispositifs architecturaux (les espaces). Puis, nous examinerons les corrélations entre les votes de sensation (les mesures qualitatives perçues) et les votes de PMV (les mesures quantitatives prévues). Par la suite, nous étudions l'indice de PMV en fonction de la température opérative T_o (°C).

VII.2 L'impact de l'espace sur le confort thermique intérieur : (analyse bivariée)

L'analyse bivariée est pour but de trouver des relations entre deux variables qualitatives ou quantitatives. Il s'agit d'évaluer statiquement les réponses de la question X avec les réponses de la question Y et de vérifier « l'hypothèse nulle » si elles sont ou non corrélées.²⁰

Le choix des tests statistiques bivariés est fortement influencé par les variables analysées :

- Le test de Khi-deux pour 2 variables qualitatives (représenter dans un tableau croisé les quantités de chacun des deux variables et leurs modalités).
- Le test de corrélation de Pearson pour 2 variables quantitatives (diagramme de dispersion)
- Le test de corrélation de Spearman pour 2 variables ordinales.

Dans cette partie, on va examiner l'interaction entre les différentes typologies d'espaces et les réponses des habitants en fonction des trois échelles de jugement, selon lesquelles on a construit notre questionnaire.

VII.2.1 Typologie de la maison et les conditions de la température :

Selon l'échelle de la perception (Tableau 19), un total de 62 réponses des enquêtés ont trouvé qu'il fait « légèrement chaud » par rapport aux autres perceptions avec 17 réponses pour l'espace « Wast-ed-dar avec rozna ». Tandis que 15 réponses ont trouvé qu'il fait « légèrement chaud » par rapport à l'espace « Salon » par contre 17 habitants ont répondu « chaud » pour cet espace. Par rapport aux deux espaces « Patio, Cour », 11 des questionnés ont trouvé que l'air était « légèrement chaud ».

Sur le plan statistique (tableau 20), le test Khi-deux est nécessaire pour croiser ce genre de questions (questions fermées). On a constaté une relation significative entre le type d'espace et la sensation thermique perçue avec un **khi-deux = 31.423** et **p = 0.026 < 0.05**.

²⁰ <https://larmarange.github.io/analyse-R/statistique-bivariee.html>

Tableau 19: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle de sensation.

Source : Auteur, 2018

		Température (échelle perceptive)				Total
		très chaud	chaud	légèrement chaud	neutre	
Espace	patio	3	3	11	2	19
	WD-R	5	3	17	0	25
	cour	2	8	11	0	21
	Hall	2	1	5	0	7
	salon	6	17	15	0	38
	chambre	0	6	2	0	8
	Terrasse	1	0	1	0	2
<i>Total</i>		18	38	62	2	120

Tableau 20: Tests du Khi-deux

Source : auteur (2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	31,423 ^a	18	,026
Rapport de vraisemblance	29,468	18	,043
Association linéaire par linéaire	4,201	1	,040
N d'observations valides	120		

a. 19 cellules (67,9%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,03.

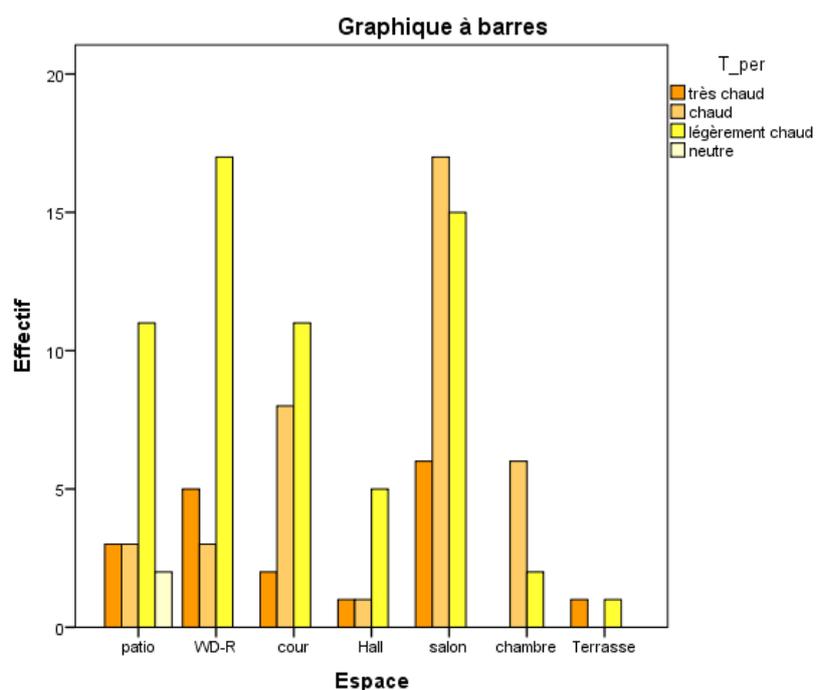


Figure 98: La perception des habitants en fonction des espaces

Source : Auteur, 2018

Suivant une échelle évaluative (Tableau 21), un totale de 60 réponses des enquêtés ont trouvé que l'ambiance thermique est « légèrement inconfortable », dont 15 réponses pour les deux espaces « Patio, Wast-ed-dar avec rozna » et 13 réponses pour l'espace « cour ». Tandis que 17 réponses « inconfortable » par rapport à l'espace « Salon » par contre 10 habitants qui ont répondu « légèrement inconfortable » pour cet espace et cela est dû à d'autres facteurs.

Sur le plan statistique (tableau 22), on a perçu une relation très significative entre le type d'espace et la sensation thermique évaluative avec un **khi-deux = 40.750** et **p = 0.002 < 0.05**.

Tableau 21: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle évaluative.

Source : Auteur, 2018

		T_éval				Total
		très inconfortable	inconfortable	légèrement inconfortable	confortable	
Espace	patio	0	2	15	2	19
	WD-R	1	4	15	5	25
	cour	1	5	13	2	21
	Hall	0	1	4	2	7
	salon	10	17	10	1	38
	chambre	1	4	2	1	8
	Terrasse	1	0	1	0	2
<i>Total</i>		14	33	60	13	120

Tableau 22: Tests du Khi-deux

Source : auteur (2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	40,752 ^a	18	,002
Rapport de vraisemblance	42,807	18	,001
Association linéaire par linéaire	21,940	1	,000
N d'observations valides	120		
a. 20 cellules (71,4%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,22.			

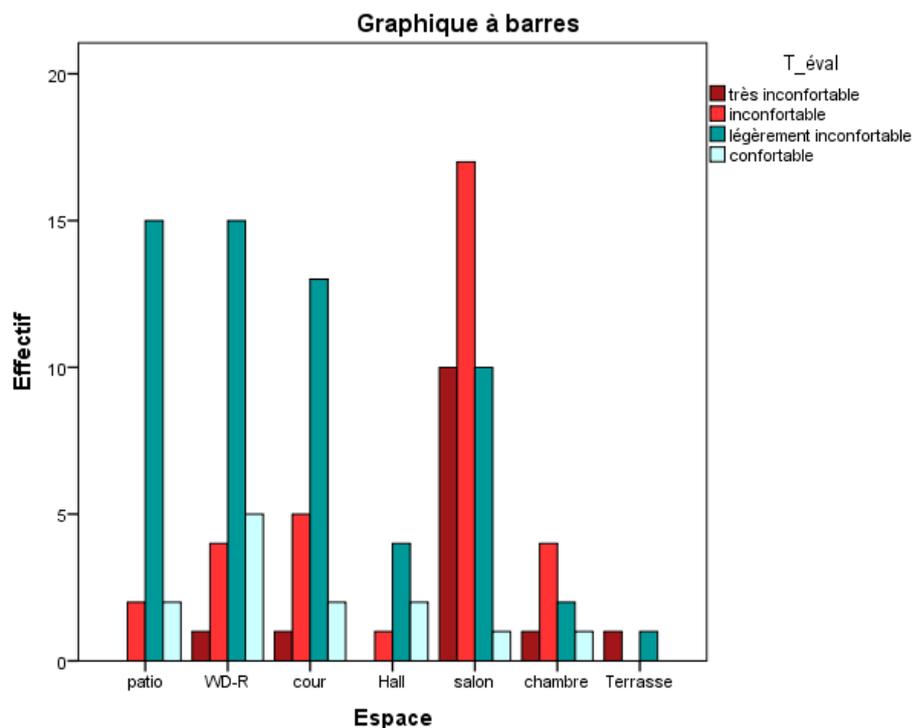


Figure 99: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle évaluatif
Source : Auteur, 2018

Selon l'échelle de préférence (Tableau 23), les réponses des sujets se sont accordées sur la demande du rafraîchissement de l'air, notamment dans l'espace « salon », où 19 des individus préfèrent que l'air soit « plus froid » et 10 habitants préfèrent qu'il soit « beaucoup plus froid ». Pour l'espace « chambre », les réponses des habitants sont partagées entre les deux modalités : « plus de froid » et « un peu de froid » avec des effectifs de 5 et 3, respectivement.

Pour le cas de « Wast-ed-dar avec rozna », « Patio » et « cour », on a constaté que les individus sont presque satisfaits vis-à-vis des conditions de la température où on a enregistré des effectifs de 16, 15 et 14 pour la modalité « un peu plus froid ». Le croisement des réponses à ces deux questions (Tableau 24), nous a permis d'obtenir un **khi-deux = 41.318** qui nous indique une relation très significative avec un **p = 0.001 < 0.05**.

Tableau 23: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle de préférence thermique.

Source : Auteur, 2018

		T_pré				Total
		beaucoup plus froid	plus froid	un peu plus froid	sans changement	
Espace	patio	0	3	15	1	19
	WD-R	1	7	16	1	25
	cour	0	5	14	2	21
	Hall	1	1	5	0	7
	salon	10	19	8	1	38
	chambre	0	5	3	0	8
	Terrasse	1	0	1	0	2
Total		13	40	62	5	120

Tableau 24: Tests du Khi-deux.

Source : auteur (2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	41.318 ^a	18	,001
Rapport de vraisemblance	45.446	18	,000
Association linéaire par linéaire	21.339	1	,000
N d'observations valides	120		

a. 20 cellules (71,4%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,08.

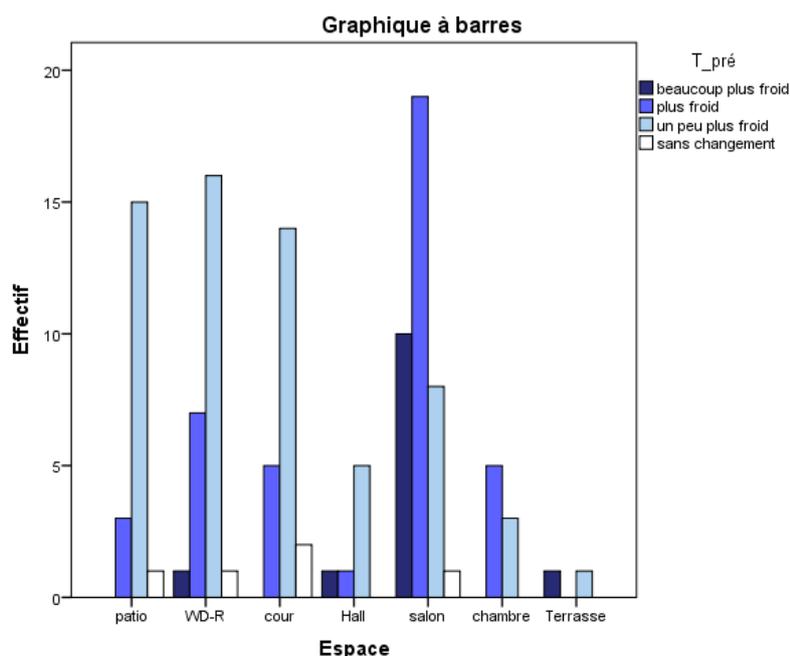


Figure 100: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de température) selon l'échelle de préférence thermique

Source : Auteur, 2018

VII.2.2 Typologie de la maison et les conditions de l'humidité

Une autre variable à prendre en compte dans notre enquête est l'humidité relative, en corrélation avec la perception des individus (Tableau 25). Nous constatons que la majorité des valeurs qui sont élevées pour la modalité « légèrement humide » ont été enregistrées dans les deux espaces « patio » et « Wast-ed-dar avec rozna » avec un effectif de 10 et 15. Contrairement à l'espace « salon » où la majorité des réponses tendent vers la modalité « légèrement sec » avec un effectif de 18 et 14 questionnés qui ont répondu « neutre ». Cette dernière a été choisie par 11 dans l'espace « cour ».

La corrélation entre les réponses à ces deux questions (Tableau 26), il en résulte un **khi-deux = 88.801** et **p = 0.000 < 0.05**. Ces deux valeurs démontrent une très forte relation entre les paramètres corrélés.

Tableau 25: les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de sensation.
Source : Auteur, 2018

		H_per					Total
		légèrement humide	neutre	légèrement sec	sec	très sec	
Espace	patio	10	9	0	0	0	19
	WD-R	15	9	1	0	0	25
	cour	0	3	11	4	3	21
	Hall	2	4	1	0	0	7
	salon	0	14	18	5	1	38
	chambre	0	6	2	0	0	8
	Terrasse	0	2	0	0	0	2
Total		27	47	33	9	4	120

Tableau 26: Tests du Khi-deux.
Source : auteur(2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	88,801 ^a	24	,000
Rapport de vraisemblance	105,625	24	,000
Association linéaire par linéaire	20,971	1	,000
N d'observations valides	120		

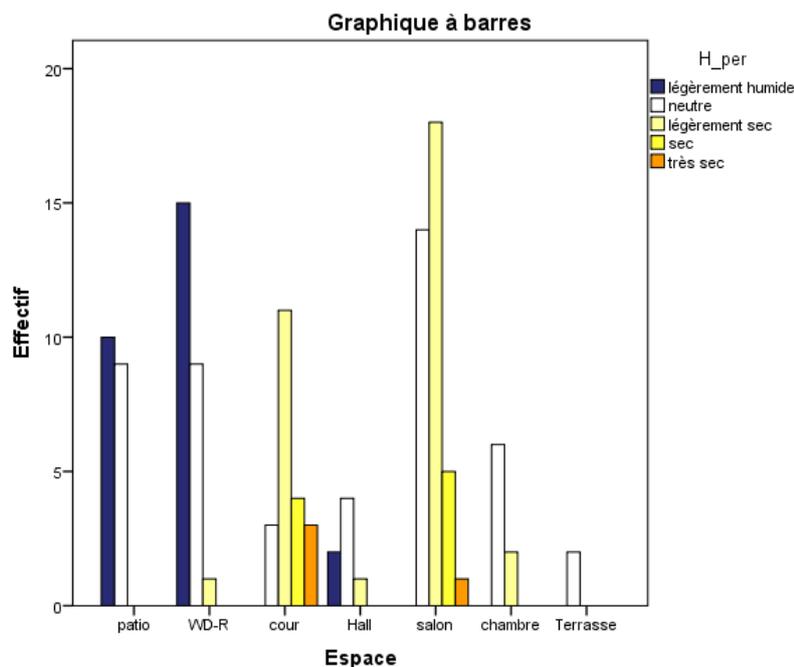


Figure 101: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de sensation
Source : Auteur, 2018

Selon l'échelle d'évaluation (Tableau 27). En termes de conditions d'humidité, dans les deux espaces « Wast-ed-dar avec rozna » et « Patio », 18 et 17 habitants trouvent que les espaces sont «confortable». Contrairement au « Salon » où 23 enquêtés ont choisi la modalité « légèrement inconfortable » et 10 enquêtés ont choisi la modalité « inconfortable ».

Dans cette corrélation (Tableau 28), un **khi-deux = 66.292** et **p = 0.000 < 0.05** nous indiquent une relation significative entre la typologie d'espace et le degré de confort par rapport aux conditions d'humidité ressenties par les utilisateurs de ces espaces.

Tableau 27: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle évaluative.
Source : Auteur, 2018

		H_éval				Total
		très inconfortable	inconfortable	légèrement inconfortable	confortable	
Espace	patio	0	0	2	17	19
	WD-R	0	3	4	18	25
	cour	4	5	9	3	21
	Hall	0	0	2	5	7
	salon	2	10	23	3	38
	chambre	0	0	2	6	8
	Terrasse	0	0	1	1	2
<i>Total</i>		6	18	43	53	120

Tableau 28 : Tests du Khi-deux.
Source : auteur (2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	66,292^a	18	,000
Rapport de vraisemblance	75,637	18	,000
Association linéaire par linéaire	11,204	1	,001
N d'observations valides	120		
a. 19 cellules (67,9%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,10.			

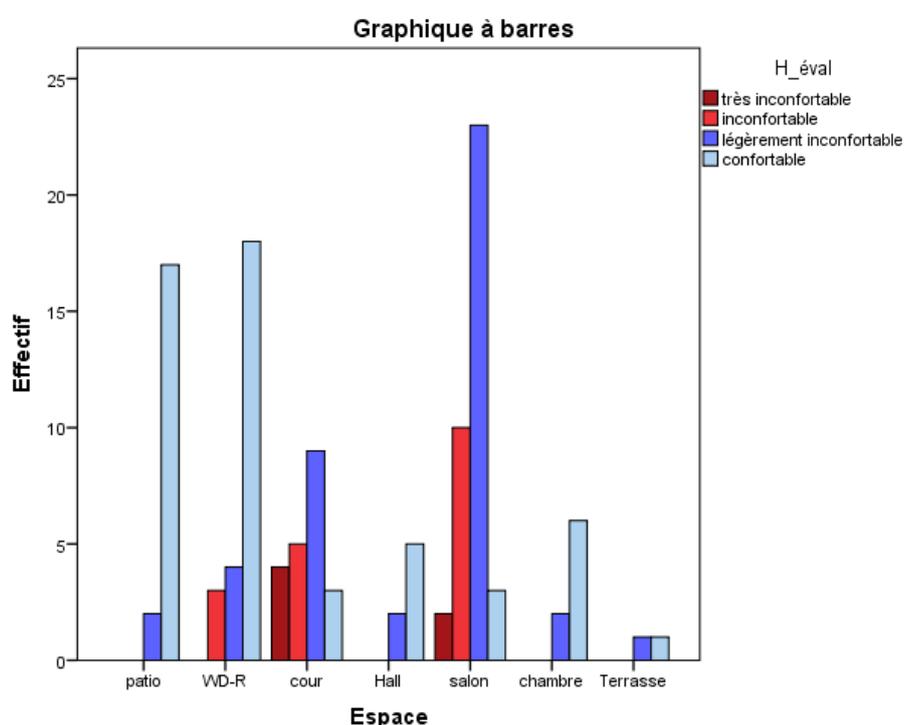


Figure 102: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle évaluative
Source : Auteur, 2018

Suivant l'échelle de préférence (Tableau 29), 70 questionnées se contentent des conditions existantes, c'est à dire « sans changement » ceci dans les espaces « Wast-ed-dar avec rozna » et « Patio » avec un effectif de 20 et 19. Pour l'espace « Salon », 22 habitants préfèrent que l'air soit « légèrement plus humide ». Cette modalité a été choisie par 11 individus dans l'espace « cour ».

Le croisement des réponses à ces deux questions nous a permis d'obtenir un **khi-deux = 70.669** et **p = 0.000 < 0.05** (Tableau 30) qui nous indiquent une relation très significative entre ses deux variables.

Tableau 29: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de préférence thermique.

Source : Auteur, 2018

		H_pré						Total
		MH2	MH1	sans changement	PH1	PH2	PH3	
Espace	patio	0	0	19	0	0	0	19
	WD-R	2	2	20	1	0	0	25
	cour	0	0	6	11	4	0	21
	Hall	0	0	6	1	0	0	7
	salon	0	0	11	22	4	1	38
	chambre	0	0	6	2	0	0	8
	Terrasse	0	0	2	0	0	0	2
Total		2	2	70	37	8	1	120

Tableau 30: Tests du Khi-deux.

Source : auteur (2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	70,669 ^a	30	,000
Rapport de vraisemblance	78,745	30	,000
Association linéaire par linéaire	16,466	1	,000
N d'observations valides	120		

a. 34 cellules (81,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,02.

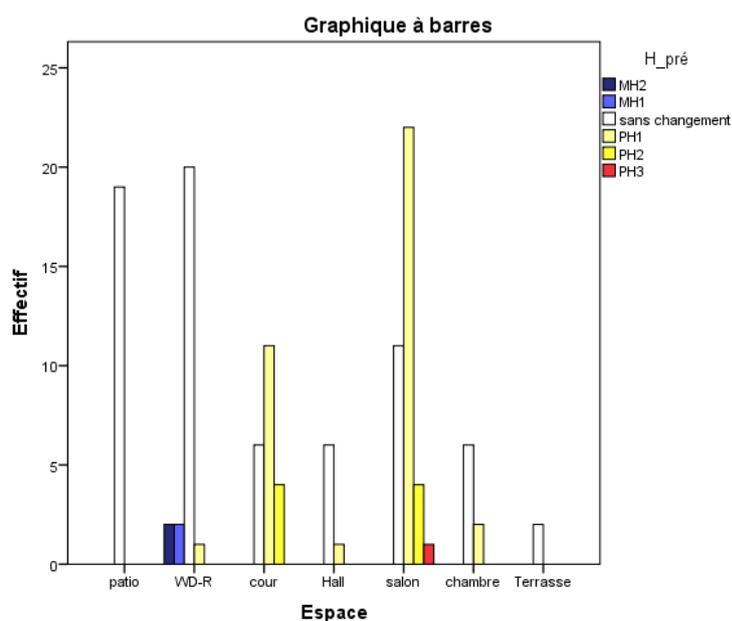


Figure 103: Les variables croisées (Type d'espace/conditions d'humidité) selon l'échelle de préférence thermique

Source : Auteur, 2018

VII.2.3 Typologie de la maison et les conditions de l'air :

Pour croiser les réponses des deux questions: la typologie d'espace/ les conditions de l'air intérieur, la même démarche a été suivie afin de définir le lien entre elles. Selon l'échelle de perception (Tableau 31), un total de 69 réponses des questionnées ont trouvé que la vitesse de l'air est «léger» par rapport aux autres perceptions avec 17 réponses pour l'espace « cour » et 16 réponses pour les espaces « Patio » et « Wast-ed-dar avec rozna ». La modalité « calme » a été enregistrée majoritairement, dans l'espace « salon » par 25 des habitants. Le croisement de ces deux variables nous révèle une relation très significative avec un coefficient **khi-deux = 47.618** et **p = 0.000 < 0.05** (Tableau 32)

Tableau 31: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de sensation.
Source : Auteur, 2018

		V_per				Total
		élevé	moyen	léger	calme	
Espace	patio	0	3	16	0	19
	WD-R	0	2	16	7	25
	cour	0	1	17	3	21
	Hall	0	0	5	2	7
	salon	1	0	12	25	38
	chambre	0	0	3	5	8
	Terrasse	0	1	0	1	2
Total		1	7	69	43	120

Tableau 32: Tests du Khi-deux.
Source : auteur (2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	47,618 ^a	18	,000
Rapport de vraisemblance	52,648	18	,000
Association linéaire par linéaire	19,066	1	,000
N d'observations valides	120		
a. 20 cellules (71,4%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,02.			

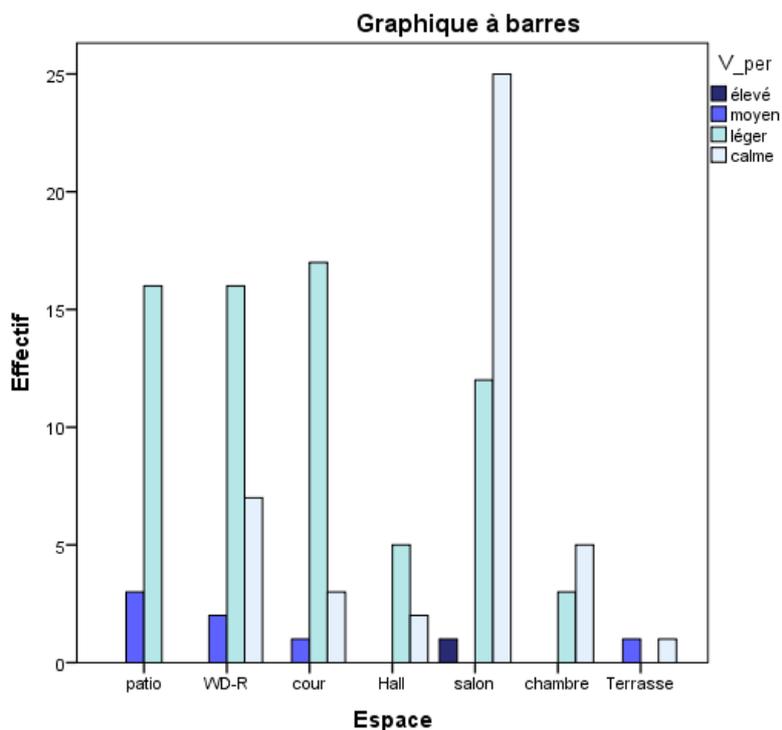


Figure 104: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de sensation
Source : Auteur, 2018

D'après l'échelle évaluative (Tableau 33), on voit que pour les trois espaces « Wast-ed-dar avec rozna », « cour » et «Patio», les habitants étaient satisfaits de la vitesse de l'air « confortable » avec un effectif 14,13 et 12. D'autre part, 13 enquêtés trouvent que la vitesse de l'air est « inconfortable », pendant que, 11 habitants ont choisi la modalité « légèrement confortable » pour cet espace. On a enregistré le coefficient de **khi-deux = 29.033 et p = 0.048 < 0.05** qui signifie une relation faible entre les deux questions (Tableau 34)

Tableau 33: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle évaluative.
Source : Auteur, 2018

		V_éval				Total
		très inconfortable	inconfortable	légèrement inconfortable	confortable	
Espace	patio	0	0	7	12	19
	WD-R	0	4	7	14	25
	cour	1	3	4	13	21
	Hall	0	2	2	3	7
	salon	6	13	11	8	38
	chambre	1	3	2	2	8
	Terrasse	0	0	1	1	2
<i>Total</i>		8	25	34	53	120

Tableau 34: Tests du Khi-deux.
Source : auteur(2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	29,033 a	18	,048
Rapport de vraisemblance	35,661	18	,008
Association linéaire par linéaire	19,090	1	,000
N d'observations valides	120		

a. 18 cellules (64,3%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,13.

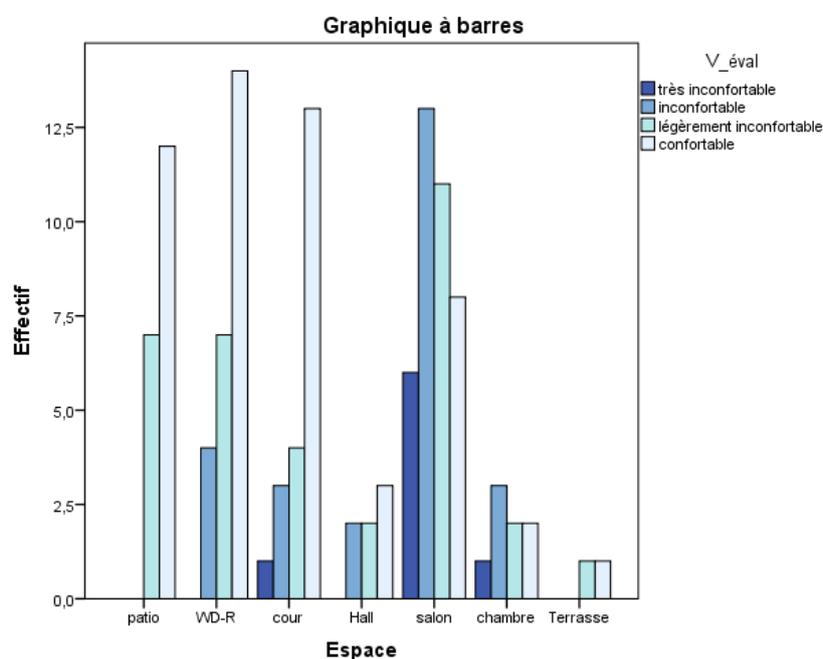


Figure 105: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air)
selon l'échelle évaluative
Source : Auteur, 2018

Selon l'échelle des préférences (Tableau 35), on trouve que dans les espaces « Wast-ed-dar avec rozna », « Patio » et « cour », la majorité des habitants privilégient la modalité « sans changement » avec un effectif de 13, 12 et 12. Contrairement à l'espace « Salon », les sujets ont préférés une vitesse de vent élevée et importante. Un effectif de 11 pour la modalité « un peu élevé » et 16 habitants ont voté pour la modalité « plus élevé ». Pareillement pour l'espace « chambre », on remarque que 5 individus ont choisi la modalité « un peu plus de vent ».

Dans cette corrélation (Tableau 36), un **khi-deux = 30.485** et **p = 0.033 < 0.05** nous indiquent une relation faible entre la typologie d'espace intérieur de la maison coloniale et les préférences des conditions de l'air.

Tableau 35: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de la préférence.
Source : Auteur, 2018

		V_pré				Total
		sans changement	PV1	PV2	PV3	
Espace	patio	12	7	0	0	19
	WD-R	13	6	6	0	25
	cour	12	6	3	0	21
	Hall	5	0	2	0	7
	salon	9	11	16	2	38
	chambre	1	5	2	0	8
	Terrasse	1	1	0	0	2
Total		53	36	29	2	120

Tableau 36 : Tests du Khi-deux.

Source : auteur(2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	30,485 ^a	18	,033
Rapport de vraisemblance	37,448	18	,005
Association linéaire par linéaire	13,372	1	,000
N d'observations valides	120		
a. 17 cellules (60,7%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,03.			

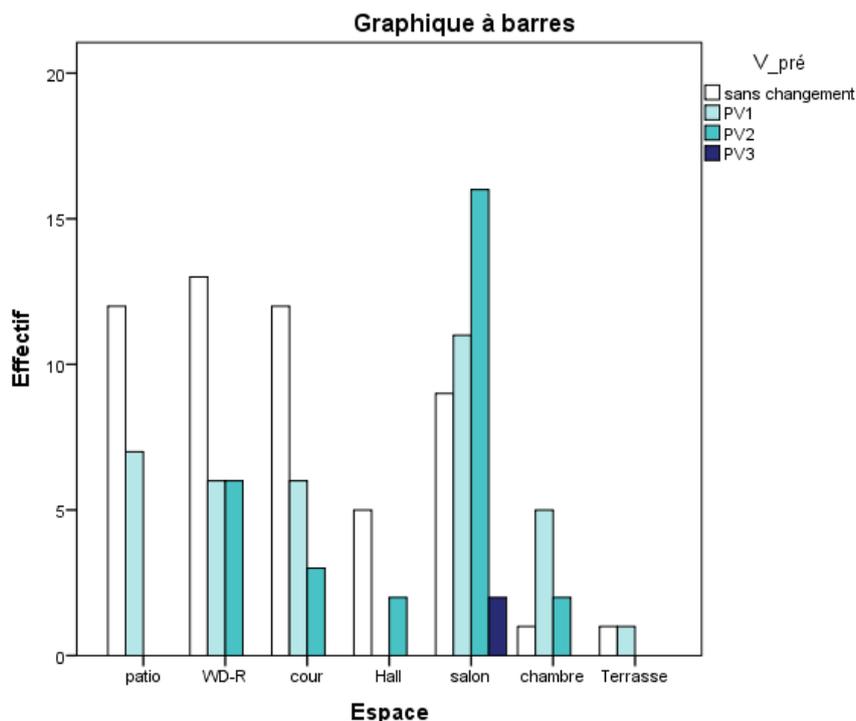


Figure 106: Les variables croisées (Type d'espace/conditions de l'air) selon l'échelle de la préférence
Source : Auteur, 2018

VII.2.4 Typologie de la maison et l'ambiance thermique globale :

On a fait le croisement des deux questions « espace » et « l'ambiance thermique en général » qui résume les paramètres préalablement étudiés, selon une échelle de satisfaction (Tableau 37). L'avis des enquêtés dans l'espace « Patio » tend, surtout, vers les deux modalités « légèrement insatisfaisant » et « satisfaisant » avec un effectif de 9 pour les deux. Aussi, dans l'espace « Salon », les habitants tendent vers les deux modalités « légèrement insatisfaisant » et « satisfaisant » choisies par 19 et 13 sujets, respectivement. Dans l'espace « Chambre », les réponses s'accordent pour une ambiance « légèrement insatisfaisant ».

La majorité des habitants ont trouvé que l'ambiance thermique de l'espace « Wast-ed-dar avec rozna » est « satisfaisant » avec un effectif de 16. Contrairement à la « cour », où on a enregistré un effectif de 9 qui trouvent que l'ambiance thermique intérieure est « satisfaisante » et 7 des questionnées ont considéré qu'il est « légèrement insatisfaisant ». Le croisement de ces deux variables (Tableau 38) nous prouve qu'il trouve une relation très significative, d'où résulte un coefficient khi-deux = 57.365 et $p = 0.000 < 0.05$.

Tableau 37: Les variables croisées (Type d'espace/Ambiance thermique globale) selon l'échelle évaluative.

Source : Auteur, 2018

		A_éval					Total
		très insatisfaisant	insatisfaisant	légèrement insatisfaisant	satisfaisant	très satisfaisant	
Espace	patio	0	1	9	9	0	19
	WD-R	0	1	7	16	1	25
	cour	0	2	7	9	3	21
	Hall	0	0	0	7	0	7
	salon	1	3	19	13	2	38
	chambre	0	2	5	0	1	8
	Terrasse	1	0	0	1	0	2
Total		2	9	47	55	7	120

Tableau 38: Tests du Khi-deux.

Source : auteur (2018)

	Valeur	ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
khi-deux de Pearson	57,365 ^a	24	,000
Rapport de vraisemblance	41,541	24	,015
Association linéaire par linéaire	4,322	1	,038
N d'observations valides	120		

a. 27 cellules (77,1%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de ,03.

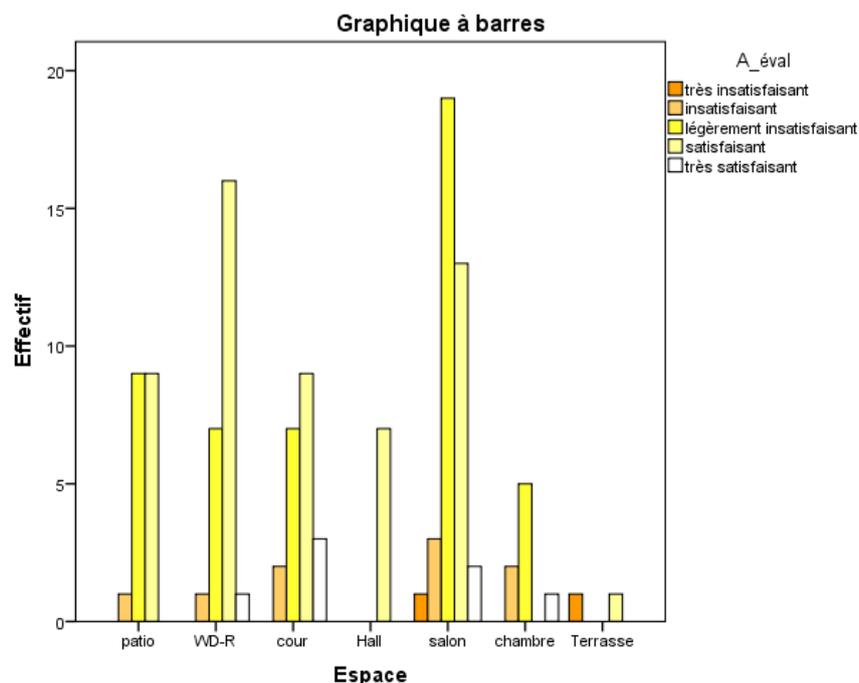


Figure 107: Les variables croisées (Type d'espace/Ambiance thermique globale) selon l'échelle évaluative

Source : Auteur, 2018

VII.3 Confrontation des résultats qualitatifs et quantitatifs :

VII.3.1 La sensation thermique et l'indice PMV :

Nous nous intéressons dans cette partie à étudier la relation entre les votes de sensation (résultats de l'enquête qualitative) et l'indice PMV en fonction de la température opérative T_{op} (résultats de l'enquête quantitative). Les résultats montrent une très faible corrélation $R^2=0.002$ avec un $p<0.05$ (Figure 108). D'après ce graphe, on remarque que la majorité des votes (PMV) a opté pour une perception de température «légèrement chaud» en fonction de la température opérative comprise entre 30° et 33°C .

En effet, cette étude a été menée afin de déterminer non seulement le degré de crédibilité des votes, mais aussi la capacité de PMV de prévoir le confort thermique in situ. Nous constatons que chaque variable de ces deux peut prouver la validité de l'autre à travers la convergence ou la divergence entre elles ainsi que leurs corrélations avec la température opérative des espaces.

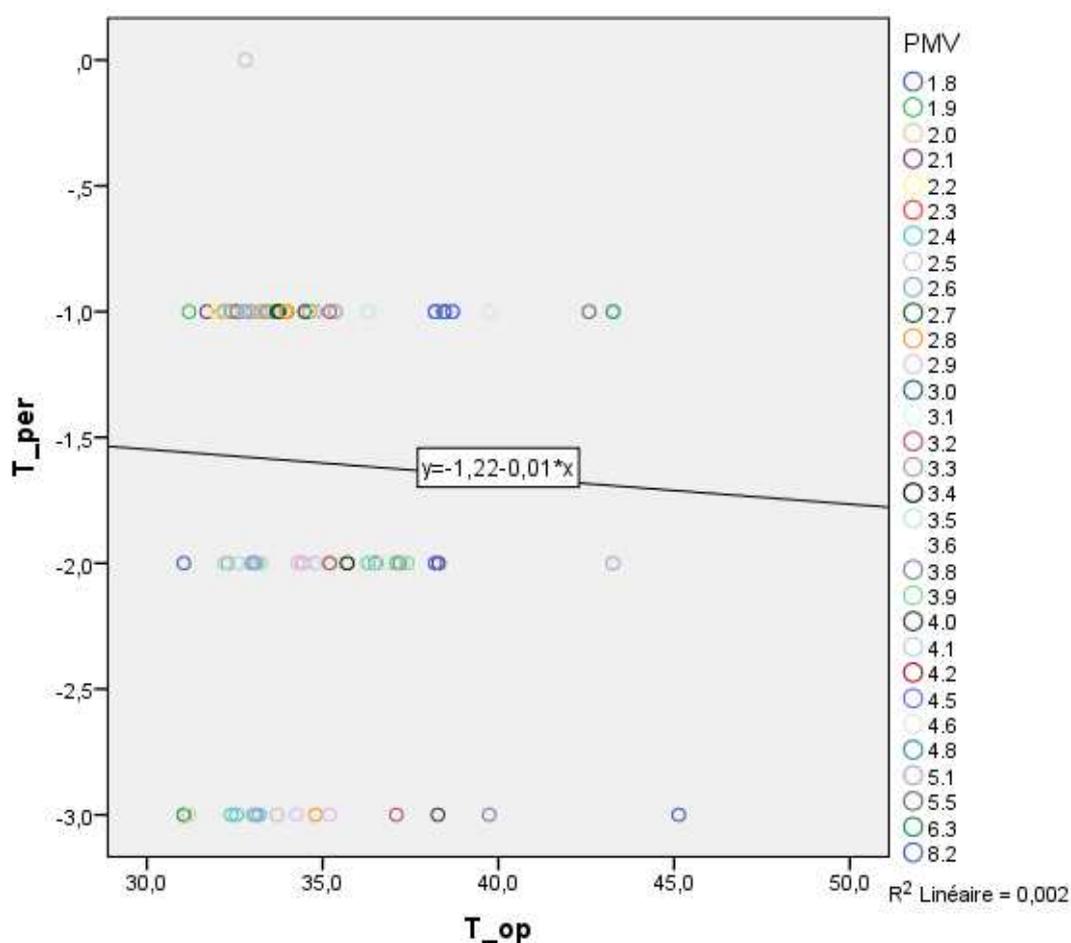


Figure 108: La perception (Température) et l'indice de PMV en fonction de la température opérative
Source : Auteur, 2018

VII.3.2 L'indice PMV et la température opérative :

Les figures 109, 110 et 111 montrent la relation entre le PMV (prévu) et la température opérative en présentant leurs régressions linéaires sur la variabilité des températures opératives T_o (°C). Les résultats sont significatifs avec un $p < 0.05$.

La corrélation est fortement significative entre les deux variables aux différents points et est expliquée par le coefficient de régression $R^2 = 0.920$. De plus, cette corrélation peut valider les résultats de la recherche in situ et par questionnaire.

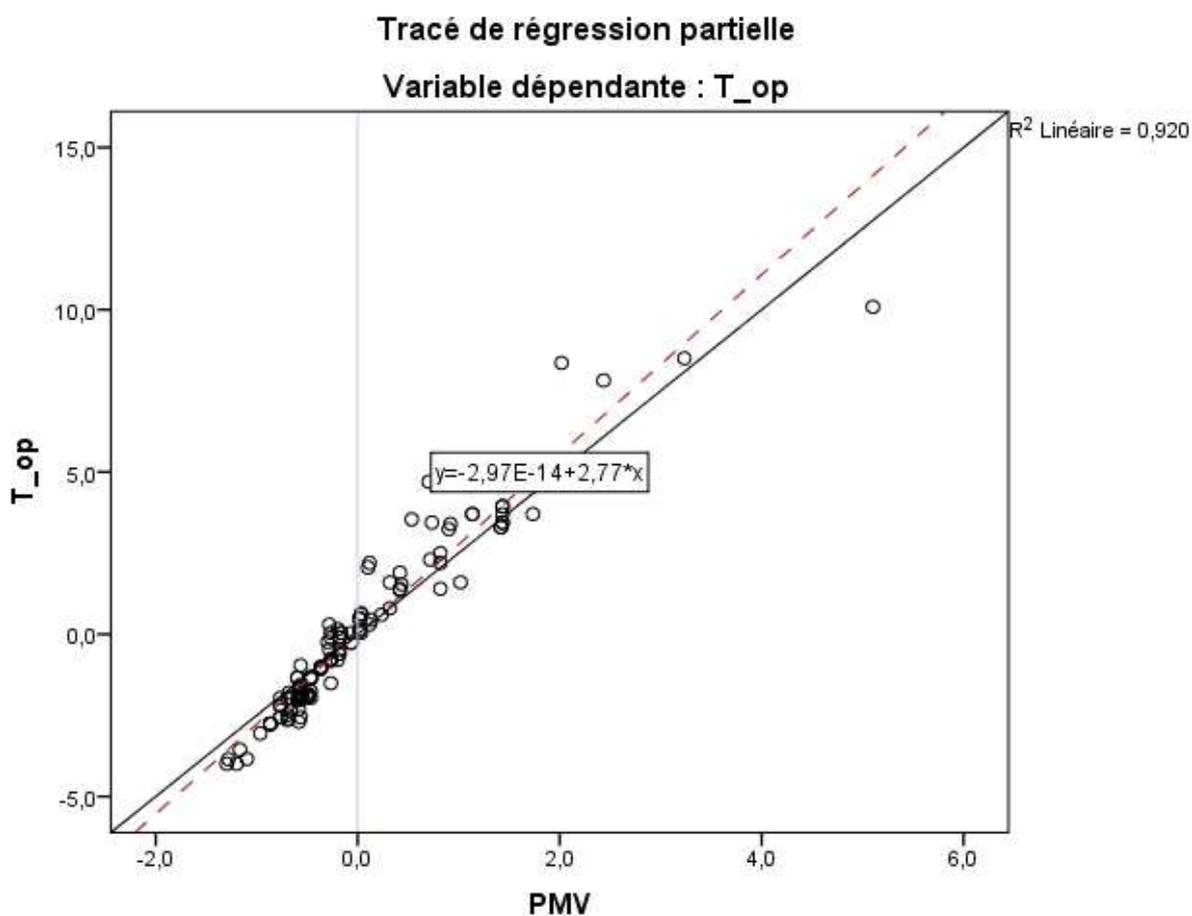


Figure 109: Comparaison entre PMV et Top
Source : auteur, 2019

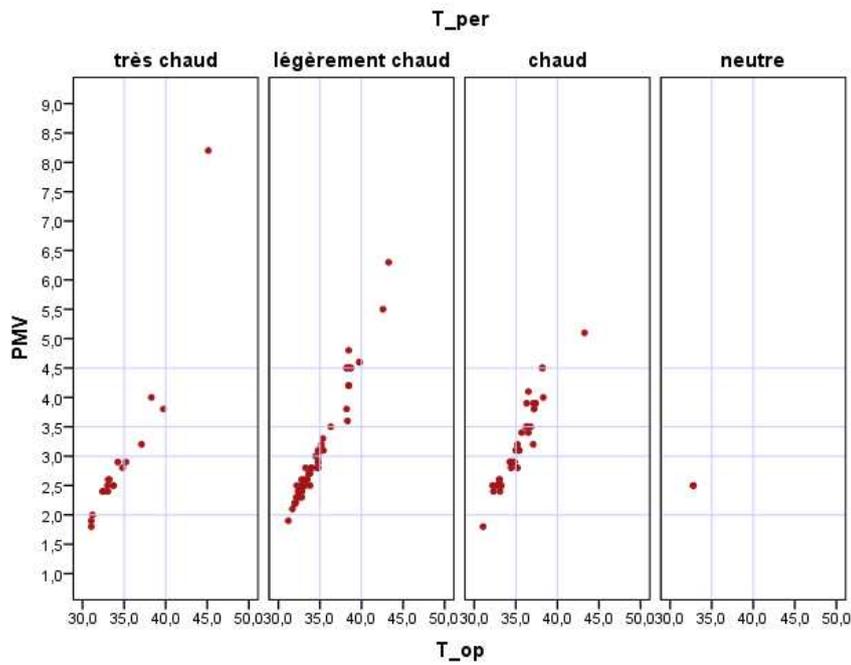


Figure 110: La corrélation entre la sensation T_{in} et l'indice PMV par rapport à T_{op} .
Source: auteur, (2018)

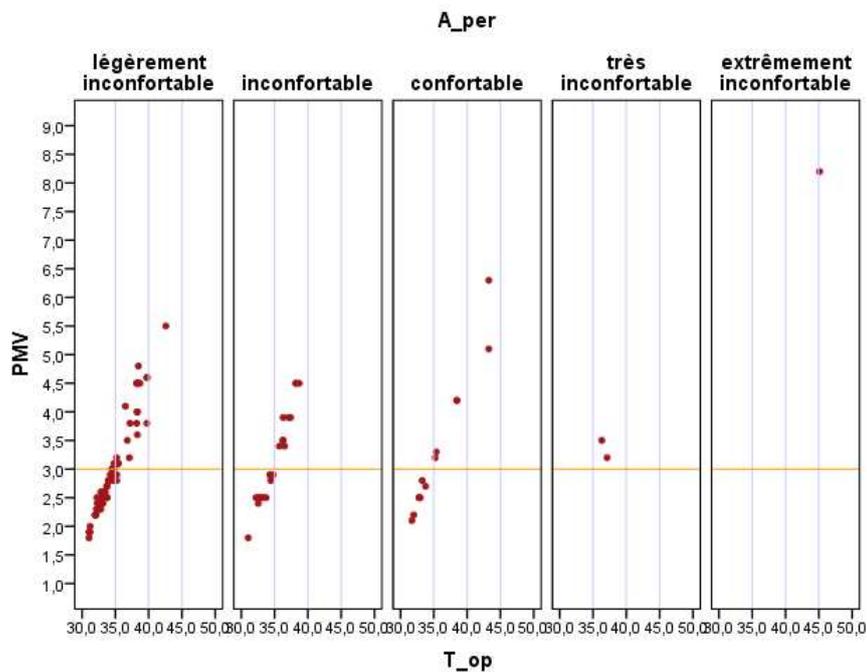


Figure 111: La corrélation entre la sensation de l'ambiance globale et l'indice PMV par rapport à T_{op} .
Source: auteur, (2018)

Au final, on est arrivé à classifier les valeurs de la Température opérative selon une nouvelle échelle de perception adaptée à notre cas d'étude (Tableau 39). Cette dernière a été calculée en fonction des paramètres relevés in situ. Cette classification affirme l'importance de

l'aspect psychologique dans l'étude du confort thermique dans les espaces intérieurs. (Figure 112)

Tableau 39: Classification des valeurs de Top selon une nouvelle échelle de perception adopté au cas d'étude.

Source : auteur (2018)

Top adapté (°C)	La perception thermique
<30°	Neutre « confortable »
30° - 35°	Légèrement chaud
35° - 40°	Chaud
40° - 45°	Très chaud
> 45°	Extrêmement chaud

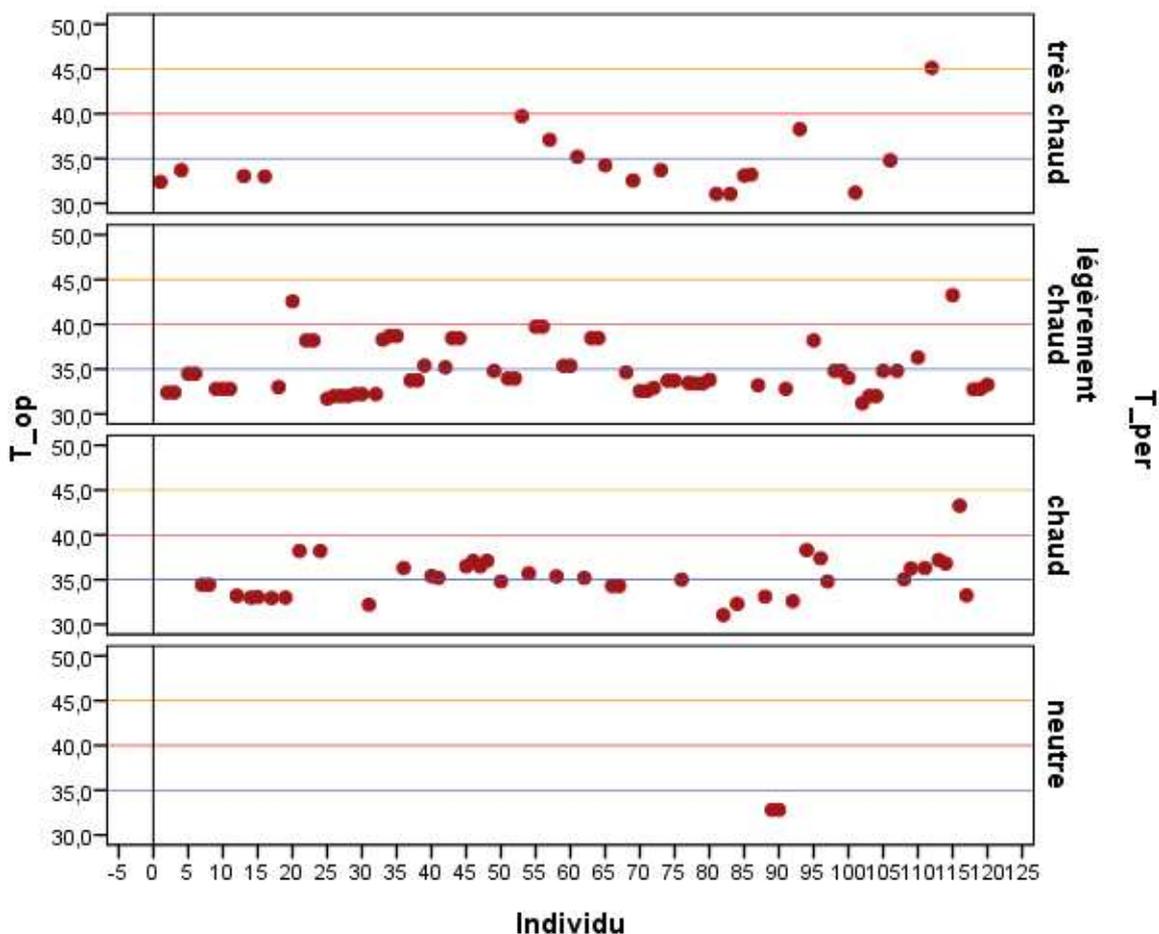


Figure 112: Classification des valeurs de Top selon une nouvelle échelle de perception adopté au cas d'étude.

Source : Auteur (2018)

VII.4 Conclusion :

L'analyse de la corrélation présentée dans ce chapitre est venue compléter l'approche expérimentale que nous avons commencée dans le chapitre précédent. Cela vise à accroître notre compréhension du confort thermique des habitants à travers ses différentes approches. Nous avons pu comprendre au mieux les perceptions des habitants de l'environnement thermique grâce à l'étude des corrélations entre variables.

Dans ce contexte, les habitants dans les espaces « patio et wast-ed-dar avec rozna » sont apparus plus satisfaits par rapport aux autres espaces, et du coup leurs préférences ont été stabilisées sur le point de neutralité (aucun changement). A travers ces corrélations, on a confirmé la forte relation entre la typologie des maisons et les conditions microclimatiques intérieurs.

En outre, une étude des relations entre les variables quantitatives et les variables qualitatives a été entreprise, afin d'aboutir à a été effectuée des résultats qui démontrent que les valeurs de PMV augmentent en fonction de la température opérative. La majorité des valeurs de PMV est entre -1 et +2 pour une sensation « légèrement chaud » avec une température opérative comprise entre 30° et 33°C.

Finalement, nous avons vérifié les résultats du questionnaire, ce qui valide notre hypothèse de recherche et confirme que les dispositifs utilisés dans ces maisons assurent le confort des individus.

Conclusion générale

*« Le maintien d'une tradition exige la transmission
de la flamme et non pas la conservation des cendres »*

L'architecte autrichien Otto Kapfinger

I. Introduction :

Le patrimoine en Algérie est le résultat de milliers d'années et un processus de plusieurs civilisations. L'importance de la ville coloniale du point de vue historique est de démontrer les différentes techniques utilisées par le génie militaire et leur savoir-faire. Dans ce travail, on a choisi le périmètre d'étude « Damier colonial » de la ville de Biskra après une analyse typologique du site. Une étude typo-morphologique des habitations de la période coloniale a été effectuée pour choisir des maisons qui possèdent différents dispositifs architecturaux.

On s'inquiète de plus en plus de la qualité de l'environnement intérieur à mesure que le mode de vie s'améliore dans la société. Le but principal des maisons coloniales est de fournir un environnement intérieur confortable et un bien-être à ses habitants pendant la période estivale. Les paramètres atmosphériques – la température de l'air, l'humidité relative et le mouvement de l'air – jouent un rôle important dans le confort thermique à l'intérieur. Des recherches sur le confort thermique des bâtiments sont en cours dans le monde entier.

La meilleure solution pour créer un environnement intérieur confortable est de préconiser un système passif dans les maisons. L'adoption des techniques des maisons coloniales est importante pour atteindre le confort thermique à l'intérieur d'une manière passive.

Cette étude vise à étudier ces éléments passifs d'une architecture plus ancienne en évaluant ces éléments efficaces. Les résultats peuvent contribuer au monde du savoir et offrir des stratégies et des techniques précieuses pour améliorer les constructions actuelles et utiliser les nouveaux développements. Sur la base de ces aspects, les objectifs de cette étude étaient d'identifier les stratégies passives dans le contexte colonial et de procéder à l'évaluation et à la comparaison du confort thermique intérieur dans les maisons coloniales.

Conformément aux objectifs de la recherche, une investigation a été effectuée in situ, les échantillons représentatifs ont été utilisés comme une base pour examiner l'effet thermique des différents dispositifs et analyser l'ensemble des réactions individuelles des usagers.

II. Synthèse et résultats de la recherche :

Ce travail prend appui sur l'habitat de la période coloniale de la ville de Biskra. Elle a pour objectif de faire un diagnostic scientifique sur ce patrimoine important et de vérifier l'impact des techniques de rafraîchissement utilisées dans le climat de la région sur la qualité

ambientale de l'espace intérieur. Il s'agit d'étudier l'impact des dispositifs architecturaux sur l'ambiance thermique des espaces habitables et de ce fait sur la sensation des occupants en période estivale.

La relation entre les dispositifs architecturaux passifs des maisons et le microclimat a été analysée par une étude des corrélations. Cette dernière permet de présenter la nature de la relation entre l'environnement thermique et les méthodes de la construction patrimoniale dans un climat chaud et aride. Ces résultats de corrélation sont plus ou moins significatifs.

Nous avons organisé notre travail de thèse en deux volets qui sont pris en compte tout au long de cette recherche. L'un relatif à l'approche théorique, une recherche bibliographique qui permet de faire le point sur l'état de la question et de comprendre les différents concepts relatifs à notre problématique, et le deuxième volet traite l'approche analytique du sujet de recherche.

On a commencé notre étude par une synthèse bibliographique des travaux relatifs à notre thème de recherche, l'étude du patrimoine architectural et le confort thermique intérieur. À travers ce premier chapitre, l'accent a été mis sur les différentes méthodes et les approches et aussi les stratégies d'évaluation du confort thermique à travers une série d'études menées par des chercheurs spécialisés dans ce domaine pour acquérir la meilleure méthode d'évaluer le confort thermique à l'intérieur des habitats.

Ensuite, on a étudié le contexte de notre recherche qui est le patrimoine colonial pour faciliter la compréhension et pour approfondir notre sujet de recherche. Nous avons présenté le développement de l'architecture algérienne depuis le début de la colonisation française et les différentes tendances. On a porté notre attention sur les différents types d'habitat de cette période afin de déterminer ses principales typologies et caractéristiques telles que les types d'ouvertures, la cour et le patio ainsi que les matériaux de construction, pour assurer le bien-être à l'intérieur du bâtiment.

Le troisième chapitre poursuit la discussion sur le confort thermique du bâtiment. Nous avons établi un état de l'art sur tout ce qui concerne les notions du confort thermique. En premier lieu, on a essayé de définir le concept "confort thermique" avec ses paramètres et ses aspects. Par la suite, on a passé en revue quelques stratégies de construction en climat chaud et aride. Ce chapitre vise aussi à étudier les différentes approches d'analyse utilisées et l'étude des différents indices qui aide à analyser le confort thermique intérieur.

Après avoir introduit toutes les notions élémentaires au cours de la partie théorique, l'objet de la deuxième partie fut d'exposer le contexte d'étude ainsi que la méthodologie et la démarche de travail qui se finalise par une analyse et interprétation des données. Le choix de la ville de Biskra comme un cas d'étude nous a donné l'opportunité d'examiner la thématique

du confort thermique intérieur des habitations vu leurs sensibilités à l'ambiance thermique pendant la période estivale.

Une démarche typo-morphologique est nécessaire pour comprendre la composition du tissu urbain et les différents types de maisons existants. Les résultats obtenus par cette investigation ont été la distinction de trois types de maisons : i) maison à véranda, ii) maison cour et iii) maison à patio.

L'investigation a été entamée par une description générale de notre méthodologie de recherche. Par la suite, une étude expérimentale in situ a été réalisée dans 30 maisons de la période coloniale française à Biskra pour évaluer le confort thermique intérieur. L'objectif est d'étudier l'effet des dispositifs sur le confort des habitants durant la période chaude basée sur l'enquête in situ avec deux approches subjective et objective.

L'approche qualitative a consisté en l'étude de la sensation, des préférences et du degré de satisfaction des usagers vis-à-vis de l'ambiance thermique intérieure par un questionnaire d'évaluation et du traitement des résultats par le logiciel « SPSS ». Ce travail a été effectué par l'analyse univariée et bivariée. Les résultats ont permis la confirmation de la relation entre la typologie des maisons, la perception de l'environnement thermique par les habitants et les conditions climatiques.

Par la suite, nous exposons les résultats de l'étude quantitative qui est basée sur les mesures in situ des différents indices du confort thermique (température, humidité, vitesse de l'air...) durant la période estivale qui s'étale du 25 juillet jusqu'au 10 août. La prise de mesures s'est effectuée durant la période de surchauffe de la journée de 13h à 16h de l'après-midi ainsi que les résultats des indices adaptatifs PMV / PPD et la température opérative T_{op} qui ont validé les résultats du questionnaire.

L'interprétation des résultats sera renforcée par une étude de corrélation entre les différentes variables; ce qui permet de bien comprendre l'impact des dispositifs sur les sensations des habitants.

- Chaque dispositif architectural identifie son propre état thermique.
- On a constaté que les espaces Patio et Wast-ed-dar avec rozna sont plus confortables thermiquement par rapport aux autres espaces.
- Dans ce contexte, la sensation des habitants varie non seulement en fonction de l'espace, mais aussi grâce à l'adaptation physique qui s'ajoute à son environnement.

- Les résultats de l'environnement thermique des maisons montrent que même si la température mesurée était supérieure au niveau de confort, les sensations des usagers restent toujours agréables.
- En général, la plupart des études s'accordent sur la nécessité d'un choix judicieux des matériaux qui constituent l'enveloppe du bâtiment. Par ailleurs, elles confirment que la performance thermique des bâtiments est déterminée par la qualité thermique des éléments qui composent le bâtiment.

Au final, on a classifié des valeurs de la température opérative selon une nouvelle échelle de perception adaptée à notre cas d'étude, en comparaison avec les recherches précédentes. Cette classification prouve que l'aspect psychologique est très important et peut conduire à la nécessité d'adapter les indices de confort aux régions désertiques.

En conclusion, la problématique a été examinée en approuvant l'impact de l'architecture patrimoniale (utilisation des dispositifs passifs) sur un climat chaud et aride. Les objectifs précédemment tracés ont été atteints et l'hypothèse mise en place a été vérifiée. Finalement, le riche patrimoine architectural de la région devrait être soigneusement analysé et compris dans son propre contexte historique et physique. Cet héritage est un véritable laboratoire en termes de confort. Les techniques de construction qui y ont été utilisées contribuent à répondre aux besoins de l'être humain du point de vue thermique pour assurer son confort à l'intérieur des maisons tout au long de la journée. La réintroduction et le renforcement des techniques traditionnelles peuvent contribuer à la durabilité de l'environnement et de la culture contemporaine.

III. Recommandations :

Bien qu'il soit difficile de proposer des recommandations détaillées pour la conception des maisons confortables dans un climat chaud et aride, il est impératif d'envisager un ensemble de recommandations et de nombreuses améliorations peuvent être implémentées dans le but d'améliorer les conditions de confort à l'intérieur des habitations afin d'exploiter mieux les résultats, pour des projets de restauration, de réhabilitation et même de construction neuve :

1. Cour intérieure

La cour intérieure et le patio sont assez communs dans un climat chaud et humide où le bâtiment entoure un espace ouvert entièrement ou partiellement (Wast-ed-dar avec rozna). Ces espaces sont un excellent régulateur thermique « modificateurs du microclimat ». Ils bénéficient de meilleures conditions microclimatiques que les zones ouvertes environnantes, et

sont censés avoir un effet positif sur les conditions de confort intérieur du volume du bâtiment entourant. En permettant l'accès de la lumière à toutes les parties du bâtiment, et en permettant une meilleure ventilation des espaces internes.

2. Ouvertures et utilisation de la ventilation naturelle

Les maisons sont situées au milieu compact qui assure l'ombre et minimise les surfaces exposées aux rayonnements solaires. Les bâtiments sont donc ouverts pour un meilleur mouvement de l'air. La planification ouverte et les espaces libres entre les bâtiments aident à capter le vent et à obtenir une bonne ventilation.

La majorité des maisons ont de grandes ouvertures avec une protection en bois « persienne » qui permet également une grande liberté de mouvement de l'air. Une autre qualité remarquable dans l'architecture coloniale est l'utilisation des petites ouvertures avec une cour intérieure qui aide à prévoir un mouvement d'air continu.

3. Matériaux de construction

L'élément le plus important, qu'on peut distinguer dans cette recherche, réside dans l'originalité des techniques de construction qui présentent une interaction entre un produit du génie populaire et les systèmes du génie militaire. Les matériaux de construction utilisés pour la construction coloniale sont la brique de terre, le mortier de chaux, le bois et un soubassement en pierre de 60 cm.

3.1. Protection thermique

L'isolation thermique des bâtiments est obtenue par l'utilisation efficace des matériaux et des techniques utilisées dans la construction des murs et du toit. Le confort thermique est influencé par les matériaux utilisés dans la construction. Cela est dû d'une part à l'épaisseur des murs de « 40 à 70 cm » et d'autre part à leur inertie thermique qui joue un rôle essentiel dans le déphasage thermique journalier.

4. Orientation du bâtiment

Le damier colonial est orienté selon l'axe nord-ouest/sud-est et l'axe nord-est/sud-ouest. Cette orientation nord-est/sud-ouest est recommandée, mais ne semble pas avoir d'effet significatif sur la température intérieure (T_{int}).

5. Le zoning :

Le positionnement des espaces est très important dans la conception de la maison. Tous les espaces, y compris les chambres, sont disposés autour de la cour de manière à permettre un mouvement d'air adéquat en toutes saisons.

IV. Limites de la recherche :

Cette investigation a ses limites qui sont:

- Le contexte de l'étude est plutôt limité. Le périmètre d'étude est le damier colonial de la ville de Biskra.
- L'approche méthodologique d'analyse (enquête et mesure) est investie sur trente maisons seulement et cela est dû à la disponibilité de maisons, l'absence de modification et la condition d'habitabilité et se vaudrait d'être élargie sur un corpus plus grand.
- La période de l'investigation ne prend pas en considération la période hivernale. L'intégration de la saison d'hiver dans notre recherche permettrait de faire une comparaison entre les dispositifs en termes de confort thermique.

V. Perspectives et pistes de recherche futures :

La thématique traitée dans la présente recherche est loin d'être épuisée, d'autres pistes d'investigation méritent d'être explorées par les chercheurs intéressés par le sujet, ainsi :

1. Il serait intéressant de confirmer les résultats du terrain qui se basent sur des mesures in situ et un questionnaire par une simulation.
2. Faire une comparaison avec les maisons neuves aide à comprendre l'effet des matériaux et techniques constructifs sur le confort thermique
3. Étudier l'impact des dispositifs architecturaux sur le confort d'hiver.
4. Étudier l'effet de la conception architecturale des maisons coloniales dans d'autres régions climatiques en Algérie.
5. Étude sur la réhabilitation de ce patrimoine avec la protection de la performance thermique.
6. L'insistance sur chacun des dispositifs peut faire l'objet d'une étude à part entière.

Bibliographie

- Abdulac, S. (2012). Les maisons à patio: Continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies urbaines. *ICOMOS 17th General Assembly*. Paris, France.
- Agli, N. (1988). Biskra: analyse et extension du centre-ville. *Mémoire de fin d'étude*. Paris-Villemin: Ecole d'architecture.
- Ahmed, I., Khetrish, E., & Abughres, S. M. (1985). Thermal Analysis of the Architecture of Old and new houses at Ghadames. *building and environment*, 20(1), 39-42.
- Aiche, B., Cherbi, F., & Oubouzar, L. (2006). Patrimoine architectural et urbain des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles en Algérie. *Projet Euromed Héritage II. Patrimoines partagés*, pp. 34-45.
- Al-ajmi, F. F., & Loveday, D. L. (2010). Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment*, 45(3), 704-710.
- Al-Ajmi, F. F., Loveday, D. L., Bedwell, K. H., & Havenith, G. (2008). Thermal insulation and clothing area factors of typical Arabian Gulf clothing ensembles for males and females: measurements using thermal manikins. *Applied ergonomics*, 39(3), 407-414.
- Alexandre, J. L., Freire, A., Teixeira, A. M., Silva, M., & Rouboa, A. (2011). Impact of European standard EN15251 in the energy certification of services buildings _ A Portuguese study case. *Energy policy*, 39(10), 6390-6399.
- Alkama, D., Farhi, A., Mazouz, S., & Saouli, A. (2000). analyse d'un espace oasien du Sud Est Algérien, Cas du groupement des Zibans Wilaya de Biskra. Biskra.
- Almhafdy, A., Ibrahim, N., Ahmad, S. S., & Yahya, J. (2013). Courtyard design variants and microclimate performance. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 101, 170-180.
- Almi, S. (2002). *Urbanisme et colonisation : présence française en Algérie*. Editions Mardaga.
- Amiriparyan, P., & Kiani, Z. (2016). Analyzing the Homogenous Nature of Central Courtyard structure in Formation of Iranian Traditional Houses. *Procedi-social and behavioral sciences*, 216, 905-915.
- Arrouf, A. (2006). the courtyard houses of southern Algeria. *Courtyard housing , Past, present and future*, pp. 39-48.
- ASHRAE. (2001). *Handbook of Fundamentals*. Atlanta, GA, USA: American Society of Heating, Refrigerating, and Airconditioning Engineers.
- Atmaca, I., Kaynakli, O., & Yigit, A. (2007). Effects of radiant temperature on thermal comfort. *Building and Environment*, 42(9), 3210-3220.
- Attia, S., & Carlucci, S. (2015). Impact of different thermal comfort models zero energy residential buildings in hot climate. *Energy and Buildings*, 102, 117-128.
- Auliciems, A., & Szokolay, S. V. (1997). Thermal comfort. *Passive and Low Energy Architecture International*.
- Bakiri, R. (2011). *Impact de l'intervention coloniale sur la vieille ville de Constantine*.
- Balhi, M. (2011). *Biskra, miroir du désert*. Rouiba: ANEP.
- Beaulieu, D. (2015). Échanges thermiques entre une fondation résidentielle et les sols en conditions hydrostatiques. *Mémoire de maîtrise*. Laval, Canada: Université Laval.
- Beckey, T. J. (1992). Comfort control system and method factoring mean radiant temperature. *Patent and Trademark Office*.
- Beguin, F., baudez, G., Lesage, D., & Godin, L. (1983). *Arabisances: décor architectural et tracé urbain en Afrique du Nord 1830-1950*.

- Bencherif, M., & Chaouche, S. (2013). La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 24(3), 203-213.
- Benevolo, L. (1983). *Histoire de la ville*. Marseille: Parenthèses.
- Bennadji, A. (1999). *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides. cas du sud-est algérien*. Doctoral dissertation, Université de Provence-Aix-Marseille 1).
- Berghout, B., Forgues, D., & Monfet, D. (2014). Simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à Biskra, Algérie. *Algérie. eSIM 2014 Conference Proceedings*, (pp. 8-9). Ottawa.
- Bianchi, A. M., Fautrelle, Y., & Etay, J. (2004). *Transferts thermiques*. Lausanne: PPUR presses polytechniques.
- Bisam, A.-H., Ahmad, S. H., & Mohd, R. I. (2010). passive cooling desing traditional arabian houses. *ICSAUD*, (pp. 640-650). Penang- Malaysia.
- Bouchahm, G., & Bourebia, F. (2010). L'impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans une salle de classe à Constantine. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 71-80.
- Boufenara, K. (2010). Le rôle du Génie militaire dans le production des villes coloniales, Annaba et Constantine. *Thèse de Doctorat*. Constantine.
- Boulfani, W. (2010). les ambiances thermiques d'été dans l'habitat de la période coloniale à patio, Cas jijel. Université Biskra.
- Boussad, A., Cherbi, F., & Oubouzar, L. (2005). Patrimoine XIX è. et XX è. siècles en Algérie ; un héritage à l'avenir incertain. *Romeo Carabelli*, 147-170.
- Boutabba, H., Farhi, A., & Mili, M. (2014). Le patrimoine architectural colonial dans la région du Hodna, u héritage en voie de disparition. Cas de la ville de M'sila en Algérie. *L'Année du Maghreb*, 269-295.
- Burth-Levetto, S. (1994). le service des bâtiments civils en Algéri (1843- 1872) entre discours et réalité. *revue du monde musulman et de la méditerranée*(73- 74).
- Butera, F. M. (1998). —Principles of thermal comfort. *Renewable aned Sustainable Energy Reviews*, 2(1-2), 39-66.
- Buzelin, I. c. (1874). *De la colonisation et des réserves de l'Algérie*. Nantes.
- Cantin, R., Moujalled, B., Guarracino, G., & Audin, R. M. (2005). Complexité du confort thermique dans les bâtiments. *VIème congrès Européen de Science des Systèmes*, (pp. 02-04).
- Cantòn, M. A., Ganem, C., Barea, G., & Llano, J. F. (2014). Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building. *Renewable energy*, 69, 437-446.
- Carabelli, R. (2006). *Héritage architectural récent en Méditerranée: temporalités et territoires*. Editions Publibook.
- Catalina, T., Virgone, J., Roux, J. J., & Blanco, E. (2008). Effet de l'inertie thermique, de la surface vitrée et du coefficient de forme sur les besoins en chauffage d'une habitation. *Congré IBPSA*, (pp. on-CD).
- Cena, K., & De Dear, R. (2001). Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate. *Journal of Thermal Biology*, 26(4-5), 409-414.

- Chabi, G. (2012). Contribution à la lecture des façades du patrimoine colonial 19eme et début 20 eme siècles, cas d'étude: le quartier Didouche Morad, Alger. *Doctoral dissertation, unpublished Master's thesis*. University of Tizi-Ouzou.
- Change, I. (1995). *IPCC Second Assessment. A Raport of the Intergovemmental Panel on Climate Change*. WMO-UNEP.
- Chaouche, S. (2013). L'impact de l'urbanisme colonial sur la fabrique de la ville algérienne. *Sciences & Technologie, D, Sciences de la terre*, 39-50.
- Chauvet, J.-Y. (2011, Décembre). *Chapitre 2: La typologie des maisons*. (Maison Paysanne du LOIRET) Consulté le Juin 26, 2016, sur Eveil à la maison paysanne (Document de Jean-Yves Chauvet): <http://www.maisons-paysannes-loiret.org/attachments/article/39/Chapitre%20N%C2%B0%2002-%20%C3%A9veil%20%C3%A0%20la%20maison%20paysanne.pdf>
- Chérif, N. (2017). Alger, 1830-1980: chronique d'une historiographie en construction. Institut national d'histoire de l'art.
- Cho, S., & Mohammadzadeh, N. (2013). Thermal comfort analysis of a traditional Iranian courtyrd for the desing of sustainable residential buildings. *Proceedings of 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*.
- Clements-Croome, D. J. (1990). *Building Services Engineering: The Invisible Architecture: an Abridged Version of an Inaugural Lecture Given at the University of Reading on Monday 13 February 1989 in the Palmer Theatre, Whitenights*. University of Reading.
- Curtillot, J.-P. (1979). Damier colonial et extensions contemporaines. *Architecture, Mouvement, Continuité*, 48, pp. 77-81.
- Daich, S. (2011). Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra. *Doctoral dissertation*. Université Mohamed Khider Biskra.
- Dali, A. S., Naseer, M. A., & Varghese, T. Z. (2010). Thermal comfort study of Kerala traditional residential buildings based on questionnaire survey among occupants of traditional and modern buildings. *Energy and buildings*, 42(11), 2139-2150.
- De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *traité d'architecture et d'urbnisme bioclimatiques: concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Paris: Moniteur.
- Deluz, J. J. (1988). *L'Urbanisme et l'architecture d'Alger: Aperçu critique*. Liège: Mardaga.
- Depecker, P. (1989). *Qualité thermique des ambiances [réd par Patrick Depecker]*. (P. A. l'énergie, Éd.) Récupéré sur <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb354548944>
- Dili, A. S., Naseer, M. A., & Varghese, T. Z. (2010). Passive environment control system of Kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses. *Energy and buildings*, 42(6), 917-927.
- Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(9), 2626-2640.
- Ealiwa, M. A., Taki, A. H., Howarth, A. T., & Seden, M. R. (2001). An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Libya. *Building and Environment*, 36(2), 231-237.
- Eggimann, J. P., Bdous, J. L., Chuard, D., Eggimann, J. P., & Scaler, C. (1996). Architecture climatique équilibrée, Conception, Démarche et Dimensionnement. *Programme d'Action PACER, Energies Renouvelables*.

- Enescu, D. (2017). A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1353-1379.
- Fabbri, K. (2015). *Indoor thermal comfort perception, A Questionnaire Approach Focusing on Children*. New York City, NY, USA: Springer.
- Fezzioui, N., Khoukhi, M., Dahou, Z., Ait-Mokhtar, K., & Larbi, S. (2009). Bioclimatic architectural design of ksar de kenadza: south-west area of Algeria hot and dry climate. *Architectural Science Review*, 52(3), 221-228.
- Fountain, M., Brager, G., & De Dear, R. (1966). Expectations of indoor climate control. *Energy and Buildings*, 24(3), 179-182.
- Franck, T. (2017). *Météo 45, Observation & Prévisions*. Consulté le 03 26, 2017, sur https://meteo45.com/climat_et_facteurs_geographiques.html
- Gandemer, J., & Guyot, A. (1976). *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti*. Paris: Ministère de la Qualité de la vie.
- Givoni, B. (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris: Edition le Moniteur.
- GRANDET, D. (1988). *Architecture et Urbanisme Islamiques*. Alger: OPU.
- Haj Hussein, M. (2012). Investgation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens. la cour: contribution environnementale et socioculturelle. *these de Doctorat*. Bordeaux: université de Bordeaux 1.
- Hamel, K. (2005). la ville compacte: une forme urbaine d'une ville durable en régions arides. Cas de Biskra. *these de magistère*. biskra.
- Han, J., Zhang, G., Zhang, Q., Zhang, J., Liu, J., Tian, L., . . . Moschandreas, D. J. (2007). Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China. *Building and Environment*, 42(12), 4043-4050.
- Handbook-Fundamentals, & A. S. H. R. A. E. (1997). *Chapter 8: Thermal Comfort*. American Society of Heating REfrigeration and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.
- Hassan, M. H. (2012). Ventilated Courtyard as a passive cooling strategy in the hot desert climate. *. Optimising Ventilative cooling and Airtightness for Zero-Energy Buildings, IAQ and Comfort*. Denmark.
- Hensel, H. (1981). Thermoreception and temperature regulation. *Monographs of the physiological society*, 38, 18-184.
- Hensen, J. L. (1990). Literature review on thermal comfort in transient conditions. *Building and Environment*, 25(4), 309-316.
- Höppe, P. (1991). Improving indoor thermal comfort by changing outdoor conditions. *Energy and Buildings*, 16(1-2), 743-747.
- Humphreys, R. M. (1994). An adaptive approach to the thermal comfort of office workers in North West Pakistan. *Renewable Energy*, 5(5-8), 985-992.
- ISO 7730. (1994). *Ambiances thermiques modérées -- Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique*.
- Izard, J. L. (2006). *L'inertie thermique dans le bâtiment*.
- Izard, J. L., & Millet, J. R. (1993). *Architectures d'été: construire pour le confort d'été*. Edisud.
- Jang, M. S., Koh, C. D., & Moon, I. S. (2007). Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels. *Building and Environment*, 42(1), 55-61.

- Keshtkaran, P. (2011). Harmonization between climate and architecture in vernacular heritage: A case study in Yazd, Iran. *Procedia Engineering*, 21, 428-438.
- Khelil, s. (2015). *Biomimicry, towards a living architecture in hot and arid regions*. Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra.
- Khoukhi, M., & Fezzioui, N. (2012). Thermal comfort design of traditional houses in hot dry region of Algeria. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(1), 1-9.
- Lebbal, F. Z., & Mazouz, S. (2018). The effect of the patio on the indoor thermal performancien the colonial courtyrd houses in the saharan climate. The case of Biskra in Algeria. *Journal of Applied Engineering Science & Technology*, 4(1), 47-51.
- Lin, Z., & Deng, S. (2008). A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—developing a thermal comfort model for sleeping environments. *Building and ENvironment*, 43(1), 70-81.
- Louafi, S. B., & Abdou, S. (2010). Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective: Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli, Constantine. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 33-40.
- Malek, H. (2018). *L'habitation collective*. Oran: Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
- Malverti, X. (1994). Les officiers du Génie et le dessin de villes en Algérie (1830-1870). *Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée*, 229-244.
- Mansouri, S., & Sahnoune, T. (2008). les proportions dans l'architecture musulmane. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 27-36.
- Martin, S., Mazarron, F. R., & Canas, I. (2010). Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of highh thermal inertia. *Constructio and Building Materials*, 24(5), 666-676.
- Matari, N., & Mahi, A. (2013). Bâtiments à hautes performances énergétiques: Effet de l'enveloppe sur le confort thermique. *Application au climat aride*.
- Mazouz, S. (2005). l'adaptation bioclimatique dans le Bas-Sahara. Dans M. Côte, *La ville et le désert, le Bas-Sahara algérien* (pp. 187-199). Paris: Karthala et Iremam.
- Mazouz, S. (2005). L'habiat des 19e et 20e siècles, Ruptures et éclatements. Dans M. Côte, *La ville et le désert. Le bas-sahara algérien* (pp. 157-186). Paris: Karthala et Iremam.
- McIntyre, D. (1973). A guide to thermal comfort. *Applied Ergonomics*, 4(2), 66-72.
- Medjelakh, D., & Abdou, S. (2008). Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. *Journal of Renewable Energies*, 11(3), 329-341.
- Medjelekh, D., & Abdou, S. (2010). Impact de l'isolation thermique sur la température intérieur du bâtiment. *Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique, SIGCLE*. Contantine, Algérie.
- Meynier, G. (2010). L'historiographie française de l'Algérie et les Algériens en système colonial. *Intervention à Alger le , 22*.
- Mezerdi, T. (2012). La transparence dans l'architecture tertiaire des milieux à climat chaud et sec. cas de la ville de Biskra. *Doctoral dissertation*. Biskra: Université Mohamed Khider.

- Miller-Chagas, P. (1992). le climat dans l'architecture des territoires français d'Afrique. Dans M. Culot, & J.-M. Thiveaud, *Architecture Françaises OUTRE-MER* (éd. Pierre MARDAGA, pp. 341-363). Liège: Pierre Mardaga.
- Mokhtari, A., Brahimi, K., & Benziada, R. (2008). Architecture et confort thermique dans les zones arides : Application au cas de la ville de béchar. *Revue des énergies renouvelables*, 11(2), 307-315.
- Moujalled, B. (2007). Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. Lyon, France: Institut National des Sciences Appliquées.
- Mousli, K., & Semprini, G. (2015). Thermal performances of traditional houses in dry hot arid climate and the effect of natural ventilation on thermal comfort: a case study in Damascus. *Energy Procedia*, 78, 2893-2898.
- M'sellem, H., & Alkama, D. (2009). Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique-Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec. *Journal of Renewable Energies*, 12(3), 471-488.
- Narcon, S. (2001). Caractérisation des perceptions thermiques en régime transitoire contribution à l'étude de l'influence des interactions sensorielles sur le confort. *Neurosciences et Comportement*.
- Nasrollahi, N., Hatami, M., Khastar, S. R., & Taleghani, M. (2017). Numerical evaluation of thermal comfort in traditional courtyards to develop new microclimate design a hot and dry climate. *Sustainable cities and society*, 35, 449-467.
- Nikolopoulou, M., & Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and buildings*, 35(1), 95-101.
- Orosa, J. A., & Oliveira, A. C. (2012). A field study on building inertia and its effects on indoor thermal environment. *Renewable Energy*, 37(1), 89-96.
- Ouahrani, D. (1993). Light and housing in the desert: Case study of Ghardaia, Algeria. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 25(1), 1-11.
- Owen, M. S., & Kennedy, H. E. (2009). ASHRAE Handbook-Fundamentals (IP Edition). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.
- Parsons, K. (2003). *Human thermal environments; the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance* (éd. 2eme édition). London and New York: Taylor & Francis.
- Pellegrino, P. (2008). Urban settlements, from the origin of the cities to the contemporary land. *ENVIRONMENT, LAND, SOCIETY : ARCHITECTONICS*.
- Perrin de Brichambaut, C., & Leroy, M. (1995). La mesure de la température de l'air. *La météorologie*, 8(12).
- Pfafferott, J. U., Herkel, S., Kalz, D. E., & Zeuschner, A. (2007). Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria. *Energy and Buildings*, 39(7), 750-757.
- Picard, A. (1994). Architecture et urbanisme en Algérie. d'une rive à l'autre (1830-1962). *Revue du monde musulman et de la méditerranée*, 73(1), pp. 121-136.
- Picard, A., & Malverti, X. (2003). L'architecture française en Algérie de 1830 à 1962. Dans E. d. Grenoble, *Algérie, traces d'histoire: architecture, urbanisme & art, de la préhistoire à l'Algérie contemporaine* (pp. 62-83). Grenoble: CERTU.
- Raulin, A. (2007). *Anthropologie urbaine-2e éd.* Armand Colin.

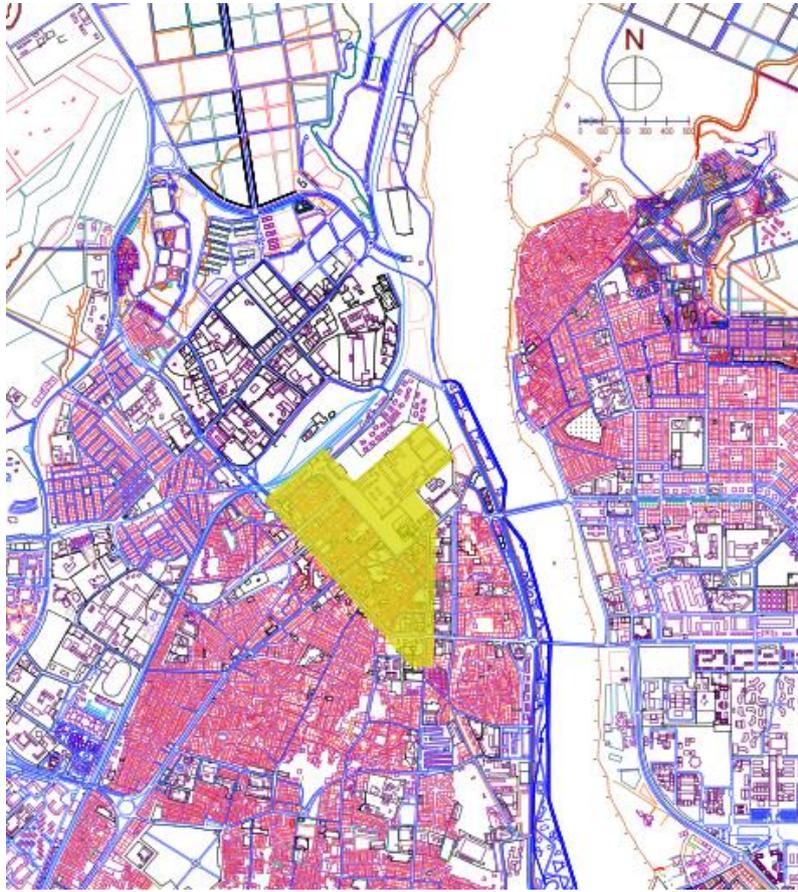
- Rohles, F. (2007). température ou tempérament : un psychologue regarde le confort thermique. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 14-19.
- Rupp, R. F., Kaznci, O. B., & Toffum, J. (2021). Investigating current trends in clothing insulation using a global thermal comfort database. *Energy and Buildings*, 252, 111431.
- Shaeri, J., Yaghoubi, M., Aflaki, A., & Habibi, A. (2018). Evaluation of thermal comfort in traditional houses in a tropical climate. *Buildings*, 8(9), 126.
- Soflaei, F., Shokouhian, M., & Shemirani, S. M. (2016). Investigation of Iranian traditional courtyard as passive cooling strategy (a field study on BS climate). *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 99-113.
- Sriti, L. (2013). Architecture domestique en devenir. Formes, usages et représentations.-Le cas de Biskra. *Doctoral dissertation*. Biskra: Université Mohamed Khider.
- Sriti, L., Belakehal, A., Boussoura, K., & Saouli, A. (2002, juin). le damier colonial de Biskra ou l'histoire de marginalisation d'un centre ville. *le courrier du savoir scientifique et technique*(02), pp. 53-59.
- Stambouli, N. (2014). L'Aéro-habitat, avatar d'un monument classé ? *Livraisons de l'histoire de l'architecture*, 27, 117-127.
- Taleghani, M., Tenpierik, M., & Van Den Dobbelsteen, A. (2014). Indoor thermal comfort in urban courtyard block dwellings in the Netherlands. *Building and Environment*, 82, 566-579.
- Tian, Z., & Love, J. A. (2008). A field study of occupant thermal comfort and thermal environments with radiant slab cooling. *Building and Environment*, 43(10), 1658-1670.
- Tice, J. (1993). Theme and variations: A typological approach to housing design, teaching, and research. *Journal of architectural education*, 46(3), 162-175.
- Tweed, C., & Sutherland, M. (2007). Built cultural heritage and sustainable urban development. *Landscape and urban planning*, 83(1), 62-69.
- Vinet, J. (2000). Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs. *Thèse de doctorat*. Université de Nantes.
- Yao, R., Li, B., & Liu, J. (2009). A theoretical adaptive model of thermal comfort–Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Building and environment*, 44(10), 2089-2096.
- Yaşa, E., & Ok, V. (2014). Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions. . *Energy and Buildings*, 73, 192-199.
- Zeiler, W., & Boxem, G. (2009). Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. *Building and Environment*, 44(11), 2308-2317.
- Zingano, B. W. (2001). A discussion on thermal comfort with reference to bath water temperature to deduce a midpoint of the thermal comfort temperature zone. *Renewable Energy*, 23(1), 41-47.

Annexes

I. Annexe 1:

La zone d'étude:

a. Situation map of the Colonial Checkerboard. *Biskra*



b. Mass plan of the Colonial Damier. *Biskra*



Figure 1. Representative map of the case study of Biskra

II. Annexe 2:

Corpus d'étude :



MAISON 1



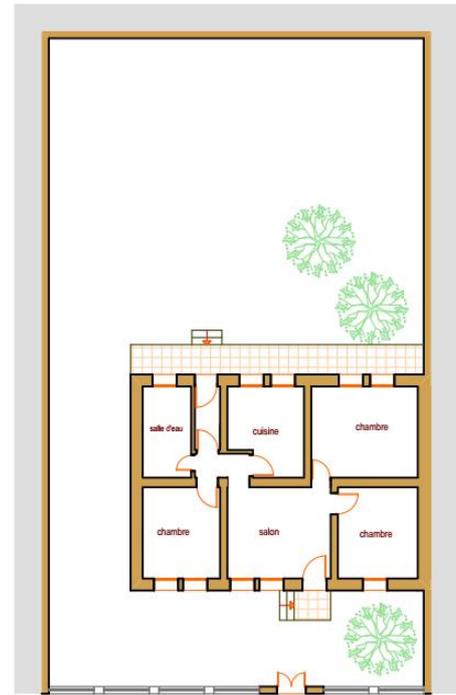
Espace 1:

T int: 32,0 °C
T ext: 36,9 °C

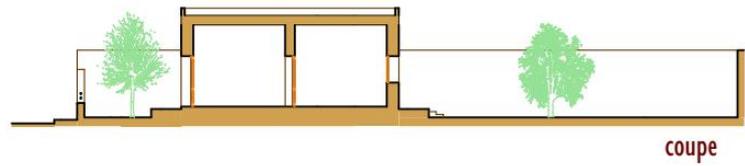
H int: 40,2 %
H ext: 30,2 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,6 m/s

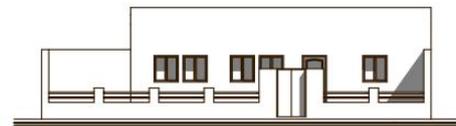
Tmrt int: 32,8 °C
Tmrt ext: 42,6 °C



rdc



coupe



façade



MAISON 2



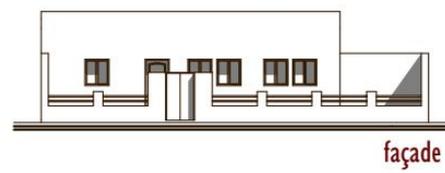
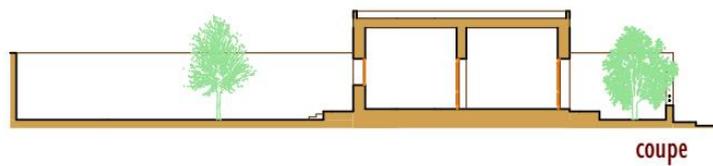
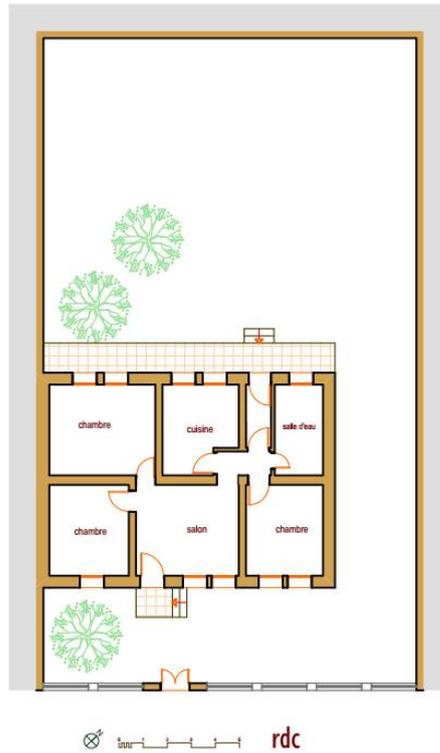
Espace 1:

T int: 34,5 °C
T ext: 36,1 °C

H int: 36,2 %
H ext: 20,3 %

V int: 0 m/s
V ext: 1,2 m/s

Tmrt int: 34,5 °C
Tmrt ext: 37,2 °C



MAISON 3



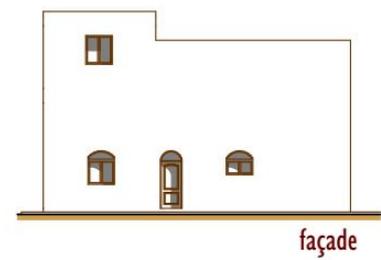
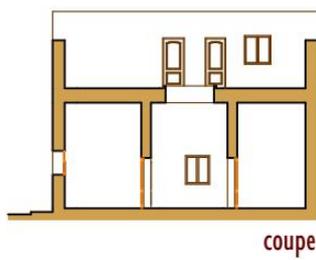
Espace 1:

T int: 32,9 °C
T ext: 39,4 °C

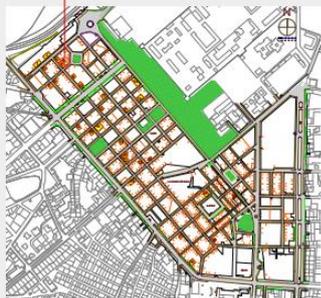
H int: 30,2 %
H ext: 11,2 %

V int: 0 m/s
V ext: 1,98 m/s

Tmrt int: 32,7 °C
Tmrt ext: 43,6 °C



MAISON 6



Espace 1:

T int: 37,1 °C
T ext: 38,3 °C

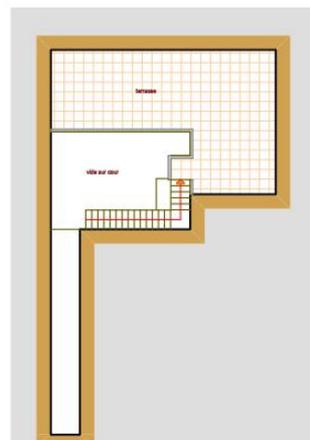
H int: 35,8 %
H ext: 28,0 %

V int: 0,09 m/s
V ext: 1,76 m/s

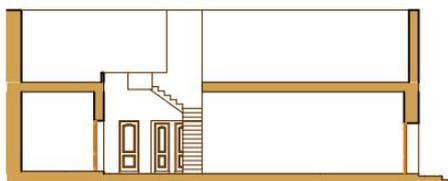
Tmrt int: 39,0 °C
Tmrt ext: 42,4 °C



rdc



terrasse



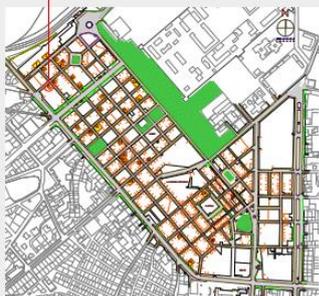
coupe



façade



MAISON 7



Espace 1:

T int: 31,7 °C
T ext: 42,5 °C

H int: 41,1 %
H ext: 16,7 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,3 m/s

Tmrt int: 31,8 °C
Tmrt ext: 46,3 °C

Espace 2:

T int: 31,9 °C
T ext: 42,5 °C

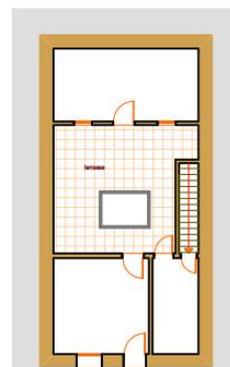
H int: 39,6 %
H ext: 16,7 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,3 m/s

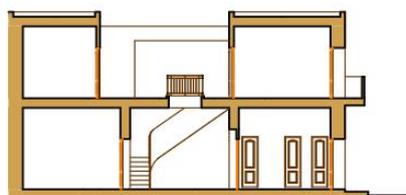
Tmrt int: 32,1 °C
Tmrt ext: 46,3 °C



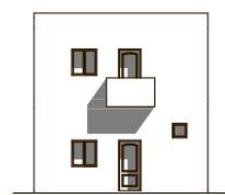
rdc



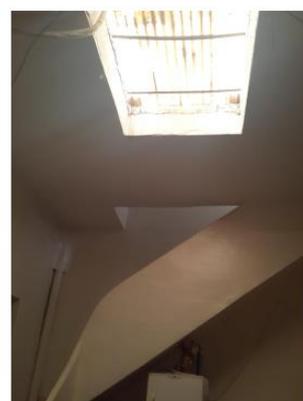
1^{er} étage



coupe



façade



MAISON 8



Espace 1:

T int: 32,0 °C
T ext: 33,9 °C

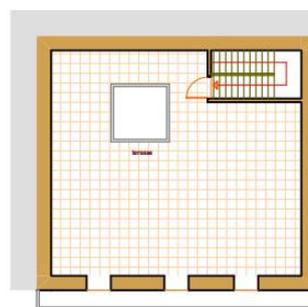
H int: 37,8 %
H ext: 29,3 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,9 m/s

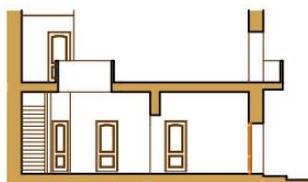
Tmrt int: 32,4 °C
Tmrt ext: 42,5 °C



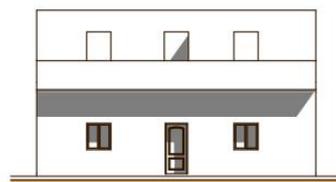
rdc



terrasse



coupe



façade



MAISON 9



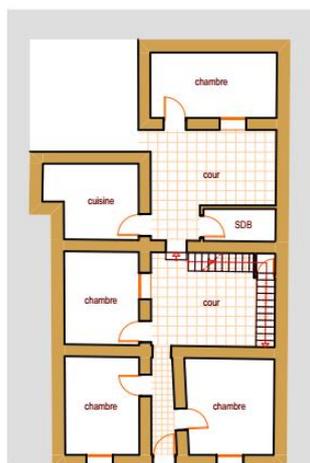
Espace 1:

T int: 37,6 °C
T ext: 38,3 °C

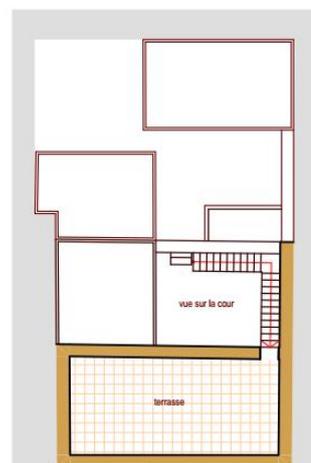
H int: 35,8 %
H ext: 28,0 %

V int: 0,09 m/s
V ext: 1,76 m/s

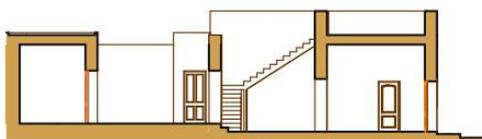
Tmrt int: 39,0 °C
Tmrt ext: 42,4 °C



rdc



terrasse



coupe



façade



MAISON 11



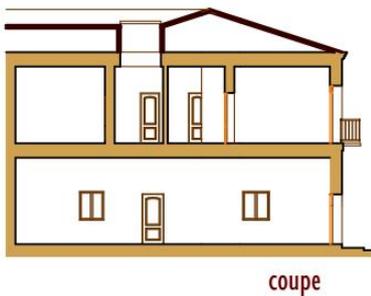
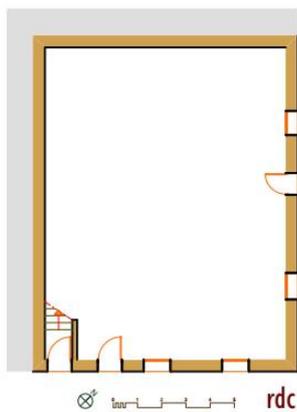
Espace 1:

T int: 35,2 °C
T ext: 37,2 °C

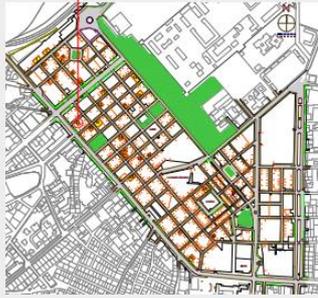
H int: 31,7 %
H ext: 28,5 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,55 m/s

Tmrt int: 35,1 °C
Tmrt ext: 39,4 °C



MAISON 12



Espace 1:

T int: 36,4 °C
T ext: 39,1 °C

H int: 30,8 %
H ext: 29,3 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,9 m/s

Tmrt int: 36,6 °C
Tmrt ext: 40,2 °C

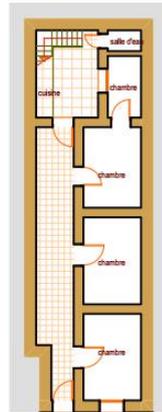
Espace 2:

T int: 37,1 °C
T ext: 39,1 °C

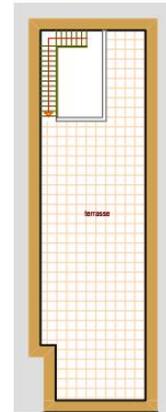
H int: 30,1 %
H ext: 29,3 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,9 m/s

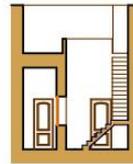
Tmrt int: 37,1 °C
Tmrt ext: 40,2 °C



rdc



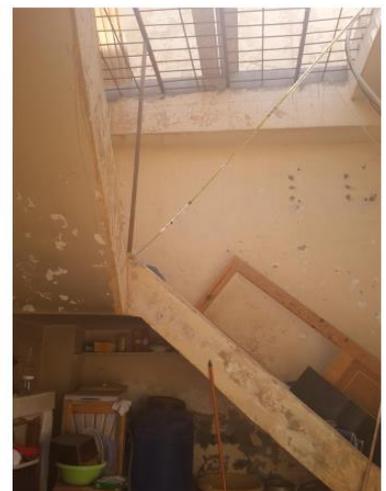
terrasse



coupe



façade



MAISON 16



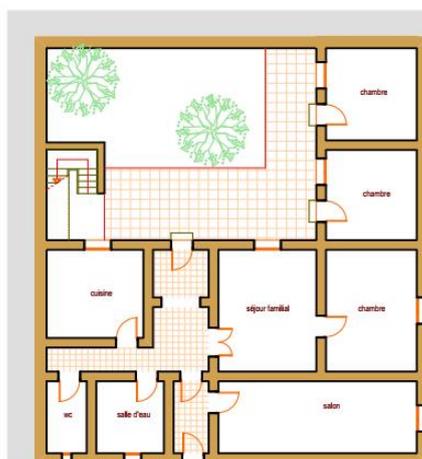
Espace 1:

T int: 35,2 °C
T ext: 37,2 °C

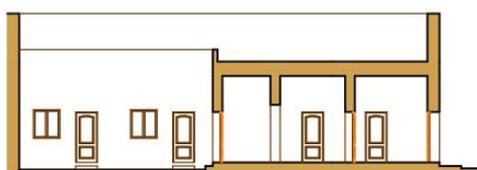
H int: 31,7 %
H ext: 28,5 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,55 m/s

Tmrt int: 35,1 °C
Tmrt ext: 39,4 °C



rdc



coupe



façade



MAISON 17

Espace 1:

T int: 34,3 °C
T ext: 38,5 °C

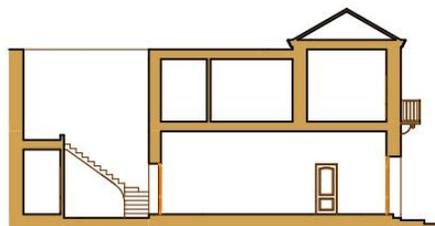
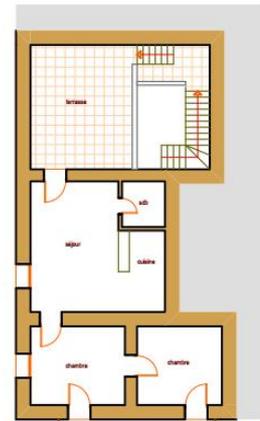
H int: 31,2 %
H ext: 23,8 %

V int: 0 m/s
V ext: 1,9 m/s

Tmrt int: 34,2 °C
Tmrt ext: 40,2 °C



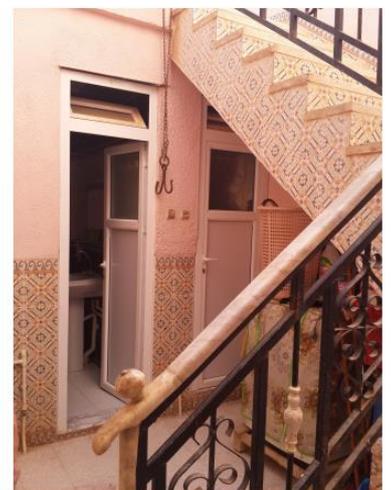
rdc



coupe



façade



MAISON 18



Espace 1:

T int: 32,4 °C
T ext: 38,5 °C

H int: 36,3 %
H ext: 23,8 %

V int: 0,06 m/s
V ext: 1,9 m/s

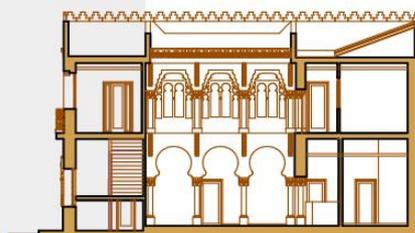
Tmrt int: 32,6 °C
Tmrt ext: 40,8 °C



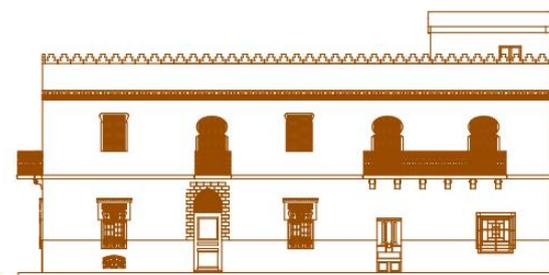
1^{er} étage



rdc



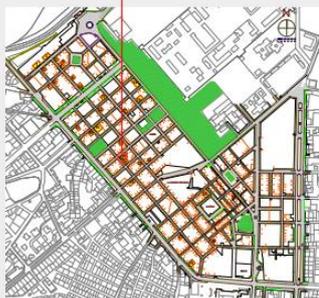
coupe



façade



MAISON 20



Espace 1:

T int: 33,5 °C
T ext: 39,6 °C

H int: 31,0 %
H ext: 22,7 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,55 m/s

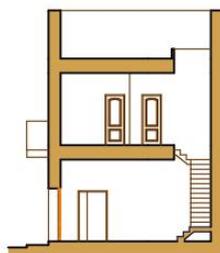
Tmrt int: 33,4 °C
Tmrt ext: 42,3 °C



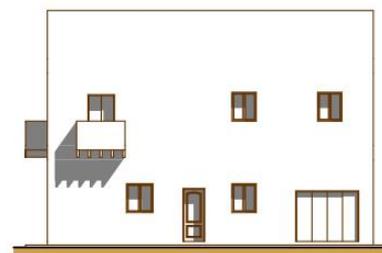
rdc



1^{er} étage



coupe



façade



MAISON 21



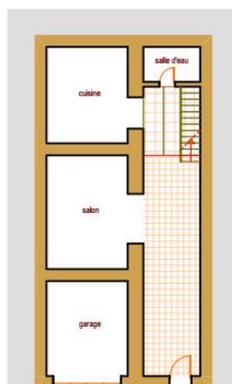
Espace 1:

T int: 30,9 °C
T ext: 39,6 °C

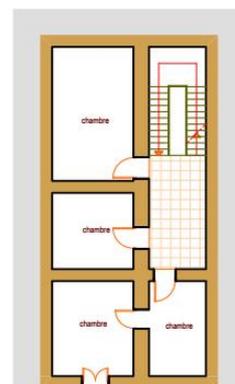
H int: 39,7 %
H ext: 22,7 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,55 m/s

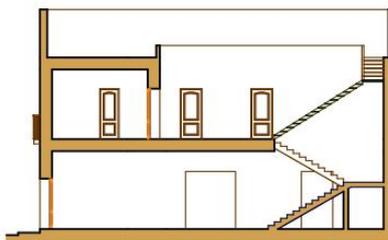
Tmrt int: 31,2 °C
Tmrt ext: 38,5 °C



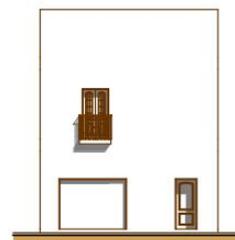
rdc



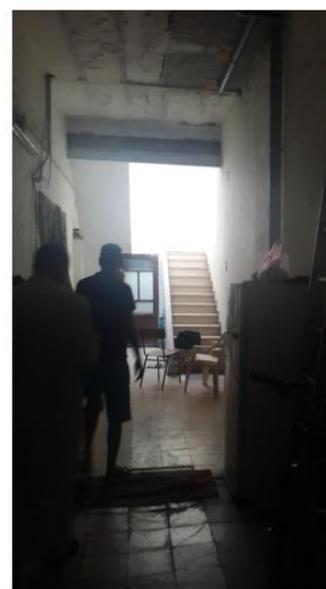
1^{er} étage



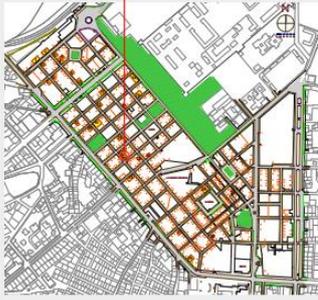
coupe



façade



MAISON 22



Espace 1:

T int: 33,0 °C
T ext: 41,6 °C

H int: 35,5 %
H ext: 14,2 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,4 m/s

Tmrt int: 33,1 °C
Tmrt ext: 45,0 °C

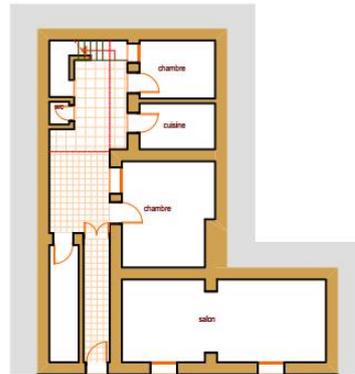
Espace 2:

T int: 33,0 °C
T ext: 41,6 °C

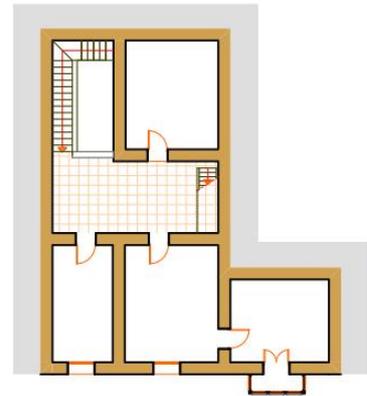
H int: 36,8 %
H ext: 14,2 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,4 m/s

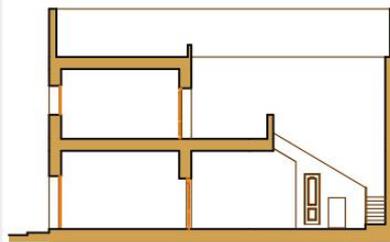
Tmrt int: 33,4 °C
Tmrt ext: 45,0 °C



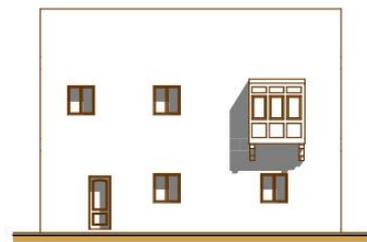
rdc



1^{er} étage



coupe



façade



MAISON 24



Espace 1:

T int: 33,3 °C

T ext: 40,9 °C

H int: 43,3 %

H ext: 15,9 %

V int: 0 m/s

V ext: 0,6 m/s

Tmrt int: 32,3 °C

Tmrt ext: 46,2 °C

Espace 2:

T int: 38,4 °C

T ext: 40,8 °C

H int: 21,9 %

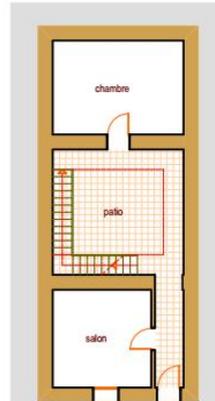
H ext: 18,7 %

V int: 0,25 m/s

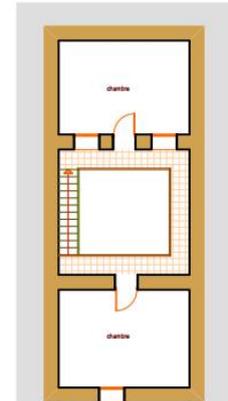
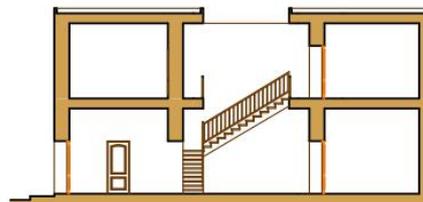
V ext: 1,2 m/s

Tmrt int: 38,2 °C

Tmrt ext: 44,2 °C



rdc

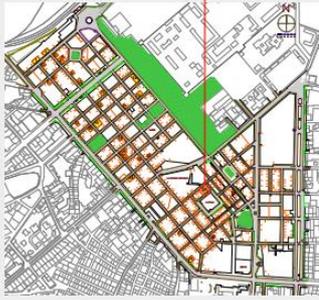
1^{er} étage

coupe



façade

MAISON 26



Espace 1:

T int: 31,1 °C

T ext: 38,2 °C

H int: 36,4 %

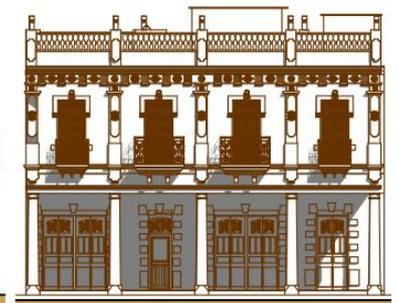
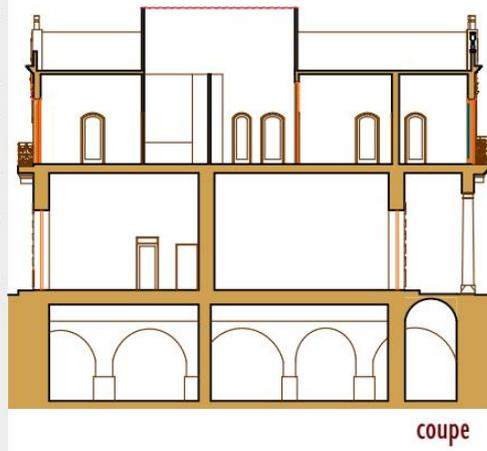
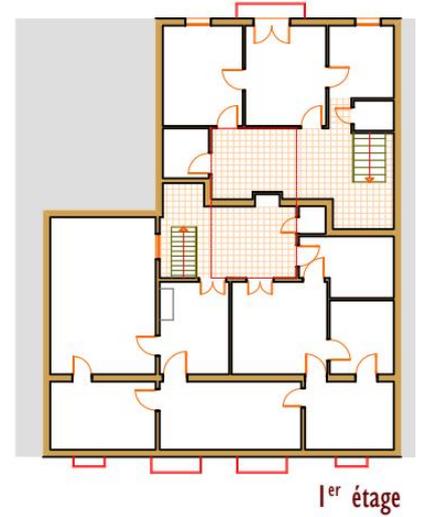
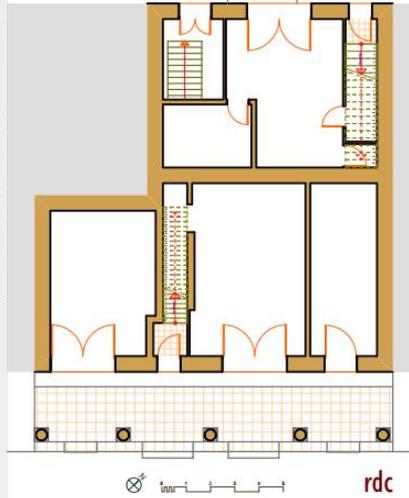
H ext: 22,8 %

V int: 0 m/s

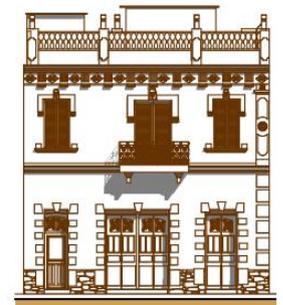
V ext: 0,32 m/s

Tmrt int: 31,3 °C

Tmrt ext: 41,9 °C



façade principale



façade postérieure



MAISON 28



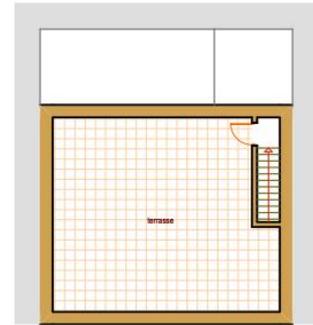
Espace 1:

T int: 36,0 °C
T ext: 44,3 °C

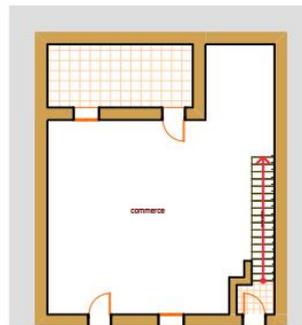
H int: 23,3 %
H ext: 16,8 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,7 m/s

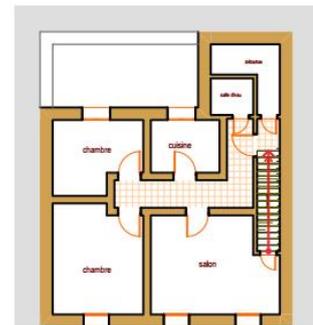
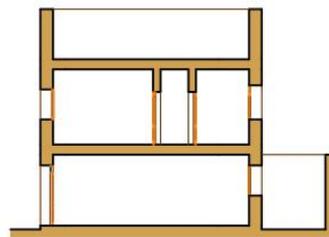
Tmrt int: 36,3 °C
Tmrt ext: 47,5 °C



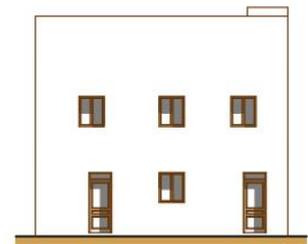
terrasse



rdc

1^{er} étage

coupe



façade

MAISON 29

Espace 1:

T int: 37,1 °C
T ext: 43,2 °C

H int: 23,6 %
H ext: 18,2 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,6 m/s

Tmrt int: 37,2 °C
Tmrt ext: 46,2 °C

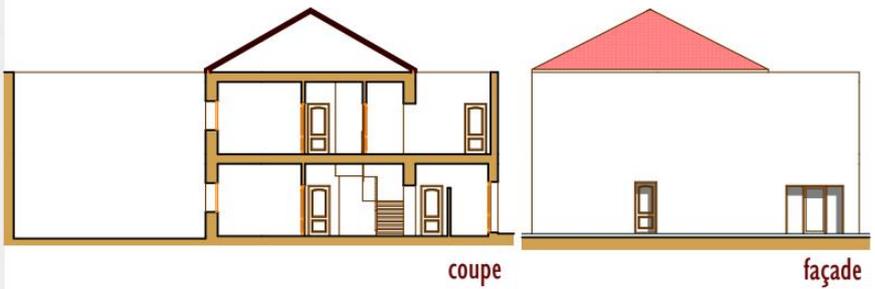
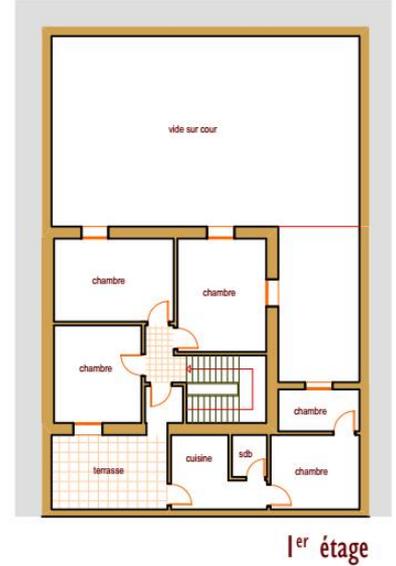
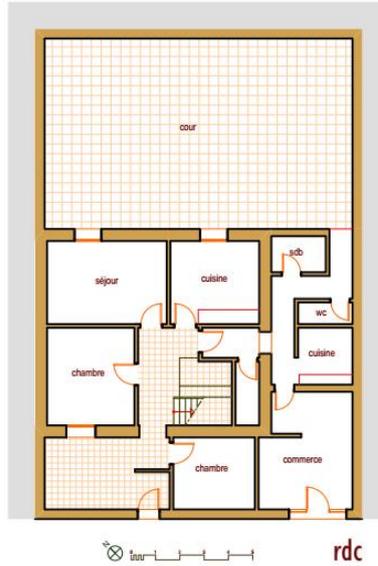
Espace 2:

T int: 36,8 °C
T ext: 43,2 °C

H int: 24,7 %
H ext: 18,2 %

V int: 0 m/s
V ext: 0,6 m/s

Tmrt int: 36,7 °C
Tmrt ext: 46,2 °C



III. Annexe 3:

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mohamed Khider, Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département d'architecture

LEBBAL Fatima Zohra
Doctorante LMD en Architecture

Enquête d'évaluation sur le confort et l'ambiance thermique
des maisons du damier colonial.

Cette enquête fait partie d'une recherche menée dans le cadre d'une thèse de Doctorat en Architecture.

L'objet de cette enquête est de tester l'appréciation des gens vis-à-vis des conditions de l'environnement intérieur. Cette enquête sera accompagnée de mesures complémentaires des trois facteurs du confort thermique (température, humidité et vitesse de l'aire).

Veuillez, s'il vous plaît répondre aux questions énoncées dans ce questionnaire selon l'ordre dans lequel elles sont posées. Soyez le plus franc, le plus honnête et le plus rapide possible dans vos réponses.

Merci énormément pour votre disponibilité et votre coopération.



Questionnaire sur la sensation et le confort thermique des maisons coloniales

les condition générale de l'espace

la porte

- 1.ouverte 2.fermée

nombre des fenêtres

- 1.1 2.2
 3.3 4.4
 5.5 6.0

le cas de la fenêtre

- 1.ouverte 2.fermée

la Température de l'espace

comment vous sentez-vous maintenant?

- 1.très chaud 2.chaud
 3.légèrement chaud 4.neutre
 5.légèrement froid 6.froid
 7.très froid

comment trouvez-vous l'espace?

- 1.éxtrêmement inconfortable 2.très inconfortable
 3.inconfortable 4.légerment inconfortable
 5.confortable

Souhaitez-vous ?

- 1.Beucoup plus chaud 2.plus chaud
 3.un peu chaud 4.sans changement
 5.un peu plus froid 6.plus froid
 7.beaucoup plus froid

l'humidité de l'espace

vous sentez que l'air est?

- 1.très humide 2.humide
 3.légèrement humide 4.Neutre
 5.légèrement sec 6.sec
 7.très sec

Comment trouvez-vous l'espace?

- 1.Extrêmement inconfortable 2.très inconfortable
 3.inconfortable 4.légèrement inconfortable
 5.confortable

souhaitez-vous

- 1.Moins d'air humide 2.Mh1
 3.Mh2 4.sans changement
 5.PH3 6.Ph4
 7.plus d'air humide



Questionnaire sur la sensation et le confort thermique des maisons coloniales

l'évaluation de la maison

comment évaluez-vous la température à l'intérieur de la maison?

- | | |
|--|--------------------------------|
| <input type="radio"/> 1.très chaud | <input type="radio"/> 2.chaud |
| <input type="radio"/> 3.légèrement chaud | <input type="radio"/> 4.neutre |
| <input type="radio"/> 5.légèrement froid | <input type="radio"/> 6.froid |
| <input type="radio"/> 7.très froid | |

comment évaluez-vous la température dans l'espace avec dispositif?

- | | |
|--|--------------------------------|
| <input type="radio"/> 1.très chaud | <input type="radio"/> 2.chaud |
| <input type="radio"/> 3.légèrement chaud | <input type="radio"/> 4.neutre |
| <input type="radio"/> 5.légèrement froid | <input type="radio"/> 6.froid |
| <input type="radio"/> 7.très froid | |

comment évaluez-vous la température à l'extérieur de la maison?

- | | |
|--|--------------------------------|
| <input type="radio"/> 1.très chaud | <input type="radio"/> 2.chaud |
| <input type="radio"/> 3.légèrement chaud | <input type="radio"/> 4.neutre |
| <input type="radio"/> 5.légèrement froid | <input type="radio"/> 6.froid |
| <input type="radio"/> 7.très froid | |

comment trouvez-vous cet environnement thermique?

- | | |
|---|---|
| <input type="radio"/> 1.éxtrêmement inconfortable | <input type="radio"/> 2.très inconfortable |
| <input type="radio"/> 3.inconfortable | <input type="radio"/> 4.légerment inconfortable |
| <input type="radio"/> 5.confortable | |

IV. Annexe 4:

Loi de chi-deux théorique :

Le tableau donne x tel que $P(K > x) = p$

p	0,999	0,995	0,99	0,98	0,95	0,9	0,8	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001
ddl														
1	0,0000	0,0000	0,0002	0,0006	0,0039	0,0158	0,0642	1,6424	2,7055	3,8415	5,4119	6,6349	7,8794	10,8276
2	0,0020	0,0100	0,0201	0,0404	0,1026	0,2107	0,4463	3,2189	4,6052	5,9915	7,8240	9,2103	10,5966	13,8155
3	0,0243	0,0717	0,1148	0,1848	0,3518	0,5844	1,0052	4,6416	6,2514	7,8147	9,8374	11,3449	12,8382	16,2662
4	0,0908	0,2070	0,2971	0,4294	0,7107	1,0636	1,6488	5,9886	7,7794	9,4877	11,6678	13,2767	14,8603	18,4668
5	0,2102	0,4117	0,5543	0,7519	1,1455	1,6103	2,3425	7,2893	9,2364	11,0705	13,3882	15,0863	16,7496	20,5150
6	0,3811	0,6757	0,8721	1,1344	1,6354	2,2041	3,0701	8,5581	10,6446	12,5916	15,0332	16,8119	18,5476	22,4577
7	0,5985	0,9893	1,2390	1,5643	2,1673	2,8331	3,8223	9,8032	12,0170	14,0671	16,6224	18,4753	20,2777	24,3219
8	0,8571	1,3444	1,6465	2,0325	2,7326	3,4895	4,5936	11,0301	13,3616	15,5073	18,1682	20,0902	21,9550	26,1245
9	1,1519	1,7349	2,0879	2,5324	3,3251	4,1682	5,3801	12,2421	14,6837	16,9190	19,6790	21,6660	23,5894	27,8772
10	1,4787	2,1559	2,5582	3,0591	3,9403	4,8652	6,1791	13,4420	15,9872	18,3070	21,1608	23,2093	25,1882	29,5883
11	1,8339	2,6032	3,0535	3,6087	4,5748	5,5778	6,9887	14,6314	17,2750	19,6751	22,6179	24,7250	26,7568	31,2641
12	2,2142	3,0738	3,5706	4,1783	5,2260	6,3038	7,8073	15,8120	18,5493	21,0261	24,0540	26,2170	28,2995	32,9095
13	2,6172	3,5650	4,1069	4,7654	5,8919	7,0415	8,6339	16,9848	19,8119	22,3620	25,4715	27,6882	29,8195	34,5282
14	3,0407	4,0747	4,6604	5,3682	6,5706	7,7895	9,4673	18,1508	21,0641	23,6848	26,8728	29,1412	31,3193	36,1233
15	3,4827	4,6009	5,2293	5,9849	7,2609	8,5468	10,3070	19,3107	22,3071	24,9958	28,2595	30,5779	32,8013	37,6973
16	3,9416	5,1422	5,8122	6,6142	7,9616	9,3122	11,1521	20,4651	23,5418	26,2962	29,6332	31,9999	34,2672	39,2524
17	4,4161	5,6972	6,4078	7,2550	8,6718	10,0852	12,0023	21,6146	24,7690	27,5871	30,9950	33,4087	35,7185	40,7902
18	4,9048	6,2648	7,0149	7,9062	9,3905	10,8649	12,8570	22,7595	25,9894	28,8693	32,3462	34,8053	37,1565	42,3124
19	5,4068	6,8440	7,6327	8,5670	10,1170	11,6509	13,7158	23,9004	27,2036	30,1435	33,6874	36,1909	38,5823	43,8202
20	5,9210	7,4338	8,2604	9,2367	10,8508	12,4426	14,5784	25,0375	28,4120	31,4104	35,0196	37,5662	39,9968	45,3147
21	6,4467	8,0337	8,8972	9,9146	11,5913	13,2396	15,4446	26,1711	29,6151	32,6706	36,3434	38,9322	41,4011	46,7970
22	6,9830	8,6427	9,5425	10,6000	12,3380	14,0415	16,3140	27,3015	30,8133	33,9244	37,6595	40,2894	42,7957	48,2679
23	7,5292	9,2604	10,1957	11,2926	13,0905	14,8480	17,1865	28,4288	32,0069	35,1725	38,9683	41,6384	44,1813	49,7282
24	8,0849	9,8862	10,8564	11,9918	13,8484	15,6587	18,0618	29,5533	33,1962	36,4150	40,2704	42,9798	45,5585	51,1786
25	8,6493	10,5197	11,5240	12,6973	14,6114	16,4734	18,9398	30,6752	34,3816	37,6525	41,5661	44,3141	46,9279	52,6197
26	9,2221	11,1602	12,1981	13,4086	15,3792	17,2919	19,8202	31,7946	35,5632	38,8851	42,8558	45,6417	48,2899	54,0520
27	9,8028	11,8076	12,8785	14,1254	16,1514	18,1139	20,7030	32,9117	36,7412	40,1133	44,1400	46,9629	49,6449	55,4760
28	10,3909	12,4613	13,5647	14,8475	16,9279	18,9392	21,5880	34,0266	37,9159	41,3371	45,4188	48,2782	50,9934	56,8923
29	10,9861	13,1211	14,2565	15,5745	17,7084	19,7677	22,4751	35,1394	39,0875	42,5570	46,6927	49,5879	52,3356	58,3012
30	11,5880	13,7867	14,9535	16,3062	18,4927	20,5992	23,3641	36,2502	40,2560	43,7730	47,9618	50,8922	53,6720	59,7031
40	17,9164	20,7065	22,1643	23,8376	26,5093	29,0505	32,3450	47,2685	51,8051	55,7585	60,4361	63,6907	66,7660	73,4020
50	24,6739	27,9907	29,7067	31,6639	34,7643	37,6886	41,4492	58,1638	63,1671	67,5048	72,6133	76,1539	79,4900	86,6608
60	31,7383	35,5345	37,4849	39,6994	43,1880	46,4589	50,6406	68,9721	74,3970	79,0819	84,5799	88,3794	91,9517	99,6072
70	39,0364	43,2752	45,4417	47,8934	51,7393	55,3289	59,8978	79,7146	85,5270	90,5312	96,3875	100,4252	104,2149	112,3169
80	46,5199	51,1719	53,5401	56,2128	60,3915	64,2778	69,2069	90,4053	96,5782	101,8795	108,0693	112,3288	116,3211	124,8392
90	54,1552	59,1963	61,7541	64,6347	69,1260	73,2911	78,5584	101,0537	107,5650	113,1453	119,6485	124,1163	128,2989	137,2084
100	61,9179	67,3276	70,0649	73,1422	77,9295	82,3581	87,9453	111,6667	118,4980	124,3421	131,1417	135,8067	140,1695	149,4493
120	77,7551	83,8516	86,9233	90,3667	95,7046	100,6236	106,8056	132,8063	140,2326	146,5674	153,9182	158,9502	163,6482	173,6174
140	93,9256	100,6548	104,0344	107,8149	113,6593	119,0293	125,7581	153,8537	161,8270	168,6130	176,4709	181,8403	186,8468	197,4508
160	110,3603	117,6793	121,3456	125,4400	131,7561	137,5457	144,7834	174,8283	183,3106	190,5165	198,8464	204,5301	209,8239	221,0190
180	127,0111	134,8844	138,8204	143,2096	149,9688	156,1526	163,8682	195,7434	204,7037	212,3039	221,0772	227,0561	232,6198	244,3705
200	143,8428	152,2410	156,4320	161,1003	168,2786	174,8353	183,0028	216,6088	226,0210	233,9943	243,1869	249,4451	255,2642	267,5405
250	186,5541	196,1606	200,9386	206,2490	214,3916	221,8059	231,0128	268,5986	279,0504	287,8815	298,0388	304,9396	311,3462	324,8324
300	229,9634	240,6634	245,9725	251,8637	260,8781	269,0679	279,2143	320,3971	331,7885	341,3951	352,4246	359,9064	366,8444	381,4252
400	318,2596	330,9028	337,1553	344,0781	354,6410	364,2074	376,0218	423,5895	436,6490	447,6325	460,2108	468,7245	476,6064	493,1318
500	407,9470	422,3034	429,3875	437,2194	449,1468	459,9261	473,2099	526,4014	540,9303	553,1268	567,0698	576,4928	585,2066	603,4460
600	498,6229	514,5289	522,3651	531,0191	544,1801	556,0560	570,6680	628,9433	644,8004	658,0936	673,2703	683,5156	692,9816	712,7712
700	590,0480	607,3795	615,9075	625,3175	639,6130	652,4973	668,3308	731,2805	748,3591	762,6607	778,9721	789,9735	800,1314	821,3468
800	682,0665	700,7250	709,8969	720,0107	735,3623	749,1852	766,1555	833,4557	851,6712	866,9114	884,2789	895,9843	906,7862	929,3289
900	774,5698	794,4750	804,2517	815,0267	831,3702	846,0746	864,1125	935,4987	954,7819	970,9036	989,2631	1001,6296	1013,0364	1036,8260

Table de la loi de khi-deux ou de Karl Pearson :

Valeur de χ^2 pour laquelle la probabilité d'une valeur inférieure à χ^2 suivant le nombre n de degrés de liberté est $p = F_n(X^2)$.

Le degré de liberté = (nombre de lignes – 1) x (nombre de colonnes – 1)

$n \backslash p$	0,005	0,010	0,025	0,050	0,100	0,250	0,500	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
1	0,0000	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,575	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9
5	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7
6	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,45	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5
7	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	4,25	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6
10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,74	9,34	12,5	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	7,58	10,3	13,7	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	8,44	11,3	14,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	9,30	12,3	16,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	10,2	13,3	17,1	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	11,0	14,3	18,2	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8
16	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,9	15,3	19,4	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3
17	5,70	6,41	7,56	8,67	10,1	12,8	16,3	20,5	24,8	27,6	32,0	33,4	35,7
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	13,7	17,3	21,6	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2
19	6,84	7,63	8,91	10,1	11,7	14,6	18,3	22,7	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6
20	7,43	8,26	9,56	10,9	12,4	15,5	19,3	23,8	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0
21	8,03	8,90	10,3	11,6	13,2	16,3	20,3	24,9	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4
22	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	17,2	21,3	26,0	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8
23	9,26	10,2	11,7	13,1	14,8	18,1	22,3	27,1	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2
24	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	19,0	23,3	28,2	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6
25	10,5	11,5	13,1	14,6	16,5	19,9	24,3	29,3	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9
26	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	20,8	25,3	30,1	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3
27	11,8	12,9	14,6	16,2	18,1	21,7	26,3	31,5	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6
28	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	22,7	27,3	32,6	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0
29	13,1	14,3	16,0	17,7	19,8	23,6	28,3	33,7	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3
30	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	24,5	29,3	34,8	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7
40	20,7	22,2	24,4	26,5	29,1	33,7	39,3	45,6	51,8	55,8	59,3	63,7	66,8
50	28,0	29,7	32,4	34,8	37,7	42,9	49,3	56,3	63,2	67,5	71,4	76,2	79,5
60	35,5	37,5	40,5	43,2	46,5	52,3	59,3	67,0	74,4	79,1	83,3	88,4	92,0
70	43,3	45,4	48,8	51,7	55,3	61,7	69,3	77,6	85,5	90,5	95,0	100,4	104,2
80	51,2	53,5	57,2	60,4	64,3	71,1	79,3	88,1	96,6	101,9	106,6	112,4	116,3
90	59,2	61,8	65,6	69,1	73,3	80,6	89,3	98,6	107,6	113,1	118,1	124,1	128,3
100	67,3	70,1	74,2	77,9	82,4	90,1	99,3	109,1	118,5	124,3	129,6	135,8	140,2

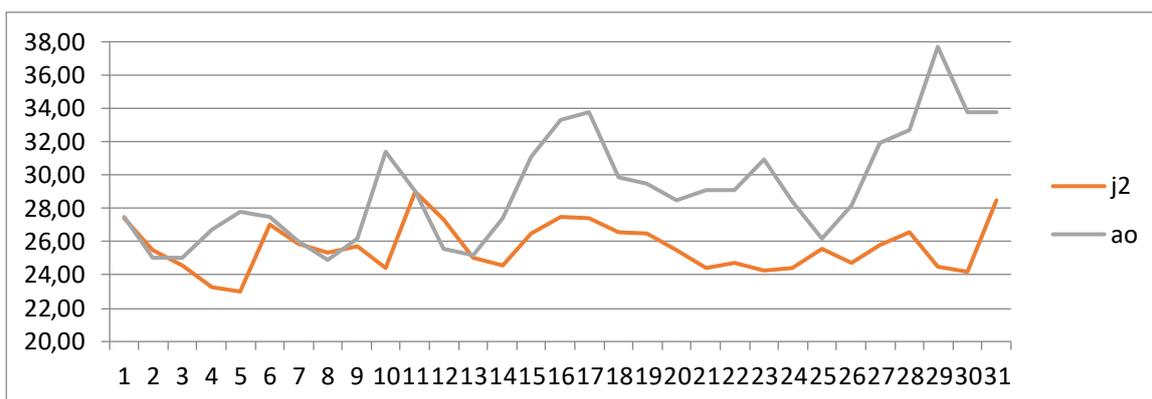
V. Annexe 5:

mois jour	juin-06	juin-07	juin-08	juin-09	juin-10	juin-11	juin-12	juin-13	juin-14	juin-15
1	22	29	30	29	30	26	28	24	30	26
2	22	26	28	33	32	24	30	23	23	26
3	22	22	26	29	32	24	30	27	24	26
4	22	24	25	29	31	26	32	26	24	26
5	24	24	26	31	28	26	31	28	26	30
6	26	29	27	32	29	28	30	30	28	28
7	28	34	26	30	32	27	34	28	30	30
8	28	30	26	30	32	26	33	28	31	30
9	30	28	27	32	35	26	34	28	30	30
10	30	30	28	32	38	28	31	27	30	31
11	28	32	28	32	34	28	30	28	29	34
12	26	30	28	34	31	27	33	28	29	38
13	26	34	28	32	32	28	32	29	29	31
14	28	33	28	33	31	30	32	30	24	32
15	30	34	28	30	28	30	34	31	30	32
16	32	32	33	32	29	28	37	34	31	32
17	36	32	38	31	32	30	34	33	28	33
18	36	34	35	31	32	32	32	35	28	28
19	34	38	32	32	30	34	34	34	30	28
20	30	37	30	34	28	32	35	32	33	30
21	34	37	30	32	28	32	36	33	34	30
22	34	38	31	30	28	32	36	33	32	30
23	36	40	31	33	26	32	36	30	31	32
24	37	38	31	32	30	32	37	30	36	36
25	36	36	36	32	31	34	34	29	32	33
26	37	36	34	32	30	32	34	30	30	31
27	40	35	33	31	30	30	34	28	30	32
28	40	32	32	31	31	29	36	28	32	30
29	38	32	32	32	30	32	37	27	34	33
30	38	34	32	33	32	35	36	28	34	33

mois_jour	juil-06	juil-07	juil-08	juil-09	juil-10	juil-11	juil-12	juil-13	juil-14	juil-15
1	36	33	32	34	31	35	34	28	30	33
2	35	32	32	32	32	34	34	29	32	32
3	35	34	34	34	34	35	35	32	34	32
4	39	34	36	35	34	34	36	34	38	33
5	37	35	37	36	34	35	36	25	38	31
6	36	30	37	36	34	31	37	30	34	30
7	36	31	38	36	32	32	38	30	36	30
8	36	32	40	36	34	34	38	31	38	32
9	32	36	40	34	34	36	38	32	34	36
10	32	37	40	32	34	38	38	34	32	34
11	32	32	40	34	34	38	40	32	30	34
12	32	28	40	35	34	37	40	34	30	33
13	32	29	39	36	34	38	40	36	34	34
14	34	31	38	35	38	35	39	36	32	35
15	34	32	34	36	36	32	38	32	34	34
16	33	31	34	36	36	34	36	33	32	33
17	32	30	34	36	36	35	34	34	33	32
18	31	31	36	36	38	35	31	34	32	34
19	32	33	35	31	36	38	32	33	33	32
20	33	34	34	32	34	36	34	34	36	36
21	34	34	36	34	36	34	36	37	35	35
22	33	34	36	36	37	36	36	36	32	37
23	33	34	32	36	38	35	30	34	31	35
24	34	34	32	36	37	32	29	34	33	33
25	35	34	35	36	35	30	30	34	36	35
26	35	34	36	36	30	30	34	36	38	36
27	35	34	33	36	30	31	37	37	38	36
28	34	34	32	37	31	34	36	36	33	36
29	36	34	34	37	34	34	38	34	36	36
30	36	34	34	37	33	32	38	36	34	37
31	34	40	34	34	34	32	36	33	33	37

mois jour	Aout-06	Aout-07	Aout-08	Aout-09	Aout-10	Aout-11	Aout-12	Aout-13	Aout-14	Aout-15
1	36	24	32	34	33	32	36	32	33	38
2	36	33	34	34	34	34	38	32	36	38
3	36	34	31	36	36	35	39	33	38	38
4	36	35	34	34	34	34	38	32	37	36
5	32	34	36	34	32	35	38	34	38	36
6	32	31	36	33	32	35	40	34	33	37
7	32	32	34	34	34	36	37	34	32	36
8	31	37	35	34	34	39	37	32	32	35
9	30	35	35	35	32	38	38	34	32	35
10	28	30	33	36	32	33	38	32	34	35
11	30	30	34	37	34	31	38	30	36	34
12	33	32	36	38	34	32	34	30	38	36
13	35	34	38	38	34	32	36	32	38	35
14	32	34	37	37	35	34	38	33	38	34
15	34	34	38	38	34	36	36	30	34	32
16	34	34	32	38	34	32	38	32	34	33
17	36	37	32	36	34	32	40	33	32	31
18	38	34	34	34	34	32	36	28	32	34
19	40	36	36	34	38	32	32	32	34	32
20	38	34	36	32	36	32	32	33	36	32
21	35	38	35	32	35	32	32	30	36	32
22	34	32	34	32	36	32	32	27	34	32
23	36	36	33	32	34	32	32	29	34	30
24	35	34	32	34	34	34	34	32	33	34
25	36	33	32	35	36	34	34	33	32	36
26	34	32	32	36	34	34	36	33	33	33
27	32	34	30	36	34	35	34	33	34	36
28	31	34	30	32	35	32	32	32	34	32
29	32	34	31	32	34	32	31	30	33	30
30	32	36	32	32	33	32	32	32	33	30
31	32		32	31	32	33	32	30	32	32

Humidité :



Vitesse de l'air :

